

**С.В. КИРСАНОВ  
В.А. ГРЕЧИШНИКОВ  
С.Н. ГРИГОРЬЕВ  
А.Г. СХИРТЛАДЗЕ**

# **ОБРАБОТКА ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**СПРАВОЧНИК**



---

**МОСКВА • «МАШИНОСТРОЕНИЕ» • 2010**

УДК 621.951(035,5)  
ББК 334.633.3я2  
К43

Рецензент:

д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Технология машиностроения»  
МГТУ «СТАНКИН» *В.П. Вороненко*

**Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Григорьев С.Н.,  
Схиртладзе А.Г.**

Б87      **Обработка глубоких отверстий в машиностроении: справочник / под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2010. 344 с.: ил.**

**ISBN 978-5-94275-521-8**

Рассмотрены современные конструкции инструментов для обработки глубоких отверстий. Даны рекомендации по их проектированию, изготовлению и эксплуатации. Приведены сведения о технологии обработки глубоких отверстий, используемых станках и приборах для контроля глубоких отверстий. Предназначен для технологов и конструкторов машиностроительных предприятий, а также студентов вузов.

УДК 621.951(035,5)  
ББК 334.633.3я2

**ISBN 978-5-94275-521-8**

© ООО «Машиностроение», 2010

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ . . . . .	6
1.1. Краткая историческая справка . . . . .	6
1.2. Некоторые особенности обработки глубоких отверстий режущими инструментами . . . . .	10
1.3. Базирование мерных инструментов в обрабатываемых отверстиях. . . . .	12
1.4. Смазочно-охлаждающие технологические средства, применяемые при обработке глубоких отверстий . . . . .	20
1.5. Дробление стружки при обработке глубоких отверстий . . . . .	35
1.6. Основы технологии обработки глубоких отверстий . . . . .	40
2. ИНСТРУМЕНТЫ БЕЗ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ БАЗИРОВАНИЯ . . . . .	47
2.1. Сверла . . . . .	47
2.2. Расточные инструменты . . . . .	67
2.3. Режуще-раскатные головки . . . . .	73
2.4. Деформирующие инструменты . . . . .	78
2.5. Протяжки . . . . .	90
2.6. Хонинговальные головки. . . . .	104
3. ИНСТРУМЕНТЫ С ОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ БАЗИРОВАНИЯ . . . . .	113
3.1. Сверла . . . . .	113
3.2. Расточные инструменты . . . . .	187
4. СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ . . . . .	196
4.1. Станки для сверления глубоких отверстий . . . . .	196
4.2. Станки для протягивания глубоких отверстий. . . . .	237
4.3. Станки для хонингования глубоких отверстий. . . . .	242
5. КОНТРОЛЬ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ. . . . .	251
5.1. Геометрические параметры глубоких отверстий . . . . .	251
5.2. Контроль диаметров глубоких отверстий . . . . .	252
5.3. Контроль увода осей глубоких отверстий . . . . .	258
5.4. Контроль отклонения от прямолинейности осей глубоких отверстий . . . . .	263
5.5. Контроль шероховатости глубоких отверстий . . . . .	272

ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . .	277
1. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Длинная серия (ГОСТ 886–77) . . . . .	277
2. Сверла спиральные с коротким цилиндрическим хвостовиком. Длинная серия (ГОСТ 12122–77) . . . . .	283
3. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком для обработки легких сплавов. Длинная серия (ГОСТ 19544–74) . . . . .	286
4. Спиральные сверла с цилиндрическим хвостовиком (ТУ2–035–402–75). . . . .	293
5. Сверла спиральные для обработки глубоких отверстий в труднообрабатываемых сталях (ТУ 2–035–731–80) . . . . .	295
6. Сверла спиральные длинные с коническим хвостовиком (ГОСТ 12121–77) . . . . .	297
7. Спиральные сверла с цилиндрическим хвостовиком. Сверхдлинная серия (ТУ 2–035–600–77) . . . . .	303
8. Сверла спиральные удлиненные с коническим хвостовиком (ГОСТ 2092–77) . . . . .	305
9. Сверла спиральные с коническим хвостовиком и удлиненной рабочей частью, без подвода и с подводом СОЖ (ТУ 2–035–721–80) . . . . .	309
10. Сверла спиральные с отверстиями для охлаждения (ТУ 2–035–447–76). . . . .	314
11. Сверла шнековые с цилиндрическим хвостовиком (ТУ 2–035–425–75). . . . .	315
12. Сверла шнековые с коническим хвостовиком (ТУ 2–035–426–75). . . . .	319
13. Сверла ружейные, оснащенные цельной твердосплавной рабочей частью (ТУ 2–035–655–79) . . . . .	322
14. Сверла ружейные, оснащенные твердосплавными пластинами (ТУ 2–035–722–80). . . . .	324
15. Головки сверлильные типа БТА (ТУ 2–035–859–81) . . . . .	325
16. Стебли сверл типа БТА (ТУ 2–035–859–81) . . . . .	327
17. Сверла эжекторные (ТУ 2–035–857–81) . . . . .	329
18. Головки сверлильные эжекторных сверл (ТУ 2–035–857–81) . . . . .	332
19. Стебли эжекторных сверл (ТУ 2–035–857–81) . . . . .	335
20. Тонкостенные трубы эжекторных сверл (ТУ 2–035–857–81) . . . . .	337
 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	 339

## ВВЕДЕНИЕ

---

Отверстия глубиной более пяти диаметров, для получения которых требуется применение специальных режущих инструментов и станков, относят к глубоким отверстиям [33, 44, 45, 65].

Они необходимы практически во всех отраслях современного машиностроения. При этом в качестве обрабатываемых материалов используют низколегированные стали, стали твердостью до 42...44 HRC, чугуны, титан, цирконий, уран, чистый алюминий, электролитическую медь, графит и др. [78].

Обработка глубоких отверстий требует больших затрат средств и времени. Поэтому в нашей стране и за рубежом (в рамках международной организации «Boring and Tapering Association») постоянно ведутся интенсивные исследования по ее совершенствованию. В результате этой деятельности была создана широкая гамма инструментов и станков для обработки глубоких отверстий, специальных марок смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), приборов для контроля глубоких отверстий и др. Это позволило резко повысить производительность, точность и экономическую эффективность процесса обработки глубоких отверстий.

Справочник является обобщением опыта российских и зарубежных исследователей. Он дает более полную информацию о современном состоянии вопроса обработки глубоких отверстий.

В справочнике приведены описания современных конструкций инструментов для обработки глубоких отверстий. Даны рекомендации по их проектированию, изготовлению и эксплуатации. Приведены сведения о технологии обработки глубоких отверстий. Рассмотрены современные конструкции станков для обработки глубоких отверстий и приборов для контроля геометрических параметров глубоких отверстий.

Представленные в справочнике сведения могут быть использованы при разработке новых технологических процессов обработки глубоких отверстий и разработке прогрессивных конструкций инструментов и станков для их реализации.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

---

Обработка глубоких отверстий является весьма специфической технологической операцией. Для ее эффективной реализации необходимо знать особенности обработки глубоких отверстий мерными инструментами, требования к применяемым смазочно-охлаждающим технологическим средствам (СОТС), особенности дробления стружки мерными инструментами, способы базирования заготовок на станках для обработки глубоких отверстий и др.

## 1.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Обработка отверстий сверлением известна с древнейших времен [67]. Однако потребность обработки глубоких отверстий в металлах появилась только в XV веке. Это было вызвано, прежде всего, изобретением огнестрельного оружия и возникшей в связи с этим необходимостью обработки каналов ружейных и пушечных стволов.

Первые инструменты для обработки глубоких отверстий в полых отливках стволов были составными и представляли собой дубовый стержень, на одном из концов которого обручами закреплялись в несколько рядов стальные закаленные резцы (рис. 1.1). Позднее эти инструменты стали изготавливать цельнометаллическими.

В начале XVI века для сверления глубоких отверстий применяли перовые сверла. Их получали из стального прутка, один конец которого расплющивали, закаливали, а затем затачивали. Первоначально перо-

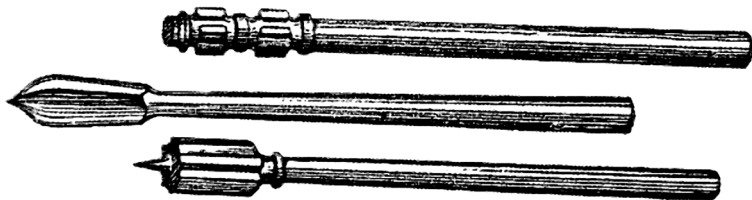
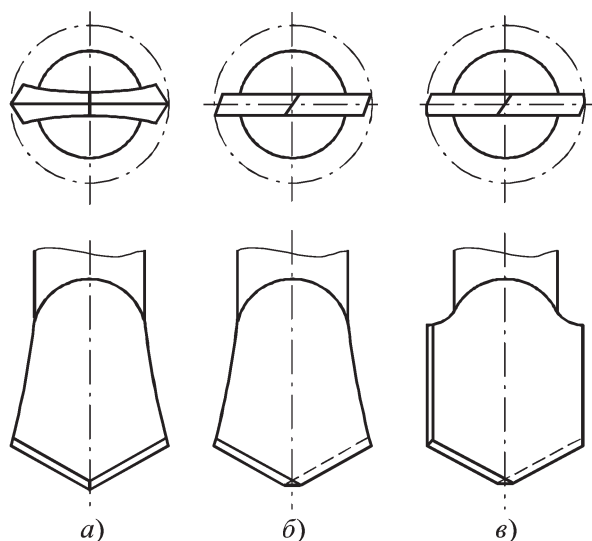


Рис. 1.1. Старинные инструменты для обработки каналов стволов огнестрельного оружия (XV в.)

вые сверла были двухсторонними, что позволяло их вращать в обе стороны (рис. 1.2, *а*). Однако из-за неблагоприятных геометрических параметров они не резали, а лишь скоблили металл, и поэтому были низкопроизводительными. Появившиеся позднее односторонние перовые сверла можно было вращать только в одну сторону (рис. 1.2, *б*). В процессе обработки они срезали стружку, для удаления которой необходимо было периодически выводить сверло из отверстия. Более поздние конструкции перовых сверл имели калибрующие ленточки, что способствовало повышению точности отверстий и снижению шероховатости их поверхностей (рис. 1.2, *в*).

В конце XVIII века для сверления глубоких отверстий стали применять пушечные сверла (рис. 1.3). От перовых сверл их отличало наличие одной режущей кромки, создающей радиальную составляющую силы резания, прижимающую режущую часть сверла к стенкам обработанного отверстия. В результате точность обработки возросла, а производительность, из-за необходимости периодического вывода сверла, по-прежнему оставалась невысокой.



**Рис. 1.2. Перовые сверла:**

*а* — двухстороннее; *б* — одностороннее без калибрующих ленточек; *в* — одностороннее с калибрующими ленточками

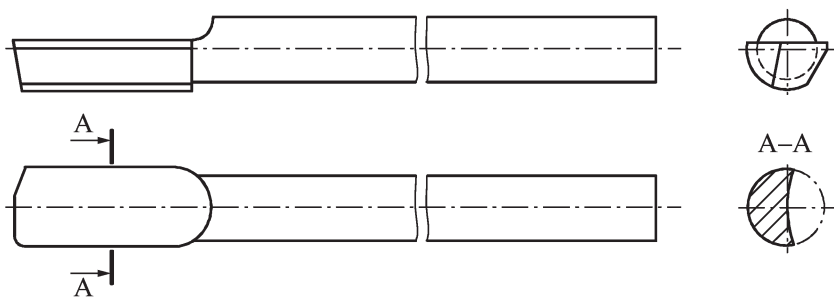


Рис. 1.3. Пушечное сверло

Изобретение в середине XIX века спирального сверла дало новый толчок развитию технологии обработки отверстий. Однако для сверления глубоких отверстий эти инструменты были малопригодны.

На рубеже XIX и XX веков был разработан усовершенствованный вариант пушечного сверла — ружейное сверло<sup>1</sup> (рис. 1.4) [14]. Его основное отличие от пушечного сверла заключалось в использовании внутреннего подвода СОЖ в зону резания и наружного отвода стружки, что обеспечивало ее непрерывный отвод. Благодаря этому новшеству возросли производительность процесса сверления и стойкость инструмента.

В начале XX века на базе спирального сверла было создано сверло Морзе. Оно представляло собой двухлезвийную сверлильную головку с четырьмя калибрующими ленточками, навинчиваемую на трубчатый стембель (рис. 1.5) [1]. Наружный подвод СОЖ и внутренний отвод стружки обеспечивали, как и у ружейных сверл, непрерывность процесса сверления, исключали попадание стружки под калибрующие ленточки инструмента, а тем самым и порчу обработанной поверхности.

Дальнейшее совершенствование сверла Морзе привело к созданию в 30-х гг. XX века однолезвийной головки, представляющей собой комбинацию сверла Морзе и пушечного сверла (рис. 1.6).

В 1942 г. Weissner (Германия) получил патенты № 767138 и № 848140 на однолезвийную сверлильную головку, которая в отличие от предыдущей конструкции была оснащена напайными твердосплавными одной режущей и двумя направляющими пластинами (см. рис. 3.27).

<sup>1</sup> В нашей стране ружейные сверла применяют с 1930 г. [1]



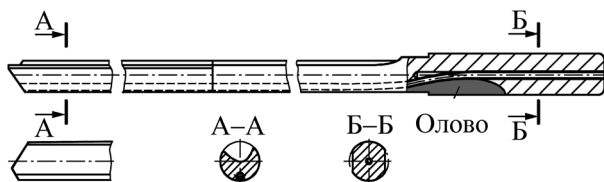


Рис. 1.4. Ружейное сверло

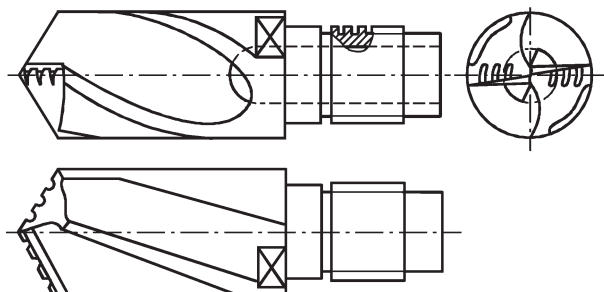


Рис. 1.5. Режущая головка сверла Морзе

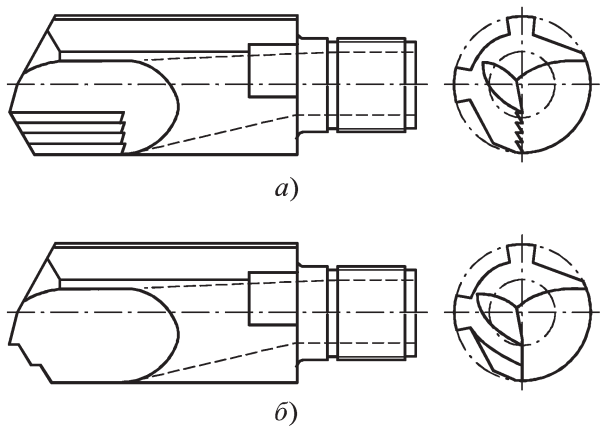


Рис. 1.6. Режущие головки сверл с внутренним отводом стружки:  
*a* — стружколомы на передней поверхности; *б* — стружколомы на задней поверхности

Благодаря применению твердого сплава, а также наружному подводу СОЖ и внутреннему отводу стружки производительность процесса сверления глубоких отверстий возросла в 8...10 раз. Столь высокая эффективность головок Beissner привела к тому, что после второй мировой войны ряд крупнейших инструментальных фирм Северной Америки и Европы создали международную организацию БТА (BTA — Boring and Trepanning Association) с целью совершенствования на базе патента Beissner инструментов, станков, технологии обработки глубоких отверстий и широкого их внедрения во все отрасли машиностроения.

За годы своего существования члены БТА проделали большую работу. Был, в частности, разработан комплекс инструментов для сверления (в том числе кольцевого) и растачивания глубоких отверстий, известных в настоящее время под названием «инструменты БТА». При этом способ наружного подвода СОЖ и внутреннего отвода стружки, применяемый у этих инструментов, получил название «способ БТА». Был освоен выпуск высокопроизводительных станков для обработки глубоких отверстий, разработаны и внедрены в производство новые марки СОЖ и др.

Работы в этом направлении продолжаются и в настоящее время.

## **1.2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ**

Обработка отверстий мерными инструментами, например спиральными сверлами, начиная с глубины (3...5) $D$ , где  $D$  — диаметр отверстия, становится малоэффективной, а зачастую вообще невозможной. Это объясняется, главным образом, малой жесткостью инструмента и трудностями подвода СОЖ в зону резания и отвода стружки.

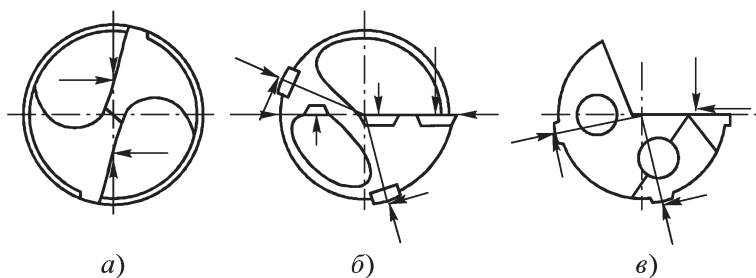
Малая жесткость консольно закрепленного мерного инструмента приводит к уводу осей обработанных отверстий, а также к вибрациям, снижающим стойкость инструмента, точность обработки и качество поверхностного слоя.

Самым эффективным способом, позволяющим свести до минимума увод осей отверстий и повысить точность их диаметральных размеров, является способ базирования рабочей части инструмента на поверхность обработанного отверстия. Для этого в инструменте предусматривают такое расположение лезвия (лезвий), когда специально создается радиальная составляющая силы резания, прижимающая направляющие инструмента к поверхностям отверстия, обработанного

впереди идущим лезвием (лезвиями) (рис. 1.7) [84–86]. Благодаря этому повышается точность обработки, а за счет выглаживающего действия направляющих уменьшается шероховатость поверхностного слоя отверстий.

Мерные инструменты, работающие по указанному принципу, относят к инструментам с определенностью базирования (сверла ружейные, БТА, эжекторные, кольцевые, расточные инструменты БТА и др.). Остальные мерные инструменты, используемые при обработке глубоких отверстий, относят к инструментам без определенности базирования (сверла перовые, спиральные, шнековые, протяжки, хоны и др.).

В современных конструкциях мерных режущих инструментов подвод СОЖ в зону резания при обработке глубоких отверстий достигается: а) поливом; б) через отверстия в корпусе инструмента (сверла перовые, спиральные, ружейные и др.); в) через кольцевой зазор между наружной поверхностью стебля инструмента и стенками обрабатываемого отверстия (сверла БТА, расточные инструменты БТА и др.); г) через кольцевой зазор между наружной и внутренней трубами стебля и отверстия в головке инструмента (эжекторные сверла). При этом отвод стружки осуществляется: а) вымыванием струей СОЖ, подаваемой поливом или под давлением через корпус инструмента (сверла спиральные, ружейные, БТА и др.); б) с помощью струйного насоса (эжекторные сверла); в) периодическим выводом инструмента из обрабатываемого отверстия (сверла перовые, спиральные); в) с помощью винтовых стружкоотводящих канавок (сверла перовые, спиральные, шнековые).



**Рис. 1.7. Системы сил, действующих в поперечном сечении:**  
*а* — спирального сверла; *б* — сверла БТА; *в* — ружейного сверла

### 1.3. БАЗИРОВАНИЕ МЕРНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ОТВЕРСТИЯХ

В процессе резания производящие поверхности мерных инструментов совпадают с поверхностями обработанных отверстий, базируются по ним, как по направляющим. При этом базами инструментов являются либо узкие калибрующие ленточки (сверла перовые, спиральные, шнековые и др.), либо широкие твердосплавные направляющие пластины (сверла ружейные, БТА, эжекторные и др.).

Базирование мерных инструментов сопровождается действием эффектов самонаправления и самоустанавливаемости [31]. Эффект самонаправления проявляется в стремлении инструмента совместить свою ось с осью обрабатываемого отверстия, а эффект самоустанавливаемости — в стремлении исключить избыточные связи в технологической системе, вызывающие деформации корпуса инструмента. В первом случае это достигается за счет равенства припусков, снимаемых каждым лезвием мерного инструмента. Во втором случае — путем введения в технологическую систему такого числа и вида (линейные и угловые) подвижностей, которое равно числу и виду связей, налагаемых кинематической парой «инструмент—заготовка» [31]. При обработке глубоких отверстий избыточные связи удаляются благодаря применению длинных мало жестких стеблей инструментов.

Анализ конструкций инструментов для обработки глубоких отверстий, опыт их эксплуатации показывают, что наибольшую эффективность по точности, качеству поверхностного слоя и производительности обработки эти инструменты достигают при совместном действии указанных эффектов и придании инструменту поперечной устойчивости — **определенности базирования**.

Расчет инструментов с определенностью базирования предусматривает, прежде всего, определение углов расположения лезвий и направляющих в соответствии со следующими требованиями [84, 86].

1. Расположение лезвий инструмента должно быть таким, чтобы сумма возникающих на лезвиях составляющих силы резания обеспечивала устойчивое в поперечном сечении отверстия положение инструмента.

2. Направляющие инструмента должны располагаться таким образом, чтобы перекрывался угол, в пределах которого может находиться вектор радиальной составляющей силы резания, прижимающей режущую часть инструмента к поверхности обработанного отверстия. При этом усилия прижима направляющих должны быть такими, чтобы обеспечивалось выглаживание поверхностей отверстий, а направляющие подвергались небольшому и одинаковому износу.

Исходя из понятия об устойчивости твердых тел против опрокидывания, F. Pfléghar [84, 86] для оценки поперечной устойчивости инструментов с определенностью базирования предложил использовать коэффициент устойчивости

$$S = \sum M_S / \sum M_K,$$

где  $\sum M_S$  — сумма восстанавливающих моментов;  $\sum M_K$  — сумма опрокидывающих моментов.

Восстанавливающие моменты относительно одной из направляющих стремятся прижать вторую направляющую к поверхности обработанного отверстия, а опрокидывающие — наоборот, оторвать ее. Если  $S > 1$ , то равновесие является устойчивым, если  $S < 1$  — равновесие отсутствует, а в случае  $S = 0$  — равновесие безразличное. В связи с тем что у инструментов с определенностью базирования имеется, как правило, две направляющие, то коэффициент устойчивости рассчитывают относительно каждой из них ( $S_1$  и  $S_2$ ). Затем из этих значений выбирают наименьшее как обеспечивающее худшие условия базирования инструмента.

Для расчета восстанавливающих и опрокидывающих моментов необходимо знать систему сил, действующих на инструмент. Например, у ружейного сверла эта система сил выглядит следующим образом (рис. 1.8) [86]. Здесь главная составляющая силы резания  $F_s$  приложена к лезвию инструмента на расстоянии  $H$  от ее оси. Перпендикулярно к

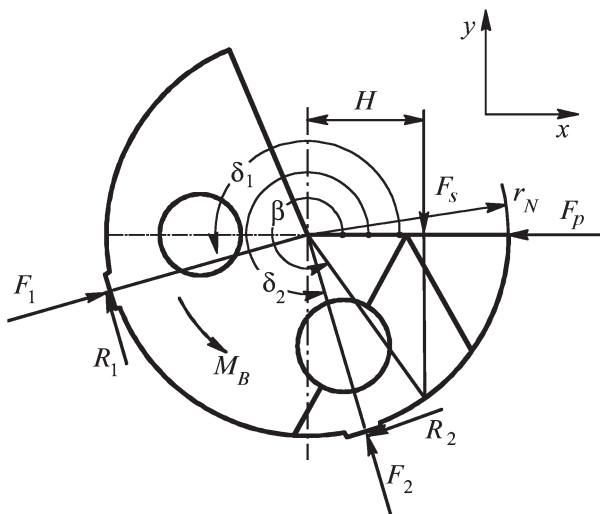


Рис. 1.8. Система сил, действующих на ружейное сверло (F. Pfléghar)

ней расположена радиальная составляющая  $F_p$ . Под действием этих составляющих на направляющих сверла возникают силы реакции: нормальные  $F_1$  и  $F_2$  и тангенциальные (силы трения)  $R_1$  и  $R_2$ .

Если задаться (экспериментально или аналитически) значениями составляющих  $F_s$  и  $F_p$  и принять, что  $R_1 = \mu F_1$  и  $R_2 = \mu F_2$ , где  $\mu$  — коэффициент трения на направляющих сверла, то из условия равновесия сил и крутящих моментов можно рассчитать силы реакции:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_p - R_1 \sin \delta_1 - R_2 \sin \delta_2 + F_1 \cos \delta_1 + F_2 \cos \delta_2 = 0; \\ \sum F_y &= F_s + F_1 \sin \delta_1 + F_2 \sin \delta_2 + R_1 \cos \delta_1 + R_2 \cos \delta_2 = 0; \\ \sum M &= F_s H + R_1 r_N + R_2 r_N - M_B = 0.\end{aligned}\quad (1.1)$$

Решения уравнений (1.1) могут быть представлены в общей форме [86]:

$$\begin{aligned}F_1 &= f_1(F_s, F_p, \delta_1, \delta_2, \mu); \\ F_2 &= f_2(F_s, F_p, \delta_1, \delta_2, \mu); \\ M_B &= \mu(F_1 + F_2)d_N / 2 + F_s H.\end{aligned}$$

При расчете коэффициента устойчивости многолезвийных головок БТА систему сил, действующих в поперечном сечении головки, упрощают. Для этого силы, расположенные слева и справа от оси головки, представляют в виде двух сил, приложенных в центре головки, — горизонтальной  $F_{hor}$  и вертикальной  $F_{ver}$ , а также крутящего момента резания  $M_s$  (рис. 1.9) [84]:

$$\begin{aligned}F_{hor} &= R_1 \sin \delta_1 + R_2 \sin \delta_2 - F_1 \cos \delta_1 - F_2 \cos \delta_2; \\ F_{ver} &= -F_1 \sin \delta_1 - F_2 \sin \delta_2 - R_1 \cos \delta_1 - R_2 \cos \delta_2; \\ M_B &= M_s + R_1 r_N + R_2 r_N.\end{aligned}$$

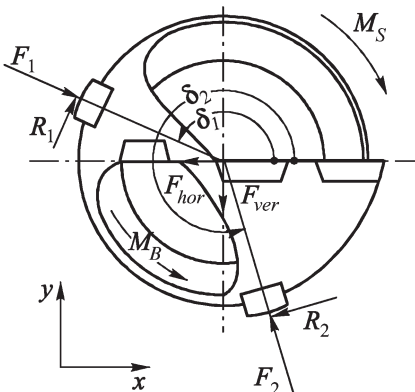


Рис. 1.9. Упрощенная система сил, действующих в поперечном сечении многолезвийной сверлильной головки БТА (F. Pfléghar)

Далее по формулам, приведенным на рис. 1.10, определяют суммы восстанавливающих и опрокидывающих моментов, а затем рассчитывают значения коэффициентов устойчивости для каждой из двух направляющих сверлильной головки.

Зависимость разбивки  $\Delta_p$  и отклонения от круглости  $\Delta_{кр}$  отверстий от коэффициента устойчивости  $S$  была подтверждена экспериментально при сверлении ружейными сверлами в стали С45N отверстий диаметром 12 мм глубиной 200 мм со скоростью резания 50 м/мин и подачей 0,03 мм/об (рис. 1.11) [84].

V. Latinovic и M.O.M. Osman [49] для оценки поперечной устойчивости многолезвийных режущих головок предложили рассматривать систему сил, изображенную на рис. 1.12. Условие равновесия такой системы сил имеет вид:

$$\bar{T} + \sum_{i=1}^n (\bar{r}_i \cdot \bar{F}_i) = 0; \quad i = 1, \dots, n; \quad (1.2)$$

$$\bar{R}_s = -\sum_{i=1}^n (\bar{F}_i), \quad (1.3)$$

где  $\bar{T}$  — крутящий момент;  $\bar{r}_i$  — вектор, определяющий положение составляющей сил резания относительно оси режущей головки;  $F_i$  — составляющая силы резания, действующей на  $i$ -м лезвии;  $\bar{R}_s$  — результирующая силы резания, приложенная в точке равновесия сил, действующих на головку.

Представляя уравнение (1.3) в комплексной форме, было определено значение результирующей силы

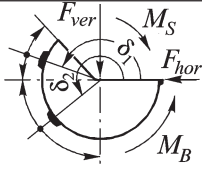
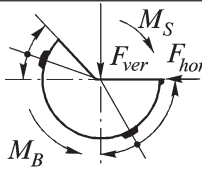
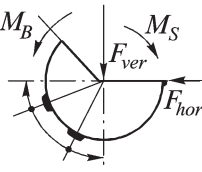
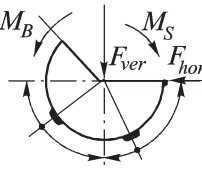
$$\bar{R}_s = |\bar{R}_s| e^{j\lambda} = -\sum_{i=1}^n (\bar{F}_i) e^{j(\theta_i + \Phi_i)}; \quad (1.4)$$

$$|\bar{R}_s| = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n |\bar{F}_i| \cos(\theta_i + \Phi_i) \right]^2 + \left[ \sum_{i=1}^n |\bar{F}_i| \sin(\theta_i + \Phi_i) \right]^2 \right\}^{1/2}, \quad (1.5)$$

где  $\lambda$  — угол, определяющий положение точки равновесия по отношению к оси  $X$ ;  $\theta_i$  — угол наклона составляющей силы резания, действующей на  $i$ -м лезвии;  $\Phi_i$  — угол, определяющий положения лезвий по отношению к оси  $X$ .

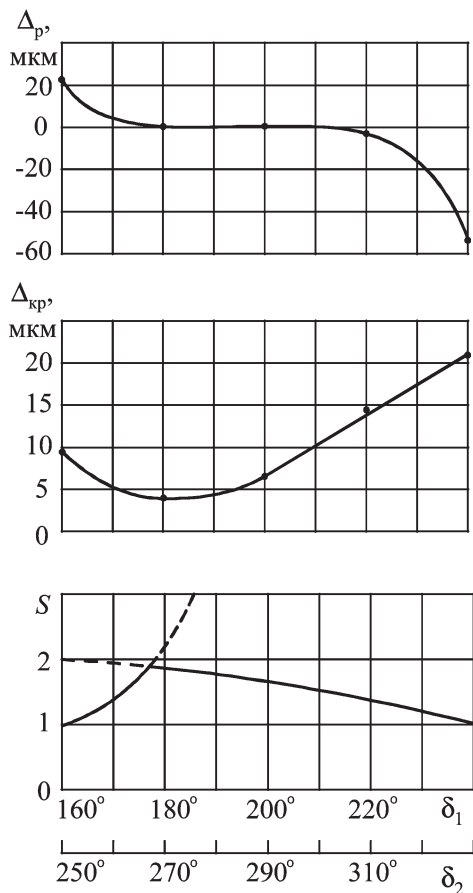
Затем рассчитывали угол  $\lambda$ :

$$\lambda = \arctg^{-1} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{F}_i| \sin(\theta_i + \Phi_i)}{\sum_{i=1}^n |\bar{F}_i| \cos(\theta_i + \Phi_i)} \right]. \quad (1.6)$$

 <p style="text-align: center;"> <math>110^\circ &lt; \delta_1 &lt; 180^\circ</math>  <math>180^\circ &lt; \delta_2 &lt; 270^\circ</math> </p> $M_{S_1} = F_{hor} r_N \sin \delta_1 - F_{ver} r_N \cos \delta_1 + M_S;$ $M_{K_1} = M_B;$ $M_{S_2} = M_B - F_{hor} r_N \sin \delta_2;$ $M_{K_2} = M_S - F_{ver} r_N \cos \delta_2$	 <p style="text-align: center;"> <math>110^\circ &lt; \delta_1 &lt; 180^\circ</math>  <math>270^\circ &lt; \delta_2 &lt; 360^\circ</math> </p> $M_{S_1} = M_S - F_{ver} r_N \cos \delta_1 + F_{hor} r_N \sin \delta_1;$ $M_{K_1} = M_B;$ $M_{S_2} = M_B + F_{ver} r_N \cos \delta_2 - F_{hor} r_N \sin \delta_2;$ $M_{K_2} = M_S$
 <p style="text-align: center;"> <math>180^\circ &lt; \delta_1 &lt; 270^\circ</math>  <math>180^\circ &lt; \delta_2 &lt; 270^\circ</math> </p> $M_{S_1} = M_S - F_{ver} r_N \cos \delta_1;$ $M_{K_1} = M_B - F_{hor} r_N \sin \delta_1;$ $M_{S_2} = M_B - F_{hor} r_N \sin \delta_2;$ $M_{K_2} = M_S - F_{ver} r_N \cos \delta_2$	 <p style="text-align: center;"> <math>180^\circ &lt; \delta_1 &lt; 270^\circ</math>  <math>270^\circ &lt; \delta_2 &lt; 360^\circ</math> </p> $M_{S_1} = M_S - F_{ver} r_N \cos \delta_1;$ $M_{K_1} = M_B - F_{hor} r_N \sin \delta_1;$ $M_{S_2} = F_{ver} r_N \cos \delta_2 - F_{hor} r_N \sin \delta_2 + M_B;$ $M_{K_2} = M_S$

**Рис. 1.10.** Формулы для расчета восстанавливающих  $M_S$  и опрокидывающих  $M_K$  моментов в зависимости от углов  $\delta_1$  и  $\delta_2$  расположения направляющих





**Рис. 1.11.** Влияние углов  $\delta_1$  и  $\delta_2$  расположения направляющих на разбивку  $\Delta_p$ , отклонение от круглости  $\Delta_{кр}$  отверстий и на коэффициент устойчивости  $S$  ружейного сверла

Решая уравнения (1.5) и (1.6), определяли место расположения направляющей пластины режущей головки и число лезвий инструмента, гарантирующее его поперечную устойчивость.

R. Stockert, U. Weber [89, 90] при расчете поперечной устойчивости многолезвийных головок исходили из того, что надежный прижим направляющих к стенкам обработанного отверстия возможен лишь в том

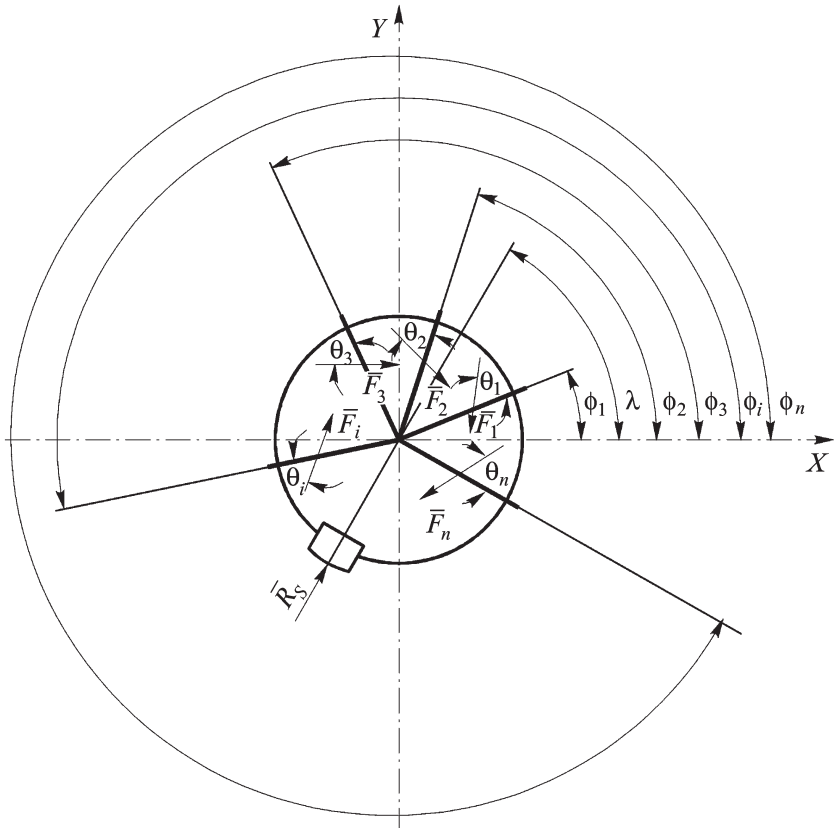


Рис. 1.12. Система сил, действующих на многолезвийную режущую головку  
(V. Latinovic и M.O.M. Osman)

случае, когда в процессе резания характеристическая точка  $A$  располагается внутри сектора, ограниченного направляющими (рис. 1.13). Если в точке  $A$  приложить определенную по величине и направлению силу, то инструмент будет находиться в равновесии относительно этой точки.

В этом случае положение точки  $A$  относительно первого лезвия инструмента определяется углом

$$\operatorname{arctg} W_{MS} = \frac{F_{s1} - \mu F_{p1} + \sin W_2 (\mu F_{s2} + F_{p2}) + \cos W_2 (F_{s2} - \mu F_{p2})}{\mu F_{s1} + F_{p1} + \sin W_2 (-F_{s2} + \mu F_{p2}) + \cos W_2 (\mu F_{s2} + F_{p2})}. \quad (1.7)$$

Нормальные усилия на направляющих можно рассчитать по формулам:

$$F_{N_1} = \frac{1}{\sin(S_1 - S_2)(1 + \mu^2)} \{ \cos S_2 [\mu F_{p_1} - F_{s_1} + \sin W_2 (-\mu F_{s_2} - F_{p_2}) + \cos W_2 (\mu F_{p_2} - F_{s_2})] + \sin S_2 [F_{p_1} + \mu F_{s_1} + \sin W_2 (-F_{s_2} + \mu F_{p_2}) + \cos W_2 (F_{p_2} + \mu F_{s_2})] \}; \quad (1.8)$$

$$F_{N_2} = \frac{1}{\sin(S_1 - S_2)(1 + \mu^2)} \{ \sin S_1 [-F_{p_1} - \mu F_{s_1} + \sin W_2 (-F_{s_2} - \mu F_{p_2}) + \cos W_2 (-F_{p_2} - \mu F_{s_2})] + \cos S_1 [-\mu F_{p_1} + F_{s_1} + \sin W_2 (\mu F_{s_2} + F_{p_2}) + \cos W_2 (-\mu F_{p_2} + F_{s_2})] \}.$$

Рассчитанное по формуле (1.7) значение угла  $W_{MS}$  получено из условия, что оси обрабатываемого отверстия и инструмента совпадают. Однако на практике часто имеет место несовпадение указанных осей, что сопровождается колебанием сил резания за каждый оборот заготовки

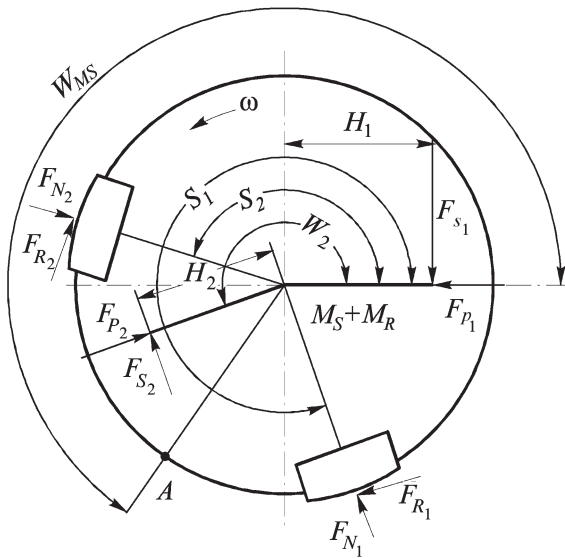


Рис. 1.13. Система сил, действующих на двухлезвийную сверлильную головку (R. Stockert, U. Weber)

и, в свою очередь, вызывает изменение значения угла  $W_{MS}$  на некоторую величину  $\Delta W_{MS}$ . Последняя оказывает большое влияние на величину углов  $S_1$  и  $S_2$  расположения направляющих. R. Stockert и U. Weber [90] рекомендуют угол между направляющими двухлезвийной головки брать равным  $S = S_1 - S_2 = 100^\circ$ . При этом величина  $\Delta W_{MS}$  не должна превышать  $40^\circ$ , так как в противном случае оставшийся угол  $W_R$ , который рассматривается как запас поперечной устойчивости головки, очень мал:  $W_R = (S_1 - S_2) - \Delta W_{MS} = 100^\circ - \Delta W_{MS}$ .

#### 1.4. СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Обработка глубоких отверстий режущими инструментами невозможна без применения СОЖ. В качестве последних чаще всего используют СОЖ, которые должны выполнять следующие функции: а) отвод теплоты из зоны резания; б) получение стружки транспортабельной формы и ее надежный отвод; в) смазка контактных поверхностей инструмента; г) обеспечение высокого качества поверхностного слоя отверстий.

На выбор марки СОЖ и способы ее подвода большое влияние оказывает конструкция режущего инструмента и, как следствие, уровень силовых и температурных нагрузок, действующих на инструмент в процессе резания. Например, при сверлении глубоких отверстий сверлом БТА диаметром 50 мм около 65 % потребляемой мощности тратится на процесс резания, а 35 % — на трение направляющих [91]. При этом температура в зоне контакта твердосплавных направляющих с поверхностью обработанного отверстия достигает  $700...800^\circ\text{C}$  [73]. Это оказывает негативное влияние на стойкость инструмента и качество поверхностного слоя отверстий. Поэтому при обработке глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования с целью уменьшения потерь на трение применяют в основном масляные СОЖ (табл. 1.1). Однако в ряде случаев из-за несоответствия свойствам обрабатываемого материала масляные СОЖ применять нельзя. Например, при обработке серого чугуна и алюминия используют водные СОЖ, а при обработке графита — сжатый воздух. Иногда масляные СОЖ нельзя применять и по эксплуатационным причинам, например на обрабатывающих центрах (ОЦ), для которых характерна единая система подачи СОЖ для всех операций. В этом случае обычно используют водные СОЖ, рискуя снижением стойкости инструмента и качества обработанной поверхности.

1.1. Некоторые марки отечественных и зарубежных масляных СОЖ, применяемых при обработке глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования

Марка СОЖ	Кинематическая вязкость, $\frac{\text{мм}^2/\text{с}}{50\text{ }^\circ\text{C}}$ $\frac{20}{40}/100\text{ }^\circ\text{C}$	Плотность, $\frac{\text{кг}/\text{м}^3}{20\text{ }^\circ\text{C}}$ $\frac{15\text{ }^\circ\text{C}}$	Температура вспышки в открытом тигле, $^\circ\text{C}$	Обрабатываемый материал	Изготовитель
МР-3	$\frac{5..17}{-}$	$\frac{850..1100}{-}$	$\geq 125$	Конструкционные, легированные, коррозионно-стойкие стали ( $d < 30\text{ мм}$ )	ВПО «Волгохим-нефть» (Россия) и др.
МР-7	$\frac{23..30}{-}$		180	Углеродистые, легированные, коррозионно-стойкие и жаропрочные стали ( $d > 30\text{ мм}$ )	
МР-2003	$\frac{18..30}{-}$	$\frac{880..930}{-}$	190	Высокопрочные стали, коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы	
Волгол-111	$\frac{9,5..11}{-}$		160	Углеродистые, легированные стали, чугуны, алюминий и его сплавы	
МР-4	$\frac{5,0..10}{-}$	-	120	Труднообрабатываемые стали, алюминий	ПФ «Олеокам» (Россия)
Присадка (20%) ЛЗ-23М	$\frac{10,5..59,2}{-}$	$\frac{950}{-}$	156	Стали	ЗАО «Невская смазочная компания» (Россия)

Продолжение табл. 1.1

Марка СОЖ	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с 50 °С $\frac{20}{40}/100$ °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup> 20 °С 15 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Обрабатываемый материал	Изготовитель
ГСВ-1	$\frac{10..18}{—}$	—	—	Конструкционные, легированные, коррозионно-стойкие стали	ОАО «Ивхим-пром» (Россия)
Shell Garia 402 F-15	$\frac{—}{23/11/2,9}$	$\frac{—}{860}$	160	Чугуны и легированные стали	
Shell Garia 404 M-10	$\frac{—}{22/10/2,6}$	$\frac{—}{881}$	148	Чугуны и стали	
Shell Garia 601 M-12	$\frac{—}{25/12/3,1}$	—	160	Коррозионно-стойкие, кислотостойкие, аустенитные, жаропрочные, низкоуглеродистые стали	Shell Lubricants (Великобритания — Голландия)
Shell Garia 601 M-22	$\frac{—}{55/22/4,6}$	$\frac{—}{882}$	190	Высоколегированные, коррозионно-стойкие, кислотостойкие, аустенитные, низкоуглеродистые стали	
Shell Garia 603 S-15	$\frac{—}{31,6/15,8/4,3}$	$\frac{—}{914}$	128	Коррозионно-стойкие, кислотостойкие, аустенитные стали, нимоники, инконели, титан	

Окончание табл. 1.1

Марка СОЖ	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с 50 °С 20 / 40 / 100 °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup> 20 °С 15 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Обрабатываемый материал	Изготовитель	
Castrol Nomilo 971	— — / 8,8 / —	— 854	138	Все металлы, за исключением медных сплавов	Deutsche Castrol Industrieöl (ФРГ)	
Castrol Nomilo 983	— — / 8,5 / —	— 850	130			
Castrol Variocut C334	— — / 11 / —	— 850	140			
Castrol Variocut D734	— — / 13,7 / —	— 873	150			
Castrol Variocut G485	— — / 10 / —	— 858	146			
Castrol Variocut C462	— — / 22,5 / —	— 882	182			Медные сплавы и стали

В последнее время для экономии затрат на покупку и утилизацию СОЖ, в целях охраны здоровья персонала и окружающей среды, ведутся опытные работы по использованию в качестве СОТС аэрозолей. Так, например, по данным фирмы Gühring (Германия) при сверлении в алюминиевом сплаве марки AlSi9Cu3 ружейными сверлами отверстий диаметром 10 мм и глубиной 200 мм при использовании аэрозоли вместо масляной СОЖ удалось повысить стойкость инструмента в 4,05 раза, подачу — в 3 раза, а скорость резания — в 1,23 раза (табл. 1.2). Для этого потребовалось изменить расположение подводящих отверстий в наконечнике сверла, изготовленном из ультрамелкозернистого твердого сплава марки DK460UF, направив аэрозоль к направляющим элементам инструмента (рис. 1.14).

### 1.2. Влияние вида СОТС на технологические характеристики процесса сверления глубоких отверстий ружейными сверлами

Инструмент	Технологические характеристики				
	Вид СОТС	Давление СОТС, МПа	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Стойкость, м
Стандартное ружейное сверло	Масляная СОЖ	8,0	130	0,05	80
Специальное ружейное сверло	Аэрозоль	0,3	160	0,15	324

При использовании аэрозолей большое влияние на результаты сверления оказывает их качество, зависящее, в свою очередь, от конструкции установки для ее приготовления. Схема одной из таких установок, предназначенных для подачи аэрозоли к ружейному сверлу, показана на рис. 1.15 [94]. Работает такая установка следующим образом: из пневмосети воздух под давлением 0,6 МПа через систему фильтров подается в компрессор 4 и далее в ресивер 6. Одновременно из бака 1 СОЖ в количестве не более 50...80 мг/ч подается в смеситель 2, где происходит смешивание жидкости и воздуха, поступающего из ресивера через клапан 3. Полученная смесь с помощью инжектора 7 через отверстия в стебле и наконечнике сверла впрыскивается в зону резания. Образующаяся в процессе сверления стружка по канавке стебля



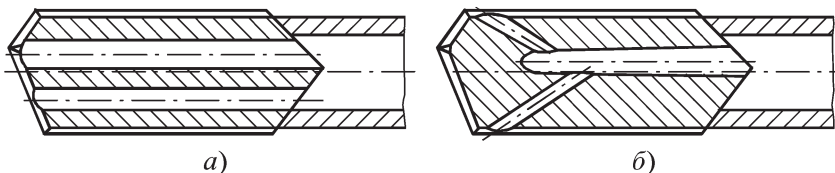


Рис. 1.14. Расположение каналов для подвода СОЖ в твердосплавном наконечнике ружейного сверла фирмы Gühring (Германия):

*a* — стандартного; *б* — специального

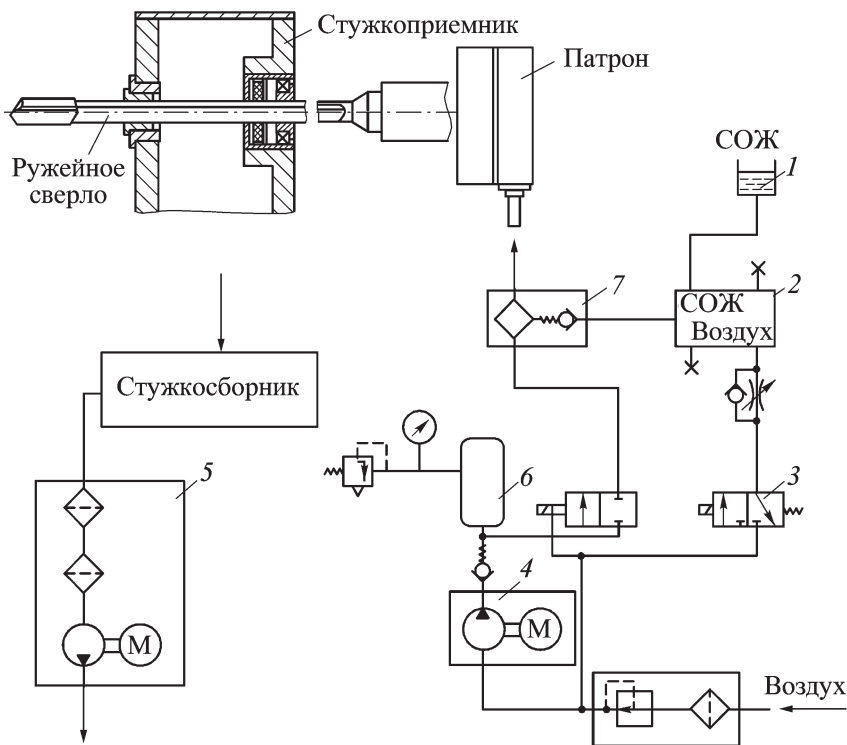


Рис. 1.15. Схема установки для подвода аэрозоли в зону резания ружейного сверла:

*1* — бак СОЖ; *2* — смеситель; *3* — клапан; *4* — компрессор; *5* — система фильтров; *6* — ресивер; *7* — инжектор

сверла подается в стружкоприемник станка, а затем в стружкосборник. Здесь аэрозоль с помощью системы фильтров 5 очищается от частиц СОЖ, а воздух отводится в атмосферу.

Для инструментов без определенности базирования характерны благоприятные условия трения на направляющих элементах — калибрующих ленточках. Поэтому при их использовании применяют в основном водные СОЖ — эмульсии концентрацией 3...20 % марок Аквол-6, Пермол-6, Укринол-1М, Техмол-1 и др. [59]. Их изготавливают из концентратов — эмульсолов, состоящих из базовой масляной основы, эмульгатора, противоизносных, противозадирных и антифрикционных присадок, а также специальных добавок — ингибиторов, стабилизаторов, антипенных присадок и др.

В отличие от водных СОЖ, масляные жидкости состоят из базового минерального масла и присадок различного функционального назначения: антифрикционных, антиокислительных, антипенных, моющих и др. Эти СОЖ оказывают хорошее смазочное и относительно низкое охлаждающее действия, имеют высокую стоимость и характеризуются повышенной пожароопасностью.

Минеральное масло представляет собой смесь парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов. Для СОЖ используют масла с высоким содержанием парафиновых углеводородов и низким содержанием ароматических углеводородов. Последние обладают лучшей стойкостью к окислению, менее токсичны, так как ароматическая фракция в масле, некоторые компоненты которой канцерогенны, очень мала. Ароматические углеводороды не разрушают резиновые уплотнения станков и оснастки, они прозрачны, что позволяет визуально контролировать в потоке СОЖ форму стружки.

Введение в минеральное масло химически активных противоизносных и противозадирных присадок (S, Cl, P) улучшает ее смазочное действие и сопротивление высоким давлению и температуре. По своему строению эти присадки существенно отличаются от присадок поверхностно-активных веществ (ПАВ) — растительных и животных жиров, а также жиров, содержащих глицериды высших жирных кислот (пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и др.). Механизм действия химически активных присадок складывается из трех процессов: 1) адсорбция (хемосорбция) молекул присадок на поверхности трения; 2) химические превращения (или разложение) присадок при повышенных температурах в местах контакта; 3) химическое взаимодействие наиболее активных продуктов превращения (или разложения) присадок с металлом поверхностей трения — химическое модифицирование поверхностей трения [8, 55].

На химическое взаимодействие присадок с металлическими поверхностями трения определяющее влияние оказывают повышенная температура и каталитическое воздействие ювенильной (не покрытой какой-либо пленкой) поверхности металла. Последняя образуется в результате схватывания (заедания) металла и разрыва металлических связей и является весьма реакционноспособной.

Примерные температуры реакций с металлом некоторых присадок к масляным СОЖ представлены в табл. 1.3 [40, 95].

### 1.3. Температурные пределы реакций с металлом некоторых активных присадок к масляным СОЖ

Присадки	$t$ , °С	Продукты реакции
Растительные и животные жиры	130*	Адсорбционные смазочные пленки
Жирные кислоты	180...215	Хемосорбированные пленки металлических мыл
Хлорсодержащие	140...530	Хлориды
Фосфорсодержащие	200...650	Фосфиды
Серосодержащие, включая элементарную серу	200...1000	Сульфиды

\* Температура застывания капли жира на металле.

Образующиеся модифицированные слои представляют собой твердые смазочные пленки, которые эффективно защищают поверхности контакта от схватывания (заедания). Являясь солями железа, они выдерживают, не разрушаясь, высокие температуры (хлоридные — 400 °С, сульфидные — 800 °С, фосфидные — 1000 °С) [96]. Эти пленки обладают анизотропией — неодинаковостью механических свойств в разных направлениях: выдерживают высокие нормальные нагрузки и оказывают малое сопротивление действию касательных нагрузок, что способствует снижению сил трения.

Важным свойством масляных СОЖ является вязкость, которая сильно зависит от температуры жидкости: при повышении температуры вязкость уменьшается, а при понижении — увеличивается. Отсюда появляется необходимость выбора оптимальной вязкости СОЖ.

Опыт эксплуатации масляных СОЖ при обработке глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования показывает, что кинематическая вязкость этих жидкостей при температурах 20 и 50 °С должна быть равной соответственно 20...40 и 6...20 мм<sup>2</sup>/с [76, 92, 96]. При этом оптимальный диапазон вязкости СОЖ должен находиться в пределах рабочих температур 30...40 °С (рис. 1.16). Это объясняется тем, что при температуре ниже 20 °С повышается вязкость СОЖ и ухудшаются ее моющее и охлаждающее действия. При температуре более 40...50 °С жидкость начинает терять свои эксплуатационные свойства из-за окисления, повышенного испарения, старения и истощения присадок.

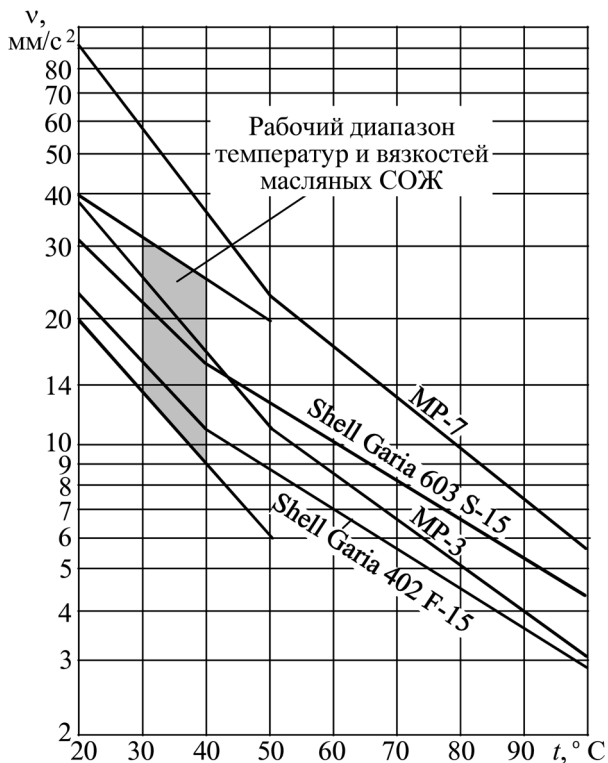


Рис. 1.16. Влияние температуры  $t$  на кинематическую вязкость  $\nu$  некоторых марок масляных СОЖ

Причиной нагрева СОЖ при обработке глубоких отверстий является, в основном, теплота, выделяемая в процессе резания (зависит от потребляемой мощности) и, в меньшей мере, в результате работы насоса гидростанции станка. Например, при сверлении глубоких отверстий сверлами БТА диаметром 20 мм потребляемая мощность равна 4,65 кВт, диаметром 40 мм — 12,78 кВт, а при кольцевом сверлении головками диаметром 80 мм — 22,08 кВт [96].

Большое влияние на температуру СОЖ оказывают также объем бака насосной станции и размеры заготовки. Считается, что для эффективного охлаждения СОЖ полезный объем бака должен быть равным десятиминутной производительности насоса. Если температура СОЖ в баке превышает 50 °С, то в насосной станции необходимо установить теплообменники. Поскольку водяные теплообменники требуют подвода к баку водопровода и канализации, а также большого расхода воды и не исключают ее попадания в СОЖ, чаще всего используют воздушные теплообменники.

Для выявления потребности в теплообменниках нужно знать время, необходимое для нагрева СОЖ в диапазоне температур от 20 до 50 °С. Фирма Sandvik Coromant (Швеция) рекомендует это время рассчитывать по формуле

$$t_n = kV_6P_n,$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий тип СОЖ,  $k = 14,25$  — масляные СОЖ,  $k = 33,8$  — водные СОЖ;  $V_6$  — объем бака, м<sup>3</sup>;  $P_n$  — мощность нагрева СОЖ, кВт.

Использование этой формулы рассмотрим на примере сверления глубоких отверстий эжекторным сверлом диаметром 100 мм, когда объем бака насосной станции равен 8 м<sup>3</sup>, а фактическое время сверления составляет 50 % от календарного времени. В этом случае мощность нагрева СОЖ равна 16 кВт, а мощность охлаждения 6 кВт (табл. 1.4). Отсюда мощность нагрева СОЖ в баке  $P_n = 16 - 6 = 10$  кВт, а время нагрева масляной СОЖ в диапазоне температур 20...50 °С:

$$t_n = \frac{14,25 \cdot 8}{10} = 11,4 \text{ ч.}$$

Следовательно, при односменной работе станка для сверления глубоких отверстий теплообменник не нужен.

Большое значение при обработке глубоких отверстий инструментами с внутренним подводом СОЖ придается ее очистке от механических примесей. Это объясняется негативным воздействием последних на стойкость инструментов и шероховатость поверхностного слоя об-

работанных отверстий. Особенно сильно это проявляется при использовании инструментов с определенностью базирования, так как загрязнение СОЖ частицами стружки и пыли может привести к закупорке подводящих каналов инструмента, а также к абразивному воздействию на инструмент и поверхность отверстия частиц стружки в случае их попадания на режущие и направляющие пластины. Поэтому системы очистки станков для сверления глубоких отверстий должны удалять из СОЖ твердые частицы размером 10...50 мкм и более, а при использовании раскатников — более 5...10 мкм [76, 96].

#### 1.4. Исходные данные для расчета времени, необходимого для нагрева СОЖ в диапазоне температур 20...50 °С, фирма Sandvik Coromant (Швеция)

##### Процесс нагрева и охлаждения в течение 100% календарного времени

Диаметр инструмента, $d$ , мм	Мощность нагрева, кВт			Мощность охлаждения, кВт			Мощность нагрева СОЖ, кВт, при объеме бака, м <sup>3</sup>			
	Инструмент	Насос	Общая	Заготовка	СОЖ при объеме бака, м <sup>3</sup>			1	8	30
					1	8	30			
20	6	9	15	1	2	7	16	12	7	—
30	9	10	19	1	2	7	16	16	11	2
40	12	12	24	2	2	7	16	20	15	6
60	18	15	33	3	2	7	16	28	23	14
70	21	17	38	3	2	7	16	33	28	19
100	30	20	50	5	2	7	16	43	38	29
120	36	20	56	5	2	7	16	49	44	35
150	45	20	65	7	2	7	16	56	51	42
200	60	20	80	9	2	7	16	69	64	55
250	65	20	95	12	2	7	16	81	76	67

##### Сверла БТА

20	6	9	15	1	2	7	16	12	7	—
30	9	10	19	1	2	7	16	16	11	2
40	12	12	24	2	2	7	16	20	15	6
60	18	15	33	3	2	7	16	28	23	14
70	21	17	38	3	2	7	16	33	28	19
100	30	20	50	5	2	7	16	43	38	29
120	36	20	56	5	2	7	16	49	44	35
150	45	20	65	7	2	7	16	56	51	42
200	60	20	80	9	2	7	16	69	64	55
250	65	20	95	12	2	7	16	81	76	67

Продолжение табл. 1.4

Диаметр инструмента, $d$ , мм	Мощность нагрева, кВт			Мощность охлаждения, кВт				Мощность нагрева СОЖ, кВт, при объеме бака, м <sup>3</sup>		
	Инструмент	Насос	Общая	Заготовка	СОЖ при объеме бака, м <sup>3</sup>			1	8	30
					1	8	30			
300	90	20	110	13	2	7	16	95	90	81
400	120	20	130	18	2	7	16	110	105	96

*Эжекторные сверла*

20	6	2	8	1	2	7	16	5	—	—
30	9	2	11	1	2	7	16	8	3	—
40	12	3	15	2	2	7	16	11	6	—
60	18	4	22	3	2	7	16	17	12	3
70	21	4	25	3	2	7	16	20	15	6
100	30	5	35	5	2	7	16	28	23	14
120	36	5	41	5	2	7	16	34	29	20
150	45	6	51	7	2	7	16	42	37	28
200	60	7	67	9	2	7	16	56	51	42
250	75	9	81	12	2	7	16	67	62	53

*Кольцевые сверла*

120	35	20	55	5	2	7	16	48	43	34
150	37	20	57	7	2	7	16	48	43	34
200	47	20	67	9	2	7	16	56	51	42
250	50	20	70	12	2	7	16	56	51	42
300	52	20	72	13	2	7	16	57	52	43
400	54	20	74	18	2	7	16	54	40	40

Продолжение табл. 1.4

Процесс нагрева и охлаждения в течение 50 % календарного времени							
Диаметр инструмента, $d$ , мм	Мощность нагрева, кВт	Мощность охлаждения, кВт, при объеме бака, м <sup>3</sup>			Мощность нагрева СОЖ, кВт, при объеме бака, м <sup>3</sup>		
		1	8	30	1	8	30
<i>Сверла БТА</i>							
20	7	2	6	12	5	1	—
30	9	2	6	12	7	3	—
40	11	2	6	12	9	5	—
60	15	2	6	12	13	9	3
70	18	2	6	12	16	12	6
100	23	2	6	12	21	17	11
120	26	2	6	12	24	20	14
150	30	2	6	12	28	24	18
200	37	2	6	12	35	31	25
250	43	2	6	12	41	37	32
300	60	2	6	12	48	44	38
400	60	2	6	12	56	52	46
<i>Эжекторные сверла</i>							
20	4	2	6	12	2	—	—
30	5	2	6	12	3	—	—
40	7	2	6	12	5	1	—
60	10	2	6	12	8	4	—
70	11	2	6	12	9	5	—



Окончание табл. 1.4

Диаметр инструмента, $d$ , мм	Мощность нагрева, кВт	Мощность охлаждения, кВт, при объеме бака, м <sup>3</sup>			Мощность нагрева СОЖ, кВт, при объеме бака, м <sup>3</sup>		
		1	8	30	1	8	30
100	16	2	6	12	14	10	4
120	18	2	6	12	16	12	6
150	22	2	6	12	20	16	10
200	30	2	6	12	28	24	18
250	36	2	6	12	34	30	22

*Кольцевые сверла*

120	26	2	6	12	24	20	12
150	26	2	6	12	24	20	12
200	30	2	6	12	28	24	18
250	30	2	6	12	28	24	18
300	30	2	6	12	28	24	18
400	30	2	6	12	28	24	18

Примечание. Размеры заготовок: длина  $20d$ , диаметр  $2d$ , где  $d$  — диаметр инструмента.

Очистка СОЖ предотвращает появление у станочников кожных заболеваний, так как частицы стружки часто повреждают кожу и способствуют попаданию в организм человека различных бактерий и микроорганизмов. В результате загрязнения СОЖ и поражения ее бактериями и микроорганизмами изменяются физико-химические свойства жидкости. Поэтому очень важно соблюдать графики замены СОЖ и очистки трубопроводов, а также систем ее подачи в станках. Например, фирма Tiefbohrtechnik (Германия) рекомендует заменять масляные СОЖ через 3000 часов работы станка для обработки глубоких отверстий.

В нашей стране масляные СОЖ рекомендуют заменять через 6 месяцев, а водные СОЖ — через 3 месяца [52, 59].

В особых случаях рекомендуется проводить через определенные промежутки времени лабораторные анализы СОЖ на вязкость и содержание присадок. Это позволяет получать данные об уровне эксплуатационных свойств жидкостей и своевременно осуществлять их замену.

В процессе обработки глубоких отверстий объем СОЖ в системе охлаждения инструмента постоянно уменьшается, так как часть жидкости уносится стружкой и деталями, а часть испаряется и разбрызгивается, что требует периодического долива недостающей части жидкости.

Объем СОЖ, уносимый стружкой, зависит от веса стружки; ее типа, определяемого, в основном, конструкцией инструмента и обрабатываемым материалом; вязкости жидкости и других факторов. По данным фирмы Tiefbohrtechnik (Германия), унос масляной СОЖ стружкой, получаемой при сверлении отверстий ружейными сверлами, равен 0,1...1,0 л/кг стружки, а сверлами БТА и эжекторными сверлами — 0,01...0,1 л/кг стружки.

В станках для сверления глубоких отверстий СОЖ от стружки отделяют с помощью различных фильтров и центрифуг. В последнем случае возврат СОЖ составляет 80...90 %. Для сравнения: возврат СОЖ при ее стекании со стружки при гравитационном способе очистки — около 10 % за 100 мин.

Унос СОЖ деталями зависит от площади и шероховатости поверхности детали, вязкости СОЖ и других факторов. Например, при обработке стальных деталей с шероховатостью поверхности  $R_z = 0,5...500$  мкм удельный унос масляных СОЖ равен 18...50 мг/см<sup>2</sup> [59].

Потери масляных СОЖ вследствие испарения и разбрызгивания обычно относительно невелики, так как в современных конструкциях станков для обработки глубоких отверстий зона обработки закрыта системой ограждений.

При протягивании глубоких отверстий применяют следующие марки отечественных СОЖ [59]:

- а) масляные — В-3 марок А и М, ГСВ-1, МР-4, МР-6, МР-2003 и др.;
- б) водные — Аквол-6 (5...20 %-ная эмульсия), Пермол (3...10 %-ная эмульсия), Укринол-1М (2...3 %-ная эмульсия), Прогресс-13К (3...5 %-ный раствор), Эфтол (3...5 %-ный раствор), Сульфогал (3...10 %-ный раствор) и др.

При хонинговании применяемые жидкости должны обладать, прежде всего, повышенными моющим, а только затем смазочным и охла-

ждающим действиями. Это объясняется тем, что при хонинговании применяют мелкозернистые абразивные и алмазные бруски, что затрудняет вымывание с их поверхностей образующейся стружки и продуктов износа. Для хонингования характерны также низкие скорость резания и удельная нагрузка, в результате чего температура в зоне резания не превышает 150...200 °С [35].

Указанным требованиям отвечают следующие марки отечественных СОЖ [28, 59]:

а) водные — Атмол-06П марок А и Б (2...8 %-ная микроэмульсия), Гремлос (3...10 %-ный раствор), Камикс (1...3 %-ная микроэмульсия), Аквахон (0,5...1,0 %-ный раствор), Аспарин (2,5...3,0 %-ный раствор), Ивхон (2...3 %-ный раствор) и др.;

б) масляные — ОСМ-1, ЛЗ-СОЖ-1МИО, ЛЗН-СОЖ-11, МНШ-9, РЖ-М, РЖ-3, РЖ-8 и др.

На скорость и производительность процесса хонингования существенное влияние оказывает вязкость СОЖ. Причем более вязкие СОЖ используют при хонинговании пластичных металлов, дающих сливную стружку, а менее вязкие — при обработке хрупких металлов, например чугунов. Для повышения точности отверстий температура СОЖ не должна превышать 30 °С [80]. При повышенных требованиях к точности обработки температура СОЖ должна находиться в пределах 20...25 °С.

Для абразивного и алмазного хонингования применяют одни и те же СОЖ, причем, работая в одинаковых условиях, абразивные бруски обеспечивают меньшую шероховатость, чем алмазные бруски.

В процессе хонингования требуется непрерывная очистка СОЖ от шлама и случайных загрязнений, при этом тонкость очистки должна составлять не более 5...10 мкм. Для этого насосные станции хонинговальных станков оснащают различными фильтрами, магнитными сепараторами, магнитными уловителями, гидроциклонами и центрифугами [80]. При отсутствии систем очистки на обработанных поверхностях деталей появляются глубокие риски, которые могут стать причиной брака.

## 1.5. ДРОБЛЕНИЕ СТРУЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Одним из основных факторов, определяющих возможность осуществления процесса обработки глубоких отверстий лезвийными инструментами с высокими производительностью, точностью и качеством поверхностного слоя, является форма образующейся стружки. Для по-

лучения наиболее благоприятной формы стружки в виде небольших кусочков ее необходимо раздробить по ширине и длине. В зависимости от конструкции инструмента это делается по-разному.

Перовые сверла дробят стружку по ширине с помощью стружкоразделительных канавок, заточенных на задних поверхностях режущих пластин и расположенных в шахматном порядке по обе стороны оси сверла. Дробление стружки по длине осуществляют посредством стружколомающих порожков, заточенных на передних поверхностях режущих пластин, а также путем периодического вывода сверла из отверстия. Этот прием используют также при сверлении отверстий спиральными сверлами. При использовании шнековых сверл проблема дробления стружки стоит не так остро, так как их обычно используют для сверления чугуна и других хрупких металлов.

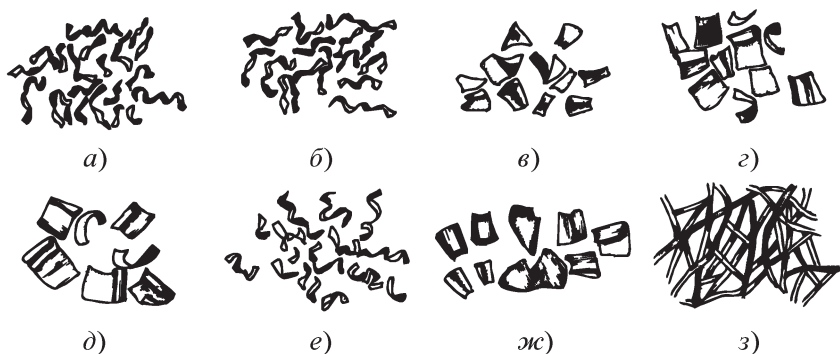
Иногда при сверлении отверстий диаметром менее 18 мм в металлах, дающих сливную стружку, ее дробления достигают путем наложения вибраций на инструмент [24, 38, 51]. Однако этот метод в настоящее время не получил широкого применения в машиностроении.

Для большинства конструкций инструментов с определенностью базирования оптимальная форма стружки по данным фирмы Gebrüder Heller (ФРГ) должна представлять собой короткие завитые кусочки, по форме близкие к цифре «6» длиной  $(0,1...0,2)d$ , где  $d$  — диаметр сверла (рис. 1.17) [82]. Исключение здесь составляют ружейные сверла, для которых характерна относительно длинная гофрированная стружка, которая хорошо удаляется СОЖ, так как оказывает большое гидравлическое сопротивление жидкости [51, 77].

Однолезвийные головки сверл БТА дробят стружку по ширине с помощью двух или трех (в зависимости от диаметра головки) торцевых уступов (см. рис. 3.27). Многолезвийные головки сверл БТА и эжекторных сверл делят стружку по ширине за счет расположения режущих пластин по обе стороны оси головки (см. рис. 3.29).

Дробление стружки по длине одно- и многолезвийными головками сверл БТА и эжекторных сверл осуществляют с помощью стружкодробящих порожков, расположенных на передних поверхностях режущих пластин и получаемых заточкой или прессованием с последующим спеканием. В этой связи появляется необходимость определения следующих параметров порожков, обеспечивающих получение стружки транспортабельной формы: высота  $h$ , длина  $l$ , радиус закругления  $r$  ( $r = h$ ) (рис. 1.18).

На практике эта задача часто решается подбором параметров порожка или путем построения диаграммы дробления стружки в зависи-



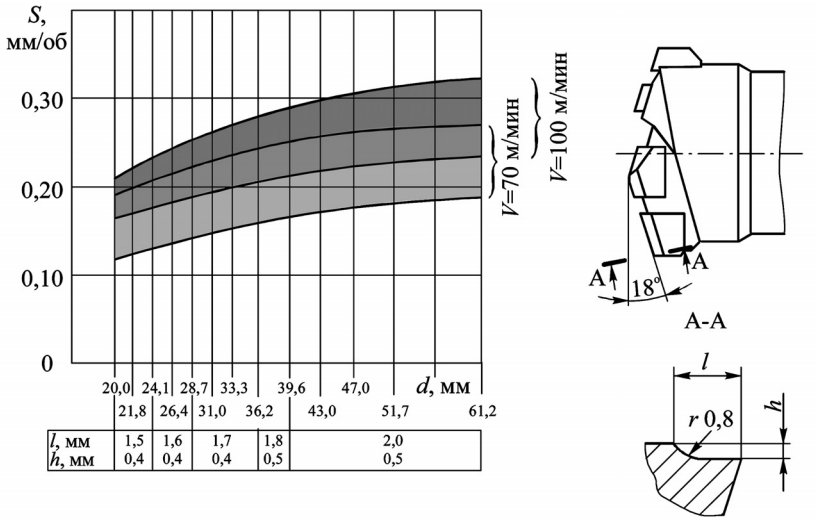
**Рис. 1.17. Оптимальная форма стружки при обработке глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования:**

*a* — ружейными сверлами; *б* — кольцевыми сверлами с наружным отводом стружки; *в* — сверлами БТА; *г* — кольцевыми сверлами БТА; *д* — расточными головками БТА; *е* — плавающими двухлезвийными расточными блоками; *ж* — эжекторными сверлами; *з* — недопустимая форма стружки

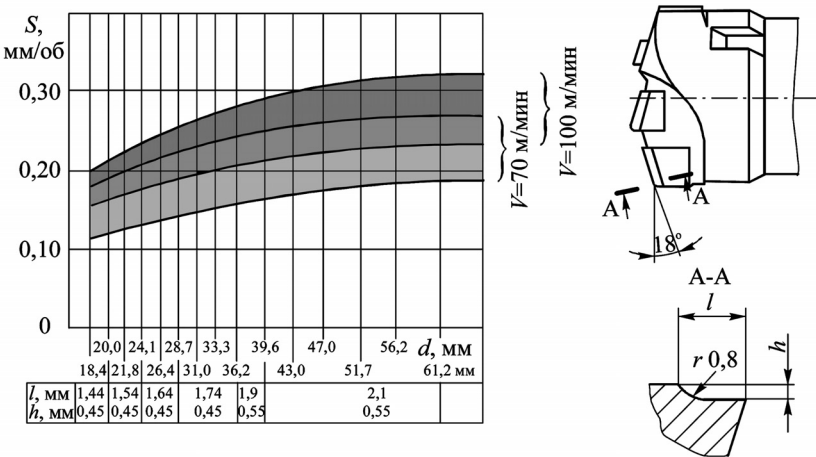
мости от диаметра инструмента, режимов резания, обрабатываемого материала, параметров порошка и применяемой СОЖ. На рис. 1.18 показана такая диаграмма, полученная фирмой Sandvik Coromant для случая обработки глубоких отверстий в стали С45 сверлами БТА и эжекторными сверлами.

Однако построение диаграммы дробления стружки — весьма затратное мероприятие, так как требует большого количества инструментов, обрабатываемого материала, СОЖ и времени. Поэтому более экономичной является методика, моделирующая процесс обработки глубокого отверстия точением [10, 25]. Суть ее заключается в следующем:

1. Получают картину распределения коэффициента усадки стружки  $k$ , по длине режущих кромок инструмента для обработки глубоких отверстий путем свободного точения втулок резцом с плоской передней поверхностью (рис. 1.19, *слева*) [25]. При этом резцы должны иметь геометрические параметры, соответствующие параметрам исследуемого инструмента. Например, при исследовании эжекторных сверл резец должен иметь передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , главный задний угол  $\alpha = 10^\circ$ , главный угол в плане  $\varphi = 72^\circ$ . В качестве СОЖ необходимо применять жидкость, используемую при обработке глубокого отверстия, и подавать ее в зону резания поливом.



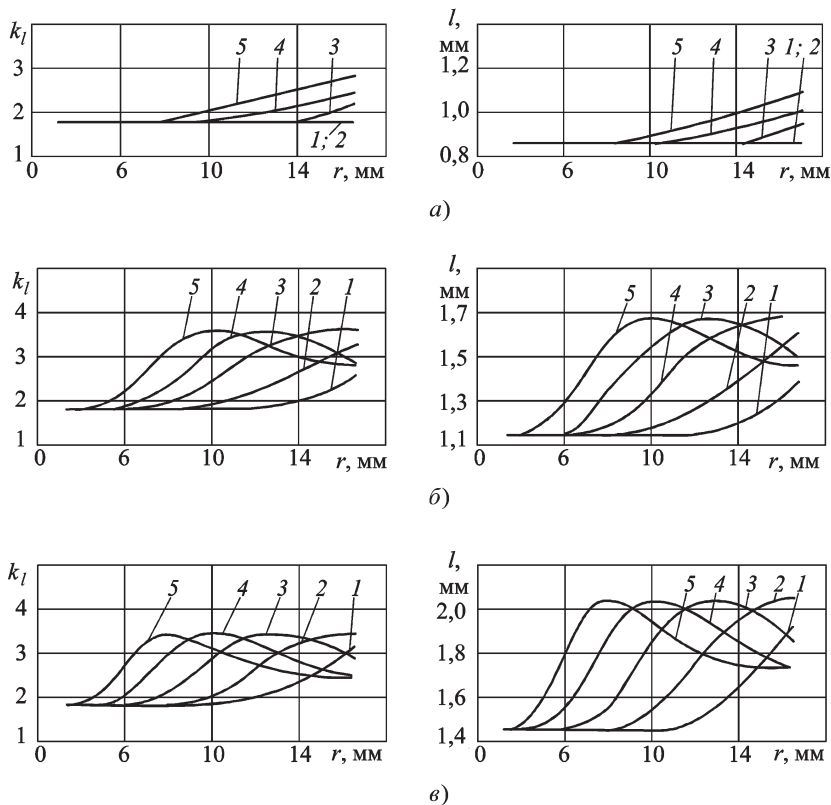
a)



б)

Рис. 1.18. Диаграмма дробления стружки головками сверл БТА и эжекторных сверл (обрабатываемый материал — нормализованная сталь С45):

a — порошки получены заточкой; б — порошки получены прессованием и последующим спеканием



**Рис. 1.19.** Изменение коэффициента усадки стружки  $k_l$  и длины стружкодробящего порожка  $l$  по радиусу  $r$  эжекторного сверла:

$a - S = 0,097$  мм/об;  $б - S = 0,17$  мм/об;  $в - S = 0,26$  мм/об ( $1 - n = 500$  мин<sup>-1</sup>,  $2 - n = 630$  мин<sup>-1</sup>,  $3 - n = 800$  мин<sup>-1</sup>,  $4 - n = 1000$  мин<sup>-1</sup>,  $5 - n = 1250$  мин<sup>-1</sup>, сталь 45, СОЖ — МР-1)

Коэффициент усадки стружки определяют весовым способом по формуле

$$k_l = \frac{m}{\rho S t l_1},$$

где  $m$  — масса стружки, г;  $\rho$  — плотность обрабатываемого материала, г/мм<sup>3</sup>;  $S$  — подача, мм/об;  $t$  — глубина резания, мм;  $l_1$  — длина стружки, мм.

2. Получают картину распределения длины порошка  $l_{\text{п}}$  по режущим кромкам инструмента для обработки глубоких отверстий (рис. 1.19, *справа*), используя значения коэффициентов усадки (рис. 1.19, *слева*) и формулу В.В. Игошина, которая применительно к обработке конструкционных сталей имеет вид [19, 25]:

$$l = \sqrt{h(13k_1 S \sin(\varphi - h))},$$

где  $h$  — высота порошка (для головок сверл БТА и эжекторных сверл диаметром  $d = 20..65$  мм  $h = 0,4..0,6$  мм);  $k_1$  — коэффициент усадки стружки;  $S$  — подача, мм/об;  $\varphi$  — главный угол в плане, град.

Из рис. 1.19, *справа* следует, что длина порошка вдоль режущих кромок сверлильной головки изменяется по криволинейному закону. Такую заточку сложно реализовать на практике, поэтому порожек выполяют прямолинейным — путем аппроксимации полученных кривых отрезками прямых линий.

3. Проверяют правильность выбора параметров порошка непосредственно в процессе обработки глубокого отверстия.

## 1.6. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Наиболее часто глубокие отверстия обрабатывают в заготовках валов. При этом наибольшие трудности возникают при обработке глубоких отверстий в полужестких ( $l/d = 12..35$ ) и особенно в нежестких ( $l/d > 35..50$ ) валах.

Главные требования, предъявляемые к заготовкам валов, — высокая прямолинейность и минимальный припуск на обработку. Поэтому, например, круглые прутки из сортового проката предварительно правят, а затем разрезают на заготовки заданной длины.

Если стрела прогиба не превышает 0,5 мм/м при  $l/d = 35..50$  и 0,7 мм/м при  $l/d \geq 50$ , то правку стальных заготовок производят в холодном состоянии. Если стрела прогиба больше указанных значений, то заготовки после холодной правки подвергают нормализации для снятия напряжений. Заготовки со стрелой прогибом 60 мм и более правят в горячем состоянии с последующим отпуском [5, 6].

Сверлению глубокого отверстия должна предшествовать подрезка торцев и центровка заготовки. Если в технологическом процессе изготовления вала предусмотрена его термическая обработка, то заготовка должна быть подвергнута наружному точению, а уже затем сверлению или растачиванию, если заготовка пустотелая. Точение здесь вводится



с целью удаления дефектного слоя, устранения кривизны заготовки и улучшения ее прокаливаемости [44]. Так как после термической обработки заготовка искривляется, то для уменьшения кривизны ее правят, а затем подвергают механической обработке. Поэтому перед термической обработкой необходимо предусмотреть соответствующий припуск на механическую обработку. Величина этого припуска зависит от относительной длины заготовки и точности ее правки после термической обработки (табл. 1.5) [44].

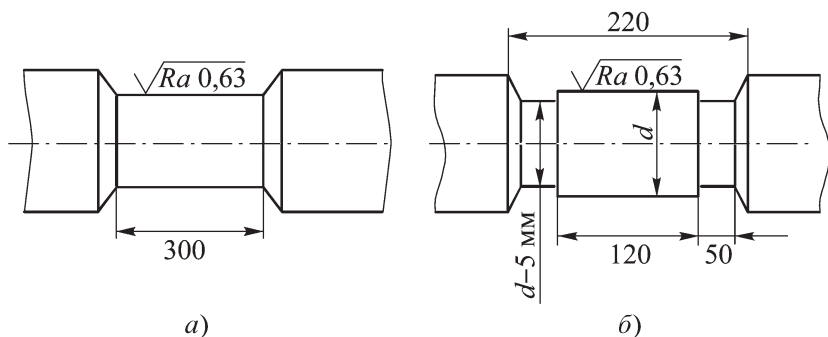
### 1.5. Максимальные припуски на диаметральные размеры заготовок вала

Длина заготовки $l$ , мм	Максимальная стрела прогиба заготовки после правки, мм	Максимальный припуск на диаметр, мм	
		$l/d < 25$	$l/d > 25$
$l < 3000$	1...2	10	15
$3000 < l < 10\ 000$	3...4	15...20	20...25
$l > 10\ 000$	5...6	20...25	30...35

**Примечание.** Припуски на наружные и внутренние диаметры заготовок должны быть равными.

При установке жестких ( $l/d < 12$ ) заготовок валов на станках для обработки глубоких отверстий применяют следующие способы базирования: а) левый конец заготовки закреплен в кулачковом патроне, а правый опирается на люнет; б) левый конец заготовки закреплен в кулачковом патроне, а правый коническим пояском опирается на коническую выточку в маслоприемнике; в) левый конец заготовки опирается коническим пояском на обратный конус, а правый — на коническую выточку в маслоприемнике.

При установке полужестких ( $l/d = 12...35$ ) и нежестких ( $l/d > 35...50$ ) заготовок валов их необходимо дополнительно опирать на промежуточные опоры — люнеты. Для этого на наружных поверхностях заготовок под люнеты протачивают базовые шейки (рис. 1.20 и табл. 1.6) или устанавливают базовые барабаны [6]. Последние представляют собой жесткую стальную втулку  $1$  с восемью регулируемыми болтами  $2$  (рис. 1.21, а). С помощью этих болтов барабан закрепляют на заготовке, а затем выверяют с помощью индикатора часового типа. После это-



**Рис. 1.20. Виды базовых шеек:**  
*a* — основная; *б* — промежуточная

го на барабан устанавливают кулачки 3 люнета и обрабатывают шейку 4, биение которой также проверяют индикатором.

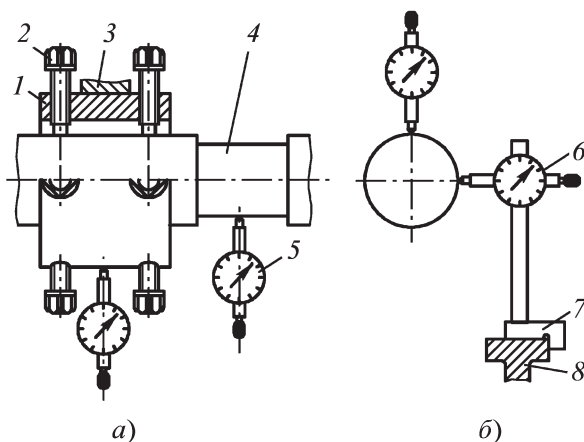
#### 1.6. Примерное количество базовых шеек полужестких и нежестких валов

Относительная длина заготовки, $l/d$	Количество базовых шеек
$30 > l/d \geq 15$	1
$45 > l/d \geq 30$	2
$60 > l/d \geq 45$	3
$75 > l/d \geq 60$	4
$l/d \geq 75$	5

При установке люнета на базовую шейку контроль правильности ее положения производят индикатором 6, стойка 7 которого базируется на направляющей станины 8 станка (рис. 1.21, б).

Различают основные и промежуточные базовые шейки. К их размерам, точности и шероховатости поверхности предъявляют следующие требования [6].

1. Длина основной базовой шейки вала устанавливается в зависимости от размеров посадочного места люнета и удобства подвода рез-



**Рис. 1.21. Контроль положения шеек валов при установке люнетов:**

*a* — на базовый барабан; *б* — на базовую шейку

цов. Длина промежуточных базовых шеек делается меньше, так как при обтачивании заготовки они не опираются на люнеты.

2. Диаметр основной базовой шейки должен быть равен или несколько меньше (в пределах допуска) диаметра смежных с ней участков заготовки, обточенных на требуемый размер. Диаметры промежуточных шеек назначаются исходя из наличия в зоне шейки припуска на дальнейшую обработку.

3. Погрешности размеров и формы шеек должны быть не более  $h8$ , а шероховатость поверхности — не хуже  $Ra = 0,63$  мкм.

Рассмотрим последовательность механической обработки заготовки нежесткого вала ( $l/d > 50$ ), базирующегося на три люнета [6]. На заготовку надевают два базовых барабана и поводок, после чего устанавливают в центрах токарного станка. Правый барабан помещают на расстоянии  $(1/4)l$  от заднего центра, а левый — на расстоянии  $(3/4)l$  от этого же центра. После этого выверяют положение базовых барабанов и под них подводят люнеты. Затем вблизи барабанов обтачивают две базовые шейки. Барабаны отжимают и перемещают: правый к середине заготовки, левый — в сторону патрона. Под полученные шейки подводят люнеты. После этого выверяют положение среднего барабана, под него подводят люнет, а затем обтачивают среднюю шейку, под которую подводят средний люнет. Далее производят обработку наружной поверхности вала и

подрезку его торцов. Последние подрезают с целью уплотнения заготовки по торцу, контактирующему с маслоприемником, и предотвращения поломки инструмента при его выходе из отверстия.

Метод обтачивания шеек с помощью базовых барабанов весьма трудоемок и требует больших затрат времени. Поэтому часто используют более производительный метод [6]. В его основе лежит известное положение о том, что валы с относительной длиной  $l/d < 10 \dots 12$  можно обрабатывать без люнета. Поэтому заготовку вала делят на жесткие участки указанной или меньшей длины, и на каждом из них обтачивают переходные шейки. Так, например, при обработке заготовки вала длиной  $l/d = 26,3$  ее устанавливали в центрах станка и на расстоянии  $l/d = 2$  от правого торца обтачивали первую промежуточную базовую шейку. Затем под эту шейку подводили люнет и на расстоянии  $l/d = 3,7$  от нее обтачивали вторую промежуточную базовую шейку. Под эту шейку подводили люнет и на расстоянии  $l/d = 3,7$  от нее обтачивали третью промежуточную базовую шейку. Далее, переместив люнет под третью шейку, обтачивали четвертую — основную базовую шейку, от которой и производили последующую обработку заготовки [6].

Прогиб заготовки вала под действием ее массы обычно уменьшают, приподнимая заготовку кулачками люнетов до совпадения ее осевой линии с линией центров станка. В этом случае прогибы заготовки возникают только между опорами (рис. 1.22), а на люнеты действуют примерно равные нагрузки, почти в три раза превышающие силы, воспри-

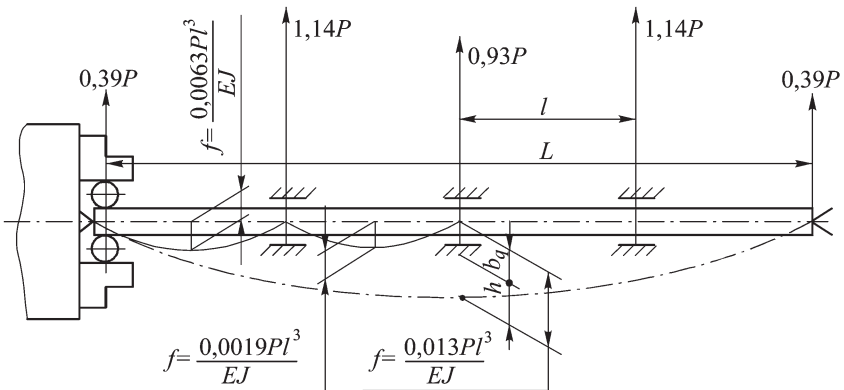


Рис. 1.22. Схема установки заготовки нежесткого вала в центрах токарного станка

нимаемые передним и задним центрами станка [43]. Для разгрузки люнетов, предотвращения чрезмерного нагрева заготовки, равномерного распределения нагрузки между центрами и люнетами и увеличения режимов резания Г.А. Брейкин предложил не поднимать ось вала до оси центров станка, а сохранять его частичное провисание [6, 43]. В этом случае нагрузки на люнеты уменьшаются, а заготовка деформируется не только между опорами, но и в местах их расположения.

Значения допустимой величины провисания заготовки вала  $b_q$  при его черновой обработке приведены в табл. 1.7, а при чистовой обработке — в табл. 1.8 [43].

### 1.7. Допустимая величина провисания вала $b_q$ при черновой обработке

Номинальные диаметры, мм	Величина $b_q$ , мм			Номинальные диаметры, мм	Величина $b_q$ , мм		
	IT14	IT15	IT16		IT14	IT15	IT16
80...120	7,2	9,2	11,5	180...260	12,2	15,7	19,4
120...180	9,5	12,0	15,0	260...360	13,2	20,0	24,4

### 1.8. Допустимая величина провисания вала $b_q$ при чистовой обработке

Номинальные диаметры, мм	Величина $b_q$ , мм					
	Степени точности формы по ГОСТ 24643–81					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
120...260	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0
260...500	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,2

Выше упоминалось, что заготовка вала, имеющая значительное провисание, при обтачивании деформируется во всех сечениях. Это приводит к врезанию кулачков патрона в заготовку и нарушению ее базирования. Если под кулачки патрона подложить стальные шары диаметром 20...35 мм, то при зажатии они будут деформировать заготовку и кулачки патрона только в местах контакта. При наличии такой гибкой связи базирование заготовки не нарушается [6, 43].

Рассмотренные методы обтачивания заготовок валов осуществляют с левым вращением шпинделя станка. Благодаря этому повышается жесткость технологической системы и уменьшаются ее вибрации, так как заготовка прижимается к кулачкам люнета главной составляющей силы резания.

Левое вращение заготовки требует установки резца вниз передней поверхностью. При этом вершину резца располагают по центру провисшей заготовки у люнета. В результате резец оказывается расположенным фактически выше оси центров станка, что увеличивает его передний угол и тем самым облегчает процесс резания.

После обработки базовых поверхностей заготовки на токарном станке ее устанавливают на станке для обработки глубоких отверстий. При этом концы заготовок располагают в зависимости от припуска на ее наружный диаметр и величины увода оси отверстия. Поэтому обработку отверстия начинают с конца заготовки, имеющего меньший припуск, так как увод оси отверстия всегда растет с увеличением ее глубины. Если припуски на обоих концах заготовки одинаковые, то устанавливать заготовку по отношению к маслоприемнику можно любым концом.

## 2. ИНСТРУМЕНТЫ БЕЗ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ БАЗИРОВАНИЯ

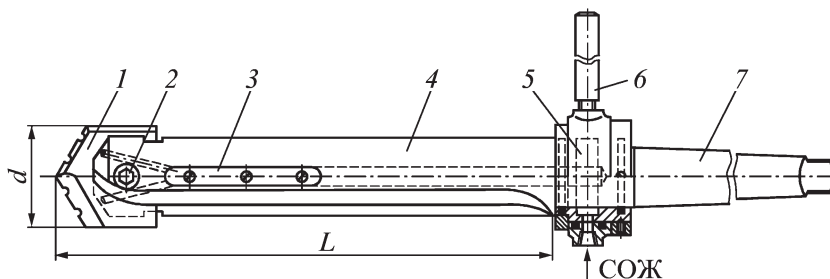
Для обработки глубоких отверстий с невысокими требованиями к точности (IT11, IT12) и шероховатости ( $R_z = 40 \dots 80$  мкм) в единичном, мелко- и среднесерийном производствах целесообразно применять инструменты без определенности базирования: сверла перовые, спиральные и шнековые.

Для обработки более точных отверстий (IT7, IT8) с шероховатостью ( $R_a = 0,63 \dots 1,25$  мкм) применяются расточные инструменты с плавающим блоком, протяжки, раскатники, дорны и другие мерные инструменты без определенности базирования.

### 2.1. СВЕРЛА

**Перовые сверла** применяют для сверления отверстий диаметром  $10 \dots 130$  мм и более, глубиной  $(10 \dots 120)D$  с точностью диаметральных размеров  $R_z 12 \dots 14$ , уводом осей отверстий до  $0,5/100$  мм и шероховатостью  $R_z 20 \dots 40$ .

Наиболее эффективны при сверлении глубоких отверстий сборные перовые сверла с внутренним подводом СОЖ. Такое сверло состоит из сменной режущей пластины (СМП) 1, крепежного винта 2, направляющих пластин 3, оправки 4, патрона для подвода СОЖ 5, упорной планки 6 и хвостовика 7 (рис. 2.1) [70]. В качестве сменных режущих



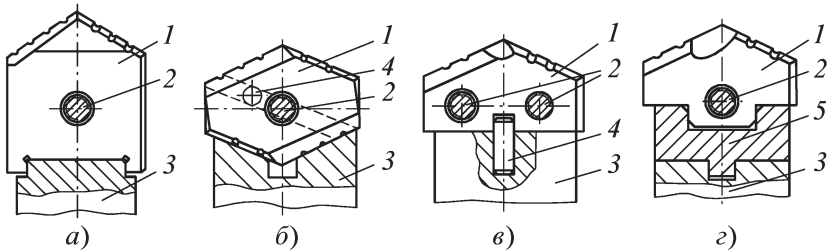
**Рис. 2.1. Сборное перовое сверло для сверления глубоких отверстий:**

- 1 — сменная режущая пластина; 2 — крепежный винт; 3 — направляющие пластины; 4 — оправка; 5 — патрон для подвода СОЖ; 6 — упорная планка; 7 — хвостовик

пластин перовых сверл диаметром 25...130 мм можно использовать пластины из быстрорежущей стали марок P6M5 или P6M5K5 (табл. 2.1), выпускаемые по ГОСТ 25526–82.

Изготавливают перовые сверла и больших диаметров. Например, фирма Naudale industries (США) выпускает перовые сверла диаметром 25...375 мм. Известны случаи применения перовых сверл диаметром 450 мм. За рубежом сменные режущие пластины перовых сверл изготавливают не только из быстрорежущих сталей, но и из твердых сплавов, в том числе с покрытиями. Формы пластин, а соответственно и способы их базирования в оправке сверла, могут быть самыми различными (рис. 2.2).

В процессе сверления перовыми сверлами важно обеспечить надежное дробление стружки и ее непрерывный отвод. Дробление стружки достигается соответствующими режимами резания (табл. 2.2) и заточкой на передних поверхностях режущих пластин стружколомающих порожков, а на задних поверхностях — стружкоразделительных канавок, расположенных в шахматном порядке. Отвод стружки осуществляется путем внутреннего подвода водной СОЖ в зону резания с соответствующим расходом (рис. 2.3). Кроме того, фирма Naudale industries рекомендует с увеличением глубины сверления уменьшать режимы резания и дополнительно подавать в систему охлаждения сжатый воздух под давлением 0,3...0,4 МПа. При этом предпочтение следует отдавать горизонтальному сверлению, так как при вертикальном сверлении глубина отверстий обычно не должна превышать  $10D$  (табл. 2.3).

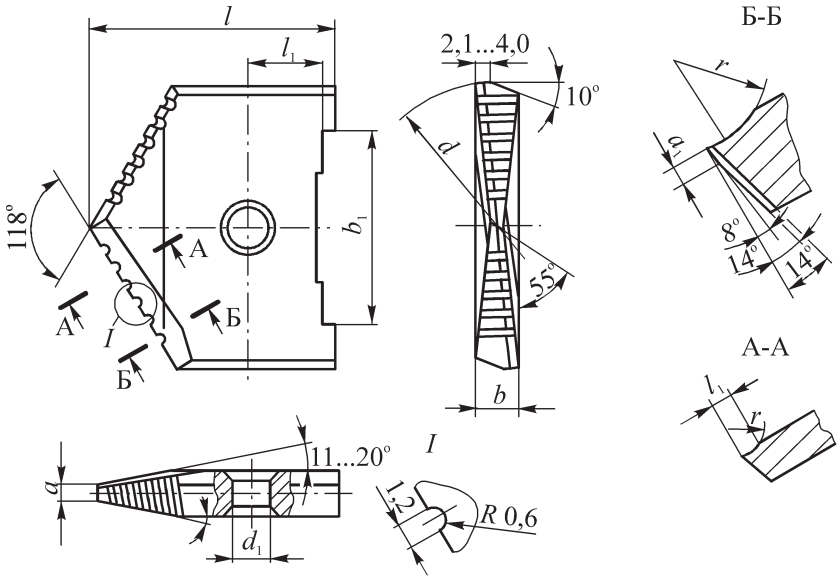


**Рис. 2.2. Некоторые способы базирования сменных режущих пластин в оправках перовых сверл:**

*a* — ОАО «ВНИинструмент» (Россия); *б* — фирма Sandvik Coromant (Швеция); *в* — фирма Hartner (Германия); *з* — фирма Krupp Widia (Германия) (1 — сменная режущая пластина; 2 — крепежный винт; 3 — оправка; 4 — штифт; 5 — адаптер)



## 2.1. Сменные режущие пластины к перовым сверлам (ГОСТ 25526–82)



$d$ , мм	$b$ , мм	$b_1$ , мм	$d_1$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$a$ , мм	$a_1$ , мм
25...31	6	20	7	35,0	10	1,6	0,7
31...39	7	27	8	40,5	12		
40...50	8	32	10	50,0	17	2,0	0,9
52...63	10	44	12	58,5	21	2,8	1,3
65...80	11	52	14	68,5	22	3,8	1,8
82...102	14	70	18	83,5	29	4,8	2,2
105...130	18	90	22	99,0	32	5,5	2,5

2.2. Режимы сверления глубоких отверстий быстрорежущими перовыми сверлами фирмы Sandvik Coromant, Швеция

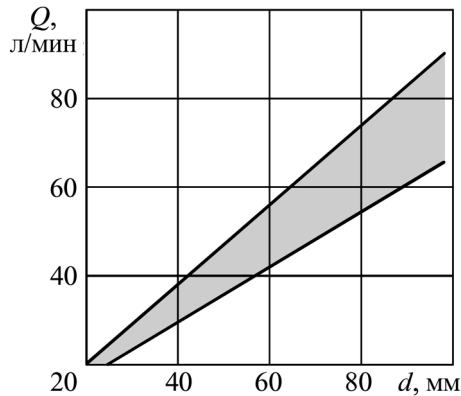
Обрабатываемый материал	Твердость HB	Скорость резания V <sub>c</sub> , м/мин	Диаметр сверла d, мм			
			19,00...24,00	25,00...35,00	36,00...65,00	66,00...88,00
			Подача S, мм/об			
<b>Нелегированные стали:</b>						
незакаленные (0,05...0,25 % C)	90...200	25...60	0,15...0,30	0,20...0,40	0,25...0,50	0,30...0,60
незакаленные (0,25...0,55 % C)	125...225	25...60	0,15...0,30	0,20...0,40	0,25...0,50	0,30...0,60
незакаленные (0,55...0,80 % C)	150...225	25...60	0,15...0,30	0,20...0,40	0,25...0,50	0,30...0,60
высокоуглеродистые инструментальные стали	180...225	20...40	0,15...0,25	0,20...0,35	0,20...0,40	0,25...0,50
<b>Низколегированные стали:</b>						
в состоянии поставки (сырые)	150...260	20...30	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30	0,20...0,35
после закалки и отпуска	220...400	15...20	0,10...0,20	0,10...0,20	0,15...0,30	0,20...0,35
<b>Высоколегированные стали:</b>						
отожженные	150...250	20...30	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30	0,20...0,35
стали высокой твердости	150...400	15...20	0,15...0,20	0,15...0,20	0,15...0,30	0,20...0,35

Продолжение табл. 2.2

Обрабатываемый материал	Твердость HB	Скорость резания V, м/мин	Диаметр сверла d, мм			
			19,00...24,00	25,00...35,00	36,00...65,00	
			Подача S, мм/об			
<b>Стальное литье:</b>						
нелегированные стали	90...225	25...60	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30	0,15...0,35
низколегированные стали (легирующих элементов < 5%)	150...250	20...50	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30	0,15...0,35
<b>Коррозионно-стойкие стали:</b>						
ферритные, мартенситные (13...25% Cr)	150...270	10...20	0,10...0,15	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30
аустенитные (Ni > 8 %, 18...25 % Cr)	150...270	6...15	0,10...0,15	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30
<b>Ковкие чугуны:</b>						
ферритные	110...145	15...25	0,15...0,25	0,15...0,30	0,20...0,30	0,20...0,35
перлитные	150...270	15...25	0,15...0,25	0,15...0,30	0,20...0,30	0,20...0,35
<b>Серые чугуны:</b>						
ферритные	150...220	20...35	0,15...0,30	0,20...0,30	0,20...0,50	0,25...0,60
перлитные	200...330	20...35	0,15...0,30	0,20...0,30	0,20...0,50	0,25...0,60

Окончание табл. 2.2

Обрабатываемый материал	Твердость HV	Скорость резания V, м/мин	Диаметр сверла d, мм			
			19,00...24,00	25,00...35,00	36,00...65,00	66,00...88,00
			Подача S, мм/об			
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>						
ферритные	125...230	10...20	0,10...0,15	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30
перлитные	200...300	6...15	0,10...0,15	0,15...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30
<b>Алюминиевые сплавы:</b>						
деформированные	40...150	75...125	0,15...0,35	0,20...0,35	0,25...0,40	0,30...0,60
литые	40...150	75...125	0,15...0,35	0,20...0,35	0,25...0,40	0,30...0,60
<b>Медные сплавы:</b>						
латуни, свинцовистые бронзы (Pb > 1 %)	50...160	50...180	0,12...0,20	0,15...0,25	0,20...0,30	0,30...0,40
латуни, свинцовистые бронзы (Pb ≤ 1 %)	50...160	50...180	0,12...0,20	0,15...0,25	0,20...0,30	0,30...0,40



**Рис. 2.3.** Влияние диаметра  $d$  быстрорежущего перового сверла фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на расход  $Q$  СОЖ

Засверливание перовыми сверлами необходимо производить с помощью кондукторной втулки или предварительно подготовленного заправочного отверстия. Из-за малой длины режущей пластины кондукторную втулку необходимо располагать относительно близко к заготовке — на расстоянии не более  $(1/4...1/3)D$ , где  $D$  — диаметр отверстия. Для исключения врезания режущей пластины в поверхности отверстия и кондукторной втулки при выводе сверла из отверстия уголки пластины закругляют либо на них снимают фаски. Для повышения поперечной устойчивости инструмента в отверстии на оправке сверла крепят 2...4 направляющие пластины длиной  $(2,5...3,0)D$ , диаметр которых должен быть на 0,1 мм меньше фактического диаметра сверла (см. рис. 2.1) [70].

При выходе перового сверла из заготовки в образующееся отверстие устремляется поток СОЖ, интенсивность охлаждения уголков главных режущих кромок сверла уменьшается и из-за перегрева они подвергаются повышенному износу. При этом уменьшается осевая составляющая силы резания, оправка разгружается, что вызывает увеличение подачи на последних оборотах инструмента (заготовки). Поэтому для предотвращения износа и разрушения режущих кромок инструмента в конце сверления необходимо увеличивать расход СОЖ и снижать подачу.

**Спиральные сверла** применяют для сверления отверстий диаметром 1...55 мм и глубиной  $(20...30)D$ , с точностью диаметральных размеров

2.3. Рекомендации фирмы Naudale industries (США) по сверлению глубоких отверстий сборными быстрорежущими перовыми сверлами

L/D	Степень уменьшения, %		Применение СОТС					
			Горизонтальное сверление			Вертикальное сверление		
	Скорость резания V	Подача S	Полив	Подача под давлением	Сжатый воздух	Полив	Подача под давлением	Сжатый воздух
3	—	—	+	+	—	+	+	+
4	5	—	+	+	+	—	+	+
5	5	5	—	+	+	—	+	+
6	5	5	—	+	+	—	+	+
8	10	5	—	+	+	—	+	++
10	12	10	—	+	+	—	+	++
12	15	10	—	+	+	—	+	++
15	17	10	—	+	+	—	+	++
20	20	20	—	+	++	—	+	++
≥ 30	30	25	—	+	++	—	+	++
Слишком глубокое отверстие								
Примечание. Нет (—); да (+); обязательно (++)								

IT12...14, уводом осей отверстий до 0,3...0,5/100 мм и шероховатостью  $R_z = 20...80$  мкм.

В нашей стране для сверления глубоких отверстий выпускают следующие типы быстрорежущих спиральных сверл:

- сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком, длинная серия (ГОСТ 886–77):  $d = 1,0...31,5$  мм,  $l = 29...213$  мм,  $L = 52...325$  мм (П. 1);

- сверла спиральные с коротким цилиндрическим хвостовиком, длинная серия (ГОСТ 12122–77):  $d = 1,0...10,6$  мм,  $l = 26...116$  мм,  $L = 48...162$  мм (П. 2);

- сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком для обработки легких сплавов, длинная серия (ГОСТ 19544–74):  $d = 1,95...12,0$  мм,  $l = 56...134$  мм,  $L = 85...205$  мм (П. 3);

- сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком (ТУ 2–035–402–75):  $d = 2...9$  мм,  $l = 50...120$  мм,  $L = 120...300$  мм (П. 4);

- сверла спиральные для обработки глубоких отверстий в труднообрабатываемых сталях (ТУ 2–035–731–80):  $d = 4,5...10,0$  мм,  $l = 87...140$  мм,  $L = 139...205$  мм (П. 5);

- сверла спиральные длинные с коническим хвостовиком (ГОСТ 12121–77):  $d = 5...50$  мм,  $l = 74...321$  мм,  $L = 155...470$  мм (П. 6);

- сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком, сверхдлинная серия (ТУ 2–035–600–77):  $d = 6,1...10,0$  мм,  $l = 100...350$  мм,  $L = 290...500$  мм (П. 7);

- сверла спиральные удлиненные с коническим хвостовиком (ГОСТ 2092–77):  $d = 6...30$  мм,  $l = 145...275$  мм,  $L = 225...395$  мм (П. 8);

- сверла спиральные с коническим хвостовиком и удлиненной рабочей частью, без подвода и с подводом СОЖ (ТУ 2–035–721–80):  $d = 10...50$  мм,  $l = 130...290$  мм,  $L = 210...450$  мм (П. 9);

- сверла спиральные с отверстиями для охлаждения (ТУ 2–035–447–76):  $d = 18...35$  мм,  $l = 150...190$  мм,  $L = 258...350$  мм (П. 10).

При охлаждении спиральных сверл поливом СОЖ свободно проникает в обрабатываемое отверстие на глубину до  $(2...3)D$ , после чего ее проникающая способность резко уменьшается из-за движущейся во встречном направлении стружки. Это вызывает ухудшение стружкоотвода, рост температуры и силы резания и, как следствие, снижение стойкости и даже поломку инструмента. В этом случае рекомендуется снижать режимы резания (табл. 2.4).

Рекомендуемые в этой таблице поправочные коэффициенты относятся к случаю, когда отверстие сверлится за один цикл. Чаще всего сверление отверстий глубиной более  $3D$  производят с периодическим

#### 2.4. Значения поправочных коэффициентов для снижения режимов резания при сверлении глубоких отверстий спиральными сверлами

Режимы резания	Отношение глубины отверстия к его диаметру $L/D$					
	3	4	5	6	7	8
	Поправочные коэффициенты					
Скорость резания $V$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55	0,55
Подача $S$	0,9	0,9	0,85	0,8	0,8	0,8

выводом спирального сверла из отверстия с целью удаления стружки и охлаждения инструмента (табл. 2.5) [46]. При этом следует учитывать, что такая обработка приводит к снижению производительности и точности обработки.

Для сверления с периодическим выводом режущего инструмента применяют специальные станки-автоматы либо станки с ЧПУ, в которых реализован цикл глубокого сверления.

В большинстве устройств числового программного управления (УЧПУ) цикл глубокого сверления вызывается подготовительной функцией G83 [39].

Формат кадра для цикла глубокого сверления:

```
...
G83 X10.0 Y10.0 Z-25.0 Q2.0 R0.5 F45
```

Здесь указаны координаты отверстия ( $XU$ ), его глубина ( $Z$ ), шаг — глубина сверления за один проход ( $Q$ ) и подача ( $F$ , мм/мин).

Последовательность выполнения цикла глубокого сверления следующая (рис. 2.4) [37]: 1) включение шпинделя (если он не был включен ранее) с частотой вращения  $S$  (здесь и далее параметры режима резания кодированы командами, принятыми в УЧПУ); 2) позиционирование сверла над отверстием; 3) его ускоренное перемещение в точку  $R$  (над поверхностью заготовки); 4) рабочая подача  $F$  до определенной глубины, заданной шагом сверления  $Q$ ; 5) быстрый отвод в точку  $R$ ; 6) ускоренный подвод в точку, расположенную на расстоя-



**2.5. Примерное число выводов спирального сверла,  
необходимое для удаления стружки**

Типы станков	Диаметр сверла $d$ , мм	Относительная длина сверления, до								
		$6d$	$7d$	$8d$	$9d$	$10d$	$14d$	$20d$	$25d$	$> 25d$
		Число выводов сверла								
Сверлильные	4	1	1	1	2	4	9	11	18	25
	6	1	1	2	3	5	11	14	20	28
	8	1	1	2	3	6	12	17	23	32
	12	1	1	2	3	6	12	17	23	32
	16	1	1	2	4	6	12	17	23	32
	20	1	2	3	4	6	12	17	23	32
	25	2	3	5	7	10	14	20	25	34
	32	3	4	6	8	11	15	21	26	35
	40	5	6	9	12	15	19	24	28	37
Токарные	4	—	1	1	1	2	4	7	11	15
	6	1	1	1	1	2	5	8	12	16
	8	1	1	1	2	3	6	10	14	18
	12	1	1	1	2	3	6	10	14	18
	16	1	1	1	2	3	6	10	14	18
	20	1	1	1	2	3	6	11	16	20
	25	1	1	3	4	6	7	12	17	21
	32	1	2	2	3	4	8	13	18	22
	40	1	3	3	4	5	10	15	20	24

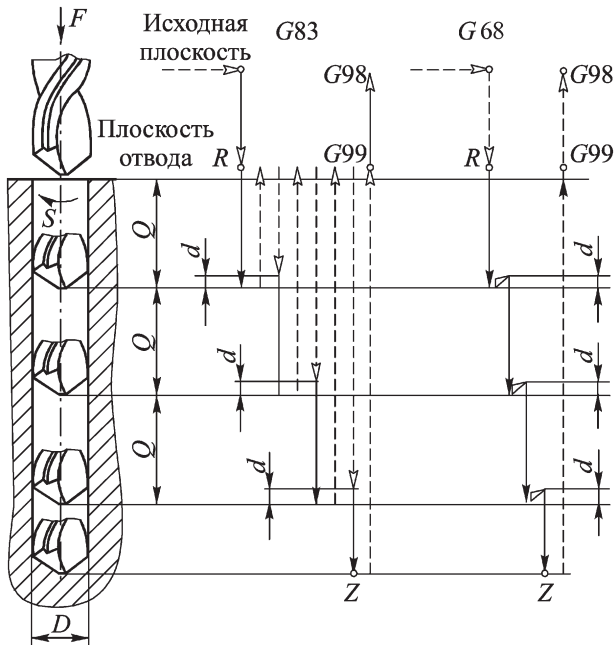


Рис. 2.4. Циклы глубокого сверления на станках с ЧПУ

нии  $d$  (величина этого расстояния занесена в УЧПУ) от конечной точки, полученной при предыдущем сверлении; 7) сверление на величину следующего шага; 8) быстрый отвод в точку  $R$  и так далее, пока не будет полностью просверлено отверстие заданной глубины (последний шаг сверления может быть меньше заданного); 9) возврат инструмента в точку  $R$  или в исходную точку (в зависимости от выбора подготовительной функции  $G99$  или  $G98$ ).

Существует модификация приведенного цикла — цикл высокоскоростного глубокого сверления, вызываемый функцией  $G73$ . Он работает аналогично циклу  $G83$  с единственной разницей, заключающейся в том, что после каждого сверления на величину шага сверло не выводится на поверхность заготовки, а «отскакивает» на величину  $d$ . В результате время обработки сокращается, но при этом стружка иногда плохо удаляется из отверстия, а СОЖ подводится в зону резания в недостаточном объеме.

Формат кадра для высокоскоростного цикла глубокого сверления:

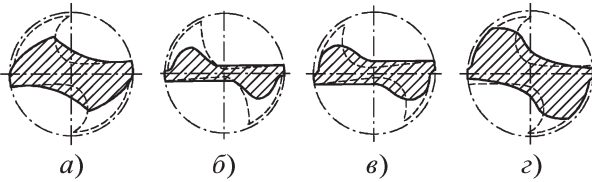
...  
G73 X10.0 Y10.0 Z-25.0 Q2.0 R0.5 F45

...  
При выполнении обоих циклов скорость резания, подача и шаг сверления постоянны, т.е. не зависят от того, на какой глубине находится режущая часть сверла. Практика показывает, что указанные параметры к концу обработки надо уменьшать, а отверстия сверлить за несколько шагов: сначала на глубину  $3D$ ; затем на глубину  $2D$  без изменения подачи  $F$  и частоты вращения сверла  $S$ ; далее сверлить на глубину  $D$ , уменьшив подачу до  $0,75F$ ; затем сверлить на глубину  $0,5D$  (до тех пор, пока общая глубина отверстия не будет равна  $10D$ ) с подачей  $0,5F$  и частотой вращения  $0,8S$ ; при глубине отверстия более  $10D$  шаг  $0,5D$ , подача должна быть  $0,25F$ , а частота вращения  $0,5S$ . После каждого шага сверления инструмент необходимо выводить на поверхность.

В работе [37] рекомендуется отверстие диаметром 8,3 мм глубиной 210 мм ( $L/D = 25,3$ ) сверлить следующим образом: до глубины  $h = Q = 25$  мм при  $S = 850$  мин<sup>-1</sup> и  $F = 140$  мм/мин; до  $h = 42$  мм с  $Q = 17$  мм в том же режиме; до  $h = 83$  мм с  $Q = 4,15$  мм при  $S = 680$  мин<sup>-1</sup> и  $F = 70$  мм/мин; оставшуюся часть до глубины 210 мм с  $Q = 4,15$  мм,  $S = 425$  мин<sup>-1</sup> и  $F = 35$  мм/мин.

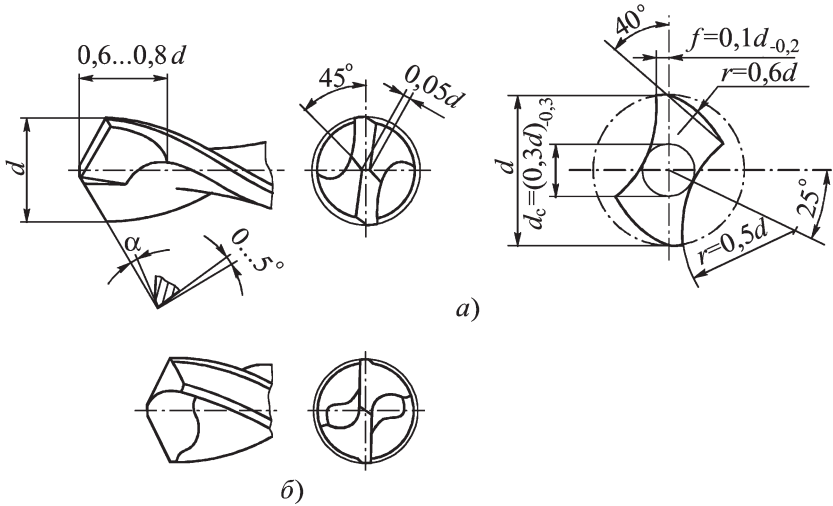
Имеющиеся в УЧПУ циклы глубокого сверления  $G83$  и  $G73$  для такого случая не подходят, а программирование такой задачи приводит к составлению обширной управляющей программы, занимающей большую часть памяти УЧПУ. В этой связи предлагается разделять цикл глубокого сверления на несколько подциклов, различающихся режимами резания, шагом сверления и местоположением точки  $R$  (после каждого сверления на один шаг и после выполнения подцикла сверло возвращается в новую точку  $R$ ) [37].

В отличие от стандартных инструментов специализированные спиральные сверла для сверления отверстий глубиной  $L = (10...20)D$  и более имеют утолщенную сердцевину  $k = (0,3...0,4)d$  и увеличенный до  $40^\circ$  угол наклона винтовой канавки (рис. 2.5). Широкие канавки таких сверл обеспечивают большее, чем стандартные сверла, пространство для размещения стружки. Калибрующие ленточки делают более узкими для предотвращения схватывания с поверхностью отверстия. Поскольку с увеличением диаметра сердцевины сверла возрастает длина поперечной режущей кромки, а следовательно, и осевая составляющая силы резания, то длину этой кромки уменьшают подточкой (рис. 2.6). В результате улучшается режущая способность сверла, уменьшается



**Рис. 2.5. Профили поперечных сечений некоторых конструкций спиральных сверл для сверления глубоких отверстий:**

*a* — автор V. Rocek; *б, в* — фирма Gühring (Германия);  
*г* — фирма Titex Plus (Германия)



**Рис. 2.6. Уменьшение длины поперечной режущей кромки спирального сверла с углощенной сердцевиной:**

*a* — крестообразной заточкой поперечной режущей кромки; *б* — подточкой поперечной режущей кромки

осевая составляющая силы резания, повышается точность центрирования сверла при засверливании, уменьшаются вибрации инструмента, а точность обработки увеличивается.

Если при сверлении попадание СОЖ в зону резания и наружный стружкоотвод не гарантируются, то применяют спиральные сверла с отверстиями для подвода жидкости. Они позволяют получать отвер-

ствия диаметром 1...50 мм и глубиной (15...20) $D$  без промежуточных выводов сверла и без снижения режима сверления. При этом стойкость сверл по сравнению с обычными спиральными сверлами больше в 3...10 раз (особенно при сверлении труднообрабатываемых материалов), а производительность выше в 1,5...2 раза. Конструкции сверл отличаются материалом рабочей части (быстрорежущая сталь или твердый сплав), способом подвода СОЖ (через радиальные или осевые отверстия в хвостовике), способом изготовления и др.

Спиральные быстрорежущие сверла с отверстиями чаще всего изготавливают из специальных прутков круглого профиля с двумя винтовыми отверстиями. Снаружи прутка для ориентации стружечных каналов наносят винтовую риску. Такие прутки (закаленные или нетермообработанные) диаметром 2,2...45 мм длиной 310...4000 мм из быстрорежущих сталей аналогичных отечественным сталям марок Р6М5, Р6М5К5, Р2М9К8, Р6М5Ф3К8МП и Р6М786К10МП выпускает, например, фирма Foreseeu (Франция).

Технология изготовления прутков из быстрорежущей стали обычно состоит из следующих операций: 1) сверление двух параллельных отверстий в заготовке; 2) установка в эти отверстия металлических сердечников; 3) прокатка прутков; 4) завивка прутков; 5) удаление сердечников.

В качестве сердечников применяют, например, проволоку из высокомарганцовистой аустенитной стали марки св08Г35Ю6М2 (ЭП181), которую для предотвращения сваривания покрывают пастой из окиси алюминия, замешанной на жидком стекле [11], или стержни из эвтектического чугуна, легированного фосфором (температура плавления 1100...1130 °С), отлитого методом точного литья (И.О. Хазанов, Д.В. Кожевников).

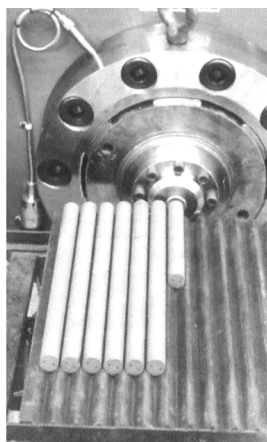
В первом случае после прокатки прутки охлаждают, а проволоку извлекают. Для этого оба конца прутка надламывают и закрепляют в зажимах растяжной машины. Из-за приложения нагрузки проволока «течет» по всей длине, ее диаметр уменьшается, и она рвется. После этого проволоку извлекают из отверстия. Во втором случае при нагреве под закалку чугунные стержни расплавляются и вытекают из отверстий на дно соляной ванны. Далее прутки нарезают на заготовки требуемой длины и подвергают последующей обработке, как и обычные спиральные сверла.

Твердосплавные стержни диаметром 3,3...35,3 мм длиной 310, 330, 350 мм с двумя винтовыми отверстиями изготавливают фирмы Extrament (Швейцария), Ceratizit (Германия), Gühring (Германия), Konrad Carbide (Германия), Voehlerit (Австрия) и др. Материал стержней — твердые сплавы группы ВК с содержанием кобальта 7,5...10 % и зернистостью карбида вольфрама после спекания 0,5...0,8 мкм.

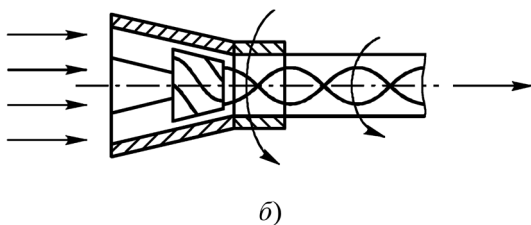
Заготовки твердосплавных стержней с винтовыми отверстиями получают методом мундштучного прессования в экструдерах (рис. 2.7). При подготовке к прессованию смеси карбидов и связки важно обеспечить равномерное распределение в ней пластификатора, а также удалить из смеси воздух, который вызывает появление вздутий на поверхности и раковин внутри спрессованных стержней. Для борьбы с этим явлением перемешивание и мундштучное прессование смесей выполняют в вакуумных установках. При этом необходимо правильно подбирать состав пластификатора. В нашей стране в качестве пластификатора обычно применяют парафин [18, 64]. За рубежом для этого используют более сложные составы. Так, например, фирма Sandvik Coromant (Швеция) для изготовления твердосплавных стержней применяет пластификатор следующего состава.

1. Ацетофенон (ТУ 6–09–08–2000–88) — 23,4 %.
2. Диэтиленгликольмонобутилэфирацетат — 23,4 %.
3. Связующее для производства активных углей (ГОСТ 22989–78) — 22,4 %.
4. Масло касторовое сульфированное (ГОСТ 6990–75) — 15,4 %.
5. Этилцеллюлоза — 15,4 %.

После спекания твердосплавные стержни разрезают на части маятниковыми пилами, оснащенными алмазными кругами. Затем стержни шлифуют по цилиндру, а потом в них вышлифовывают стружечные канавки и спинки. Далее заготовки сверл затачивают и на них наносят износостойкие покрытия.



а)



б)

**Рис. 2.7.** Экструдер (а) и схема (б) получения методом мундштучного прессования твердосплавных заготовок спиральных сверл с отверстиями для внутреннего подвода СОЖ

Примерно по такой же технологии фирма Iscar (Израиль) изготавливает спиральные сверла с отверстиями для охлаждения диаметром 5...10 мм с длиной рабочей части 100...200 мм из ультрамелкозернистого твердого сплава с размером карбидной фазы 0,3...0,5 мкм с покрытием TiAlN (табл. 2.6).

Сверление глубоких отверстий этими сверлами производят в следующей последовательности.

1. Коротким сверлом, диаметр которого на 0,03...0,05 мм больше диаметра длинного сверла, а угол при вершине  $2\phi = 140^\circ$ , сверлят заправочное отверстие глубиной до двух диаметров.

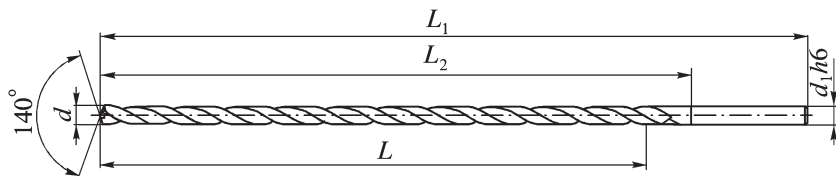
2. В заправочное отверстие заводят медленно вращающееся длинное сверло до момента контакта с дном отверстия.

3. Сверлят глубокое отверстие на режимах, указанных в табл. 2.7.

4. После окончания сверления инструмент выводят из отверстия, уменьшив частоту его вращения более чем на 50%.

В последнее время фирма Mitsubishi (Япония) освоила выпуск твердосплавных спиральных сверл с отверстиями для подвода СОЖ серии MNS весьма оригинальной конструкции (рис. 2.8). Эти сверла за счет

### 2.6. Твердосплавные сверла фирмы Iscar (Израиль) с отверстиями для охлаждения



$d$ , мм	$d_1$ , мм	$L$ , мм	$L_1$ , мм	$L_2$ , мм
5,0	6	100	165	115
6,0	6	120	190	140
7,0	8	140	210	160
8,0	8	160	230	180
9,0	10	180	265	205
10,0	10	200	285	225

**2.7. Режимы сверления глубоких отверстий твердосплавными спиральными сверлами с отверстиями для охлаждения фирмы Iscar (Израиль)**

Диаметр сверла $d$ , мм	Обрабатываемый материал											
	Углеродистые стали 30 HRC		Легированные стали 45 HRC		Коррозионно-стойкие стали		Серые чугуны		Ковкие чугуны			
	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об		
	Режимы сверления											
5	60...120	0,12...0,25	50...100	0,10...0,20	30...60	0,08...0,15	60...120	0,15...0,3	40...80	0,15...0,25		
6	60...120	0,14...0,25	50...100	0,14...0,25	30...60	0,10...0,18	60...120	0,14...0,25	40...80	0,14...0,25		
7...8	60...120	0,16...0,30	50...100	0,16...0,30	30...60	0,10...0,20	60...120	0,16...0,30	40...80	0,16...0,30		
9...10	60...120	0,16...0,30	50...100	0,10...0,20	30...60	0,08...0,115	60...120	0,20...0,35	40...80	0,20...0,35		



новой геометрии режущих кромок и наличия четырех (а не двух, как обычно) отверстий для подвода СОЖ обеспечивают высокую производительность, точность и низкую шероховатость при сверлении в алюминиевых сплавах отверстий диаметром 3...20 мм и глубиной до  $30D$ , где  $D$  — диаметр отверстий. Режимы сверления глубоких отверстий в алюминиевых сплавах сверлами серии MNS представлены в табл. 2.8. При этом сверление глубоких отверстий осуществляется в той же последовательности, как и твердосплавными спиральными сверлами с отверстиями для охлаждения фирмы Iscar (Израиль).

**Шнековые сверла** применяют для сверления отверстий в конструкционных сталях, сером чугуне и других хрупких металлах диаметром 5...14 мм и более и глубиной до  $(30...40)D$ , с точностью диаметральных размеров IT 12, уводом осей отверстий более  $0,5/100$  мм и шероховатостью  $Rz = 80$  мкм.

В отличие от стандартных спиральных сверл шнековые сверла имеют значительно больший угол наклона винтовых канавок:  $\omega = 50...65^\circ$  (рис. 2.9). Канавки в осевом сечении сверла имеют профиль, образованный двумя прямыми линиями, сопряженными дугой окружности. Передняя поверхность винтовой канавки перпендикулярна оси сверла, а ее задняя поверхность переходит непосредственно в калибрующую ленточку. Затачивают шнековые сверла по главным задним поверхностям плоскостным методом. Для получения стружкодробящего порошка сверло подтачивают и по передней поверхности.

Для большей жесткости шнекового сверла диаметр его сердцевины увеличен по сравнению со стандартным спиральным сверлом до  $k = 0,3...0,35d$  и постоянен на длине рабочей части инструмента. Обратная конусность сверла составляет  $0,03...0,08$  мм на 100 мм длины его рабочей части, материал которой — быстрорежущая сталь марок P6M5, P6M5K5 и др.

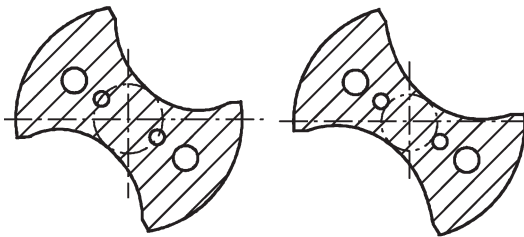
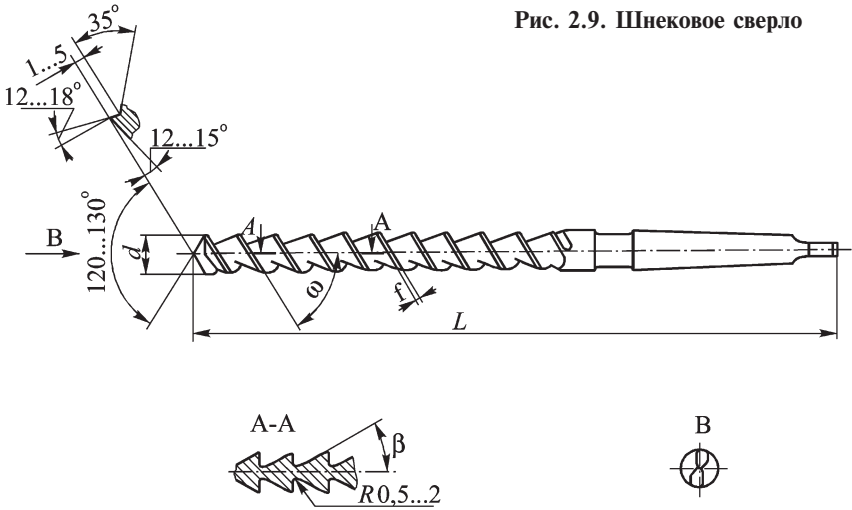


Рис. 2.8. Профили поперечных сечений твердосплавных спиральных сверл фирмы Mitsubishi (Япония)

**2.8. Режимы сверления глубоких отверстий твердосплавными спиральными сверлами серии MNS с отверстиями для охлаждения фирмы Mitsubishi (Япония)**

Обрабатываемый материал	Глубина отверстия $L/D$	Диаметр отверстия, мм											
		3...6		6...10		10...14		14...20					
		$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об				
Алюминиевые литейные сплавы	3...8	80...150	0,20...0,50	100...200	0,30...1,00	150...250	0,30...1,00	150...250	0,30...1,00	150...250	0,30...1,00	150...250	0,30...1,00
	10...30	60...120	0,20...0,50	80...150	0,30...1,00	120...200	0,30...1,00	120...200	0,30...1,00	—	—	—	—
Деформируемые алюминиевые сплавы	3...8	80...150	0,15...0,30	100...200	0,20...0,40	150...250	0,20...0,40	150...250	0,20...0,40	150...250	0,20...0,40	150...250	0,30...1,00
	10...30	60...120	0,15...0,30	80...150	0,20...0,40	120...200	0,20...0,40	120...200	0,20...0,40	—	—	—	—

Рис. 2.9. Шнековое сверло



Увеличенный угол наклона винтовых канавок и их специальный профиль обеспечивают надежный стружкоотвод. Благодаря меньшему, чем у спиральных сверл шагу канавок, имеет место лучшее направление сверла в кондукторных втулках и в обрабатываемых отверстиях, что способствует уменьшению увода осей отверстий.

Рекомендуемые значения подач для сверления в сталях и чугунах шнековыми сверлами представлены в табл. 2.9 [15].

**2.9. Подачи, рекомендуемые при сверлении стали и чугуна шнековыми сверлами, мм/об**

Диаметр сверла $d$ , мм	Сталь, $\sigma_b = 750$ МПа			Чугун, 163...229 НВ		
	Относительная глубина сверления					
	$5d$	$15d$	$30d$	$5d$	$15d$	$30d$
5	0,08	0,06	0,04	0,15	0,10	0,05
6	0,12	0,10	0,06	0,20	0,12	0,08
8	0,16	0,12	0,08	0,25	0,15	0,12
12	0,25	0,18	0,14	0,30	0,20	0,15
14	0,25	0,20	0,16	0,35	0,25	0,20

Скорость резания при сверлении шнековыми сверлами назначается в зависимости от обрабатываемого материала, глубины сверления и подачи. Например, при сверлении отверстий глубиной  $15d$  сверлами диаметром  $d = 8...16$  мм рекомендуются следующие значения скоростей резания (табл. 2.10) [15].

### 2.10. Скорости резания, рекомендуемые при сверления стали и чугуна шнековыми сверлами, м/мин

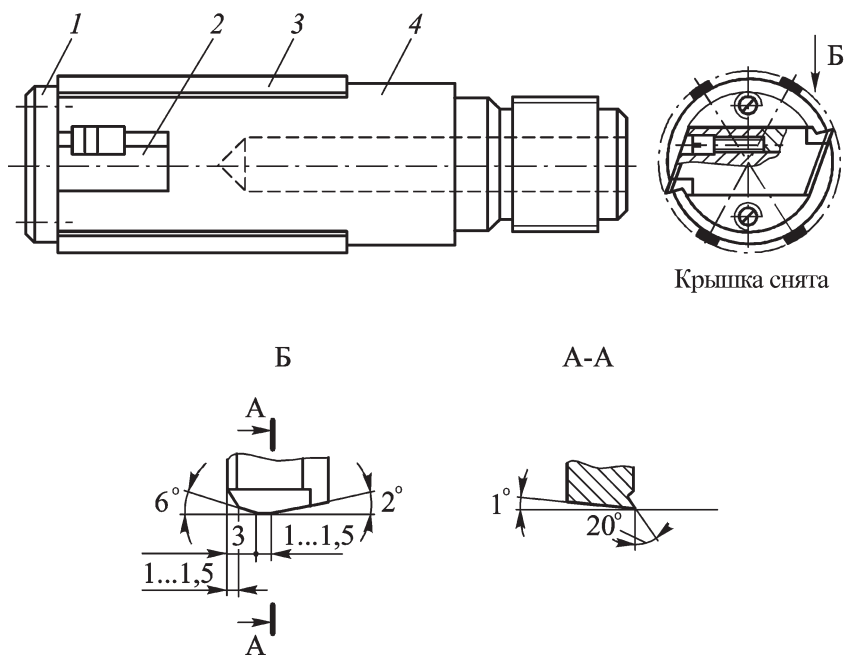
$S$ , мм/об	Сталь	Чугун
0,06	30,0...36,5	—
0,08	26,0...34,4	33,0...36,0
0,12	20,0...22,4	28,0...33,0
0,20	19,3	22,0...26,0
0,30	—	17,0...22,0

В нашей стране шнековые сверла диаметром 5...14 мм выпускают по ТУ 2–035–425–75 и ТУ 2–035–426–75 (П. 11 и П. 12).

## 2.2. РАСТОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

**Расточные головки с плавающими двухлезвийными блоками** применяют для чистовой обработки глубоких отверстий диаметром 30...200 мм (рис. 2.10) [36, 45]. Плавающий блок заранее настраивают на необходимый размер и устанавливают в прямоугольном пазу головки по посадке  $H7/h6$ . В процессе растачивания блок самоустанавливается в радиальном направлении таким образом, что его оба лезвия нагружаются равными радиальными составляющими сил резания, так как снимают стружки равной толщины. Базируется головка в отверстии четырьмя сменными текстолитовыми направляющими пластинами. По мере их износа под основания пластин подкладывают тонкие прокладки, а затем направляющие перешлифовывают.

Режимы растачивания такими головками конструкционных сталей: скорость резания 30...60 м/мин, подача 0,5...0,7 мм/об, глубина резания 0,06...0,35 мм. Точность обработки IT 7...9, конусность и овальность не более 0,03 мм [36].



**Рис. 2.10. Расточная головка с плавающим расточным блоком:**

1 — крышка, 2 — плавающий блок, 3 — направляющие, 4 — корпус

Припуски под растачивание приведены в табл. 2.11 [44].

Погрешности осей обрабатываемых отверстий плавающие расточные блоки не исправляют. Поэтому обработке этими инструментами должна предшествовать, например, обработка сверлами БТА, задающими высокую прямолинейность и минимальный увод осей отверстий.

**Специальные расточные головки** фирмы Gebrüder Heller (Германия) применяют для обработки в трубах отверстий диаметром 200...600 мм [79]. Такая головка, благодаря наличию плавающих ножей, может копировать отклонения растачиваемого отверстия трубы от правильной геометрической формы в продольном и поперечном сечениях (рис. 2.11). В результате удастся избежать большого местного утонения стенок труб и в то же время полностью удалить слой металла, имеющий дефекты и покрытый окалиной. Корпус головки 4 крепится к стержню 1

### 2.11. Припуски под растачивание глубоких отверстий расточными головками с плавающими двухлезвийными блоками

D, мм	Длина растачивания, мм			
	≤1000	1000...2000	2000...4000	4000...6000
65...85	0,85	1,0	1,1	1,3
85...120	1,0	1,1	1,2	1,4
120...150	1,2	1,3	1,4	1,5
150...180	1,3	1,4	1,5	1,6

Примечание. Если чистовому растачиванию предшествует сверление, то указанные припуски необходимо увеличить на 50 %.

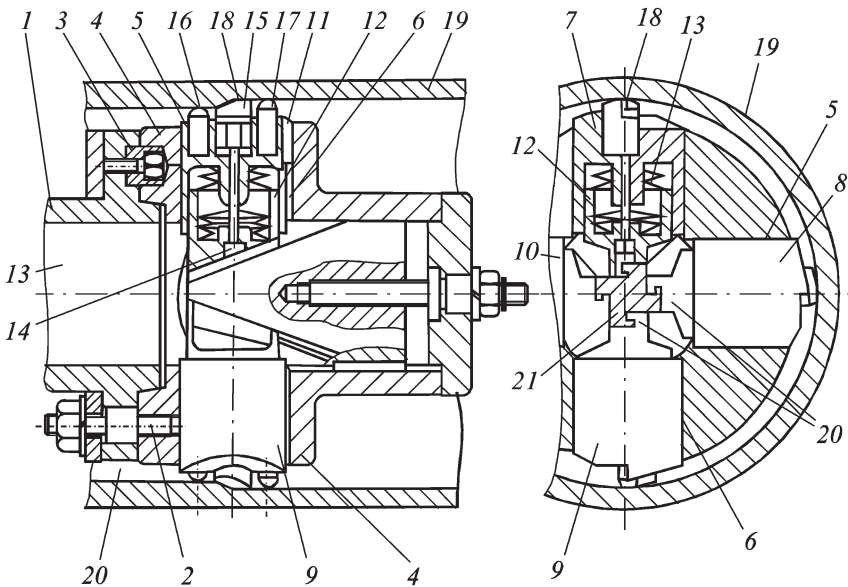
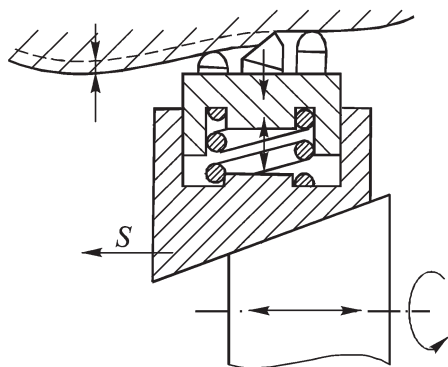


Рис. 2.11. Расточная головка фирмы Gebrüder Heller (Германия) для растачивания некруглых глубоких отверстий

винтами 2. Поводок 3 воспринимает при резании крутящий момент. В корпусе головки имеются два отверстия 5 и 6, оси которых пересекаются. В отверстиях располагаются плавающие ножи, каждый из которых состоит из двух цилиндров — наружного 7, 8, 9, 10 и внутреннего 12. Наружные цилиндры могут перемещаться относительно корпуса головки в радиальном направлении. Шпонка 11 предохраняет их от поворота. Между обоими цилиндрами располагается пакет тарельчатых пружин 13, а винт 14 стягивает оба цилиндра. Для резца 15 и двух опор 16 и 17 в наружном цилиндре выполнены гнезда. Резец оснащен твердосплавной пластиной, имеющей цилиндрическую ленточку 18, диаметр которой соответствует диаметру обработанного отверстия 19. Передняя опора 16 смещена вперед по направлению подачи относительно резца, а в радиальном направлении она занижена относительно цилиндрической ленточки резца на величину, равную глубине резания. Задняя опора 17, которая следует за резцом, имеет одинаковый с ним вылет из наружного цилиндра ножа. Внутренний цилиндр каждого ножа имеет скошенный выступ, которым он опирается на конус 21. Выступ снабжен заплечиком 20, входящим в соответствующий паз конуса. Поверхности скольжения конуса и выступа цилиндра подогнаны друг к другу с обеспечением сравнительно большого зазора. Перемещающая конус 21 в осевом направлении, можно сводить или разводит ножи, выставляя их на требуемый диаметр обработки. Конструкция головки предусматривает перемещение ножей, обеспечивая максимальное изменение диаметра расточки до 50 мм.

На рис. 2.12 показана схема процесса копирования некруглости обрабатываемого отверстия расточной головкой указанной конструкции. Здесь для обеспечения надежной работы плавающих ножей необходимо, чтобы на каждом ноже усилие, создаваемое пакетом тарельчатых пружин, превышало усилие резания. Натяг пружин создается с помощью винта, затягиваемого динамометрическим ключом. В процессе резания передняя направляющая опора, находясь в контакте с необработанной поверхностью отверстия трубы, копирует ее форму в продольных и поперечных сечениях. Задняя опора является опорой ножа в момент выхода режущей кромки из отверстия в конце расточки. Наличие задней опоры позволяет растачивать отверстие практически на всю длину.

При обработке отверстий таким инструментом срезаемый слой металла имеет строго определенное сечение, благодаря чему происходит копирование погрешностей профиля обрабатываемого отверстия. При этом наибольшая глубина резания не должна превышать 6 мм.



**Рис. 2.12.** Схема работы расточной головки фирмы Gebrüder Heller (Германия) для растачивания некруглых глубоких отверстий

Обработка труб такой расточной головкой производится на станках для обработки глубоких отверстий с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом пульпы. Стебель расточной головки работает «на растяжение». При этом натяг пружин в плавающих ножах создается при перемещении конуса головки в осевом направлении. Для этого в конце холостого хода головка подается в крайнее левое положение и выводится из трубы. Затем передние направляющие опоры вводятся в обрабатываемое отверстие и клин, перемещаясь вперед, поджимает направляющие к стенкам отверстия с таким усилием, чтобы обеспечивалось безвибрационное резание. Далее заготовке задается вращение и производится растачивание отверстия.

Режимы резания выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, глубины резания и длины отверстия. Например, в работе [79] трубы диаметром 350 мм, длиной 12 000 мм растачивали с глубиной резания 2 мм. При этом для труб из коррозионно-стойкой стали скорость резания была равна 80...100 м/мин, а подача 0,6 мм/зуб. При обработке труб из конструкционных сталей скорость резания увеличивали до 120 м/мин, а подача находилась в пределах 0,4...0,8 мм/зуб. При этом стойкость резцов была в 3...5 раз выше стойкости резцов, обрабатывающих коррозионно-стойкую сталь.

Следует отметить, что если в процессе обработки отверстия перемещать конус расточной головки от специального привода, то в этом случае можно обрабатывать конические и сложнофасонные отверстия, а также растачивать канавки.



### 2.3. РЕЖУЩЕ-РАСКАТНЫЕ ГОЛОВКИ

**Режуще-раскатные головки** применяют для отделочной обработки в гильзах гидро- и пневмоцилиндров отверстий диаметром 38...380 мм и более, глубиной до 4000 мм и более с точностью диаметральных размеров IT 8 и шероховатостью  $Ra = 0,05...0,2$  мкм. При этом в качестве обрабатываемых материалов используют стали твердостью  $HRC \leq 40$ , чугуны, алюминиевые и магниевые сплавы, латуни и бронзы.

Режуще-раскатная головка состоит из расточной головки 1, оснащенной плавающим двухлезвийным расточным блоком, и раскатника 2. Крепится головка к стеблю инструмента с помощью четырехзаходной прямоугольной резьбы, нарезанной на хвостовике 3 (рис. 2.13).

Работает головка следующим образом (рис. 2.14, а). При прямом ходе инструмента осуществляется растачивание отверстия плавающим двухлезвийным блоком 1, оснащенным двумя твердосплавными СМП. При этом сепаратор 2 раскатника сдвинут вправо на некоторое расстояние от опорного кольца 3, а ролики не касаются поверхности обработанного лезвиями отверстия.

После окончания растачивания резцы плавающего блока 1 (рис. 2.14, б) с помощью пневматического нажимного устройства 4, работающего под давлением 0,5 МПа, заводятся в корпус расточной головки. Затем включается обратная подача инструмента, сепаратор 2 раскатника сдвигается влево и упирается в опорное кольцо 3. Ролики начинают пластически деформировать поверхность расточенного отверстия.

При растачивании отверстия оба лезвия расточной головки снимают равные припуски, копируя ось обрабатываемого отверстия. Диа-

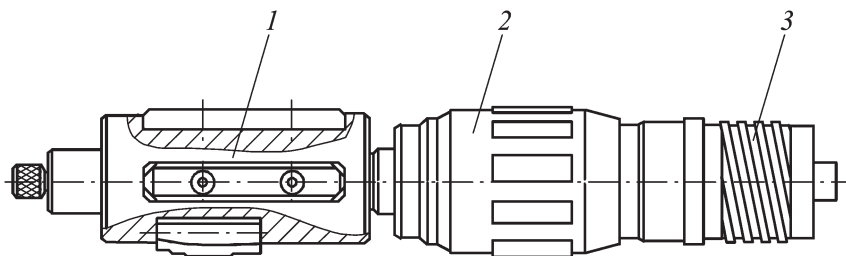
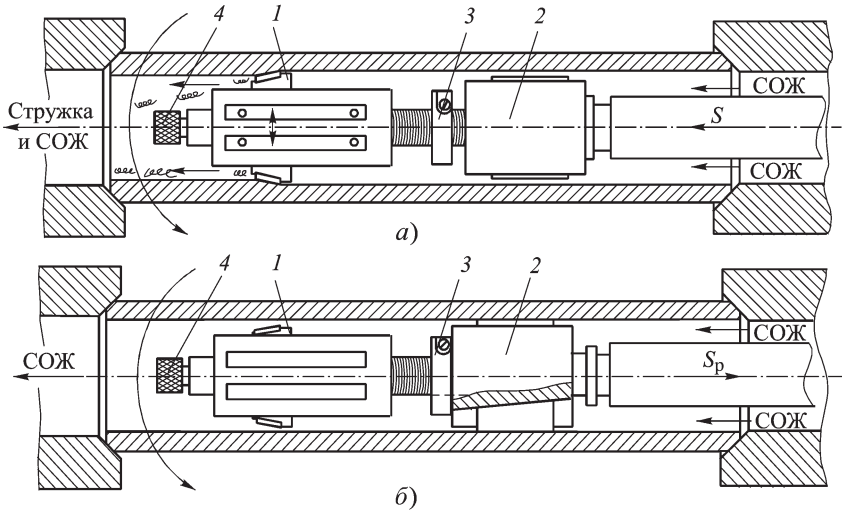


Рис. 2.13. Режуще-раскатная головка фирмы Sandvik Coromant (Швеция):

1 — расточная головка, 2 — раскатник, 3 — хвостовик



**Рис. 2.14.** Схема обработки гильзы гидроцилиндра режуще-раскатной головкой фирмы Sandvik Coromant (Швеция):  
 а — прямой ход; б — обратный ход

метр отверстия получается постоянным по всей длине, его точность равна IT 7...8, а шероховатость  $Ra = 4...8$  мкм.

При раскатывании отверстий шероховатость поверхностного слоя обработанного отверстия уменьшается до  $Ra = 0,05...0,26$  мкм, твердость увеличивается на 50 % (у сталей), а диаметр отверстий увеличивается примерно на 0,04...0,05 мм.

Режимы обработки глубоких отверстий режуще-раскатными головками фирмы Sandvik Coromant представлены в табл. 2.12.

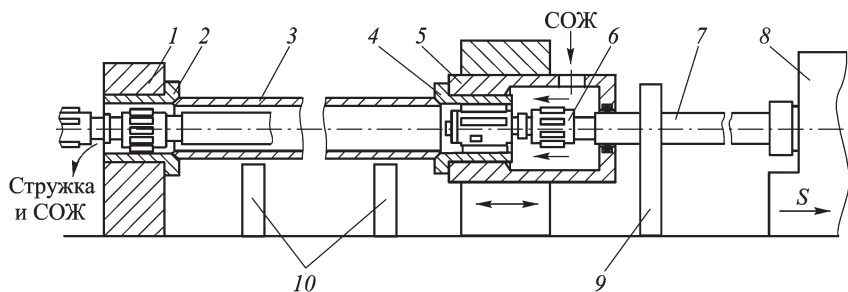
При обработке режуще-раскатными головками тонкостенных (маложестких) труб, т.е. труб, у которых отношение толщин стенок к их внутренним диаметрам меньше 0,1, существенное значение имеет способ базирования заготовок. При этом в качестве базовых поверхностей труб используются: а) фаски торцевых поверхностей; б) наружная поверхность; в) торцевые поверхности; г) комбинация указанных поверхностей.

На рис. 2.15 показана схема базирования трубы на фаски торцевых поверхностей с поджимом входной и выходной втулками ее торцов

## 2.12. Режимы обработки глубоких отверстий режущо-раскатными головками фирмы Sandvik Coromant (Швеция)

Диаметр отверстия $D$ , мм	Расгачивание				Раскатывание		
	$V$ , м/мин	$S$ , мм/об	$t_{\text{max}}$ , мм	$Q$ , л/мин	$n_{\text{max}}$ , об/мм	Принудительная подача, мм/об	Самоподача, мм/об
38...43,9	80	1...3	0,6	160	200	1,2	0,9...1,0
44...51,9				180		1,3	1,0...1,1
52...56,9	80	1...4	1,0	220	250	1,3	1,1...1,5
57...67,9				250		1,8	
68...90,9				320		1,8...2,1	
91...110,9	300	1...5	1,6	400	300	2,2...2,6	1,9...2,4
111...148,9				500		2,7...3,8	2,4...3,4
149...185,9				650		3,7...4,8	3,4...4,4
186...221,9	300	1...5	1,6	800	300	4,7...5,6	4,4...5,2
222...257,9				1000		5,5...6,3	5,2...5,9
258...305,9				1200		6,2...7,1	5,9...6,7

Примечания. 1. Режимы (кроме  $t_{\text{max}}$ ) даны для случая обработки стали твердостью 90...200 НВ глубиной резания  $t = 0,3$  мм. 2. Принудительная подача должна на 10 % быть больше самоподачи. 3. В качестве СОЖ лучше всего использовать масляные жидкости с противозадирными присадками (S, Cl, P), прошедшие очистку до 30 мкм.



**Рис. 2.15. Схема базирования трубы при ее обработке режуще-раскатной головкой:**

1 — стойка, 2 — выходная втулка, 3 — заготовка, 4 — входная втулка, 5 — масляеприемник, 6 — режуще-раскатная головка, 7 — стебель, 8 — суппорт, 9 — лунет, 10 — призма

постоянной силой. Здесь выходная втулка служит для предотвращения провисания режуще-раскатной головки и, соответственно, для исключения повреждения инструментом поверхности расточенного отверстия. Другой способ предотвращения провисания головки состоит в установке на стебле инструмента четырех пластмассовых направляющих.

Обработку глубоких отверстий режуще-раскатными головками необходимо осуществлять при вращающейся заготовке и невращающемся инструменте, совершающем движения подачи. В этом случае длинная заготовка должна дополнительно опираться на лунеты, а по торцам — на вращающиеся зажимные втулки. Такая схема лучше всего реализуется на станках для сверления глубоких отверстий и на модернизированных токарно-винторезных станках, оснащенных мощными насосными станциями. При обработке отверстий такими головками СОЖ подается как снаружи, так и через стебель инструмента, а отвод стружки происходит напроход через обработанное отверстие (рис. 2.16).

Во втором случае для разбрызгивания СОЖ на стебле инструмента устанавливают специальную насадку, а для предотвращения утечки СОЖ в обратном направлении справа от насадки устанавливают уплотнение, служащее одновременно и опорой для стебля инструмента.

Объем СОЖ, подаваемой в зону обработки, по данным фирмы Sandvik Coromant должен быть равен примерно  $4D$  л/мин, где  $D$  — диа-

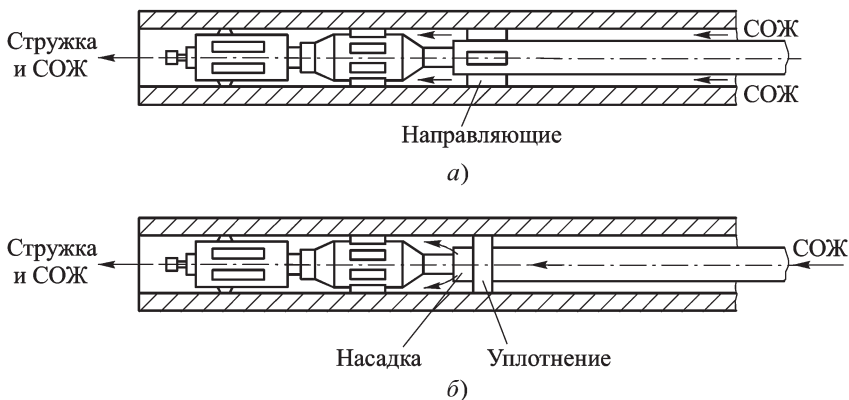


Рис. 2.16. Способы подачи СОЖ при работе режущо-раскатной головки:  
*a* — снаружи стебля; *б* — внутри стебля

метр обрабатываемого отверстия, а емкость бака насосной станции —  $10D$  л/мин. Зависимость давления  $P$  и расхода  $Q$  СОЖ от размеров заготовки показана на рис. 2.17.

Данные о мощности, потребляемой при растачивании отверстий в зависимости от диаметра инструмента и режимов резания, представлены в табл. 2.13.

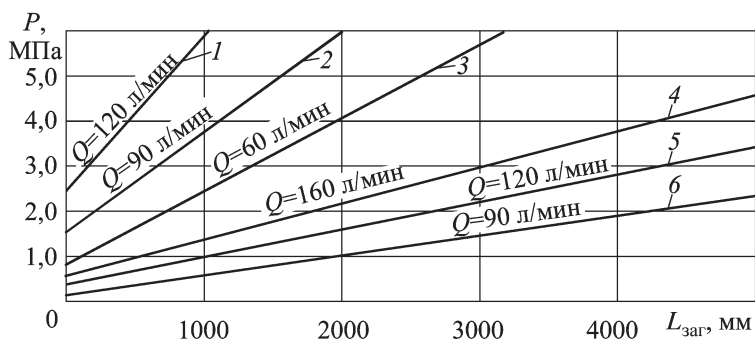


Рис. 2.17. Влияние длины заготовки  $L_{\text{заг}}$  на давление  $P$  и расход  $Q$  СОЖ:  
 1, 2, 3 — диаметр головки 38 мм; 4, 5, 6 — диаметр головки 40 мм;  
 диаметр стебля 36 мм

### 2.13. Мощность $N$ , потребляемая при растачивании отверстий плавающим блоком режуще-раскатной головки (Sandvik Coromant)

Диаметр инструмента, мм	$N$ , кВт	$S$ , мм/об	$t$ , мм
40	6	2,0	0,4
100	14	2,5	0,8
200	30	3,0	1,0

$$V = 200 \text{ м/мин}$$

При раскатывании отверстий максимальные значения осевой составляющей силы резания находятся в пределах 4...15 кН. Средние значения этой составляющей при раскатывании отверстий диаметром 60...100 мм равны 6 кН и зависят от диаметра раскатника, разницы между диаметрами раскатника и расточной головки, а также от величины перебега автоматической подачи.

По данным фирмы Sandvik Coromant, стойкость основных деталей режуще-раскатных головок при скорости 200 м/мин составляет: резцы — 50 м, ролики — более 200 м, конические оправки — более 400 м, сепараторы — более 4000 м. При этом стойкость инструмента уменьшается с уменьшением его диаметра, при использовании в качестве СОЖ водных эмульсий, при работе на подачах, значительно превышающих автоматическую подачу раскатника, при больших значениях радиальной составляющей силы, действующей на ролики раскатника.

Комбинированные режуще-раскатные головки выпускают также фирмы Heller (Германия), Madison (Германия), Hegenscheidt (Германия) и др.

## 2.4. ДЕФОРМИРУЮЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

**Раскатники** применяют для упрочняющей обработки отверстий диаметром 40...350 мм и более, глубиной до 4000 мм и более с точностью диаметральных размеров IT 7...9 и шероховатостью  $Ra$  0,1.

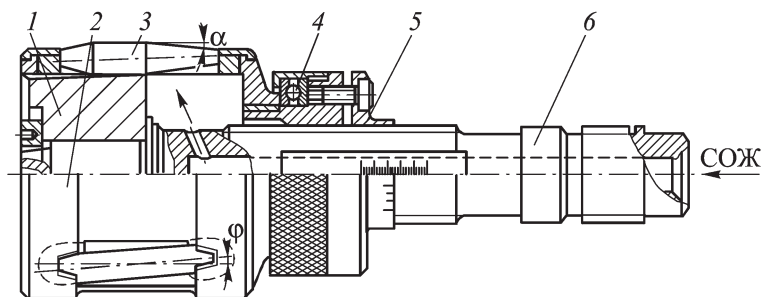
Для обработки глубоких отверстий применяют жесткие многороликовые раскатники сепараторного типа, которые состоят из опорного

конуса 1, сепаратора 2, роликов 3, упорного подшипника 4, регулирующего устройства 5 и оправки 6 (рис. 2.18).

Ролики раскатника расположены равномерно по окружности в гнездах сепаратора под углом установки (углом самоподачи  $\varphi$ ) к оси обрабатываемого отверстия и имеют обычно коническую форму. Под действием опорной поверхности конуса и осевой составляющей силы деформирования ролики внедряются в обрабатываемую поверхность под углом вдавливания  $\alpha$  (рис. 2.19). В месте контакта возникают большие напряжения сжатия и упруго-пластические деформации микронеровностей и основного металла заготовки. Перекатываясь по обрабатываемой поверхности и перемещаясь вдоль оси обрабатываемого отверстия, ролики производят упрочнение поверхности отверстия. При этом высота микронеровностей уменьшается, повышаются сопротивление усталости, износо- и коррозионная стойкость деталей, возникают остаточные напряжения сжатия.

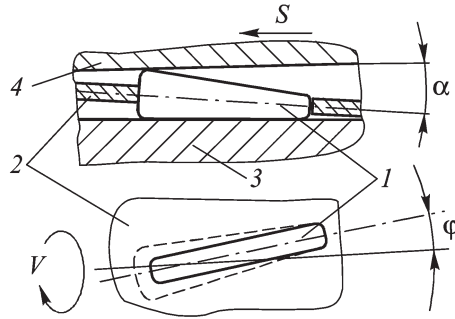
Обработку многороликовыми раскатниками применяют при изготовлении деталей из сталей твердостью до 40 HRC, чугунов, алюминиевых и магниевых сплавов, латуни и бронзы. Такая обработка часто позволяет заменять хонингование, суперфиниширование, полирование, тонкое точение, развертывание, а в отдельных случаях и отменять термическую обработку.

Точность отверстий перед раскатыванием должна находиться в пределах IT 5...11. При этом заданная точность должна быть обеспечена на предшествующей операции, так как при обработке многоролико-



**Рис. 2.18. Многороликовый раскатник для обработки глубоких отверстий:**

1 — опорный конус, 2 — сепаратор, 3 — ролик, 4 — упорный подшипник,  
5 — регулирующее устройство, 6 — оправка



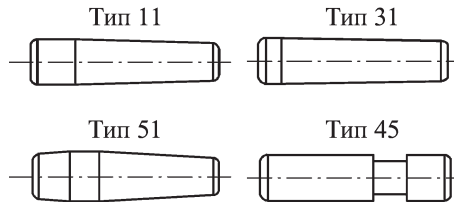
**Рис. 2.19.** Раскатывание поверхности отверстия сепараторным устройством:

1 — ролик, 2 — сепаратор, 3 — опорный конус,  
4 — обрабатываемая поверхность

выми раскатниками поле рассеяния размеров и геометрическая точность обрабатываемых отверстий практически не изменяются.

Основными параметрами, определяющими качество поверхностей, обрабатываемых жесткими раскатниками, являются: размеры, конфигурация и количество роликов, угол вдавливания роликов  $\alpha$ , натяг  $i$ , подача  $S$ , угол установки роликов  $\varphi$ , скорость обработки  $V$ , число рабочих ходов, СОЖ. Диаметр и количество роликов указаны в табл. 2.14 [46], а их формы, рекомендуемые фирмой Sandvik Coromant — на рис. 2.20. При этом следует знать, что ролики малых диаметров (4...6 мм) обеспечивают максимальное упрочнение поверхности и снижение шероховатости.

Угол вдавливания роликов  $\alpha$  назначают в зависимости от обрабатываемого материала и жесткости заготовки (табл.2.15) [47].



**Рис. 2.20.** Формы роликов, применяемых в раскатниках фирмы Sandvik Coromant



**2.14. Диаметры и количество роликов в многороликовых раскатниках**

Диаметр отверстия, мм	Диаметр ролика, мм	Количество роликов	Предел регулировки диаметра раскатника, мм
12...18	3	5	1,0
19...22	4		
23...38	5		1,5
39...44	6		2,0
45...56	8		
57...70	10		2,5
71...96	12		3,0
97...126	14		
127...160	16		
161...196	18		
197...240	20	7	4,0
241...286	22		
287...336	24		
337...390	26	9	

Примечание. При обработке тонкостенных труб диаметр ролика не должен превышать 12 мм.

**2.15. Углы вдавливания  $\alpha$  многороликовых раскатников**

Обрабатываемый материал	Жесткость заготовки	
	высокая	низкая
Незакаленные стали, алюминиевые сплавы, бронзы	10'...30'	30'...50'
Закаленные стали	15'...40'	40'...1°
Чугуны	50'...1°30'	1°10'...1°40'

Угол  $\alpha$  связан с углом конусности ролика  $\alpha_p$  и углом конусности опорного конуса  $\alpha_k$  зависимостью

$$\alpha = \alpha_p - \alpha_k.$$

При этом угол  $\alpha_p$  не должен быть больше  $3^\circ$ , так как в противном случае увеличивается проскальзывание роликов.

Натяг, т.е. разность между диаметрами раскатника и подготовленного под раскатывание отверстия, выбирают в два этапа: предварительно по табл. 2.16 и окончательно, опытным путем.

При раскатывании различают два вида подачи:

1) принудительная, на оборот ( $S = S_p Z$ , где  $S_p$  — подача на ролик, мм;  $Z$  — число роликов), осуществляется от привода подач станка;

2) самоподача ( $S_c = \pi D t g \varphi$ , где  $D$  — диаметр раскатника, мм;  $\varphi$  — угол самоподачи), осуществляется при наклоне оси вращения деформирующих роликов к оси обрабатываемого отверстия.

Принудительная подача должна превышать самоподачу, но не больше, чем на 20 %. В противном случае ухудшаются условия протекания процесса раскатывания и снижается качество обработки. Поэтому при назначении больших подач угол самоподачи  $\varphi$  принимают равным нулю, несмотря на увеличение крутящего момента и осевой силы [47].

Подачу на ролик  $S_p$  выбирают в зависимости от обрабатываемого материала и требуемой шероховатости поверхности отверстия (табл. 2.17). С уменьшением подачи  $S_p$  шероховатость уменьшается, а с

### 2.16. Натяг при раскатывании отверстий в незакаленных сталях

Исходная шероховатость $Ra$ , мкм	Достижимая шероховатость $Ra$ , мкм			
	0,32	0,16	0,08	0,04
1,25	0,01...0,04	0,015...0,05	0,02...0,06	0,02...0,08
2,5	0,03...0,06	0,04...0,07	0,06...0,09	0,08...0,11
5,0	0,06...0,10	0,08...0,13	0,09...0,16	0,14...0,19
10,0	0,12...0,17	0,14...0,19	0,17...0,22	0,19...0,24
20,0	0,015...0,22	0,18...0,23	0,21...0,27	—

ее увеличением растут радиальные и осевые составляющие силы раскатывания. При большой исходной шероховатости поверхности обрабатываемого отверстия подачу  $S_p$  необходимо уменьшать.

### 2.17. Подача на ролик $S_p$ при раскатывании

Обрабатываемый материал	Требуемая шероховатость $Ra$ , мкм	$S_p$ , мм/ролик
Незакаленные стали	0,04...0,08	0,1...0,3
Алюминиевые и магниевые сплавы, бронзы	0,16...0,32	0,2...0,4
Стали твердостью 28...37 HRC <sub>3</sub>	0,63...1,25	0,4...0,5
Чугуны	0,32...1,25	0,1...0,2

Относительная окружная скорость многороликового раскатника должна находиться в пределах 50...200 м/мин. Дальнейшее увеличение окружной скорости вызывает увеличение тепловыделения, что снижает стойкость инструмента и ухудшает условия протекания процесса раскатывания.

Раскатывание целесообразно проводить за один рабочий ход, резе за два хода, но не более. В качестве СОЖ, подаваемой под давлением, лучше всего применять масляные жидкости с противозадирными присадками, можно использовать индустриальное масло И-50. Применяемая СОЖ должна подвергаться фильтрации с целью удаления частиц размером более 30 мкм.

**Дорны** применяют для деформирующей обработки отверстий диаметром 1...160 мм и более, глубиной (25...100) $D$  с точностью диаметральных размеров IT 6...9 и шероховатостью  $Ra = 0,32...0,63$  мкм и даже  $Ra \geq 0,05...0,1$  мкм.

В процессе дорнования происходит холодное пластическое деформирование заготовок, осуществляемое при поступательном перемещении через отверстие с некоторым натягом инструмента — дорна. В результате достигается высокая точность отверстий, низкая шероховатость, поверхностный слой упрочняется в 1,5...2 раза и в нем создаются сжимающие остаточные напряжения, наибольшая величина которых близка к пределу текучести материала заготовки.

Для обработки глубоких отверстий чаще всего используют многозубые дорны (протяжки) или однозубые прошивки. Многозубый дорн для обработки глубоких отверстий диаметром 30...80 мм и глубиной более  $30D$  в заготовках с толщиной стенки 25...30 мм показан на рис. 2.21 [36]. Он состоит из твердосплавных колец, собранных на стальном закаленном стержне и закрепленных гайкой. Рабочая часть колец, изготовленных из твердого сплава марок ВК6, ВК8, ВК15 и др., оформлена в виде двух усеченных конусов, соединенных цилиндрической ленточкой. Оптимальные значения углов конусов составляют  $6...10^\circ$ , а ширина цилиндрической ленточки 0,1...3,0 мм.

Для обеспечения минимального суммарного усилия дорнования и достижения заданной прямолинейности образующей отверстия в детали число зубьев дорна должно быть нечетным, а шаг между ними — неравномерным.

Рабочая длина дорна  $L$  — расстояние между крайними деформирующими зубьями по их ленточкам

$$L = L_3 + (1,5...)\delta,$$

где  $L_3$  — длина заготовки;  $\delta$  — номинальная толщина стенки заготовки.

В начале рабочей части дорна устанавливают блок из трех зубьев: направляющего, деформирующего и поддерживающего.

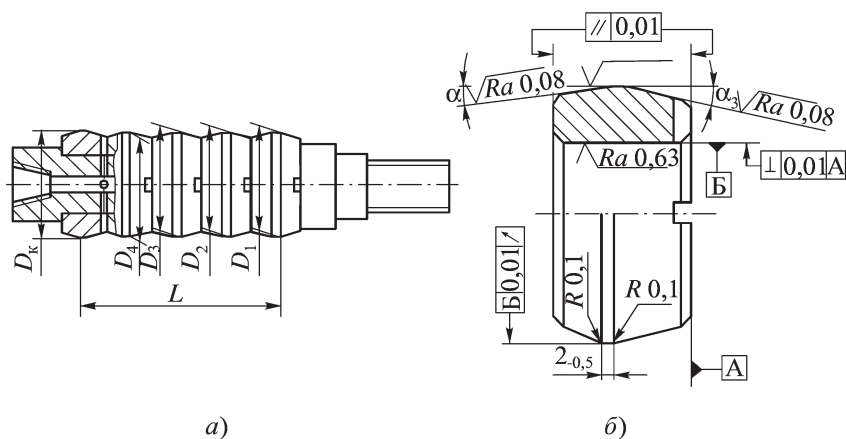


Рис. 2.21. Многозубый дорн для обработки глубоких отверстий:

а — общий вид; б — деформирующий элемент (кольцо)

Длина направляющего зуба должна быть в 1,2...1,5 раза больше длины любого другого зуба; угол заборного конуса  $\alpha_3 = 6...8^\circ$ ; диаметр зуба по ленточке

$$d_n = D_0 + (D_0^{\max} - D_0^{\min}) / 3,$$

где  $D_0^{\max}$ ,  $D_0^{\min}$  — соответственно наибольший и наименьший диаметры отверстий в заготовках.

В конце рабочей части дорна устанавливают одно или два концевых кольца, диаметр которых равен диаметру последнего деформирующего кольца, а угол заборного конуса  $\alpha_3 = 1...1,5^\circ$ . Длина промежуточных колец между концевыми зубьями не должна быть более  $(0,1...0,2)d_k$ , где  $d_k$  — диаметр концевой кольца.

Перенесение большей доли общего натяга на первый деформирующий зуб позволяет осуществлять процесс дорнования за один проход.

Натяг на первый деформирующий зуб

$$a_1 = (0,4...0,7)a,$$

где  $a$  — общий натяг ( $a = d_k - d_n$ );  $d_k$  — диаметр концевой зуба;  $d_n$  — диаметр направляющего зуба.

Натяги на последующие зубья распределяются по следующей зависимости:

$$a_i = (1 - k)algn/lgk,$$

где  $k$  — коэффициент,  $k = 0,4...0,7$ ;  $n$  — номер зуба, для которого рассчитывается натяг;  $g$  — общее число деформирующих зубьев.

Между деформирующими зубьями устанавливают поддерживающие зубья, диаметры которых должны быть меньше диаметров деформирующих зубьев на величину радиальной упругой деформации обрабатываемого материала, а угол заборного конуса  $\alpha_3 = 2...4^\circ$ .

Наибольшее влияние на процесс дорнования оказывают общий натяг и число деформирующих элементов — колец. Предельно возможную точность дорнования IT 6...7 можно получить только при дорновании с малыми натягами. При этом точность подготовленного под дорнование отверстия не должна быть хуже IT 8, чтобы исключить колебания натягов, а суммарная величина натяга для разных диаметров должна находиться в пределах 0,025...0,15 мм.

При одном и том же натяге структура поверхностных слоев претерпевает тем большие изменения, чем меньше натяг на один деформирующий элемент, т.е. чем большему числу циклов деформации была подвергнута поверхность обрабатываемого отверстия. При равенстве количества циклов деформации изменения текстуры и микро-

структуры поверхностных слоев возрастают с увеличением натяга на каждый деформирующий элемент, а следовательно, и с увеличением общего натяга.

Дорнование отверстий в заготовках малой и средней жесткости создает остаточные напряжения сжатия. С увеличением числа деформирующих элементов дорна, при одинаковой на каждый элемент величине натяга, уровень остаточных напряжений повышается. Чем больше прочность обрабатываемого материала и количество циклов деформации, тем на большей глубине возникают остаточные напряжения. При натягах на каждый деформирующий элемент более 0,4 мм в поверхностных слоях появляются неблагоприятные для эксплуатации растягивающие напряжения. Их величина растет с ростом натяга.

Повысить качество поверхностного слоя в процессе дорнования можно до определенного предела, который характеризуется шелушением поверхности в результате перенаклепа. При этом важно исходное состояние поверхности обрабатываемого отверстия. Если исходная шероховатость лежит в пределах  $Rz = 20...80$  мкм, то она оказывает отрицательное влияние на шероховатость и точность обработки. Наилучшие параметры обработки обеспечиваются при исходной шероховатости  $Rz = 1,25...2,5$  мкм и ниже.

Исследования [36] показали, что при дорновании глубоких отверстий наиболее работоспособным и долговечным является дорн, состоящий из пяти зубьев, обеспечивающих натяг на каждый зуб согласно табл. 2.18.

### 2.18. Размеры зубьев многозубого дорна для обработки глубоких отверстий

Диаметр обработанного отверстия, мм	Диаметр деформирующего зуба , мм				
	$d_{к_1}$	$d_{к_2}$	$d_{к_3}$	$d_{к_4}$	$d_{к_5}$
30Н7	29,90	30,01	30,08	30,09	30,09
36Н7	35,92	36,02	36,09	36,10	36,10
40Н7	39,95	40,06	40,12	40,17	40,14
45Н7	44,97	45,08	45,17	45,18	45,18

При обработке таким дорном глубоких отверстий в стали 38Х2МЮА по ГОСТ 4543–71 со скоростью 3 м/мин и подаче масляной СОЖ типа МР-7 точность диаметральных размеров достигла IT 7, а шероховатость поверхностного слоя обработанных отверстий составила  $Ra = 0,16...0,32$  мкм.

Дорнование глубоких отверстий малого диаметра (1...3 мм) необходимо выполнять перемещаемой толкателем однозубой прошивкой, размещенной с натягом в направляющей втулке из фторопласта [56]. Такая технологическая схема в сочетании с применением специальных установочных приспособлений обеспечивает надежное базирование заготовки, а также снижает до минимума перекосы и изгиб прошивки при входе в обрабатываемое отверстие. Это позволяет успешно использовать твердосплавные прошивки, обладающие высокими технологическими возможностями.

Длина цилиндрической ленточки такой прошивки должна быть равной  $(1...1,5)d_n$ , где  $d_n$  — диаметр ленточки, длина рабочего конуса —  $(2...3)d_n$ , а длина обратного конуса —  $(0,5...1,0)d_n$ . Углы конусов  $6^\circ$ , шероховатость рабочих поверхностей прошивки  $Ra \leq 0,04$  мкм. Поверхность прошивки, контактирующая с торцем толкателя, выполняется сферической (рис. 2.22).

Схема устройства для дорнования глубоких отверстий малого диаметра показана на рис. 2.23 [56]. Здесь заготовка 1 устанавливается на опорную втулку 2. При перемещении штока 3 прессы и перекладки 4 вниз вместе с ними по пазам Б перемещаются скалки 5, соединенные траверсой 6, которая перемещает вниз по пазу А толкатель 7. Последний проталкивает через отверстие в заготовке прошивку 8, которая па-

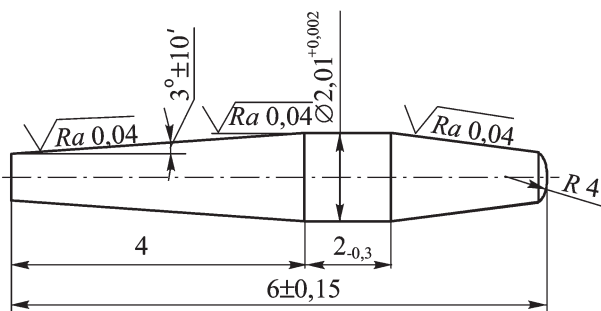


Рис. 2.22. Твердосплавный однозубый дорн малого диаметра

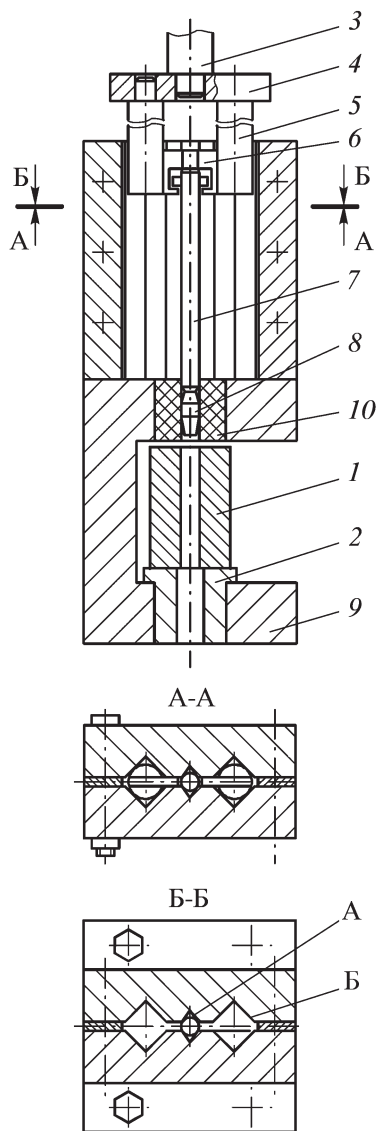


Рис. 2.23. Устройство для дорнования глубоких отверстий малого диаметра



дает в провальное отверстие втулки, запрессованной в корпус 9. При перемещении штока 3 пресса вверх траверса 6 воздействует на поперечину толкателя 7 и возвращает его в исходное положение. Прошивка 8 устанавливается в направляющую втулку 10 и цикл дорнования повторяется.

В этом приспособлении длина толкателя прошивки минимальна. Благодаря этому, а также тому, что поддержание толкателя обеспечивается по всей его длине, достигается высокая надежность приспособления в эксплуатации.

Результаты исследования точности и шероховатости поверхности отверстий диаметром 2 мм и глубиной 100 мм в заготовках из сталей 20Х и 40Х после сверления и последующего дорнования даны в табл. 2.19 [56]. Дорнование выполняли однозубыми твердосплавными (ВК8) прошивками на описанном выше приспособлении. Скорость дорнования 0,1 м/мин. В качестве СОЖ использовали масляную жидкость марки МР-7.

**2.19. Точность и шероховатость поверхности отверстий, полученных сверлением и последующим дорнованием**

Обрабатываемый материал	Операции	Диаметр отверстия, мм	Отклонение от круглости, мкм	Шероховатость, мкм	
				$R_a$	$R_{max}$
Сталь 20Х	Сверление	2,03...2,12	4,8...21,0	3,4...11,5	28,9...71,0
	Дорнование четырехцикловое*	2,158...2,167	1,0...7,0	0,1...0,52	1,7...11,3
Сталь 40Х	Сверление	2,02...2,07	15,0...40,0	0,54...2,5	3,3...27,0
	Дорнование трехцикловое*	2,138...2,146	1,6...5,0	0,14...1,0	3,0...6,3

\* Диаметры первой, второй, третьей и четвертой прошивок равны соответственно 2,116; 2,136; 2,166 и 2,18 мм.

Аналогичные результаты по точности и шероховатости поверхности были получены при обработке отверстий диаметром 2 мм и глубиной 200 мм.

## 2.5. ПРОТЯЖКИ

Протяжки применяют для обработки отверстий диаметром 3...100 мм и более глубиной до  $100D$  и более с точностью диаметральных размеров IT 7...9 и шероховатостью  $Ra = 0,63...1,25$  мкм. При этом в качестве обрабатываемых используют практически любые материалы, в том числе стали твердостью 38...42 HRC и даже 52 HRC [2, 22, 23, 57]. Протягивание способствует увеличению точности размеров, формы (в том числе прямолинейности оси отверстия), расположения оси отверстий, а также уменьшению шероховатости поверхностного слоя. Последнее наиболее просто достигается путем использования режуще-выглаживающих протяжек, оснащенных, наряду с режущими, и выглаживающими зубьями.

Протягивание глубоких отверстий имеет ряд особенностей: больший объем снимаемого металла; большая длина активной части режущих кромок и, как следствие, большая осевая составляющая силы резания; сложность подвода СОЖ в зону резания. Все это требует иного конструктивного исполнения протяжек, а именно: увеличенной вместимости стружечных канавок либо обеспечения непрерывного отвода стружки, применения внутреннего охлаждения инструмента. При этом необходимо предъявлять высокие требования к прямолинейности осей, подготовленных под протягивание глубоких отверстий, так как в противном случае неизбежны поломки инструмента, вызванные большими изгибающими усилиями.

Обработка глубоких отверстий осуществляется протяжками с кольцевыми и винтовыми зубьями (винтовыми протяжками).

**Протяжки с кольцевыми зубьями** применяют для обработки отверстий диаметром 3...100 мм и более глубиной до  $100D$  и более с точностью диаметральных размеров IT 7...9 и шероховатостью  $Ra = 0,63...1,25$  мкм. Они имеют малое число зубьев с удлиненным шагом, что позволяет размещать в пространстве между зубьями большое количество стружки.

Расчет основных параметров протяжек с кольцевыми зубьями и одинарной схемой резания ведут в следующей последовательности [23]:

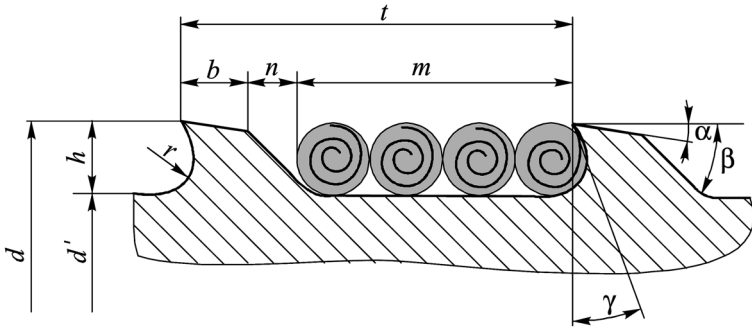


Рис. 2.24. Размеры зубьев протяжки с удлиненным шагом

1. Определяют размеры зубьев с удлиненным шагом (рис. 2.24)

$$h = (0,15...0,20)d; \quad r = (0,5...0,55)h; \quad b = (1,5...1,6),$$

где  $h$  — глубина стружечной канавки (высота зуба);  $d$  — номинальный диаметр протяжки;  $r$  — радиус закругления для стружечной канавки;  $b$  — длина затылка зуба.

Удлиненный шаг зубьев рассчитывают по формуле

$$t = m + n + b,$$

где  $m$  — длина активной части впадины между зубьями;  $n$  — длина спинки зуба;  $b$  — длина затылка зуба;

• длина активной части впадины между зубьями

$$m = \frac{4KS_z L \eta^2}{d(\eta^2 - 1)},$$

где  $K$  — коэффициент заполнения стружечной канавки,  $K = 3...6$  (рис. 2.25);  $S_z$  — подача (подъем) на зуб;  $L$  — длина обрабатываемого отверстия;  $\eta$  — коэффициент,  $\eta = d/d' = 1,4...1,6$ ;  $d'$  — диаметр сердцевины протяжки;

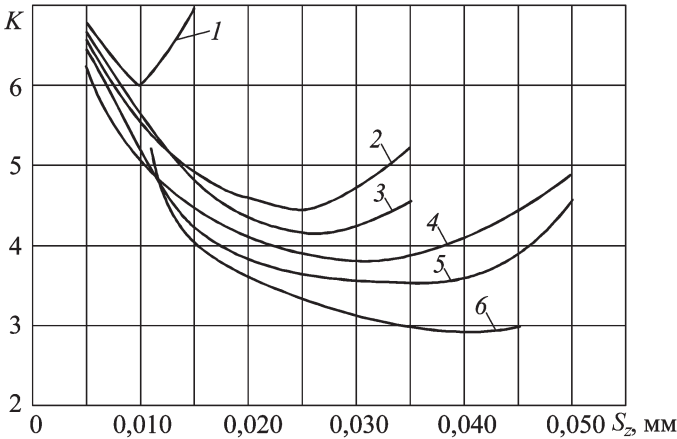
• длина спинки зуба

$$n = h/\text{tg } \beta,$$

где  $\beta$  — угол наклона спинки зуба,  $\beta = 50...60^\circ$ ;

• длина затылка зуба

$$b = \eta^3 \sqrt{d}.$$



**Рис. 2.25. Влияние конструкции протяжки, подъема на зуб  $S_z$  и глубины канавки  $h$  на коэффициент  $K$  (обрабатываемый материал — хромоникелевая сталь  $\sigma_b = 900 \dots 1000$  МПа):**

- 1, 3, 5, 6 — протяжка шлицевая, соответственно  $h = 1,25; 2,0; 4,25; 7,5$  мм;  
2, 4 — протяжка круглая, соответственно  $h = 2,0; 4,25$  мм

## 2. Определяют величину припуска под протягивание

$$\delta = kd^{0,6}L^{0,2},$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от точности отверстия, подготовленного под протягивание,  $k = 0,02 \dots 0,03$ .

## 3. Определяют подачу на зуб протяжки

$$S_z = \lambda d^{0,6}/L^{0,3},$$

где  $\lambda$  — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и схемы резания,  $\lambda = 0,015 \dots 0,020$ .

При протягивании улучшенных углеродистых и легированных сталей  $S_z = 0,015 \dots 0,030$  мм (подачу на зуб  $S_z < 0,015$  мм использовать не рекомендуется).

## 4. Назначают скорость резания.

При высоких требованиях к качеству обработанной поверхности и особенно к ее волнистости скорость резания не должна быть более 5 м/мин.

## 5. Проверяют прочность протяжки.

В работе [23] это делают путем расчета числа одновременно работающих зубьев, допускаемого прочностью инструмента

$$Z_d \leq \frac{\pi d^2 [\sigma]}{4\eta^2 B p_{уд} S_s},$$

где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение при растяжении;  $B$  — активная длина режущих кромок протяжки;  $p_{уд}$  — удельная сила протягивания.

В табл. 2.20 показана протяжка с кольцевыми зубьями и профильной схемой резания, предназначенная для обработки в стали 40Х отверстия диаметром  $D = 40,950^{+0,050}$  мм длиной  $L = 2000$  мм, рассчитанная по описанной методике.

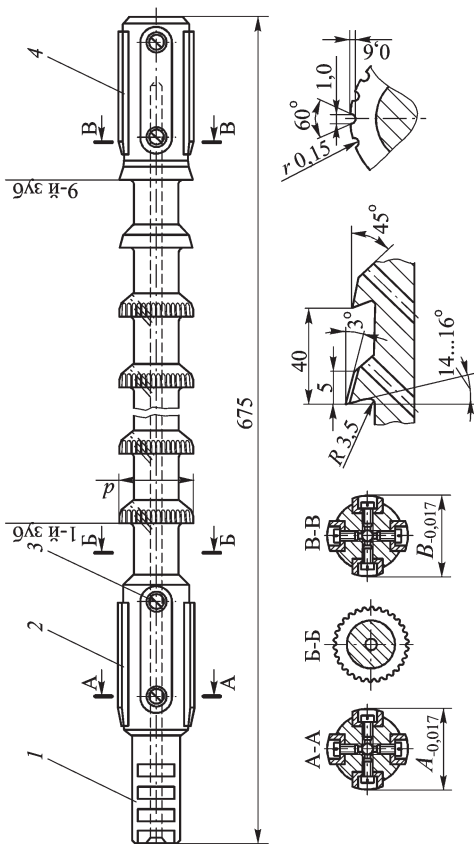
У этой протяжки СОЖ к режущим кромок подводится через осевое отверстие, а к каждому зубу — через радиальные отверстия в корпусе инструмента. Передняя и задняя направляющие снабжены текстолитовыми планками 2 и 4, прикрепленными винтами 3. Благодаря этому исключается заклинивание протяжки в обрабатываемом отверстии, которое может происходить из-за колебания диаметра отверстия по его длине.

Во избежание ослабления сечения протяжки на передней направляющей отверстия для крепления четырех текстолитовых планок просверлены попарно в различных плоскостях. На задней направляющей, которая не несет никакой нагрузки, отверстия просверлены в одной плоскости. Хвостовик 1 присоединяется к полой тяге быстродействующим резьбовым затворным соединением.

В связи с тем что подача на зуб относительно невелика, такие протяжки обычно изготавливаются комплектами, состоящими из 5...9 протяжек.

Протяжки диаметром более  $D = 50...80$  мм с кольцевыми зубьями изготавливают сборными. В табл. 2.21 показана протяжка с кольцевыми зубьями и круглошлифовой схемой резания, предназначенная для обработки в стали 38ХМЮА по ГОСТ 4543—71 отверстий диаметром  $D = 28^{+0,03}$  мм длиной  $L = 300$  мм [23]. У этой протяжки в отличие от предыдущей вначале идут шлицевые зубья, а затем круглые зубья с непрерывной режущей кромкой. Это значительно упрощает технологию изготовления таких протяжек.

**Винтовые протяжки** применяют для обработки отверстий диаметром 4...32 мм практически любой длины с точностью диаметральных размеров IT 7...9 и шероховатостью  $Ra \leq 2,5$  мкм. Ограничения по диаметру обрабатываемого отверстия здесь связаны с трудностью борьбы с винтовой волнистостью [61].

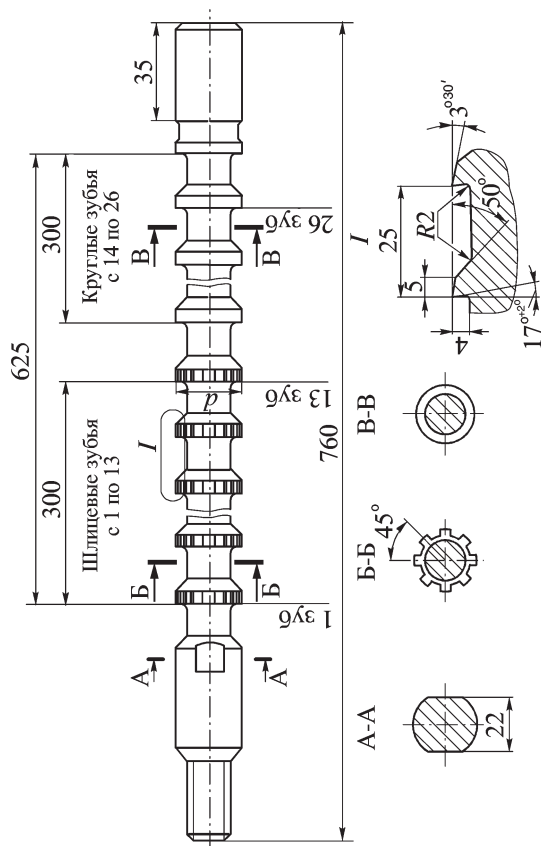
2.20. Комплект круглых протяжек для обработки отверстий диаметром  $40,95^{+0,05}$  мм длиной 2000 мм в стали 40Х

Номер протяжки	Номера зубьев и их диаметры $d_{-0,02}$ , мм									Размеры, мм	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B
1	39,360	39,400	39,440	39,480	39,520	39,560	39,600	39,600	39,600	39,360	39,570
2	39,600	39,625	39,650	39,675	39,700	39,725	39,750	39,750	39,750	39,570	39,720

Продолжение табл. 2.20

Номер прот- тяжки	Номера зубьев и их диаметры $d_{-0,02}$ , мм									Размеры, мм		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	
3	39,750	39,775	39,800	39,825	39,850	39,875	39,900	39,900	39,900	39,720	39,870	
4	39,900	39,925	39,950	39,975	40,000	40,025	40,050	40,050	40,050	39,870	40,020	
5	40,050	40,080	40,110	40,140	40,170	40,200	40,230	40,230	40,230	40,020	40,200	
6	40,230	40,260	40,290	40,320	40,350	40,380	40,410	40,410	40,410	40,200	40,380	
7	40,410	40,440	40,470	40,500	40,530	40,560	40,590	40,590	40,590	40,380	40,560	
8	40,590	40,620	40,650	40,680	40,710	40,740	40,770	40,770	40,770	40,560	40,740	
9	40,770	40,800	40,830	40,860	40,890	40,920	40,950	40,950	40,950	40,740	40,920	
Задние углы $\alpha$	$2^{\circ}30' \dots 3^{\circ}$									$1^{\circ}30'$		—

2.21. Комплект круглошлифовых протяжек с кольцевыми зубьями для обработки отверстий диаметром  $28^{+0,03}$  мм длиной 300 мм в стали 38ХНЮА





Продолжение табл. 2.21

Но- мер про- тяжки	Номера, типы зубьев и их диаметры $d_{-0,01}$ мм												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Шлицевые зубья												
1	26,50	25,59	26,68	26,77	26,86	26,95	27,04	27,13	27,22	27,30	27,35	27,35	27,35
2	27,35	27,44	27,53	27,62	27,71	27,80	27,86	27,92	27,96	27,98	27,98	27,98	27,98

Продолжение табл. 2.21

Но- мер про- тяжки	Номера, типы зубьев и их диаметры $d_{-0,01}$ мм												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	Круглые зубья												
1	26,50	26,59	26,68	26,77	26,86	26,95	27,04	27,13	27,22	27,30	27,35	27,35	27,35
2	27,35	27,44	27,53	27,62	27,71	27,80	27,86	27,92	27,95	27,98	27,99	28,00	28,00

Винтовые протяжки обычно имеют два зуба ( $z = 2$ ) с углом наклона  $\omega \leq 42^\circ$ . Передний угол протяжек в нормальном сечении зуба независимо от обрабатываемого материала  $\gamma_n = 4^\circ$ . Задний угол  $\alpha = 2...3^\circ$  и постоянен по длине рабочей части инструмента. При этом на задней поверхности зуба оставляют ленточку шириной  $0,05...0,1$  мм на режущей части и не более  $0,3$  мм на калибрующей части (рис. 2.26).

Длина рабочей части протяжки с целью уменьшения осевой составляющей силы резания делается укороченной, поэтому срезание припуска осуществляется комплектами, состоящими из 2...5 протяжек.

Винтовые протяжки имеют длинные хвостовики, которые крепятся к рабочей части инструмента с помощью прямоугольной резьбы. При этом прочность резьбового соединения ограничивает величину максимально допустимой осевой составляющей силы резания.

Расчет основных параметров винтовых протяжек ведут по методике Ю.В. Гаврилова в следующей последовательности [61]:

1. Определяют средний диаметр рабочей части протяжки

$$d_{cp} = 0,5(D_{max} + D_0),$$

где  $D_{max}$  — максимальный диаметр отверстия после протягивания;  $D_0$  — минимальный диаметр отверстия до протягивания.

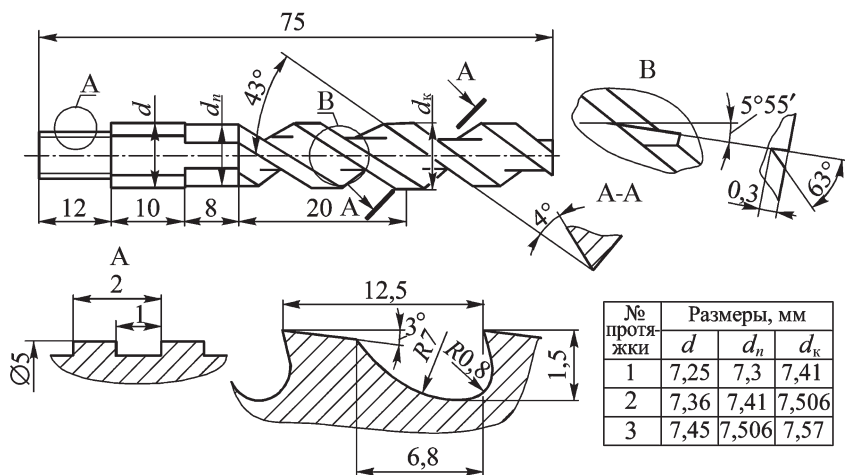


Рис. 2.26. Комплект винтовых протяжек для обработки отверстий диаметром 7,57 мм длиной более 30Д

2. Рассчитывают шаг винтовых канавок исходя из условия обеспечения угла  $\omega = 42^\circ$ :

$$H = \frac{\pi d_{\text{сп}}}{\text{tg } 42^\circ}.$$

Полученное значение шага округляют до ближайшего большего значения, которое может быть обеспечено при фрезеровании винтовых стружечных канавок (табл. 2.22).

### 2.22. Шаги винтовых канавок, мм

25,00	35,00	43,60	51,00	54,00	58,20
64,00	70,00	73,50	76,20	81,00	86,40
88,90	90,00	98,00	103,00	108,00	112,00
117,90	120,00	122,50	123,75	125,00	128,00

После этого уточняют средний расчетный угол  $\omega_p$  наклона винтовых зубьев.

3. Определяют максимально допустимую осевую составляющую силы резания

$$[P_z] = \frac{650}{\sqrt{\frac{1}{F_{\text{оп}}} + 0,0124 \frac{H^2}{W_p^2}}},$$

где  $F_{\text{оп}}$  — площадь опасного сечения соединительной резьбы;  $W_p$  — момент сопротивления кручению опасного сечения соединительной резьбы.

4. Рассчитывают величину осевой составляющей силы резания

$$P_z = 9,8 U_p z (3,095 + 173,65 S_z) K_M K_{\text{ПК}} \text{tg } \omega < [P_z].$$

5. Устанавливают группы обрабатываемости и качества протянутой поверхности [54].

6. Рассчитывают максимально допустимую подачу для черновой части протяжки. Для этого допустимую подачу предварительно выбирают в зависимости от группы обрабатываемости материала заготовки и качества обработанного отверстия (табл. 2.23 и 2.24). Затем расчи-

## 2.23. Скорость резания при протягивании, м/мин

Группа качества	Группа обрабатываемости									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	6	6	5	4	3	7	5	7	7	3
2	8	7	6	4	3	9	6	9	9	5
3	10	9	8	6	3	12	8	12	12	7
4	12	10	9	6	3	14	10	14	14	9

2.24. Максимально допустимая подача  $S_z$ , мм

Скорость резания, м/мин	Группа обрабатываемости									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
До 3	—	—	—	0,10	0,04	—	—	—	—	—
До 6	0,25	0,20	0,16	0,06	0,04	—	0,20	—	—	0,20
До 10	0,20	0,18	0,14	—	—	0,20	0,20	0,20	0,18	0,20
До 15	0,20	—	—	—	—	0,20	—	0,20	0,16	—

тывают подачу с учетом максимально допустимой осевой составляющей силы резания

$$S_z = \frac{HP_z}{Lzd_{cp} K_M K_{PK}} 1,83305 \cdot 10^{-3} - 0,0178232,$$

где  $L$  — длина обрабатываемого отверстия;  $z$  — число винтовых зубьев;  $K_M$  — коэффициент, учитывающий влияние группы обрабатываемости и инструментального материала (табл. 2.25);  $K_{PK}$  — коэффициент, учи-

тывающий наличие стружкоразделительных канавок,  $K_{po} = 0,8$  — при наличии стружкоразделительных канавок,  $K_{po} = 1$  — при их отсутствии.

7. Определяют максимально допускаемую длину режущей части

$$l_p \leq \frac{[P_z]}{9,81z(3,095 + 173,65S_z)K_m K_{pk} \operatorname{tg} \omega}.$$

8. Рассчитывают требуемую площадь стружечной канавки

$$F_k = \frac{K_c}{K_1 \cos \omega} l_p S_z,$$

где  $K_c$  — коэффициент заполнения стружечной канавки,  $K_c = 3$ ;  $K_1$  — коэффициент, учитывающий часть длины образующегося стружечно-го валика за пределами режущей кромки,  $K_1 = 0,35$  при  $S_z \leq 0,04$  мм.

9. Определяют глубину стружечной канавки

$$h_r = 0,5d_{cp}(1 - \sin v_n),$$

где  $v_n$  — угол,  $v_n = \arctg \cos \omega$ .

10. Рассчитывают ширину стружечной канавки в осевом сечении

$$l_{км} = 0,95[0,5d_{cp}(\sin V - \sin v_n)\operatorname{tg} W_1 + p(V - v_n)],$$

где  $V = \arccos\left(-\frac{\operatorname{tg}^2 \omega}{\sqrt{1 + \cos^2 \omega}}\right)$ ;  $W_1 = \arctg[(\operatorname{tg} \omega)\cos v_n]$ ;  $p$  — винтовой параметр,  $p = H/2\pi$ .

11. Определяют приближенное значение площади стружечной канавки

$$F_{ck} = (1 - M)h_r l_{км},$$

где  $M$  — коэффициент глубины,  $M = h_r/l_{км}$ .

12. Рассчитывают максимальный припуск, срезаемый одной протяжкой

$$A = \frac{2F_{ck} z K_1}{K_c H} \cos \omega.$$

13. Определяют полный припуск, срезаемый комплектом протяжек

$$A_0 = D_{\max} - D_0.$$

14. Рассчитывают число протяжек в комплекте

$$n = A_0/A.$$

Далее это значение округляют до ближайшего большего целого числа.

2.25. Значения коэффициента  $K_M$ 

Обрабатываемые материалы	Твердость НВ	Коэффициент $K_M$	
Стали I...V группы обрабатываемости	После закалки и отпуска	285	0,92
		285...336	1,00
		336...375	1,08
Инструментальные, легированные и быстрорежущие стали	204...229	130...321	0,77
			1,08
Чугуны VI и VII групп обрабатываемости	< 229		0,39
		> 229	0,54
Бронзы, латуни VIII и IX групп обрабатываемости	< 110		0,31
Алюминиевые сплавы X группы обрабатываемости	< 110		0,31

15. Определяют диаметры в начале и в конце режущей части каждой протяжки в комплекте:

- диаметр калибрующей части протяжки  $D_{к_i}$  равен максимальному диаметру обрабатываемого отверстия;
- диаметр в начале режущей части протяжки

$$d_{н_i} = \frac{d_{к_i} \sum_{i=1}^{n-1} S_{z_i} + D_o S_{z_i}}{\sum_{i=1}^n S_{z_i}},$$

где  $D_o$  — минимальный диаметр обрабатываемого отверстия;  $S_{z_i}$  — толщина среза для  $i$ -й протяжки в комплекте.

16. Назначают длину калибрующей части

$$l_k = H.$$

17. Определяют параметры стружкоразделительных канавок

- число канавок

$$n = \pi \sqrt{d_{cp}},$$

полученное значение округляют до ближайшего четного числа;

- окружной шаг канавок

$$b = \pi d_{cp} / n;$$

- угол наклона стружкоразделительных канавок

$$\omega_1 = \arctg \frac{1}{\frac{2t}{b} + \frac{1}{\operatorname{tg} \omega}},$$

где  $t$  — осевой шаг винтовых зубьев,  $t = H/z$ ;

- угол профиля стружкоразделительной канавки

$$\varphi = \arctg \frac{\sin \omega_1}{\sin \alpha}.$$

На рис. 2.26 показана винтовая протяжка, предназначенная для обработки в стали 45 отверстий диаметром  $D = 7,57$  мм и длиной более  $30D$ , рассчитанная Ю.В. Гавриловым [61].

Технология изготовления винтовых протяжек изложена в работах [16, 69].

## 2.6. ХОНИНГОВАЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

Хонинговальные головки применяют для окончательной обработки отверстий диаметром 1...1500 мм и длиной до 25 000 мм с точностью диаметральных размеров IT 5...6 и шероховатостью  $Ra = 0,08...0,32$  мкм.

Диаметры глубоких отверстий, обрабатываемых хонингованием, обычно находятся в диапазоне 4...300 мм. Для их обработки применяют следующие конструкции хонинговальных головок: а) одно- и многобрусковые ( $z = 4...16$  для  $d = 45...300$  мм); б) однорядные и многорядные (2, 3, реже 4 ряда).

Характерным признаком однобрусковых головок является наличие неподвижных опорных брусков, расположенных асимметрично. Подобное расположение брусков способствует уменьшению отклонения от круглости отверстия и увеличению жесткости инструмента. При черновом хонинговании неподвижные бруски иногда изготавливают из твердого сплава, а при чистовом хонинговании их покрывают алмазносным слоем.

На рис. 2.27 показана однобрусковая хонинговальная головка, предназначенная для обработки отверстий диаметром 5...25 мм длиной  $(10...40)D$  [4]. В корпусе 1 головки расположен один подвижный брусок 2, закрепленный в колодке 3, и два неподвижных опорных бруска 9 и 11. Длина неподвижных брусков в 1,5...2,5 раза больше длин подвижных брусков. Колодки удерживаются в корпусе головки плоскими пружинами 4.

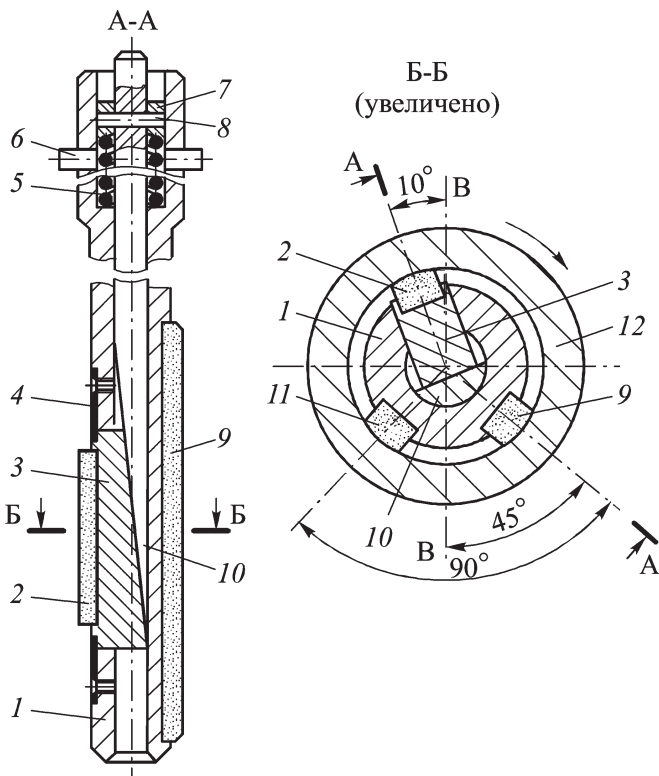
Подвижный брусок 2 может перемещаться вместе с колодкой в радиальном направлении с помощью клина 10 под воздействием механизма дискретной подачи хонинговального станка. Для возврата клина в исходное положение служат пружина 5 и кольцо 7 со штифтом 8.

Присоединяют хонинговальную головку к шпинделю хонинговального станка непосредственно или через переходные элементы, например с помощью штифтов 6, вводимых в фигурный паз байонетного замка.

Для уменьшения шероховатости обработанной поверхности отверстий рекомендуется [4] увеличивать зернистость брусков в направлении вращения хонинговальной головки (показано стрелкой). При этом зернистость неподвижного бруска 11 должна быть на одну-две степени крупнее, чем зернистость неподвижного бруска 9. В целом зернистость неподвижных брусков должна быть на две—четыре степени мельче зернистости подвижного бруска.

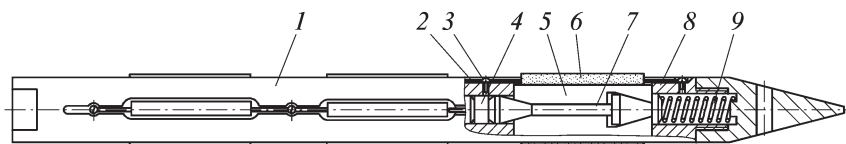
Многорядные хонинговальные головки имеют 2...4 ряда брусков, а часто и дополнительные направляющие устройства, предотвращающие перекашивание головки в обрабатываемом отверстии.





**Рис. 2.27.** Хонинговальная головка для обработки глубоких отверстий диаметром 5...25 мм

На рис. 2.28 показана трехрядная хонинговальная головка, предназначенная для обработки глубоких отверстий диаметром 44 мм в штангах глубинных насосов. Головка состоит из корпуса 1, в центральном отверстии которого расположены три тяги 7, между которыми находятся две шайбы 4. Корпус имеет двенадцать продольных пазов, в которых вставлены колодки 5 с алмазными брусками 6. Фиксация колодок осуществляется с помощью плоских проволочных пружин 2 и 8, закрепленных винтами 3. После окончания цикла хонингования толкатель хонинговального станка отходит в исходное положение. Тяги под действием пружины 9 смещаются вправо и бруски заводятся в пазы корпуса хонинговальной головки.



**Рис. 2.28. Трехрядная хонинговальная головка для обработки глубоких отверстий диаметром 44 мм**

Обработка хонингованием увеличивает точность размеров и формы отверстий. При этом уменьшение изогнутости осей отверстий встречает большие трудности и обычно решается путем повышения жесткости головок и увеличения длины алмазных брусков, которая должна быть не менее  $3/4$  длины обрабатываемого отверстия. Этим требованиям отвечает хонинговальная головка, изображенная на рис. 2.29 [3]. Она предназначена для обработки глубоких отверстий диаметром 43 мм и представляет собой одноколоточную конструкцию, обладающую большой жесткостью. В этой конструкции три алмазных бруска *3* закреплены на колодке *2*, а три бруска — на корпусе головки *1*. Длина брусков равна длине обрабатываемого отверстия. При этом радиусы брусков на корпусе и на колодке соответствуют радиусу обрабатываемого отверстия. Колодка раздвигается односторонним клином *4* до полного соприкосновения брусков с обрабатываемой поверхностью. По окончании хонингования клин возвращается в исходное положение, а колодки прижимаются к корпусу головки плоскими пружинами *5*.

Высокая производительность процесса хонингования достигается за счет правильного выбора характеристик брусков (материал абразивных зерен, их зернистость, твердость, материал связки), режима хонингования (окружная скорость  $V_o$ , возвратно-поступательная скорость  $V_{в-п}$ , соотношение  $V_o/V_{в-п}$  и давление брусков), а также состава СОЖ и степени ее очистки.

В качестве материала брусков хонинговальных головок применяют [20]:

- а) абразивные материалы
  - белый электрокорунд марок 23А, 24А (зернистостей 25-М7) и 25А (зернистостей 25-5);
  - карбид кремния марок 63С и 64С (зернистостей 16-М7). Твердость брусков СМ2...С2, связка бакелитовая или керамическая. Размеры абразивных брусков регламентирует ГОСТ 2456–82;

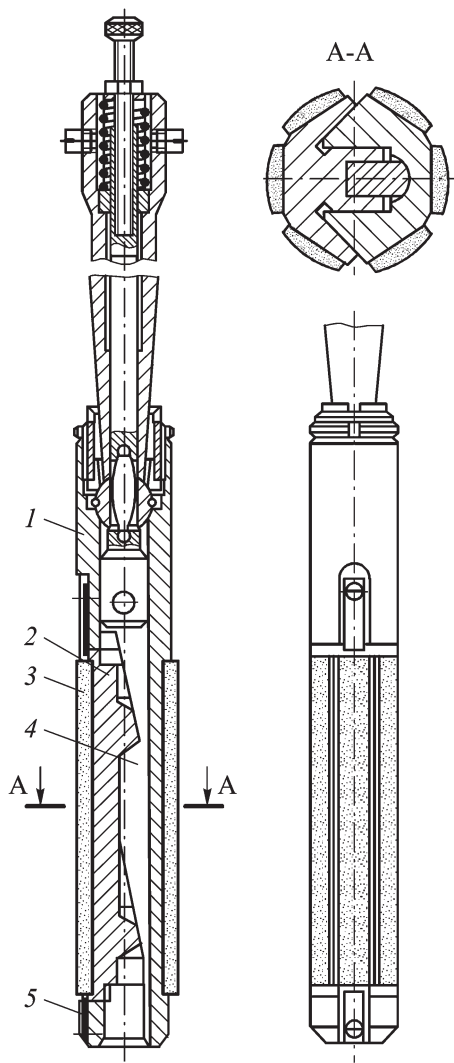


Рис. 2.29. Хонинговальная головка повышенной жесткости для обработки глубоких отверстий диаметром 43 мм

б) сверхтвердые материалы:

- синтетические алмазные порошки марок АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АРВ1, АРК4 и др. (зернистостей 14/10...400/315). Концентрация от 50 до 150 %. Связки металлическая (М1 и М73), металлосиликатная (МС и МК), эластичная (Р4, Р9, Р11, Р13, Р14) и др.;

- эльборные порошки марок БО, БП, БВ (зернистостей 50/40...250/200). Концентрация 50 и 100%. Связка керамическая. Размеры алмазных хонинговальных брусков регламентирует ГОСТ 25594–83.

Характеристики абразивных и алмазных хонинговальных брусков и режимы абразивного и алмазного хонингования представлены соответственно в табл. 2.26...2.29 [20, 35].

Получение стабильных результатов при хонинговании зависит от правильного выбора режима работы инструмента. Так, например, при хонинговании стали окружная скорость резания должна быть  $V_o = 10...60$  м/мин, а чугуна —  $V_o = 15...80$  м/мин. При этом скорость возвратно-поступательного движения должна быть соответственно  $V_{в-п} = 3...25$  м/мин и  $V_{в-п} = 5...20$  м/мин. Угол сетки рекомендуют брать равным  $45...75^\circ$ , что соответствует отношению  $V_o/V_{в-п} = 1...4$ . Иногда это отношение доходит до 10.

С целью интенсификации процесса хонингования иногда в состав движения инструмента и заготовки дополнительно вводят осциллирующее (колебательное) движение. Благодаря этому режущие зерна брусков хонинговальных головок при своем движении не повторяют траекторий предыдущих зерен и, тем самым, используют свои режущие свойства в более полной мере. Так, например, обработка глубоких отверстий на горизонтальных хонинговальных станках моделей РТ61701 и РТ61703 ОАО «Рязанский станкостроительный завод» ведется при вращающейся заготовке и невращающемся инструменте, совершающем возвратно-поступательное движение подачи с наложением на него дополнительного осевого осциллирующего движения с частотой 600 дв. ходов/мин и амплитудой 1...8 мм.

## 2.26. Выбор характеристики абразивных хонинговальных брусков

Обрабатываемый материал	Припуск, мм	Параметр $R_a$ , мкм		Характеристика абразивных брусков
		Исходный	Достижимый	
Закаленная сталь	0,08...0,14	2,5	1,25	24A10 CT1–CT2K
	0,04...0,08	2,5	0,63	24A6 C2–CT2K
	0,03...0,04	1,25	0,32	24A5 C2–CT2K
	0,01...0,03	1,25	0,32	24A3–5C1–CT1K
Незакаленная сталь	0,04...0,07	2,5	0,63	24A10 C2–CT2K
	0,02...0,04	1,25	0,63	63CM40 CT2–T2K
	0,003...0,005	0,63	0,16	63CM14–M28 CT1–CT2K
Закаленный серый чугун	0,08...0,16	2,5	1,25	63C16 T1–T2K (бакелизированные)
	0,04...0,08	1,25	0,63	63C10–12T1–T2K (бакелизированные)
	0,01...0,03	0,63	1,32	63CM40 CM2–C2K
Серый чугун	0,08...0,16	5	2,5	63C12–16T1–T2K
	0,05...0,08	2,5	1,25	63C10–T1–T2K
	0,03...0,05	2,5	1,25	63C10CT2–T2K
	0,02...0,03	1,25	0,63	63C6CT2–T2K
	0,005...0,008	0,63	0,32	63CM20–M28CT2–T2K
	0,005...0,008	0,63	0,16	63CM14–M20 CT2–T2K
Бронза, алюминий, латунь	0,09...0,15	2,5	0,63	63C12C1–CT1K
	0,05...0,10	2,5	0,63	63C8–12C1–CT1K
	0,03...0,07	2,5	0,63	63C5–8CM2–C2K
	0,01...0,025	1,25	0,32	63CM20–M40M3–CM1K

## 2.27. Режимы абразивного хонингования

Обрабатываемый материал	Операция	$V_o$	$V_{в-п}$		$p$ , МПа
			м/мин		
Серый закаленный чугун	Предварительная	50...80	15...20		0,8...1,4 0,6...0,8
	Окончательная	40...50	8...12		
Серый чугун	Предварительная	40...80	17...22		0,8...1,0 0,3...0,5
	Окончательная	30...50	8...15		
Незакаленная сталь	Предварительная	15...30	8...12		0,4...0,6 0,2...0,4
	Окончательная	10...30	5...7		
Закаленная сталь	Предварительная	20...40	5...8		1,0...1,5 0,6...1,0
	Окончательная	20...30	4...7		
Бронза	Окончательная	40...70	4...8		0,3...0,5

**2.28. Рекомендуемые марки и зернистость алмазных порошков в зависимости от обрабатываемого материала и шероховатости поверхности**

Обрабатываемый материал	Марка и зернистость алмазного порошка при шероховатости поверхности $R_a$ , мкм						
	10...20	2,0...2,5	1,0...1,2	0,5...0,6	0,2...0,3	0,1...0,2	0,06...0,08
Серые и легированные чугуны	АС15 315/250, АС6 250/200	АС4 200/160, АС4 160/125, АС4 125/100	АС4 100/80, АС4 80/63	АС4 63/50, АС2 50/40	АСМ 28/20, АСМ 20/14	АСМ 20/14, АСМ 14/10	АСМ 10/7
Закаленные чугуны	АС15 630/500, АС15 500/400	АС15 400/315, АС15 315/250	АС15 250/200, АС15 200/160, АС15 160/125	АС6 125/100, АС6 100/80	АСМ 40/28, АСМ 28/20	АСМ 28/20, АСМ 20/14	АСМ 20/14, АСМ 14/10
Нетермообработанные чугуны	АС15 315/250, АС6 250/200	АС6 200/160, АС6 160/125, АС6 125/100	АС6 100/80, АС6 80/63	АС4 63/50, АС2 50/40	АСМ 40/28, АСМ 28/20	АСМ 20/14	—
Закаленные стали	—	АС6 200/160, АС6 160/125	АС6 125/100, АС6 100/80	АС6 80/63, АС4 63/50	—	—	АСМ 14/10

2.29. Режимы алмазного хонингования

Обрабатываемый материал	Операция	$V_0$		$V_{в-п}$ м/мин	$p$ , МПа	$S_{пр}$ , мкм/дв.ход
Серый закаленный чугун	Предварительная	50...80		16...18	1,3...1,5	—
	Окончательная	40...50		12...16	0,5...0,9	
Серый чугун	Предварительная	50...80		15...18	0,8...1,2	2...3
	Окончательная	40...70		8...12	0,4...0,6	0,6...0,8
Незакаленная сталь	Предварительная	25...35		6...12	0,4...0,6	1...2
	Окончательная	25...35		3...8	0,2...0,4	0,4...0,6
Закаленная сталь	Предварительная	40...50		5...8	0,8...1,4	1...3
	Окончательная	40...55		4...6	0,4...0,8	0,4...0,6
Хром	Предварительная	12...20		6...8	0,4...0,6	—
	Окончательная	12...20		5...7	0,3...0,5	
Анодированный алюминий	Окончательная	20...25		10...12	0,3...0,4	—



## 3. ИНСТРУМЕНТЫ С ОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ БАЗИРОВАНИЯ

---

Обработку глубоких отверстий с высокими требованиями к точности (IT 6...8), особенно к уводу осей отверстий (0,01...0,03 мм / 100 мм) в крупносерийном и массовом производствах лучше всего осуществлять сверлами ружейными, БТА, эжекторными и другими инструментами с определенностью базирования.

### 3.1. СВЕРЛА

**Ружейные сверла** применяют для сверления отверстий диаметром 0,5...30 мм и более, глубиной до  $250D$  и более с точностью диаметральных размеров IT 7...9, уводом осей отверстий 0,01...0,02 мм/100 мм и шероховатостью  $Ra = 0,32...1,25$  мкм.

«Классическое» ружейное сверло состоит из режущего твердосплавного наконечника (рабочей части) *1* и стального трубчатого стебля *2* с V-образной наружной канавкой и хвостовика *3* (рис. 3.1). В процессе сверления СОЖ под давлением подается в зону резания через отверстия в стебле *2* и наконечнике *1* сверла. Стружка отводится по V-образной канавке в стружкоприемник *3* и далее в стружкосборник станка (рис. 3.2).

Наконечники ружейных сверл бывают цельные твердосплавные, сборные из стали типа 30ХГСА (для  $d > 22$  мм), оснащенные напайными режущими и направляющими твердосплавными пластинами, а также сменные твердосплавные (рис. 3.3). Иногда режущие и направляющие пластины припаивают непосредственно на стемель сверла.

Соединение со стеблем твердосплавных наконечников осуществляют пайкой припоем ПСрМНц-49 по ТУ 48–1–326–73 или ПСр40 по ГОСТ 19739–74 с применением флюса 284 по ТУ 48–02–62–71 [63], а сборных наконечников — аргодуговой сваркой. Для этого наконечники с одной стороны имеют клиновую поверхность с углом профиля 60...90°, которая стыкуется с ответной стыковой поверхностью на стебле сверла (см. рис. 3.1).

Наконечники ружейных сверл имеет круглые или серпообразные отверстия и наружные V-образные канавки с углом профиля 120°. Длина твердосплавных наконечников берется равной  $(2,0...4,5)d$ . Для примера в табл. 3.1 приведены размеры заготовок твердосплавных на-

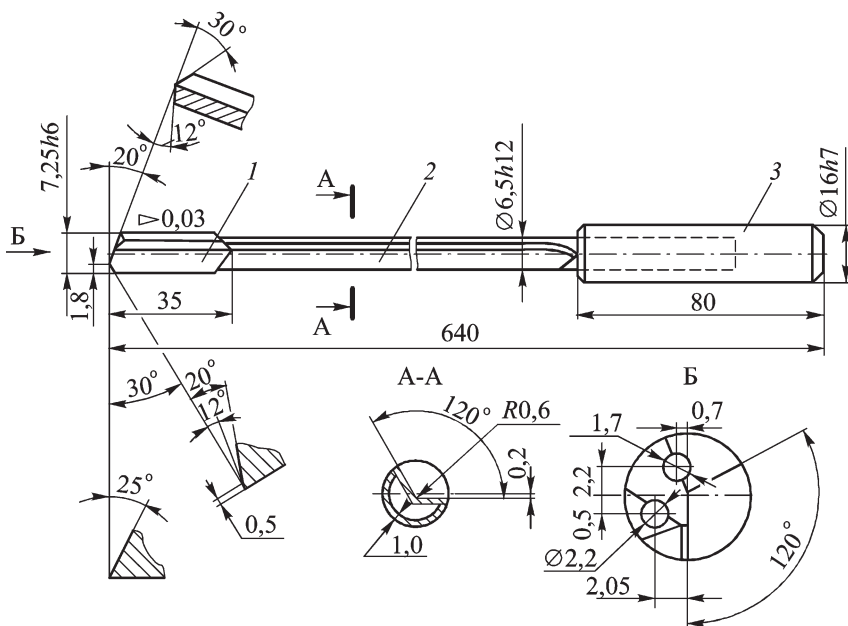


Рис. 3.1. Ружейное сверло:

1 — наконечник; 2 — стебель; 3 — хвостовик

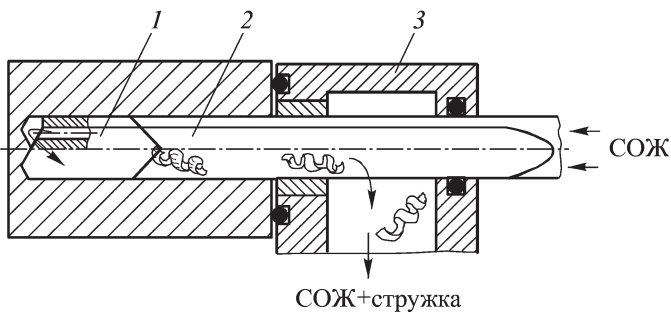
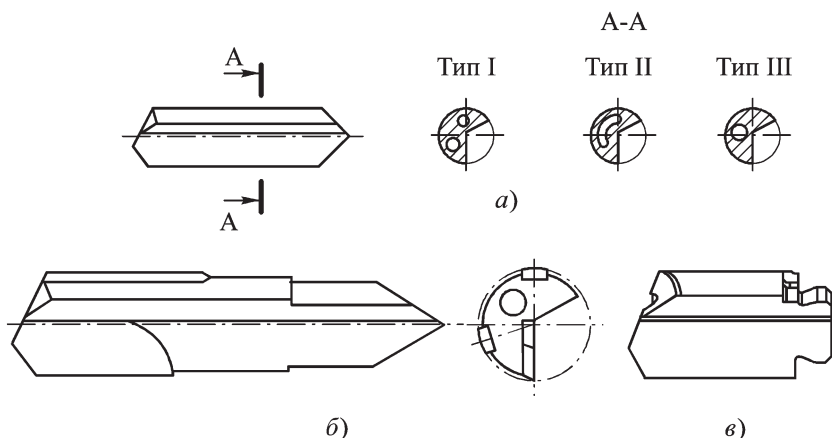


Рис. 3.2. Схема обработки глубокого отверстия ружейным сверлом:

1 — наконечник; 2 — стебель; 3 — стружкоприемник



**Рис. 3.3. Типы наконечников ружейных сверл:**

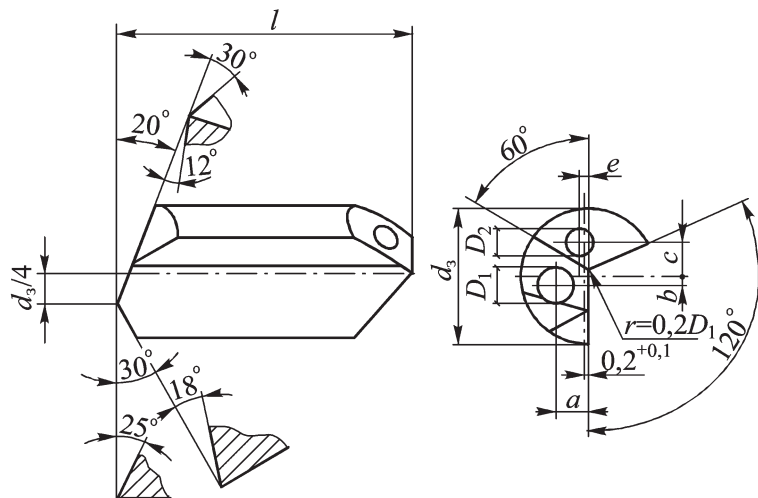
*а* — цельный твердосплавный; *б* — сборный, оснащенный напайными твердосплавными пластинами; *в* — сменный твердосплавный фирмы Iscar (Израиль)

нечников, выпускаемых фирмой Hartmetall (Чехия). Аналогичные заготовки наконечников ружейных сверл выпускают и другие производители.

В последнее время за рубежом ряд фирм освоили выпуск заготовок твердосплавных наконечников ружейных сверл в виде стержней длиной 310 и 340 мм. Это, в частности, заготовки фирмы Hartmetall (Чехия) —  $d_3 = 5,9...20,9$  мм (рис. 3.4) (размеры поперечного сечения таких заготовок см. в табл. 3.1); Gühring (Германия) —  $d_3 = 2,4...8,7$  мм (с серповидным отверстием для подвода СОЖ) и  $d_3 = 5,5...13,9$  мм (с двумя отверстиями); Ceratizit (Люксембург) — соответственно  $d_3 = 2,4...8,7$  мм и  $d_3 = 5,5...13,9$  мм; Voehlerit (Австрия) —  $d_3 = 8,85...19,6$  мм (с двумя отверстиями) и др.

В качестве материала наконечников ружейных сверл в нашей стране используют однокарбидные твердые сплавы марок ВК8, ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ. За рубежом применяют твердые сплавы примерно того же химического состава, но с меньшим размером зерен карбидной фазы (табл. 3.2). Благодаря этому повышается твердость и изгибная прочность твердого сплава, уменьшается выкрашивание лезвий сверл. Другим следствием уменьшения размера зерен карбидной фазы является возможность получения более острой режущей кромки, что особенно

### 3.1. Размеры заготовок твердосплавных наконечников ружейных сверл фирмы Hartmetall (Чехия)



$d$ , мм	$d_3$ , мм	$l$ , мм	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$c$ , мм	$e$ , мм
6,9...7,4	$7,8^{+0,3}$	35	1,8	1,5	1,70	0,45	1,85	0,50
7,4...7,9	$8,3^{+0,3}$	35	2,0	1,6	1,85	0,50	2,05	0,55
7,9...8,4	$8,8^{+0,4}$	35	2,2	1,7	1,95	0,50	2,20	0,60
8,4...8,9	$9,3^{+0,4}$	35	2,4	1,8	2,05	0,55	2,30	0,60
8,9...9,9	$10,3^{+0,4}$	35	2,6	2,0	2,20	0,60	2,60	0,70
9,9...10,9	$11,3^{+0,4}$	40	2,8	2,2	2,50	0,70	2,80	0,75
10,9...11,9	$12,3^{+0,4}$	40	3,0	2,4	2,70	0,75	3,10	0,85
11,9...12,9	$13,3^{+0,4}$	40	3,2	2,6	3,00	0,80	3,40	0,90
12,9...13,9	$14,3^{+0,4}$	40	3,6	2,8	3,20	0,85	3,55	0,95
13,9...14,9	$15,3^{+0,4}$	40	3,8	3,0	3,50	0,95	3,85	1,05
14,9...15,9	$16,3^{+0,4}$	40	4,0	3,2	3,65	1,00	4,15	1,10

Окончание табл. 3.1

$d$ , мм	$d_3$ , мм	$l$ , мм	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$a$ , мм	$b$ , мм	$c$ , мм	$e$ , мм
15,9...16,9	$17,3^{+0,4}$	40	4,2	3,4	3,95	1,05	4,45	1,20
16,9...17,9	$18,3^{+0,5}$	40	4,5	3,6	4,15	1,10	4,65	1,25
17,9...18,9	$19,3^{+0,5}$	45	4,8	3,8	4,45	1,20	4,95	1,30
18,9...19,9	$20,3^{+0,5}$	45	5,0	4,0	4,65	1,25	5,10	1,35
19,9...20,9	$21,3^{+0,5}$	45	5,3	4,2	4,85	1,30	5,40	1,45
20,9...21,9	$22,3^{+0,6}$	50	5,6	4,5	5,10	1,35	5,70	1,55
21,9...22,9	$23,3^{+0,6}$	50	5,8	4,5	5,30	1,40	6,00	1,60
22,9...23,9	$24,3^{+0,6}$	55	6,0	4,8	5,60	1,40	6,30	1,70
23,9...24,9	$25,3^{+0,6}$	55	6,3	5,0	5,80	1,55	6,45	1,75
24,9...25,9	$26,3^{+0,6}$	55	6,6	5,3	6,00	1,60	6,75	1,80
25,9...28,0	$28,4^{+0,6}$	65	7,0	5,6	6,30	1,70	6,95	1,85
28,0...30,1	$30,5^{+0,6}$	65	7,4	6,0	6,55	1,70	7,35	1,95
30,1...32,4	$32,8^{+0,6}$	65	7,6	6,5	6,90	1,80	7,75	2,05

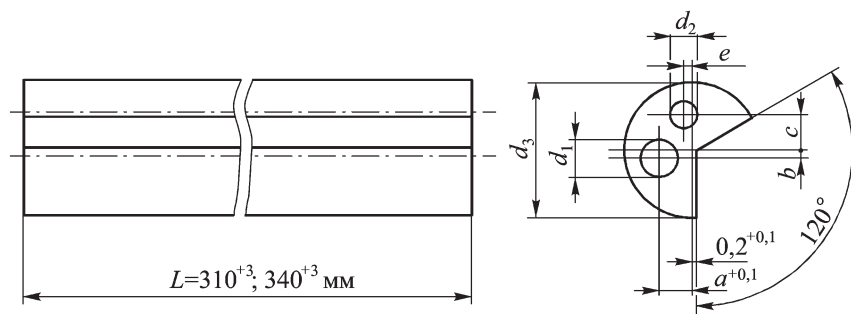


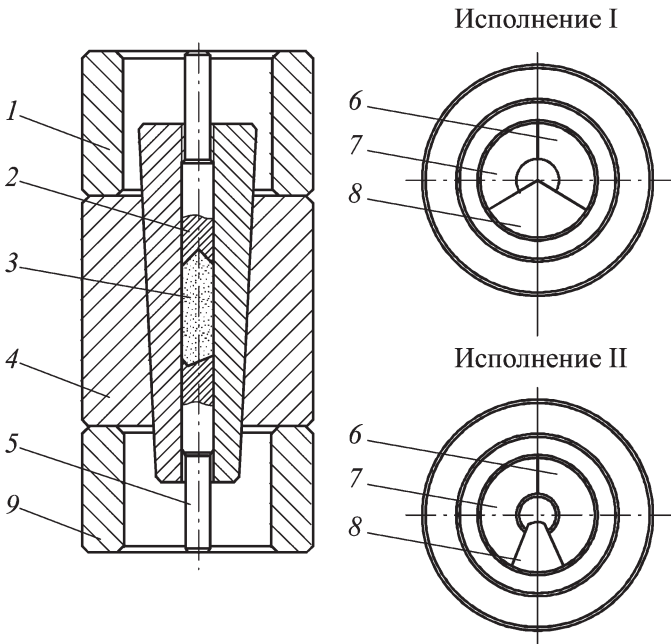
Рис. 3.4. Твердосплавный стержень-заготовка наконечника ружейного сверла фирмы Hartmetall (Чехия)

3.2. Характеристики некоторых марок твердых сплавов, применяемых для изготовления наконечников ружейных сверл

Марка твердого сплава	ISO	Средний размер WC, мкм	Массовая доля, %			Плотность, g/cm <sup>3</sup>	Твердость		σ <sub>изл</sub> , МПа	Фирма-изготовитель
			WC	TaC	Co		30 HV	HRA		
ВК6	K20	2,0	94	—	6	14,6...15,0	—	≥ 88,5	1519	Россия
ВК6-М	K10	1,6	94	—	6	14,8...15,1	—	≥ 90	1421	Россия
ВК6-ОМ	K05	1,3	91,9	2	6	14,7...15,0	—	≥ 90,5	1277	Россия
ВК8	K30	2,0	92	—	8	14,4...14,8	—	≥ 87,5	1666	Россия
НВ10	K10	—	94	—	6	—	1700	92,8	2400	Boehlerit (Австрия)
РКС	K10/K20	—	93	—	7	14,8	1650	92,5	2500	Carduro Hartmetall (Швейцария)
РКМ	K10/K20	—	94	—	6	15,0	1580	92,0	2300	Carduro Hartmetall (Швейцария)
Н20Х	K15	0,8...1,3	94	—	6	14,95	1650	92,2	2300	Seratizit (Люксембург)
МГ-18	K20/40	0,5...0,8	90	—	10	14,45	1660	92,3	3700	Seratizit (Люксембург)
К6UF	K10/K20	0,6	94	—	6	14,8	1900	93,6	> 4000	Konrad Carbide (Гвфгбз)
DK120	K15/K20	1,3	94	—	6	14,95	1620	—	2500	Guhring (Германия)
AFK20CF	K10/K20	0,7	92	—	8	14,6	1710	92,5	> 3200	Arno Friedrichs Hartmetall (Германия)
AFK10UF	K10	0,6	94	—	6	14,8	1900	93,8	> 3500	Arno Friedrichs Hartmetall (Германия)

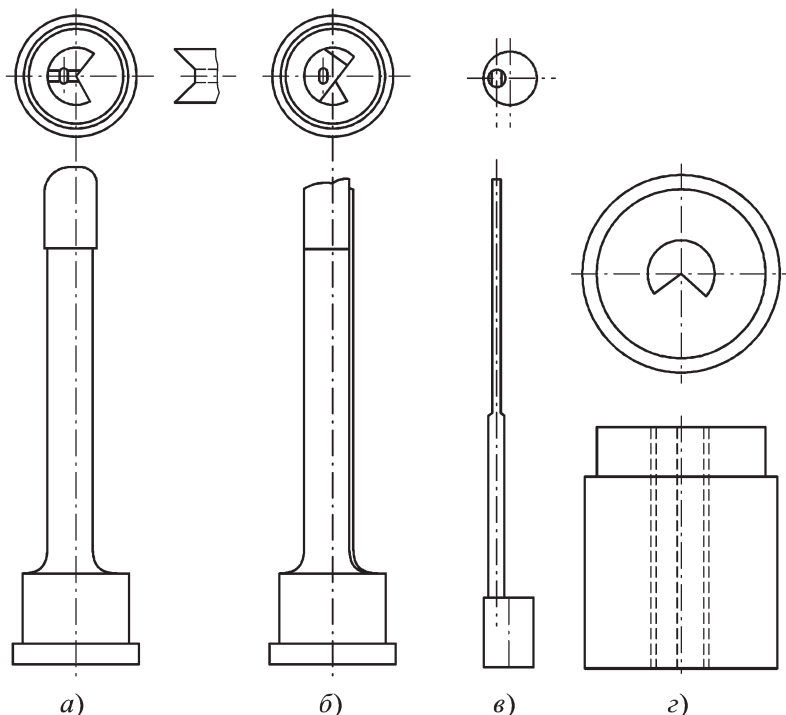
важно для мелкогазмерных ружейных сверл ( $d \leq 2$  мм), снимающих тонкие стружки. Поэтому наиболее распространенным в настоящее время материалом наконечников ружейных сверл является однокрибидный вольфрамокобальтовый твердый сплав с размером зерен карбидной фазы 1,3...0,5 мкм. При этом цельнотвердосплавные ружейные сверла изготавливают из субмикрозернистых твердых сплавов с размером зерен карбидной фазы менее 1 мкм.

Твердосплавные наконечники ружейных сверл обычно изготавливают прессованием в разъемных пресс-формах двухстороннего действия (рис. 3.5 и 3.6). Подобная конструкция пресс-формы разработана также во ВНИИТСе [41]. Отверстия в наконечниках получают либо в процессе прессования заготовок, либо прошивают на ультразвуковых станках. В последнем случае заготовку после прессования предвари-



**Рис. 3.5. Пресс-форма конструкции ВНИИинструмент для прессования заготовок твердосплавных наконечников ружейных сверл:**

1, 9 — ограничитель; 2 — верхний пуансон; 3 — заготовка-наконечник; 4 — обойма; 5 — нижний пуансон; 6, 7, 8 — трехсекционный стакан



**Рис. 3.6. Пресс-форма фирмы Cargmet (США) для прессования заготовок твердосплавных наконечников ружейных сверл:**

*а* — нижний пуансон; *б* — верхний пуансон; *в* — центральный стержень; *г* — матрица

тельно спекают в зоне докритических температур ( $700...1000^{\circ}\text{C}$ ), а затем прошивают. Благодаря этому производительность по сравнению с прошиванием окончательно спеченных заготовок ( $\sim 1450^{\circ}\text{C}$ ) возрастает в 40...50 раз [9, 21].

При прошивке отверстий в заготовках наконечников длиной более 20 мм требуется двухсторонняя обработка, так как поступление рабочей жидкости в отверстия глубиной более 15 мм затруднено, и поэтому производительность обработки низка. В качестве рабочей жидкости используют 20...25 %-ную (по массе) водную суспензию карбида бора с размером зерна 100...125 мкм. Для обеспечения антикоррозионных



свойств суспензии в нее вводят 0,5 % нитрита натрия. Ступенчатый рабочий инструмент — концентратор должен иметь соотношение диаметров 1:4 и работать на режиме: частота — 21,5 Гц, амплитуда — 30...35 мкм [9]. Заготовки твердосплавных наконечников ружейных сверл в виде стержней длиной 310 и 340 мм получают мундштучным прессованием.

Стебли ружейных сверл, как и твердосплавные наконечники, имеют V-образную наружную канавку с углом профиля 120°, которую получают холодной прокаткой труб. В качестве материала труб фирма Heller Bremen (Германия), например, применяет вязкие низколегированные улучшаемые хромистомолибденовые стали, закаливаемые на воздухе до 35...40 HRC марки 25CrMo4V [75], что соответствует отечественным сталям марок 15ХМ, 20ХМ и др. ОАО «ВНИИинструмент» для этих целей рекомендует использовать прецизионные трубы по ГОСТ 9567–75 из сталей 30ХГСА или 40ХН2МА [63].

После закалки стебли подвергают многократной рихтовке для обеспечения их прямолинейности в пределах 0,03...0,08 мм при длине стеблей, равной соответственно 400...1000 мм.

Наружные диаметры стеблей во избежание контакта с поверхностями обработанных отверстий должны быть меньше диаметра сверла  $d_{ст} = 0,92d$ , а толщина стенок стеблей  $S = (0,12...0,15)d_{ст}$ . Для примера в табл. 3.3 приведены диаметры стеблей ружейных сверл, выпускаемых фирмой Botek (Германия).

### 3.3. Диаметры стеблей ружейных сверл фирмы Botek (Германия)

Диаметры сверл $d$ , мм	Диаметры стеблей $d_{ст}$ , мм	Диаметры сверл $d$ , мм	Диаметры стеблей $d_{ст}$ , мм	Диаметры сверл $d$ , мм	Диаметры стеблей $d_{ст}$ , мм
1,9...1,99	1,8	2,5...2,59	2,4	3,36...3,55	3,2
2,0...2,09	1,9	2,6...2,69	2,5	3,56...3,79	3,4
2,1...2,19	2,0	2,7...2,79	2,6	3,8...3,90	3,6
2,2...2,29	2,1	2,8...2,89	2,7	4,0...4,29	3,8
2,3...2,39	2,2	2,9...3,09	2,8	4,3...4,49	4,1
2,4...2,49	2,3	3,1...3,35	3,0	4,5...4,79	4,3

Окончание табл. 3.3

Диаметры сверл $d$ , мм	Диаметры стеблей $d_{ст}$ , мм	Диаметры сверл $d$ , мм	Диаметры стеблей $d_{ст}$ , мм	Диаметры сверл $d$ , мм	Диаметры стеблей $d_{ст}$ , мм
4,8...4,99	4,6	10,1...10,59	9,8	19,51...20,50	19,0
5,0...5,19	4,8	10,6...10,89	10,3	20,51...21,50	20,0
5,2...5,49	5,0	10,9...11,59	10,6	21,51...22,60	21,0
5,5...5,69	5,3	11,6...11,89	11,3	22,61...23,60	22,0
5,7...5,99	5,5	11,9...12,59	11,6	23,61...24,60	23,0
6,0...6,24	5,8	12,6...12,89	12,3	24,61...25,60	24,0
6,25...6,44	6,0	12,9...13,59	12,6	25,61...26,60	25,0
6,45...6,74	6,2	13,6...13,89	13,3	26,61...27,60	26,0
6,75...6,99	6,5	13,9...14,59	13,6	27,61...28,60	27,0
7,0...7,29	6,7	14,6...14,89	14,3	28,61...29,60	28,0
7,3...7,59	7,0	14,9...15,99	14,5	29,61...30,60	29,0
7,6...7,79	7,3	15,6...15,89	15,2	30,61...32,60	30,0
7,8...7,99	7,5	15,9...16,59	15,5	32,61...34,69	32,0
8,0...8,29	7,7	16,6...16,89	16,2	34,7...36,69	34,0
8,3...8,69	8,0	16,9...17,59	16,5	36,7...38,69	36,0
8,7...9,0	8,4	17,6...17,89	17,2	38,7...40,0	38,0
9,01...9,69	8,7	17,9...18,59	17,5	—	—
9,7...10,09	9,4	18,6...19,50	18,2	—	—

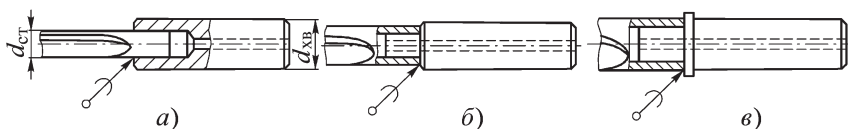


Рис. 3.7. Типы паяных соединений стблей и хвостовиков ружейных сверл фирмы Gühring (Германия):

$$a - d_{\text{ст}} < d_{\text{хб}}; \quad б - d_{\text{ст}} \approx d_{\text{хб}}; \quad в - d_{\text{ст}} > d_{\text{хб}}$$

Для исключения «засаливания» алмазных кругов при заточке передних поверхностей твердосплавных наконечников V-образную канавку по передней поверхности стбля делают на 0,2...0,3 мм ниже соответствующей поверхности наконечника.

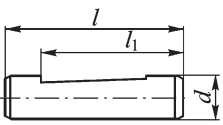
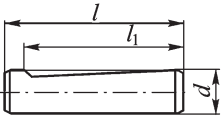
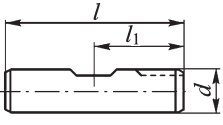
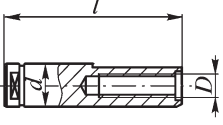
Стбель ружейного сверла с правой стороны имеет непрофилированный цилиндрический конец, который впаивается (припой ПрМНМц 68–4–2 по ТУ 48–08–476–71, флюс Ф100 по ТУ 48–02–48–70 (70 %) и обезвоженная бура по ТУ 48–4–376–75 (30 %)) в цилиндрический хвостовик, изготавливаемый из сталей 45, 50 по ГОСТ 1051–73 или сталей 40Х, 45Х по ГОСТ 4543–71 (рис. 3.7) [63].

В нашей стране хвостовики ружейных сверл не стандартизированы. За рубежом на эти хвостовики разработан ряд стандартов, но выпускают сверла и с нестандартными хвостовиками. В качестве примера в табл. 3.4 приведены типы хвостовиков ружейных сверл, изготавливаемых фирмой Tiefbohrtechnik (Германия).

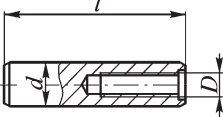
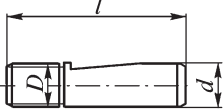
### 3.4. Типы хвостовиков ружейных сверл фирмы Tiefbohrtechnik (Германия)

Тип хвостовика	$d$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм
	10	40	24
	16	45	31
	16	50	47,5
	25	70	34
	12,7	38,1	25,4
	16	70	44,4
	19,05	69,8	44,4
	20	70	44,4

Продолжение табл. 3.4

Тип хвостовика	$d$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм
	25,4	69,8	57,1
	28	70	57,1
	31,75	69,8	57,1
	36	70	57,1
	38,1	69,8	57,1
	10	40	28
	12	45	33
	16	48	36
	20	50	38
	25	56	44
	32	60	48
	10	40	20
	12	45	22,5
	16	48	24
	20	50	25
	25	56	32
	32	60	36
	40	70	40
	50	80	45
	$d$ , мм	$l$ , мм	$D$ , мм
	10	68	M6×0,5
	16	90	M10×1
	25	112	M16×1,5
	36	135	M24×1,5

Окончание табл. 3.4

Тип хвостовика	$d$ , мм	$l$ , мм	$D$ , мм
	10	60	M6×0,5
	16	80	M10×1
	25	100	M16×1,5
	36	120	M24×1,5
	16	112	Tr 16×1,5
	20	126	Tr 20×2
	28	126	Tr 28×2
	36	162	Tr 36×2

За рубежом ружейные сверла диаметром 5 мм и менее изготавливают цельнотвердосплавными (рис. 3.8). Благодаря тому что модуль упругости твердого сплава примерно в 3 раза больше модуля упругости стали, такие сверла обладают большей жесткостью при кручении и изгибе. Это позволило фирме Votek (Германия) повысить производительность процесса сверления и довести наименьший диаметр ружейных сверл до 0,5 мм. У «классических» ружейных сверл, имеющих стальной стебель и напайной твердосплавный наконечник, наименьший диаметр равен 2 мм.

Заточку ружейных сверл чаще всего выполняют плоскостным методом (табл. 3.5). На рис. 3.9 представлены геометрические параметры стандартных наконечников ружейных сверл с типовой заточкой, а на рис. 3.10 — со специальной заточкой, рекомендуемые фирмой Gühring (Германия).

Наконечники затачивают с обратной конусностью, равной 0,05...0,08 мм/100 мм. С торца наконечников под углом 15° снимают фаску шириной 0,2...0,5 мм.

Перед эксплуатацией ружейных сверл важно правильно выбрать профиль наконечника в поперечном сечении, который определяет площадь контакта инструмента с поверхностью обработанного отверстия и зависит от обрабатываемого материала и требований, предъявляемых к точности сверления. По этому вопросу встречаются различные рекомендации. Так, например, фирма Gühring (Германия) применяет следующие профили наконечников ружейных сверл (рис. 3.11):

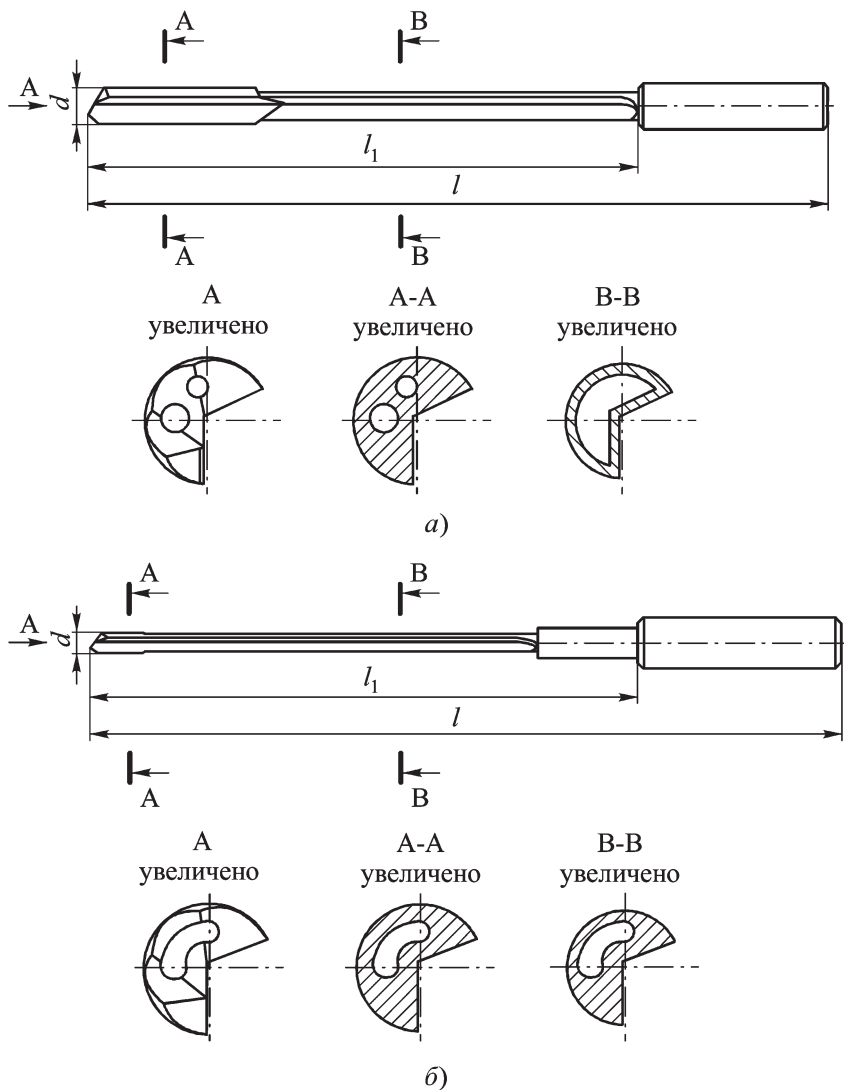
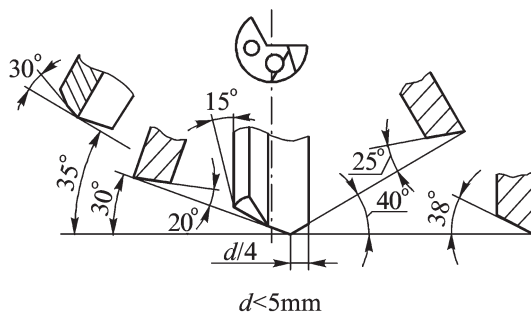


Рис. 3.8. Ружейные сверла:

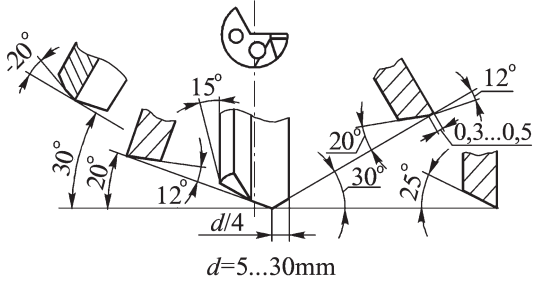
а — «классическое»; б — цельнотвердосплавное

### 3,5. Последовательность плоскостной заточки ружейных сверл фирмы Tiefbohrtechnik (Германия)



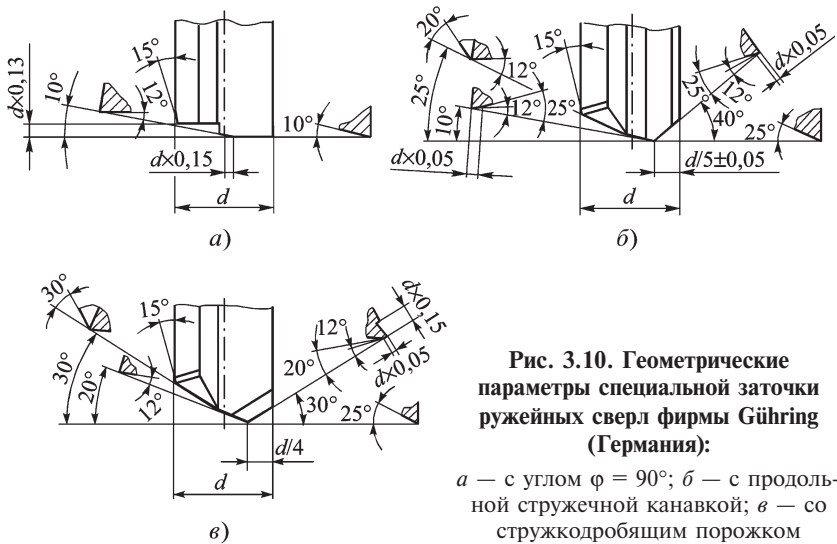
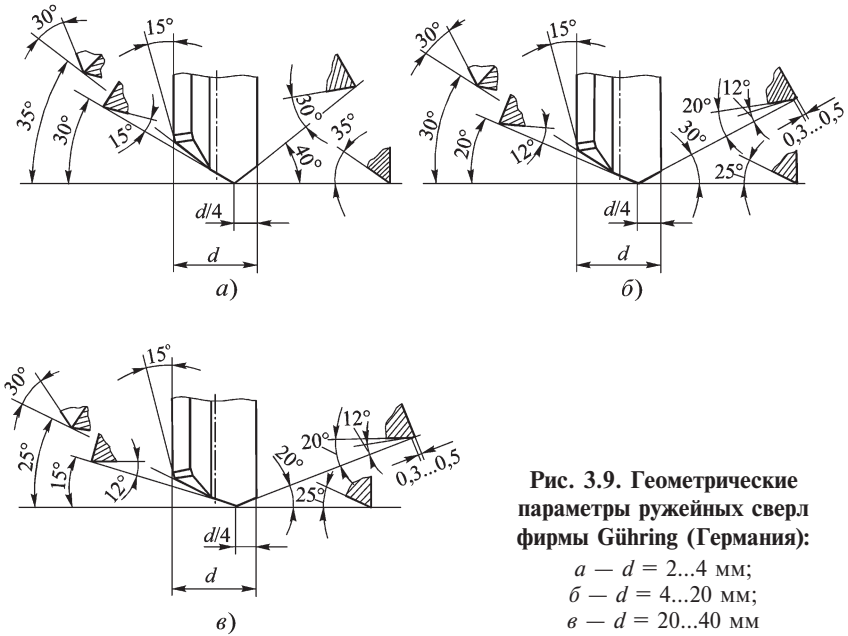
Вид сверла спереди			
	$-40^\circ$	$+25^\circ$	$+12^\circ$
	$+30^\circ$	$+20^\circ$	$-7^\circ$
	$+35^\circ$	$+20^\circ$	$+55^\circ$
	$0^\circ$	$+38^\circ$	$0^\circ$
	-	-	-

Окончание табл. 3.5



Вид сверла спереди			
	-30°	+12°	+5°
	-30°	+20°	+6,5°
	+20°	+12°	-5°
	+30°	+12°	+55°
	0°	+25°	-5°
	-	-	-





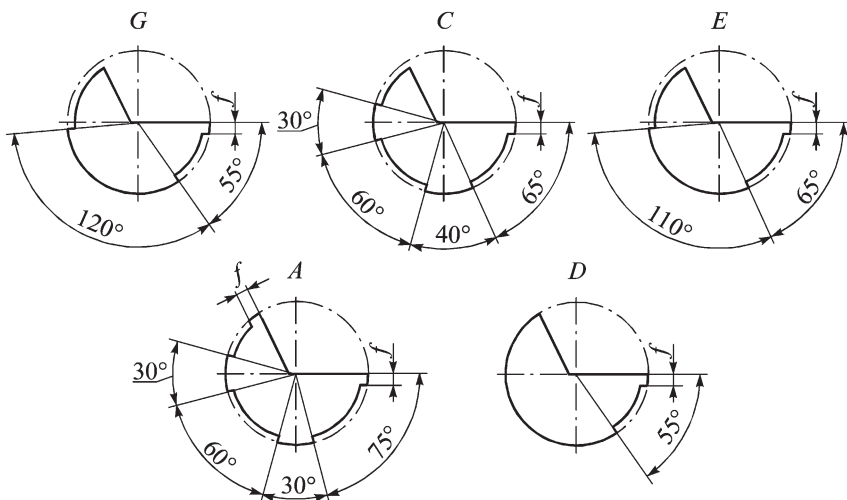


Рис. 3.11. Профили наконечников ружейных сверл фирмы Gühring (Германия)

а) стандартные профили:

*G* — для сверления отверстий высокой точности в любых материалах, а также для сверл диаметром менее 2 мм;

*C* — для сверления отверстий в труднообрабатываемых материалах;

б) специальные профили:

*E* — для сверления отверстий невысокой точности в любых материалах;

*A* — для сверления отверстий невысокой точности в любых материалах при неблагоприятных условиях засверливания;

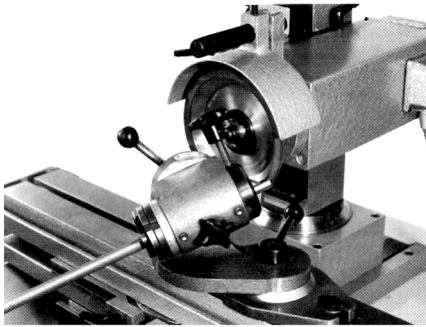
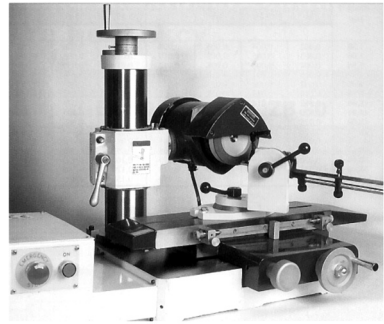
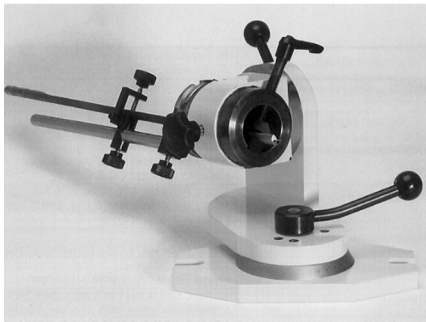
*D* — для сверления серого чугуна.

Заточка мелкогабаритных ружейных сверл имеет некоторые особенности. Это объясняется тем, что режимы резания мелкогабаритными ружейными сверлами отличаются достаточно высокими скоростями резания (70...100 м/мин) и очень малыми значениями подачи (0,0002...0,010 мм/об). Поэтому толщина срезаемых слоев настолько мала, что снятие стружки осуществляется скругленной частью лезвий сверл, характеризуемой радиусом скругления. Чтобы обеспечить снятие столь тонких стружек, радиус скругления лезвий мелкогабаритных ружейных сверл должен находиться в пределах 3...7 мкм [75]. Достигнуть этого можно путем применения мелкозернистых и особомелкозернистых твердых сплавов с размером карбидной фазы 0,5...0,8 мкм,

заточенных алмазными кругами и доведенных алмазной пастой. При этом не следует наносить покрытия на режущие части сверл, так как они увеличивают радиусы скруглений лезвий.

Для удобства заточки и упрощения контроля геометрических параметров мелкокоразмерных ружейных сверл необходимо использовать заточные устройства, оснащенные измерительными микроскопами с 20-кратным увеличением.

Заточку небольших партий ружейных сверл обычно выполняют на универсально-заточных или настольных заточных станках (рис. 3.12, *а*, *б*). Эти станки оснащают трехповоротными головками (рис. 3.12, *в*), устанавливаемыми на подвижном столе станка. При заточке вращающийся алмазный круг неподвижен, а сверлу, закрепленному в трехповоротной головке, задается продольное возвратно-поступательное движение и одновременно движение поперечной

*а)**б)**в)*

**Рис. 3.12. Станки и оснастка для заточки ружейных сверл:**

- а* — универсально-заточной станок;
- б* — настольный заточной станок фирмы Gühring (Германия);
- в* — трехповоротная головка фирмы Gühring (Германия)

подачи. После заточки одной плоскости головка перенастраивается на заточку второй плоскости, затем третьей плоскости и т.д. Всего у ружейного сверла в зависимости от диаметра сверла затачивают 4 или 5 плоскостей в последовательности, указанной в табл. 3.5. При этом значительные затраты времени уходят на перенастройку головки, а также на подвод и отвод сверла к алмазному кругу.

Резкое (в 5...10 раз) повышение производительности заточки достигается при использовании специальных заточных станков, например, фирмы Votek (Германия), предназначенных для заточки больших партий ружейных сверл (рис. 3.13, а). На этих станках установлены два вращающихся с частотой  $2850 \text{ мин}^{-1}$  круга, которые совершают возвратно-поступательное движение с частотой 120 ходов в минуту и амплитудой до 20 мм, задаваемое эксцентриковым механизмом осцилляции станка по закону:

$$x = e \sin \omega t,$$

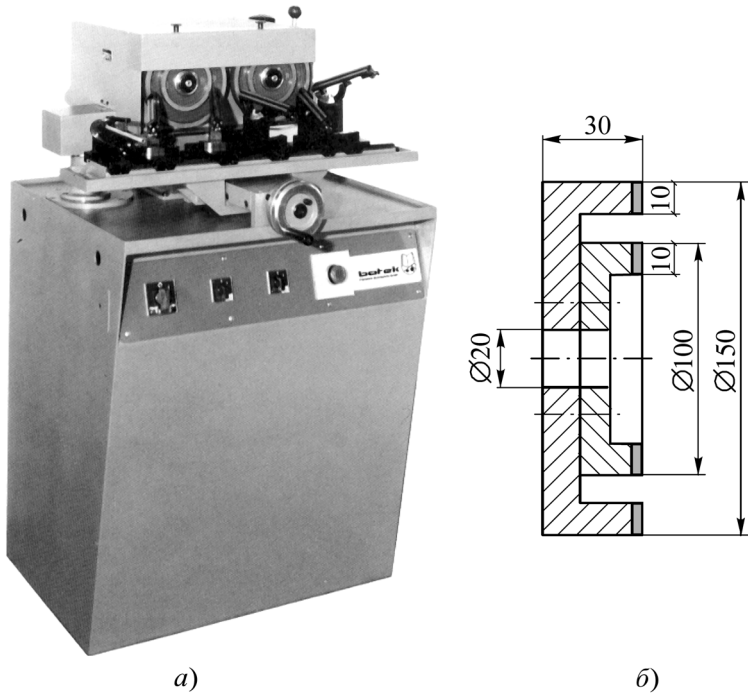
где  $e$  — эксцентриситет кулачка, м;  $\omega$  — угловая скорость,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t$  — время, с.

При заточке сверло, закрепленное в специальном держателе, вручную последовательно прижимается к базовым поверхностям неподвижных установочных приспособлений. Количество таких приспособлений соответствует числу затачиваемых плоскостей, и каждое приспособление заранее настроено на требуемые углы заточки сверла.

Такой принцип работы заточного станка позволяет исключить время на перенастройку приспособлений и на подвод и отвод сверла. В результате время на заточку, например ружейного сверла диаметром 7,25 мм, составляет не более 50 с.

В связи с тем что на заточном станке требуется расположить 4 или 5 установочных приспособлений, для заточки такого же числа плоскостей одного алмазного круга явно недостаточно. Поэтому на подвижном столе станка установлены два электродвигателя главного привода мощностью 0,75 кВт каждый, на валах которых закреплены два, а иногда и три алмазных круга с двойным алмазонаосным слоем (рис. 3.13, б). При этом наружный слой с зернистостью шлифовального материала 125/100 по ГОСТ 9206–80 используется для черновой заточки, а внутренний слой с зернистостью 50/40 — для чистовой заточки.

Режимы сверления глубоких отверстий цельнотвердосплавными ( $d = 1,2...5,0$  мм) и напайными ружейными сверлами ( $d = 5...40$  мм), а также режимы подачи СОЖ, рекомендуемые фирмой Gühring (Германия), представлены соответственно на рис. 3.14 и 3.15.

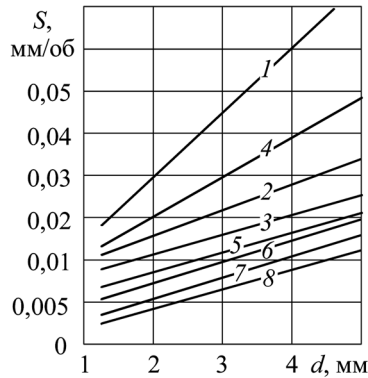
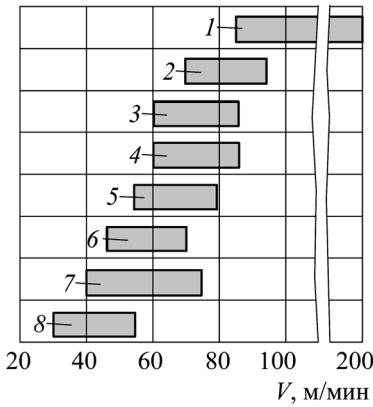


**Рис. 3.13. Специальный станок фирмы Botek (Германия)  
для заточки ружейных сверл:**

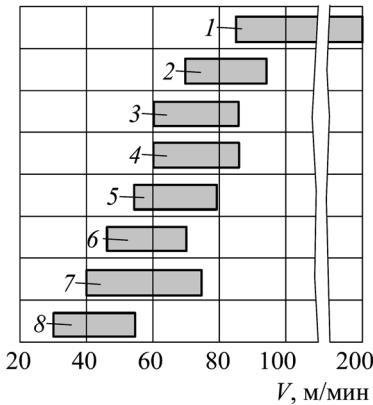
*a* — общий вид станка; *б* — алмазный круг с двойным алмазоносным слоем

Для сверления на станках с ЧПУ и ОЦ отверстий диаметром 5...40 мм и глубиной до  $70d$  фирма Hammond (Англия) выпускает специальные ружейные сверла Ventec, оснащенные напайными твердосплавными наконечниками с одним круглым отверстием для подвода СОЖ (рис. 3.16). Угол профиля V-образной канавки такого сверла по сравнению с «классическим» ружейным сверлом увеличен до  $165^\circ$ . Благодаря этому площадь пространства для отвода стружки возросла на 37,5 %, что значительно улучшило стружкоотвод, но уменьшило жесткость стебля сверла.

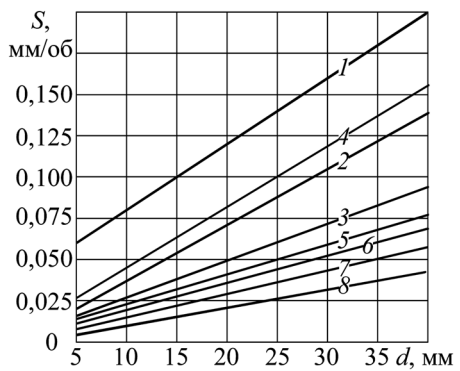
В связи с тем что на станках с ЧПУ и ОЦ установить кондукторную втулку конструктивно очень сложно, засверливание сверлами «Ventec» осуществляют по заправочным отверстиям. При этом в качестве СОЖ



а)



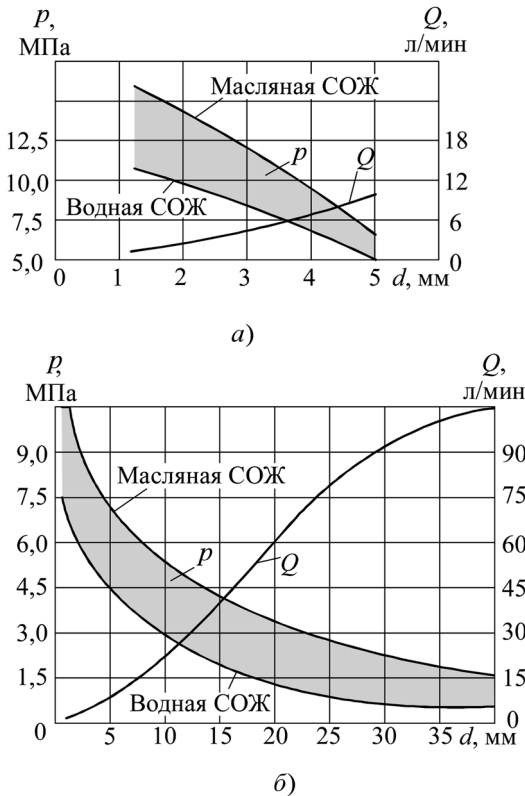
б)



**Рис. 3.14. Режимы сверления глубоких отверстий ружейными сверлами фирмы Gühring (Германия):**

а — цельнотвердосплавные  $d = 1, 2 \dots 5, 0$  мм; б — напайные  $d = 2 \dots 40$  мм (1 — алюминиевые сплавы; 2 — конструкционные и автоматные стали; 3 — улучшенная сталь; 4 — чугуны; 5 — цементуемая сталь; 6 — азотируемая сталь; 7 — инструментальная сталь; 8 — коррозионно-стойкая сталь)

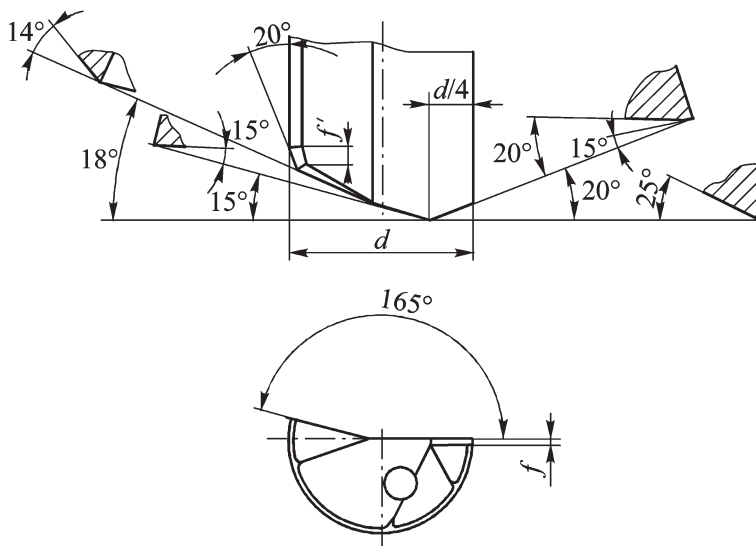
используют воздушно-жидкостную смесь (аэрозоль), что обеспечивает минимальный расход СОЖ. Для этого указанные станки оснащают компактными насосными станциями с объемом бака 5...15 л, подклю-



**Рис. 3.15. Влияние диаметра  $d$  ружейного сверла фирмы Gühring (Германия) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ:**

$a$  — цельнотвердосплавные  $d = 1,2...5,0$  мм;  $b$  — напайные  $d = 2...40$  мм

ченными к пневмосети. Аэрозоль подают в зону резания с помощью распылителя, в котором происходит смешивание воздуха, подаваемого под давлением 0,55...0,85 МПа, и 10 %-ной водной эмульсии, подаваемой под давлением 0,85...1,35 МПа. Основной фазой такой эмульсии является вода, а дисперсной — мельчайшие капельки масла, содержащие противозадирные и противоизносные присадки. При сверлении подачу воздуха и эмульсии регулируют таким образом, чтобы на выходе из наконечника наблюдался легкий туман. Воздушно-жидкостная смесь, выходя из сверла, расширяется и производит охлаждающее

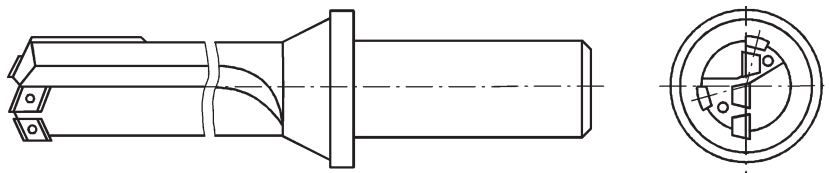


**Рис. 3.16. Геометрические параметры ружейного сверла Ventec фирмы Hammond (Англия):**

$d = 5...12 \text{ мм} - f, f' = 0,4...0,6 \text{ мм}; d = 12...25 \text{ мм} - f, f' = 0,6...0,8 \text{ мм};$   
 $d = 25...40 \text{ мм} - f, f' = 0,8...1,2 \text{ мм}$

действие. При этом благодаря высокой температуре резания вода испаряется, а оставшееся масло оказывает смазывающее действие.

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) выпускает сборные ружейные сверла Corodril 805 для использования на станках с ЧПУ и ОЦ (рис. 3.17).



**Рис. 3.17. Сборное ружейное сверло Corodril 805 фирмы Sandvik Coromant (Швеция)**



Эти сверла предназначены для сверления в сталях и чугунах отверстий диаметром 25...65 мм глубиной  $(7...13)d$  с точностью IT 10 и шероховатостью обработанной поверхности менее  $Ra = 2$  мкм. Режимы сверления представлены в табл. 3.6.

Сверло CoroDrill 805 оснащено тремя режущими и двумя направляющими сменными твердосплавными пластинами, применяемыми в сборных сверлильных головках CoroDrill 800 фирмы Sandvik Coromant (Швеция) (см. рис. 3.33). СОЖ (8 %-ная водная эмульсия) подается в зону резания под давлением через каналы в корпусе сверла, а стружка отводится по двум прямым наружным канавкам.

Засверливание сверлом CoroDrill 805, как и сверлом Ventec, производится по предварительно подготовленному в торце заготовки заправочному отверстию, выполняющему роль кондукторной втулки. Глубина заправочного отверстия должна быть равна  $(0,48...0,3)D$ , а допуск на его диаметр, если требуется получить отверстие высокой точности, должен быть не хуже Н8. При этом давление и расход рекомендуются брать такими же, как и при сверлении обычными сверлами, оснащенными твердосплавными СМП (рис. 3.18).

Фирма Gühring (Германия) также освоила выпуск сборных ружейных сверл, оснащенных сменными одной режущей и двумя направляющими твердосплавными пластинами. Эти сверла применяют для сверления отверстий диаметром 16...40 мм и глубиной до 3000 мм с точностью IT 9...10 (рис. 3.19).

Режимы сверления глубоких отверстий и подачи СОЖ в зону резания ружейными сверлами EB 800 фирмы Gühring (Германия) представлены соответственно на рис. 3.20 и 3.21.

В нашей стране выпускают ружейные сверла диаметром 4...30 мм по ТУ 2–035–655–79 (П. 13) и ТУ 2–035–722–80 (П. 14).

**Сверла БТА** применяют для сверления отверстий диаметром 6...180 мм и более, глубиной более  $100D$  с точностью диаметральных размеров IT 7...9, уводом осей отверстий до  $0,01...0,03/100$  мм и шероховатостью  $Ra = 2,5$  мкм.

Сверло БТА обычно состоит из сверлильной головки 1 и стебля 2 кольцевого сечения, к которому головка крепится с помощью наружной или внутренней прямоугольной одно- или четырехзаходной резьбы (рис. 3.22). Центрирование головки в стебле осуществляется по двум посадочным поясам, выполненным в стебле и на хвостовике сверлильной головки по посадке Н7/ф7. При сверлении СОЖ в зону резания подается под давлением через маслоприемник 3 в кольцевой зазор между стеблем и обработанным отверстием, а стружка отводится внутри стебля.

3.6. Режимы сверления глубоких отверстий ружейными сверлами CoroDrill 805 фирмы Sandvik Coromant (Швеция)

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	
			Диаметр сверла $d$ , мм	
<b>Нелегированные стали:</b>			25,00...43,00	43,01...65,00
незакаленные (0,10...0,25 % С)	90...200	70...130	0,11...0,31	0,14...0,34
незакаленные (0,25...0,55 % С)	125...225	70...130	0,11...0,31	0,14...0,34
незакаленные (0,55...0,80 % С)	150...250	70...130	0,11...0,31	0,14...0,34
высокоуглеродистые инструментальные стали	180...275	70...130	0,11...0,31	0,14...0,34
<b>Низколегированные стали:</b>				
в состоянии поставки (сырые)	150...260	70...120	0,11...0,31	0,20...0,34
после закалки и отпуска	220...450	55...110	0,11...0,31	0,20...0,34
<b>Высоколегированные стали:</b>				
отоженные	150...250	70...120	0,11...0,31	0,20...0,34
стали высокой твердости	250...450	55...110	0,20...0,29	0,20...0,30

Продолжение табл. 3.6

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	
			Диаметр сверла $d$ , мм	
			25,00...43,00	43,01...65,00
<b>Стальное литье:</b>				
нелегированные стали	90...225	55...110	0,11...0,31	0,20...0,34
низколегированные стали (легированных элементов < 5 %)	150...250	55...110	0,11...0,31	0,20...0,34
аустенитные стали	150...250	50...100	0,11...0,25	0,20...0,29
марганцовистые стали (12...14 % Mn)	200...300	35...85	0,11...0,25	0,20...0,29
<b>Ковкие чугуны:</b>				
ферритные	110...145	80...120	0,11...0,29	0,24...0,31
перлитные	150...270	80...120	0,11...0,29	0,24...0,31
<b>Серые чугуны:</b>				
ферритные	150...220	60...110	0,11...0,29	0,24...0,31
перлитные	200...330	60...110	0,11...0,29	0,24...0,31
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>				
ферритные	125...230	50...110	0,11...0,29	0,24...0,31
перлитные	200...300	50...110	0,11...0,29	0,24...0,31

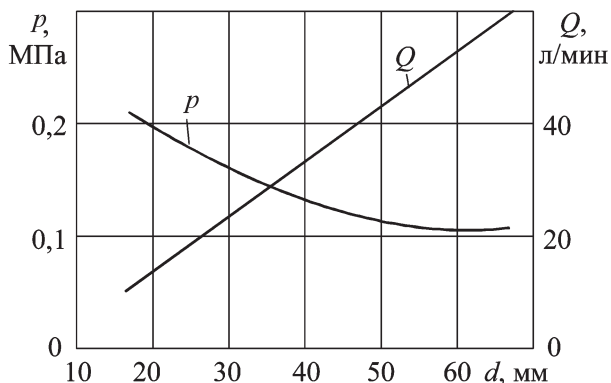


Рис. 3.18. Влияние диаметра  $d$  сверла CoroDrill 805 фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

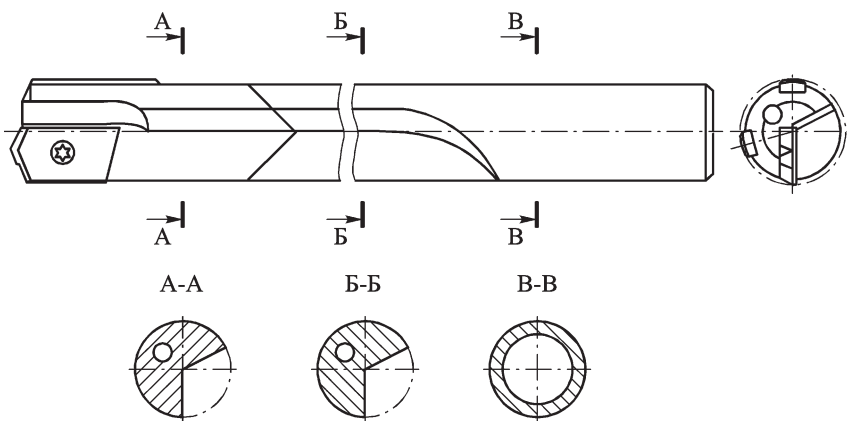
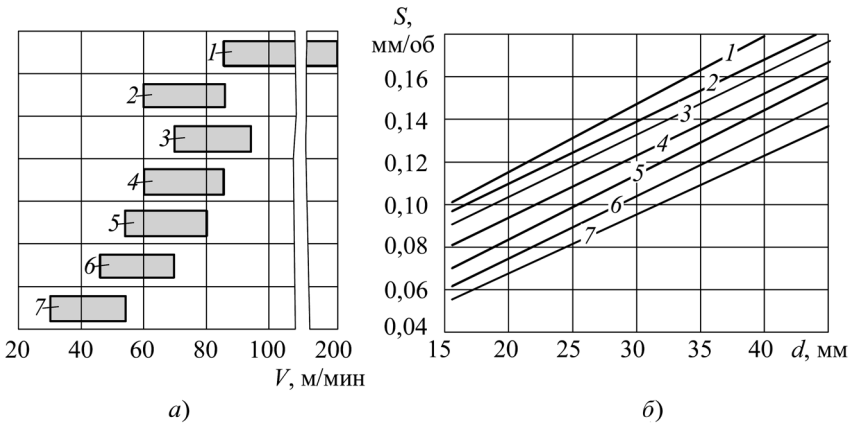


Рис. 3.19. Сборное ружейное сверло EB 800 фирмы Gühring (Германия)

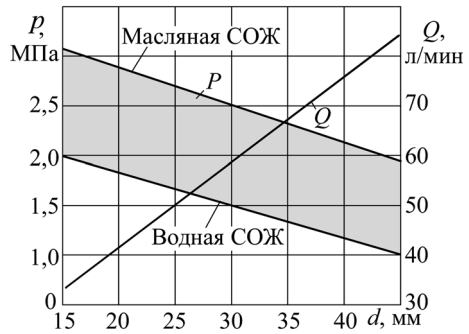
По сравнению с ружейными сверлами из-за большей жесткости при кручении и изгибе стеблей сверл БТА (рис. 3.23) [92] подача последних выше в 2...4 раза, а стружка, удаляемая внутри стебля, не царапает обработанную поверхность отверстия. При сверлении возможны затруднения с прохождением стружки через входные отверстия в головках и далее в стеблях, закупоривание которых делает процесс свер-



**Рис. 3.20. Режимы сверления глубоких отверстий сборными ружейными сверлами EB 800 фирмы Gühring (Германия):**

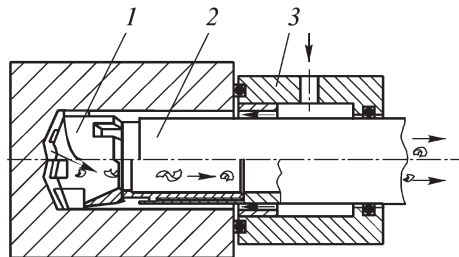
1 — алюминиевые сплавы; 2 — чугуны; 3 — конструкционные углеродистые и легированные стали; 4 — термообрабатываемые стали ( $C > 0,4\%$ ); 5 — закаленные стали; 6 — азотируемые стали; 7 — коррозионно-стойкие стали

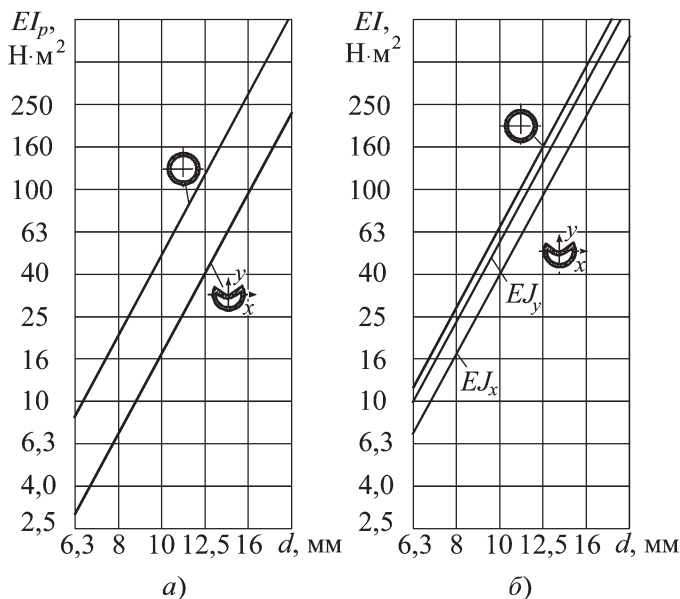
**Рис. 3.21. Влияние диаметра  $d$  сборного ружейного сверла EB 800 фирмы Gühring (Германия) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ**



**Рис. 3.22. Схема обработки глубокого отверстия сверлом БТА:**

1 — сверлильная головка; 2 — стбель; 3 — маслоприемник





**Рис. 3.23. Влияние диаметра  $d$  и конструкции сверла (БТА, ружейное) на жесткость его стебля:**

$a$  — при кручении ( $G = 80$  кН/мм<sup>2</sup>);  $б$  — при изгибе ( $E = 205$  кН/мм<sup>2</sup>)

ления невозможным. По этой причине сверла БТА диаметром менее 6 мм не применяют. Отсюда следует, что отвод стружки внутри сверл БТА требует ее надежного дробления как по ширине, так и по длине. На практике это достигается в первом случае путем заточки либо пресования с последующим спеканием торцевых уступов на задних поверхностях режущих пластин, а во втором случае — порожков на передних поверхностях режущих пластин.

Конструкции сверл БТА весьма разнообразны. На рис. 3.24 показано сверло БТА малого диаметра фирмы Gebrüder Heller (Германия). Оно представляет собой твердосплавный наконечник Т-образной формы, припаянный к стеблю кольцевого сечения. Дробление стружки по ширине осуществляется с помощью одного торцевого уступа, а по длине — с помощью стружкодробящего порожка, заточенного на передней поверхности внешней части режущей кромки сверла. Заточка таких сверл весьма сложна и трудоемка, особенно в

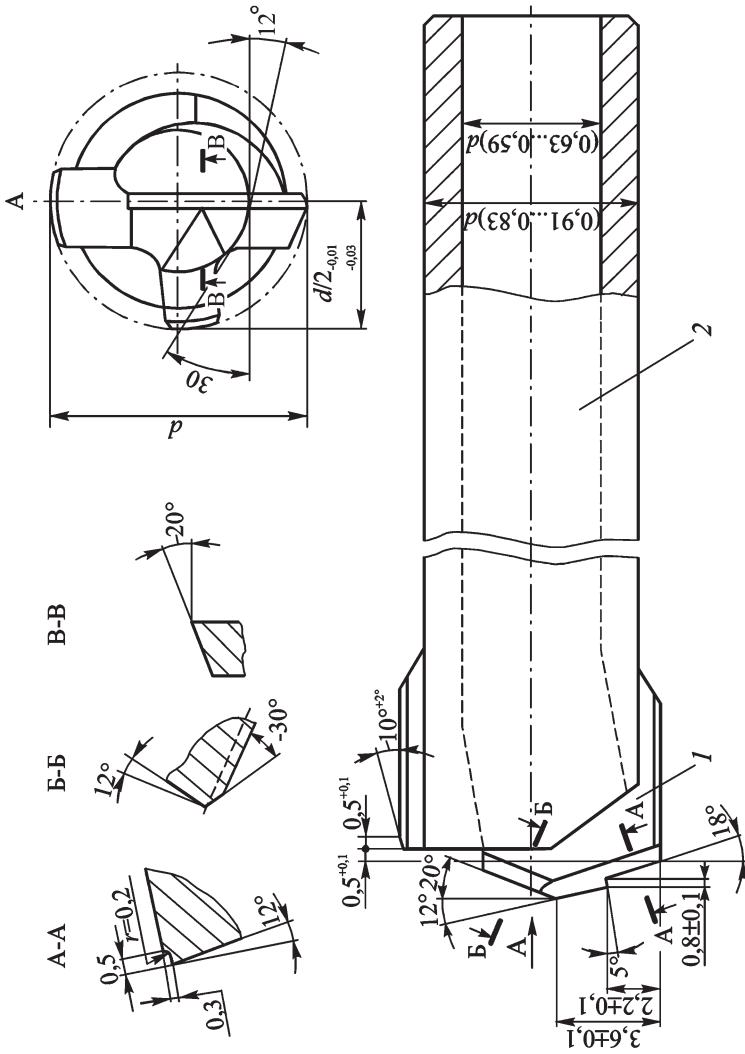


Рис. 3.24. Сверло БТА диаметром 8,51...9,25 мм фирмы Gebüder Heller (Германия):

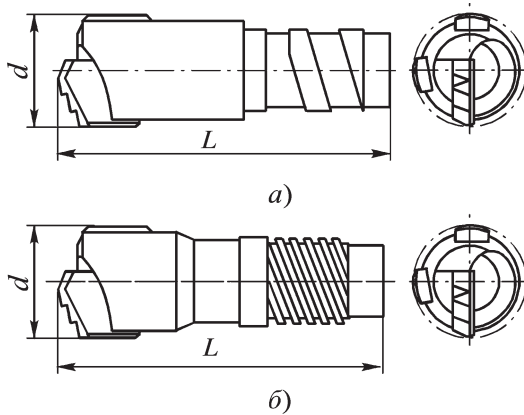
1 — твердосплавный наконечник; 2 — стембель

части заточки стружкодробящих уступов. Кроме того, такая конструкция сверла требует большого расхода стблей. Поэтому сверла БТА диаметром 8 мм и более часто изготавливают сборными в виде сверлильных головок, навинченных на стбель. Такие головки бывают однолезвийные и многолезвийные, перетачиваемые и неперетачиваемые, т.е. с напайными или сменными режущими и направляющими пластинами.

Перетачиваемые головки БТА диаметром 8...15 мм выпускают, например, фирмы American Heller (США), Iscar (Израиль) и др. (рис. 3.25).

Корпус такой головки отливают методом литья по выплавляемым моделям из стали (отечественные аналоги — стали 40Х, 35ХГС и др.), а затем к нему припаивают одну режущую и две направляющие твердосплавные пластины. Дробление стружки по ширине осуществляется с помощью двух торцевых уступов, а по длине — с помощью стружкодробящего порожка, заточенного на передней поверхности внешней части режущей пластины сверла. Головка крепится к стбелю с помощью наружной прямоугольной однозаходной или четырехзаходной резьбы.

Режимы сверления глубоких отверстий этими головками и подачи СОЖ в зону резания, рекомендуемые фирмой Iscar, представлены соответственно в табл. 3.7 и на рис. 3.26.



**Рис. 3.25. Сверлильные головки БТА фирмы American Heller (США):**

*a* —  $d = 8...15$  мм,  $L = 35$  мм; *б* —  $d = 12,6...20$  мм,  $L = 43$  мм



3.7. Режимы сверления глубоких отверстий диаметром 8...20 мм однолезвийными сверлильными головками БТА фирмы Iscar (Израиль)

Обрабатываемые материалы	Предел прочности при растяжении $\sigma_B$ , МПа	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об
<b>Нелегированные стали:</b>				
незакаленные ( $< 0,25$ % С)	420	125	70...120	0,05...0,13
незакаленные ( $\geq 0,25$ % С)	650	190	70...120	0,05...0,13
незакаленные ( $< 0,55$ % С)	850	250	40...70	0,05...0,13
незакаленные ( $\geq 0,55$ % С)	750	220	70...120	0,05...0,13
<b>Коррозионно-стойкие стали</b>				
	600...820	180...200	60...100	0,05...0,13
<b>Чугуны</b>	—	130...260	50...100	0,05...0,13
<b>Легкие сплавы</b>	—	60...130	65...130	0,05...0,13
<b>Медные сплавы</b>	—	90...110	65...130	0,05...0,13
<b>Жаропрочные сплавы:</b>				
на основе железа	—	200...280	10...50	0,05...0,12
на основе никеля и кобальта	—	250...350	10...50	0,05...0,12
<b>Титановые сплавы</b>	—	—	30...50	0,05...0,10

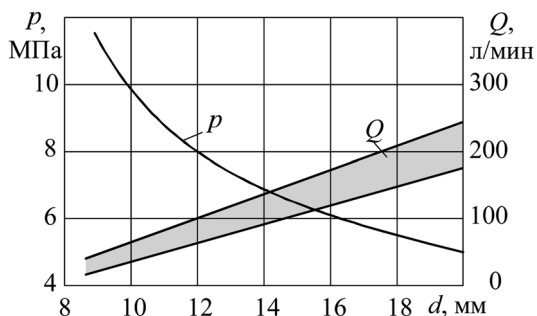


Рис. 3.26. Влияние диаметра  $d$  сверлильной головки БТА фирмы Iscar (Израиль) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

Напайные однолезвийные перетачиваемые (выдерживают 4...6 переточек) сверлильные головки БТА диаметром 20...70 мм VEB Smalcalda (Германия) представлены в табл. 3.8, а их геометрические параметры подобны параметрам головок фирмы Gebrüder Heller (Германия), изображенных на рис. 3.27 [88].

Режимы сверления глубоких отверстий головками БТА VEB Smalcalda (Германия) и подачи СОЖ в зону резания даны соответственно в табл. 3.9 и на рис. 3.28.

Многолезвийные сверлильные головки БТА диаметром 15,6...65 мм сварные и состоят из литой фасонной рабочей части, приваренной к хвостовику аргонодуговой сваркой (рис. 3.29). На головку напаяны твердосплавные пластины — три или пять режущих и две направляющие. Режущие пластины расположены с обеих сторон относительно оси головки, что обеспечивает минимальную нагрузку на направляющие инструмента. Благодаря этому достигается меньший износ направляющих и гарантируется надежное дробление стружки по ширине. Дробление же стружки по длине осуществляется стружкодробящими порошками, получаемыми заточкой.

Геометрические параметры заточки многолезвийных сверлильных головок БТА диаметром 20...65 мм для случая обработки конструкционных сталей приведены на рис. 3.29 и в табл. 3.10.

Номинальный диаметр головок, шлифуемых с допуском  $h6$ , назначают равным сумме номинального диаметра обрабатываемого отверстия и  $2/3$  поля допуска на него, считая от нижней границы [53].

В нашей стране сверлильные головки БТА диаметром 20,0...60,2 мм и стебли к ним выпускают по ТУ 2–035–859–81 (П. 15 и П. 16).

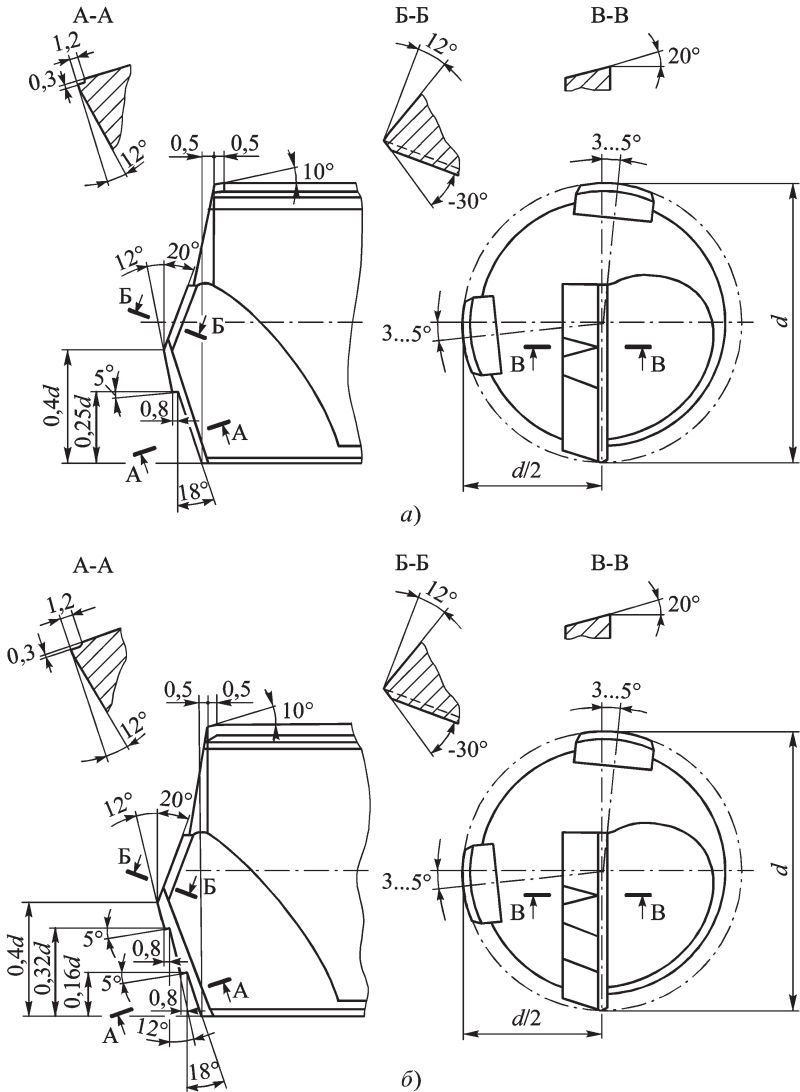
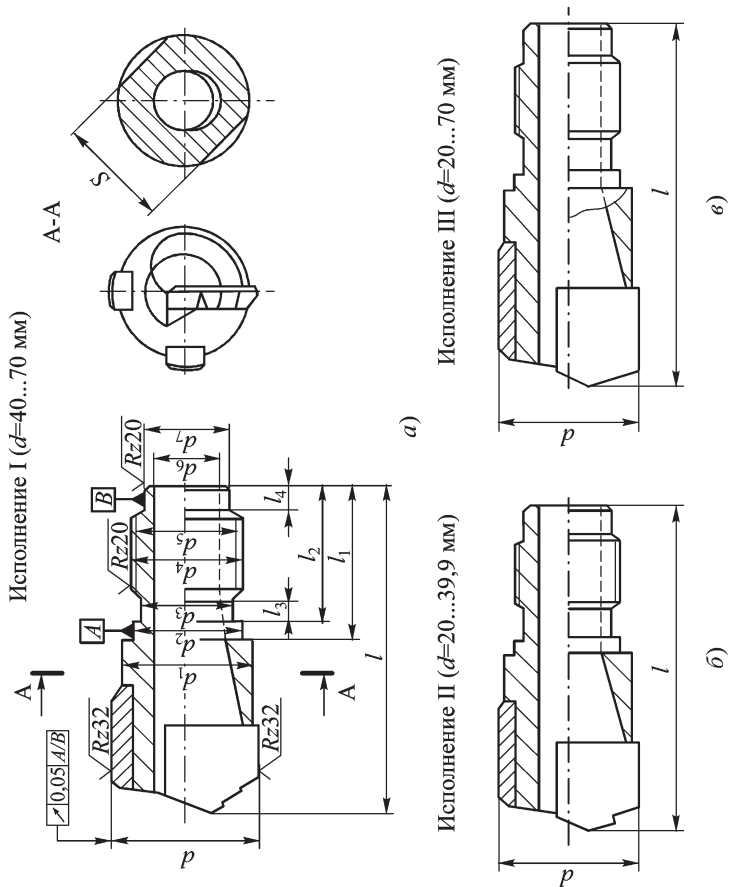


Рис. 3.27. Геометрические параметры заточки однолезвийных сверлильных головок БТА фирмы Gebrüder Heller (Германия):

*a* — с одним торцевым уступом ( $d = 8...20$  мм);  
*б* — с двумя торцевыми уступами ( $d = 20...40$  мм)

## 3.8. Однолезвийные напайные сверлильные головки БТА ВЕВ Smalcalda (Германия)



Продолжение табл. 3.8

$d(\text{H6})$ , мм		$d_{1-0,3}$ , мм	$d_2$ h7, мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_{5-0,1}^{-0,3}$ , мм	$d_6$ , мм	$d_7$ h7, мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$S$ , мм	
Ряд 1	Ряд 2														
20	20,0...23,89	$d - 1$ мм	16,5	14,5	16,5×10	15	11	14,5	65					15	
22	23,9...25,89		19	16	18,5×10	16,5	12	16	65					19	
24	25,9...27,89		20	17	19,5×10	17,5	13	17	75		25	21	5	6	21
26	27,9...29,89		22	19	21,5×10	19,5	14	19	75						22
28	29,9...31,89		24	21	23,5×10	21,5	15	21	80						24
30	31,9...34,89		26	23	25,5×10	23,5	17	23	90						25
32	34,9...39,89	$d - 2$ мм	27	24	26,5×20	24,5	18	24	92					27	
34	39,9...44,89		33	30	32,5×20	30,5	23	30	92					32	
36	44,9...47,89		37	34	36,5×20	34,5	27	34	102					36	
40	47,9...51,89		41	37	40,5×20	37,5	30	37	105		41	36	8	6	41
48	51,9...55,89		44	40	43,5×20	40,5	33	40	105						46
50	55,9...60,89		49	45	48,5×20	45,5	38	45	105						50
53	60,9...65,89	53	49	52,5×20	49,5	42	49	105						55	
55	65,9...70,00	55	50	54,5×20	50,5	42	50	105						60	

### 3.9. Режимы сверления глубоких отверстий диаметром 20...70 мм однолезвийными сверлильными головками БТА VEB Smalcalda (Германия)

Обрабатываемые материалы	Предел прочности при растяжении $\sigma_B$ , МПа	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S_M$ , мм/мин
Конструкционные, цементуемые и улучшаемые стали	$\leq 700$	70...100	60...150
		50...100	
Улучшаемые стали	$\leq 900$	50...100	50...120
Инструментальные стали	1100...1250	50...90	50...100
Высоколегированные коррозионно-стойкие стали	$\leq 900$	30...70	40...80
Стальное литье	$\leq 700$	50...80	40...100
Серые чугуны	$\leq 250$	60...90	80...180
Медь	$\leq 500$	60...90	80...180
Латуни и бронзы	$\leq 500$	120...200	150...300
Легкие сплавы	$\leq 400$	180...250	200...400

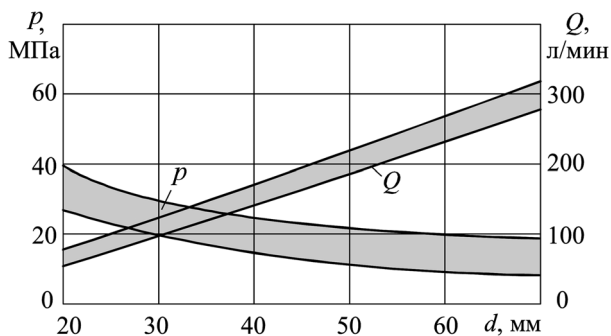


Рис. 3.28. Влияние диаметра  $d$  сверлильной головки БТА VEB Smalcalda (Германия) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ



Технология изготовления многолезвийных сверлильных головок БТА состоит из следующих основных операций [31, 50]: 1) отливка фасонной части головки; 2) изготовление хвостовика; 3) сварка фасонной части и хвостовика; 4) изготовление заготовок твердосплавных режущих и направляющих пластин; 5) пайка заготовок режущих и направляющих пластин; 6) заточка головок.

Фасонную часть многолезвийных сверлильных головок изготавливают из сталей 40ХФЛ, 40ХН2МА и других методом литья по выплавляемым моделям. Для отливки восковой модели фасонной части головки в зависимости от типа производства применяют одногнездовые или многогнездовые пресс-формы [31]. Твердость фасонной части головок должна быть в пределах 35...40 НРС.

Хвостовики изготавливают из сталей 40Х или 30ХГСА с наружной или внутренней прямоугольной резьбой. Твердость хвостовиков должна быть в пределах 26...30 НРС. Фасонные части головок и хвостовики сваривают аргонодуговой сваркой.

Заготовки твердосплавных режущих и направляющих пластин получают прессованием в специальных пресс-формах с последующим спеканием. В качестве материала пластин используют твердые сплавы марок Т14К8, Т15К6, Т15К10, ВК8 и др.

Пайку режущих и направляющих пластин осуществляют на индукционных установках токами высокой частоты припоями ТМСр47М, МСр-40 или ПрМНМц 68–4–2 с использованием флюсов, соответственно, марок Ф100, ПВ284Х или ПВ209Х [53].

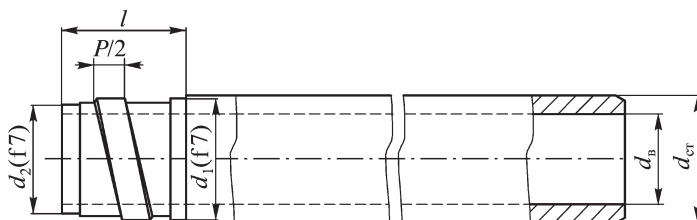
Заточку многолезвийных сверлильных головок осуществляют на универсально-заточных станках алмазными кругами типа 12А2 и 1А1 (заточка стружкодробящих порошков) на органической связке зернистостью: для предварительной заточки 125/100 и 100/80, для окончательной 63/50 и 50/40. Точность заточки порошков ( $\pm 0,02$  мм) контролируют с помощью лупы Бриннеля или инструментального микроскопа. При заточке сверлильные головки крепят в оправки, устанавливаемые в трехповоротные заточные головки.

Стебли сверл БТА изготавливают из трубы по ГОСТ 8731–75 из стали 30ХГСА. Твердость стеблей на длине 130 мм от торца хвостовой части должна быть 40...45 НРС, а на остальной части длины — 26...30 НРС. Размеры однозаходной резьбы («резьба БТА») в стеблях приведены в табл. 3.11, а четырехзаходной резьбы («резьба Е») — см. в табл. П. 16.

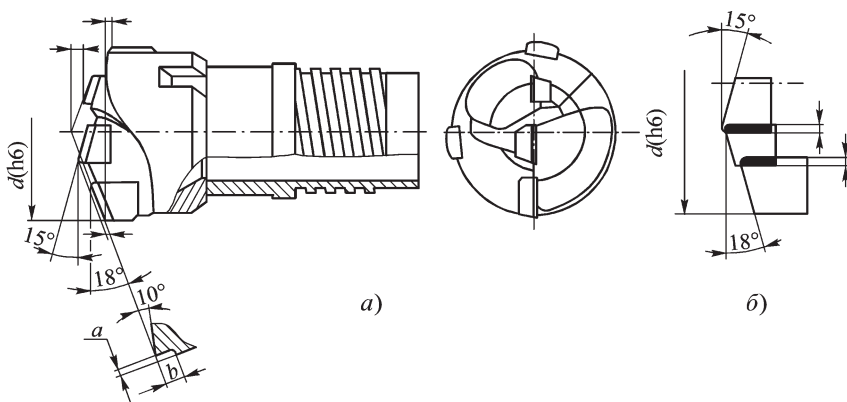
Фирмы Sandvik Coromant (Швеция), Votek (Германия) и другие выпускают усовершенствованный вариант напайных многолезвийных сверлильных головок БТА диаметром 15,6...65 мм (рис. 3.30, а). Эти го-



### 3.11. Размеры однозаходной резьбы БТА в стеблях сверл фирмы Sandvik Coromant (Швеция)



Диаметры сверл $d$ , мм	$d_{ст}$ , мм	$d_B$ , мм	$d_2$ , мм	$d_1$ , мм	$l$ , мм	$P$ , мм
$20,0 \leq d < 21,8$	18	12	14,5	16,5	26	10
$21,8 \leq d < 24,1$	20	13	16	19	26	10
$24,1 \leq d < 26,4$	22	14	17	20	26	10
$26,4 \leq d < 28,7$	24	15,5	19	22	26	10
$28,7 \leq d < 31,0$	26	17	21	24	26	10
$31,0 \leq d < 33,3$	28	18,5	23	26	26	10
$33,3 \leq d < 34,7$	30	20	24	27	41	20
$34,7 \leq d < 36,2$						
$36,2 \leq d < 37,9$	33	23	27	30	41	20
$37,9 \leq d < 39,6$						
$39,6 \leq d < 41,3$	36	25,5	30	33	41	20
$41,3 \leq d < 43,0$						
$43,0 \leq d < 45,0$	39	28	34	37	41	20
$45,0 \leq d < 47,0$						
$47,0 \leq d < 49,3$	43	31	37	41	41	20
$49,3 \leq d < 51,7$						
$51,7 \leq d < 54,0$	47	35	40	44	41	20
$54,0 \leq d < 56,2$						
$56,2 \leq d < 58,7$	51	39	45	49	41	20
$58,7 \leq d < 61,2$						



**Рис. 3.30. Усовершенствованная напайная многолезвийная сверлильная головка БТА фирмы Sandvik Coromant (Швеция):**

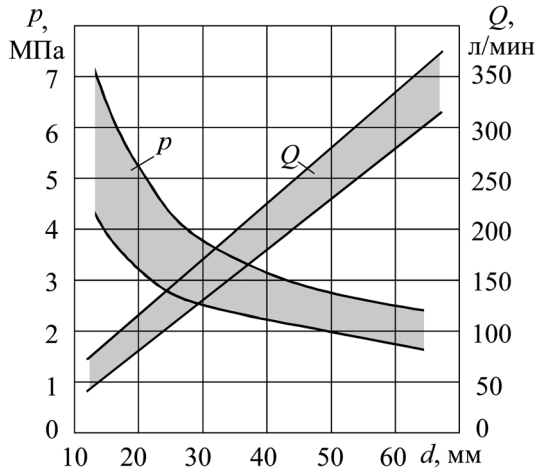
*a* — общий вид; *б* — схема перекрытия режущих пластин

ловки не требуют заточки, так как оснащены напайными твердосплавными пластинами, которые имеют необходимые размеры и форму стружкодробящих порошков, полученных в процессе прессования и последующего спекания пластин. Благодаря такой технологии режущая кромка центральной пластины выполнена прямой, а ее передняя поверхность имеет положительный передний угол, что значительно облегчает процесс стружкообразования вблизи оси инструмента, где условия обработки наиболее тяжелые. При этом режущие пластины расположены в корпусе головки таким образом, что их режущие кромки образуют не прямую, как в предыдущем случае, а ступенчатую линию (рис. 3.30, б). Это исключает уменьшение в два раза толщины стружки в зонах перекрытия между пластинами.

Стружкодробящие порошки усовершенствованных головок имеют более эффективную форму и размеры с жесткими допусками, что позволяет сверлить большинство обрабатываемых материалов с подачей 0,15...0,3 мм/об.

Изготовление таких головок требует высокоточных отливок и режущих пластин, а при пайке пластин — обеспечения высокой точности их взаимного расположения.

Режимы сверления глубоких отверстий усовершенствованными напайными многолезвийными головками БТА и подачи СОЖ в зону ре-



**Рис. 3.31.** Влияние диаметра  $d$  усовершенствованной напайной многолезвийной головки БТА фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

зания, рекомендуемые фирмой Sandvik Coromant, представлены соответственно в табл. 3.12 и рис. 3.31.

В последнее время все большее применение находят сборные сверлильные головки БТА. В корпусах этих головок с высокой точностью выполнены пазы, в которые установлены либо пластины, либо вставки, оснащенные сменными режущими и направляющими твердосплавными пластинами.

Сборные головки БТА диаметром 18...112 мм выпускает, например, фирма Votek (Германия) (рис. 3.32).

В этих головках периферийные сменные режущие пластины, регулируемые в радиальном направлении, имеют калибрующие ленточки. В сверлильных головках больших диаметров центральные и промежуточные режущие пластины имеют треугольную форму и в державках установлены тангенциально. Такое расположение пластин способствует повышению их жесткости.

В отличие от головок других производителей, головки фирмы Votek (Германия) оснащены двумя или тремя жестко закрепленными двухсторонними цельнотвердосплавными направляющими пластинами.

**3.12. Режимы сверления глубоких отверстий усовершенствованными напайными многолезвийными головками БГА и эжекторными сверлами фирмы Sandvik Coromant, Швеция**

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания V, м/мин	Диаметр сверла d, мм			
			15,60...20,00	20,01...31,00	31,01...43,00	
Подача S, мм/об						
<b>Нелегированные стали:</b>						
незакаленные (0,10...0,25 % С)	90...200	70...120	0,14...0,20	0,15...0,20	0,15...0,25	0,18...0,28
незакаленные (0,25...0,55 % С)	125...225	70...120	0,14...0,20	0,15...0,20	0,15...0,25	0,18...0,28
незакаленные (0,55...0,80 % С)	150...225	70...120	0,14...0,20	0,15...0,20	0,20...0,30	0,24...0,32
высокоуглеродистые инструментальные стали	180...225	70...120	0,14...0,20	0,15...0,20	0,20...0,30	0,24...0,32
<b>Низколегированные стали:</b>						
в состоянии поставки (сырые)	150...260	70...100	0,14...0,20	0,17...0,25	0,20...0,30	0,24...0,32
после закалки и отпуска	220...400	55...100	0,14...0,20	0,17...0,25	0,20...0,30	0,24...0,32
<b>Высоколегированные стали:</b>						
отоженные	150...250	70...100	0,14...0,20	0,17...0,25	0,20...0,30	0,24...0,32
стали высокой твердости	250...450	55...100	0,14...0,20	0,17...0,25	0,20...0,30	0,24...0,32
<b>Стальное литье:</b>						
нелегированные стали	90...225	50...100	0,12...0,18	0,15...0,22	0,20...0,28	0,24...0,32
низколегированные стали (легированных элементов менее 5 %)	150...250	50...100	0,12...0,18	0,15...0,22	0,20...0,28	0,24...0,32
коррозионно-стойкие, аустенитные стали	150...250	50...85	0,16...0,20	0,18...0,25	0,22...0,30	0,24...0,36
марганцовистые стали (12...14 % Mn)	200...300	37...70	0,16...0,20	0,18...0,25	0,22...0,30	0,24...0,36

Продолжение табл. 3.12

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания V, м/мин	Диаметр сверла d, мм			
			15,60...20,00	20,01...31,00	31,01...43,00	43,01...65,00
Подача S, мм/об						
<b>Коррозионно-стойкие стали:</b>						
ферритные, марганцистые (13...25 % Cr)	150...270	40...85	0,16...0,20	0,18...0,25	0,22...0,30	0,24...0,36
аустенитные (Ni > 8 %, 18...25 % Cr)	150...275	40...85	0,16...0,20	0,18...0,25	0,22...0,30	0,24...0,36
аустенитно-ферритные(≥ 0,05 % C)	180...290	35...60	0,12...0,15	0,20...0,27	0,22...0,30	0,25...0,35
аустенитно-ферритные(< 0,05 % C)	200...320	35...60	0,12...0,15	0,20...0,27	0,22...0,30	0,25...0,35
<b>Жаропрочные сплавы (отожженные или после старения):</b>						
на основе железа	180...230	10...50	0,10...0,18	0,14...0,20	0,18...0,26	0,20...0,30
на основе никеля	140...300	10...50	0,10...0,18	0,14...0,20	0,18...0,26	0,20...0,30
на основе кобальта	180...230	10...50	0,10...0,18	0,14...0,20	0,18...0,26	0,20...0,30
<b>Титановые сплавы (литые или деформированные) с α- и α + β-структурами</b>	300...450	30...50	0,14...0,16	0,16...0,22	0,18...0,26	0,20...0,30
<b>Ковкие чугуны:</b>						
ферритные	110...145	80...100	0,14...0,20	0,18...0,25	0,20...0,30	0,24...0,32
перлитные	150...270	80...100	0,14...0,20	0,18...0,25	0,20...0,30	0,24...0,32
<b>Серые чугуны:</b>						
ферритные	150...220	60...100	0,12...0,18	0,15...0,22	0,20...0,28	0,24...0,32
перлитные	200...330	60...100	0,12...0,18	0,15...0,22	0,20...0,28	0,24...0,32

Окончание табл. 3.12

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания V, м/мин	Диаметр сверла d, мм			
			15,60...20,00	20,01...31,00	31,01...43,00	43,01...65,00
			Подача S, мм/об			
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>						
ферритные	125...230	50...100	0,12...0,18	0,15...0,22	0,20...0,28	0,24...0,32
перлитные	200...300	50...100	0,12...0,18	0,15...0,22	0,20...0,28	0,24...0,32
<b>Алюминиевые сплавы:</b>						
деформированные	30...100	65...130	0,10...0,20	0,16...0,25	0,18...0,30	0,20...0,45
деформированные, закаленные со старением	30...150	65...130	0,10...0,20	0,16...0,25	0,18...0,30	0,20...0,45
литые без старения	40...100	65...130	0,10...0,20	0,16...0,25	0,18...0,30	0,20...0,45
литые со старением	70...140	65...130	0,10...0,20	0,16...0,25	0,18...0,30	0,20...0,45
<b>Медные сплавы:</b>						
латуни, свинцовистые бронзы (Pb > 1 %)	70...160	65...130	0,10...0,20	0,16...0,25	0,18...0,30	0,20...0,45
латуни, свинцовистые бронзы (Pb ≥ 1 %)	50...200	65...130	0,10...0,20	0,16...0,25	0,18...0,30	0,20...0,45

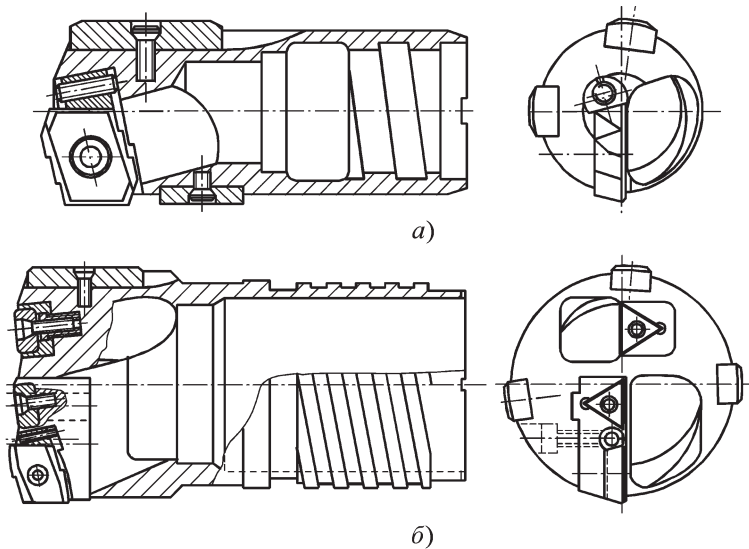
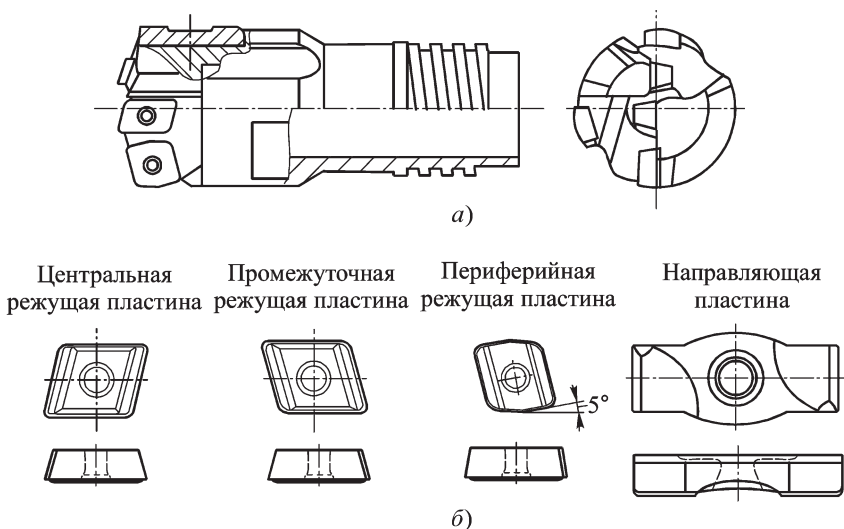


Рис. 3.32. Сборные сверлильные головки БТА фирмы Botek (Германия):

$a - d = 18...37$  мм;  $b - d = 80...112$  мм

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) выпускает высокопроизводительные сборные головки CoroDrill 800 диаметром 30...65 мм (рис. 3.33, *a*). На торцах и цилиндрических поверхностях корпусов этих головок выполнены дополнительные канавки, обеспечивающие подвод СОЖ к режущим кромкам в большем объеме. Благодаря этому такие головки обладают улучшенным стружкоотводом и повышенной стойкостью.

Центральная и промежуточная режущие пластины головок CoroDrill 800 имеют форму параллелограмма, а периферийная режущая пластина имеет калибрующие ленточки (рис. 3.33, *b*). Направляющие пластины двухсторонние, цельнотвердосплавные имеют весьма сложную форму, которая обеспечивает более надежный подвод СОЖ к направляющим пластинам. Гнезда под твердосплавные режущие и направляющие пластины благодаря использованию обрабатывающих центров выполнены в закаленных корпусах головок с высокой точностью, и поэтому пластины не нуждаются в регулировке на диаметральный размер. При этом все твердосплавные пластины, так же, как и в головках фирмы Botek (Германия) крепятся «впотай» винтами с кони-



**Рис. 3.33. Сборная сверлильная головка БТА CoroDrill 800  
фирмы Sandvik Coromant (Швеция):**

*а* — общий вид головки; *б* — твердосплавные сменные режущие и направляющие пластины

ческой головкой. Это способствует беспрепятственному проходу стружки по передним поверхностям пластин.

Режимы сверления глубоких отверстий головками БТА CoroDrill 800 и подачи СОЖ в зону резания, рекомендуемые фирмой Sandvik Coromant (Швеция), представлены соответственно в табл. 3.13 и рис. 3.34.

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) для сверления отверстий диаметром 63,5...184 мм выпускает сборные сверлильные головки Т-МАХ (рис. 3.35, *а*). В этих головках для обеспечения беспрепятственного прохода стружки применявшееся ранее крепление режущих пластин треугольной формы прихватом сверху заменено на более эффективное крепление «впотай» винтами с конической головкой. С целью увеличения точности обработки и уменьшения шероховатости обработанных поверхностей периферийные регулируемые пластины треугольной формы заменены на регулируемые пластины с калибрующими ленточками.

Направляющие либо жесткозакрепляемые, либо самоустанавливающиеся (рис. 3.35, *б*). Последние применяют в сверлах диаметром



3.13. Режимы сверления глубоких отверстий сборными сверлильными головками БТА CoroDrill 800 фирмы Sandvik Coromant (Швеция)

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	
			Диаметр $d$ головки, мм	
			30,00...43,00	43,01...65,00
<b>Нелегированные стали:</b>				
незакаленные (0,10...0,25 % С)	90...200	70...130	0,11...0,41	0,14...0,45
незакаленные (0,25...0,55 % С)	125...225	70...130	0,11...0,41	0,14...0,45
незакаленные (0,55...0,80 % С)	150...250	70...130	0,11...0,41	0,14...0,45
высокоуглеродистые инструментальные стали	180...275	70...130	0,11...0,41	0,14...0,45
<b>Низколегированные стали:</b>				
в состоянии поставки (сырые)	150...260	70...120	0,11...0,41	0,20...0,45
после закалки и отпуска	220...450	55...110	0,11...0,41	0,20...0,45
<b>Высоколегированные стали:</b>				
отоженные	150...250	70...120	0,11...0,41	0,20...0,45
стали высокой твердости	250...450	55...110	0,20...0,38	0,20...0,40
<b>Стальное литье:</b>				
нелегированные стали	90...225	55...110	0,20...0,41	0,20...0,45
низколегированные стали (леггирующих элементов менее 5 %)	150...250	55...110	0,20...0,41	0,20...0,45

Продолжение табл. 3.13

Обработываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	
			Диаметр $d$ головки, мм	
коррозионно-стойкие, аустенитные стали	150...250	50...100	30,00...43,00	43,01...65,00
марганцовистые (12...14 % Mn)	200...300	37...85	0,11...0,33	0,20...0,38
<b>Коррозионно-стойкие стали:</b>				
ферритные, мартенситные (13...25 % Cr)	150...270	40...110	0,11...0,41	0,20...0,45
аустенитные (Ni > 8 %, 18...25 % Cr)	150...275	40...110	0,11...0,41	0,20...0,45
аустенитно-ферритные ( $\geq 0,05$ % C)	180...290	40...110	0,11...0,33	0,20...0,35
аустенитно-ферритные (< 0,05 % C)	200...320	40...80	0,11...0,33	0,20...0,35
<b>Жаропрочные сплавы (отожженные или после старения):</b>				
на основе железа	180...230	10...55	0,09...0,30	0,20...0,33
на основе никеля	140...300	10...55	0,09...0,30	0,20...0,33
на основе кобальта	180...230	10...55	0,09...0,30	0,20...0,33
<b>Титановые сплавы (литые или деформированные) с <math>\alpha</math>- и <math>\alpha + \beta</math>-структурами</b>	$\sigma_B = 600...1100$ МПа	30...60	0,09...0,30	0,20...0,33
<b>Ковкие чугуны:</b>				
ферритные	110...145	80...120	0,11...0,38	0,24...0,41
перлитные	150...270	80...120	0,11...0,38	0,24...0,41

Окончание табл. 3.13

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	
			Диаметр $d$ головки, мм	
			30,00...43,00	43,01...65,00
<b>Серые чугуны:</b>				
ферритные	150...220	60...110	0,11...0,38	0,24...0,41
перлитные	200...330	60...110	0,11...0,38	0,24...0,41
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>				
ферритные	125...230	50...110	0,11...0,38	0,24...0,41
перлитные	200...300	50...110	0,11...0,38	0,24...0,41
<b>Алюминиевые сплавы:</b>				
деформированные	30...100	65...150	0,09...0,33	0,24...0,35
деформированные, закаленные со старением	30...150	65...150	0,09...0,33	0,24...0,35
литые без старения	40...100	65...150	0,09...0,33	0,24...0,35
литые со старением	40...140	65...150	0,09...0,33	0,24...0,35
<b>Медные сплавы:</b>				
латуни, свинцовистые бронзы ( $Pb > 1\%$ )	70...160	65...150	0,09...0,33	0,24...0,35
латуни, свинцовистые бронзы ( $Pb \leq 1\%$ )	50...200	65...150	0,09...0,33	0,24...0,35

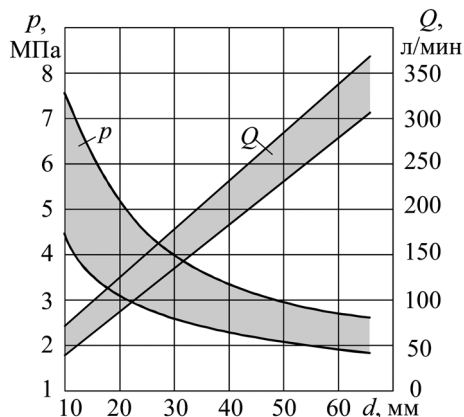
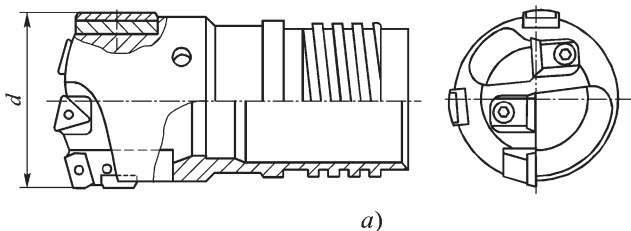
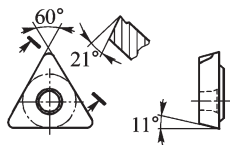


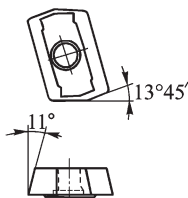
Рис. 3.34. Влияние диаметра  $d$  сборной сверлильной головки БТА CoroDrill 800 фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ



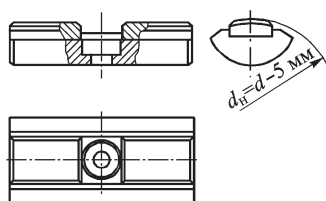
Центральная и промежуточная режущие пластины



Периферийная режущая пластина



Сборная самоустанавливающаяся направляющая пластина



б)

Рис. 3.35. Сборная сверлильная головка БТА T-MAX фирмы Sandvik Coromant (Швеция):

$a$  — общий вид головки;  $b$  — твердосплавные сменные режущие и сборные самоустанавливающиеся направляющие пластины

$d = 90 \dots 150$  мм. При этом диаметр направляющих должен быть на 5 мм меньше диаметра сверла. Благодаря этому направляющие пластины при поперечных перемещениях головки в обрабатываемом отверстии поворачиваются вокруг своих осей, расположенных параллельно оси головки. В результате стабилизируются давления на направляющих и повышается виброустойчивость инструмента.

Режимы сверления глубоких отверстий сборными головками БТА Т-МАХ фирмы Sandvik Coromant представлены в табл. 3.14, а условия подвода СОЖ в зону резания — на рис. 3.36.

### 3.14. Режимы сверления глубоких отверстий сборными головками БТА Т-МАХ фирмы Sandvik Coromant (Швеция)

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Диаметр головки $d \geq 63,5$ мм
			Подача $S$ , мм/об
<b>Нелегированные стали:</b>			
незакаленные (0,10...0,25 % С)	90...200	80...100	0,18...0,35
незакаленные (0,25...0,55 % С)	125...225	80...100	0,18...0,35
незакаленные (0,55...0,80 % С)	150...250	80...100	0,18...0,35
высокоуглеродистые инструментальные стали	180...275	80...100	0,18...0,35
<b>Низколегированные стали:</b>			
в состоянии поставки (сырые)	150...260	70...100	0,18...0,35
после закалки и отпуска	220...450	60...100	0,16...0,35
<b>Высоколегированные стали:</b>			
отоженные	150...250	70...100	0,18...0,30
стали высокой твердости	250...450	60...100	0,18...0,30
<b>Стальное литье:</b>			
нелегированные стали	90...225	50...100	0,15...0,30
низколегированные стали (легирующих элементов менее 5 %)	150...250	50...100	0,15...0,30

Окончание табл. 3.14

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Диаметр головки $d \geq 63,5$ мм
			Подача $S$ , мм/об
<b>Коррозионно-стойкие стали:</b>			
ферритные, мартенситные (13...25 % Cr)	150...270	50...90	0,16...0,35
аустенитные (Ni > 8%, 18...25 % Cr)	150...275	50...90	0,16...0,35
<b>Жаропрочные сплавы (отожженные или после старения):</b>			
на основе железа	180...230	20...65	0,15...0,30
на основе никеля	140...300	20...65	0,15...0,30
на основе кобальта	180...230	20...65	0,15...0,30
<b>Титановые сплавы (литые или деформированные) с <math>\alpha</math>- и <math>\alpha + \beta</math>-структурами</b>	300...450	30...100	0,15...0,30
<b>Ковкие чугуны:</b>			
ферритные	110...145	80...100	0,18...0,30
перлитные	150...270	80...100	0,18...0,30
<b>Серые чугуны:</b>			
ферритные	150...220	60...100	0,16...0,35
перлитные	200...330	60...100	0,16...0,35
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>			
ферритные	125...230	50...100	0,16...0,35
перлитные	200...300	50...100	0,16...0,35
<b>Алюминиевые сплавы:</b>			
деформированные	30...100	65...130	0,10...0,30
деформированные, закаленные со ставением	30...150	65...130	0,10...0,30
литье без старения	40...100	65...130	0,10...0,30
литье со старением	70...140	65...130	0,10...0,30
<b>Медные сплавы:</b>			
латуни, свинцовистые бронзы (Pb $\leq$ 1 %)	50...160	65...130	0,10...0,30
легкообрабатываемые сплавы (Pb $\geq$ 1 %)	50...160	65...130	0,10...0,30

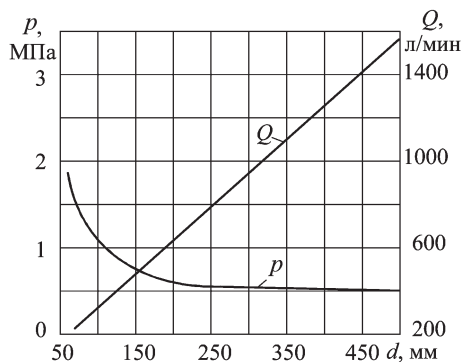


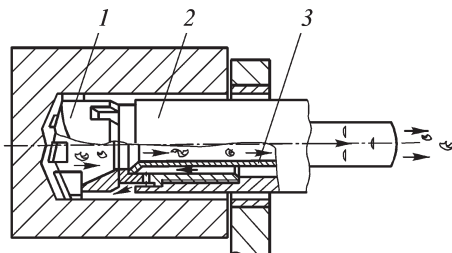
Рис. 3.36. Влияние диаметра  $d$  сборной головки БТА T-MAX фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

**Эжекторные сверла** применяют для сверления отверстий диаметром 18...200 мм, глубиной до  $100 D$  с точностью диаметральных размеров IT 9...10 и шероховатостью  $Ra = 2...3$  мкм.

Эжекторное сверло<sup>1</sup> состоит из сверлильной головки 1, стебля 2 и тонкостенной трубы 3 (рис. 3.37). В зону резания СОЖ подается по кольцевому зазору между толстостенной (стеблем) и тонкостенной трубами. Одновременно часть этого потока проходит в обратном направлении через щелевые сопла, выполненные на тонкостенной трубе, и создает в ней пониженное давление. Под действием атмосферного давления поток СОЖ (примерно  $2/3$  общего объема), омывающий головку, вместе со стружкой направляется в зону пониженного давления, и далее поступает в стружкосборник станка. В результате отпадает необходимость уплотнять зазор между торцом заготовки, стеблем и кондукторной втулкой. Поэтому при эжекторном сверлении не требуется маслоприемник, что значительно упрощает наладку операции глубокого сверления и позволяет осуществлять ее не только на специальных станках, но и на большинстве моделей универсальных металлорежущих станков после их относительно небольшой модернизации.

Эжекторные сверла выпускают фирмы Sandvik Coromant (Швеция), Brotek (Германия), Iscar (Израиль) и др. В нашей стране эжекторные сверла выпускают диаметром 20...60 мм по ТУ 2-035-857-81 (П. 17...20).

<sup>1</sup> Автор К. Faber. Патент № 13940, 1963 г., Швеция. Выпуск эжекторных сверл впервые начат в 1965 г. фирмой Sandvik Coromant.



**Рис. 3.37. Схема обработки глубоких отверстий эжекторным сверлом:**

1 — сверлильная головка; 2 — стбель; 3 — тонкостенная труба

Сверлильные головки эжекторных сверл, так же, как и сверл БТА, изготавливают напайными  $d = 18,4...65$  мм (рис. 3.38) или сборными  $d = 30...184$  мм (рис. 3.39).

Их геометрические параметры подобны. Однако конструкции хвостовиков головок отличаются, что вызвано различием способов подвода СОЖ и отвода стружки: хвостовики головок эжекторных сверл имеют шесть радиальных отверстий, через которые СОЖ подается в зону резания, а внутри хвостовиков выполнен уступ, в который упирается тонкостенная труба (см. рис. 3.37). Режимы резания эжекторных сверл примерно такие же, как и сверл БТА (см. табл. 3.12), а режимы подачи СОЖ в зону резания несколько иные (рис. 3.40).

Как упоминалось выше, стбли эжекторных сверл в отличие от стблей сверл БТА состоят из двух труб: наружной толстостенной и внутренней тонкостенной. Толстостенная труба (собственно стбель) является несущим элементом сверла, передающим крутящий момент и осевую составляющую силы резания. Тонкостенная труба служит только для направления потока СОЖ к радиальным отверстиям в сверлильной головке и к соплам, выполненным в ее корпусе, а также для отвода стружки из зоны резания. Таким образом, тонкостенная и толстостенная трубы образуют компактный кольцевой эжектор — струйный насос. В последнем происходит смешивание двух потоков СОЖ: рабочего с напором  $H_1$  и расходом  $Q_1$  и эжектируемого  $H_2, Q_2$  с образованием смешанного потока  $H_3, Q_3$  (рис. 3.41).

Работу эжектора можно описать следующими параметрами [31]:

- относительный напор нагнетания

$$h = H_3 - H_2/H_1 - H_2,$$

где  $H_1, H_2, H_3$  — напоры соответственно рабочего, эжектируемого и смешанного потоков;



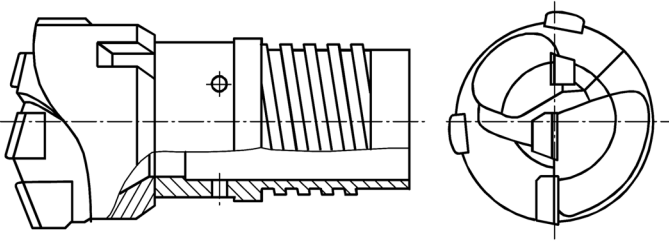
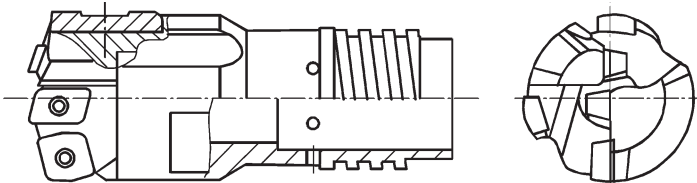
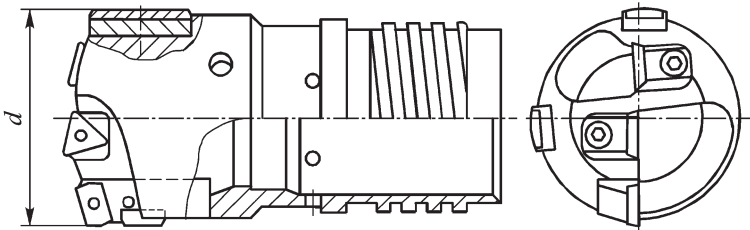


Рис. 3.38. Напайная сверлильная головка эжекторного сверла фирмы Sandvik Coromant (Швеция)



a)



б)

Рис. 3.39. Сборные сверлильные головки эжекторных сверл фирмы Sandvik Coromant (Швеция):

a — CoroDrill 800; б — T-MAX

- объемный коэффициент эжекции

$$q = Q_2/Q_1,$$

где  $Q_1, Q_2$  — расходы соответственно рабочего и эжектируемого потоков;

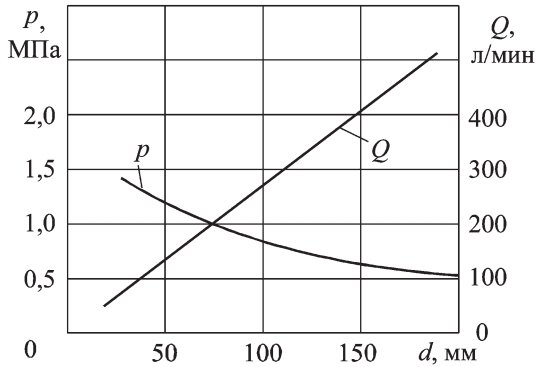


Рис. 3.40. Влияние диаметра  $d$  эжекторного сверла фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

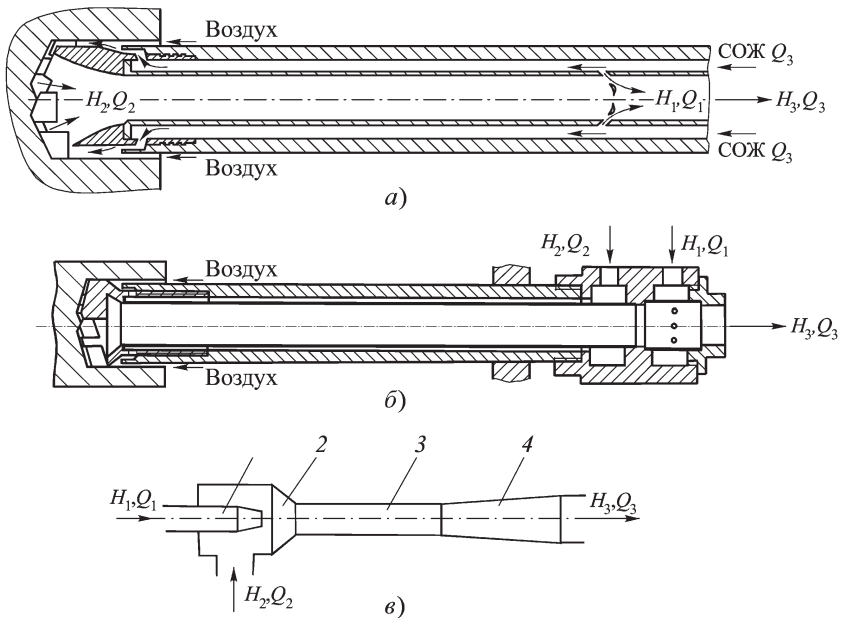


Рис. 3.41. Гидравлические системы:

а — эжекторного сверла с кольцевым эжектором щелевого типа; б — эжекторного сверла с вихревым эжектором; в — «классического» эжектора с центральным соплом (1 — сопло, 2 — конфузор, 3 — камера смешения, 4 — диффузор)

- основной геометрический параметр

$$m = f_2/f_1,$$

где  $f_1, f_2$  — площади поперечных сечений соответственно сопла и отверстия тонкостенной трубы;

- КПД эжектора

$$\eta = hq.$$

Для расчета основных геометрических параметров эжектора необходимо знать его гидравлическую характеристику. Последнюю можно построить в относительных координатах по трем характерным точкам, из которых две крайние  $h_m, q_m$  — точки пересечения характеристики эжектора с осями соответственно  $h$  и  $q$ , а третья — с координатами  $h_0, q_0$  — соответствует максимальному КПД эжектора (рис. 3.42).

Координаты этих трех точек в зависимости от основного геометрического параметра  $m$  можно представить в виде:

$$h_0 = b_1 m^{-k_1}; \quad (3.1)$$

$$q_0 = b_2 m^{k_2} - 1; \quad (3.2)$$

$$q_m = b_3 m^{k_3} - 1; \quad (3.3)$$

$$h_m = b_4 m^{-1} - b_5 m^{-2}, \quad (3.4)$$

где  $b_1 \dots b_5$  — коэффициенты;  $k_1 \dots k_3$  — показатели степени.

Значения коэффициентов  $b_{1 \dots 5}$  и показатели степеней  $k_{1 \dots 3}$  для трех конструкций кольцевых эжекторов (рис. 3.43) приведены в табл. 3.15 [31].

Эжектор обычно работает совместно с системой трубопроводов — рабочего, эжектирующего и нагнетательного. В эжекторных сверлах рабочий трубопровод направляет поток СОЖ от насоса гидростанции

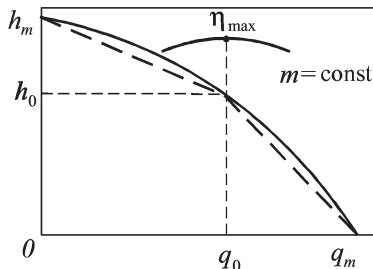


Рис. 3.42. Аппроксимация гидравлической характеристики эжектора

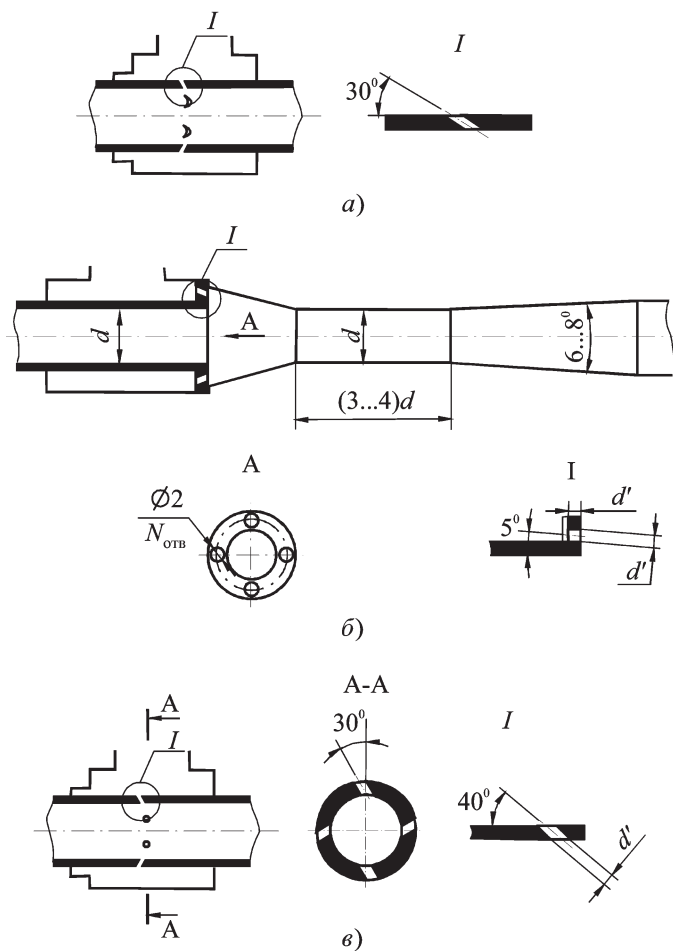


Рис. 3.43. Схемы кольцевых эжекторов:

*a* — шелевого; *б* — многоструйного; *в* — вихревого

к соплу эжектора, эжектирующий — от сверильной головки к эжектору, а нагнетательный — от эжектора к стружкосборнику станка.

Параметры эжектора необходимо определять, согласуя гидравлические характеристики эжектора и трубопроводов, с которыми он рабо-

**3.15. Значения коэффициентов и показатели степеней в уравнениях (3.1)...(3.4) для трех конструкций кольцевых эжекторов**

Эжектор	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$k_1$	$k_2$	$k_3$
Щелевой	0,1943	0,4586	0,5336	0,7431	2,2800	0,8331	0,5753	0,6720
Много-струйный	0,2859	1,0464	1,2912	0,9068	2,9781	0,8646	0,3454	0,4201
Вихревой*	0,3418	0,9854	1,0724	0,5026	0,0802	1,0957	0,3498	0,4801

\* В вихревом эжекторе для повышения его эжектирующей способности используются закрученные струи.

тает. Для этого необходимо параметры эжекторов и трубопроводов представить в сопоставимых величинах, учитывая потери в последних.

Общие потери в трубопроводах, выраженные через расход  $Q$ :

$$H_{\omega} = \frac{Q^2}{2g} \left( \sum \frac{\lambda_i l_i}{d_i F_i^2} + \sum \frac{\xi}{F_i^2} \right),$$

где  $\lambda$  — коэффициент потерь по длине;  $l_i$  — длина участка трубопровода без местных сопротивлений;  $F_i$  — площадь отверстия трубы;  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления.

Упрощенно эта формула может быть выражена следующим образом:

$$H_{\omega} = Q^2 h_{\Sigma},$$

где  $h_{\Sigma}$  — потери напора в трубопроводе при расходе, равном единице измерения.

Суммарные потери напора в рабочем, эжектирующем и нагнетательном трубопроводах через соответствующие потери напора при единичном расходе

$$H' = Q_1^2 h'_{\Sigma};$$

$$H'' = Q_2^2 h''_{\Sigma};$$

$$H''' = Q_3^2 h'''_{\Sigma}.$$

Потери в трубопроводах в сопоставимых величинах с параметрами, характеризующими работу эжектора, через эжектируемый расход  $Q_2$ :

$$H' = \frac{Q_2^2}{q^2} h'_{\Sigma} = \frac{h'}{q^2};$$

$$H'' = Q_2^2 h_\Sigma'' = h'';$$

$$H''' = \frac{Q_2^2 (q+1)^2 h_\Sigma'''}{q^2} = \frac{h''' (q+1)^2}{q^2},$$

где  $h'$ ,  $h''$ ,  $h'''$  — потери напора соответственно в рабочем, эжектирующем и нагнетательном трубопроводах при расходе  $Q_2$ .

Зная потери напора в трубопроводах и исходя из схемы работы эжектора в гидравлической системе сверла (рис. 3.44), получим

$$H_1 = Z_1 + H_a - H' = Z_1 + H_a - \frac{h'}{q^2};$$

$$H_2 = H_a - H'' = H_a - h'';$$

$$H_3 = H_a - H''' = H_a - h''' \frac{(q+1)^2}{q^2}.$$

Преобразуя это уравнение в виде

$$\frac{H_3 - H_2}{H_1 - H_2} = \frac{H_a - h''' \frac{(q+1)^2}{q^2} - H_a - h''}{Z_1 + H_a - \frac{h'}{q^2} - H_a + h''},$$

получим обобщенное уравнение гидравлической системы эжекторного сверла при горизонтальном сверлении

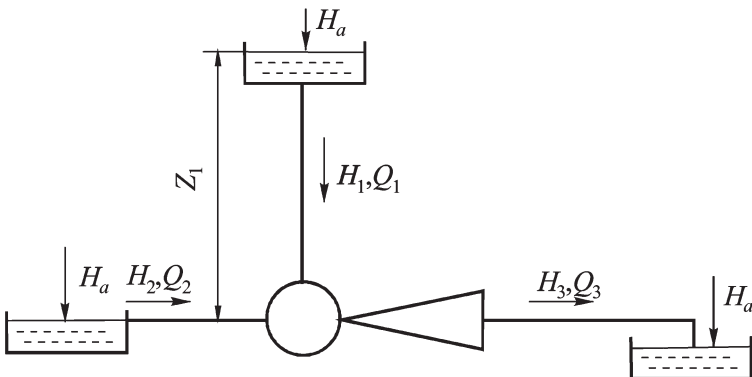


Рис. 3.44. Схема работы эжектора в гидравлической системе сверла при горизонтальном сверлении

$$h = \frac{h'' - h''' \frac{(q+1)^2}{q^2}}{Z_1 - \frac{h'}{q^2} + h''}.$$

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} h_0 = b_1 m^{-k_1}; \\ q_0 = b_2 m^{k_2-1} - 1, \end{cases}$$

получим уравнение, определяющее условие работы эжектора в режиме максимального КПД

$$h_0 = b_i (q_0 + 1)^{-k_i}.$$

Это уравнение для рассмотренных выше конструкций эжекторов имеет вид:

а) шелевой эжектор

$$h_0 = 0,0628(q_0 + 1)^{-1,4481};$$

б) многоструйный эжектор

$$h_0 = 0,2203(q_0 + 1)^{-2,5032};$$

в) вихревой эжектор

$$h_0 = 0,3264(q_0 + 1)^{-3,1324}.$$

Решение обобщенного уравнения гидравлической системы сверла и уравнения, определяющего условие работы эжектора в режиме максимального КПД, дает значения искомых величин  $h_0$  и  $q_0$ .

Подставляя полученные значения  $h_0$  в формулу (3.1) или  $q_0$  в формулу (3.2), определяют значение геометрического параметра  $m$  эжектора.

Суммарную площадь поперечных сечений сопел эжектора определяют по формуле

$$f_1 = f_2/m,$$

где  $f_2$  — площадь поперечного сечения цилиндрического участка камеры смешения.

Рабочий расход эжектора

$$Q_1 = f_1 \mu_0 \sqrt{2qH_1},$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода сопла,  $\mu_0 = 0,8$  — шелевой эжектор,  $\mu_0 = 0,74$  — многоструйный эжектор,  $\mu_0 = 0,67$  — вихревой эжектор;  $H_1$  — рабочий напор.

Геометрические параметры эжекторов, не учитываемые расчетом, необходимо брать из рекомендаций, представленных на рис. 3.43.

**Кольцевые сверла БТА** применяют для сверления отверстий диаметром 50...500 мм и более, глубиной до  $150D$  с точностью диаметральных размеров JT 10 и шероховатостью  $Ra = 3$  мкм.

Кольцевые сверла БТА состоят из сверлильной головки 1 и стебля 2, соединенных между собой прямоугольной четырехзаходной резьбой (рис. 3.45). В процессе сверления СОЖ в зону резания подается под давлением через маслоприемник 3 в кольцевой зазор между стеблем и обрабатываемым отверстием, а стружка отводится внутри стебля.

При кольцевом сверлении (трепанации) в стружку переводится только кольцевая полость площадью примерно 55...65 % от площади обрабатываемого отверстия, а в центре отверстия образуется сердечник (кern) диаметром

$$d_c = (0,592...0,671)d,$$

где  $d$  — диаметр сверлильной головки кольцевого сверла.

По сравнению со сверлением по целому при кольцевом сверлении уменьшаются потребляемая мощность, объем образующейся стружки, количество выделенной теплоты, а следовательно, и расход СОЖ. При этом полученный сердечник можно использовать как заготовку для изготовления каких-либо деталей или для испытания металла.

При сверлении глухих отверстий остающиеся сердечники необходимо удалять, для чего применяют специальные отрезные головки. Например в ОАО «Тяжстанкогидропресс» (г. Новосибирск), для отрезки сердечников, образующихся при сверлении отверстий диаметром до 216 мм, применяют отрезные головки следующей конструкции (рис. 3.46, а) [34]. Такая головка состоит из втулки 1, на правом конце

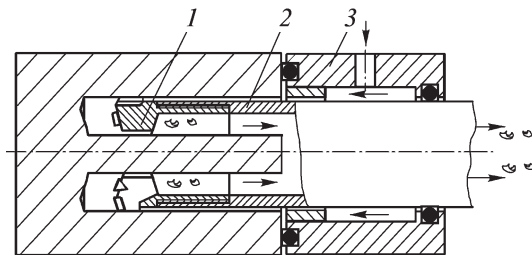
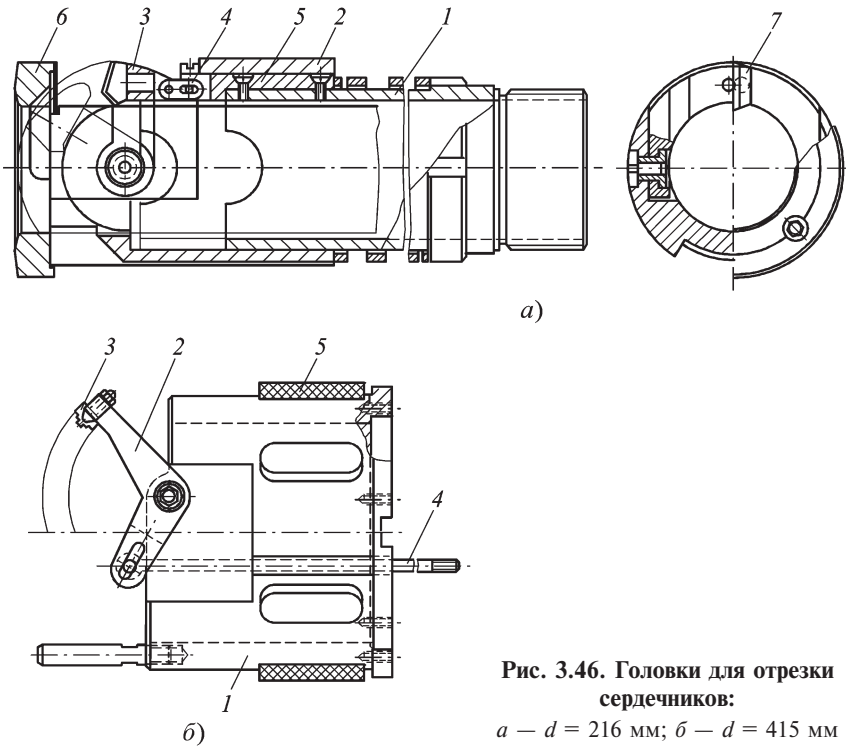


Рис. 3.45. Схема обработки глубоких отверстий кольцевым сверлом БТА:

1 — сверлильная головка; 2 — стебель; 3 — маслоприемник





**Рис. 3.46. Головки для отрезки сердечников:**

*a* —  $d = 216$  мм; *б* —  $d = 415$  мм

которой нарезана прямоугольная резьба. На передней части втулки крепится корпус 2, в котором на шарнирах закреплен дуговой резцедержатель 3. Последний через серьгу 4 и шпонку 5 соединен со втулкой 1. В передней части корпуса находится кольцо 6, которое служит упором подачи резца. Отрезную головку крепят к стеблю, предварительно сняв кольцевую головку, и заводят в высверленную часть заготовки до конца. При дальнейшей подаче стебля кольцо 6 упирается в дно высверленной части и останавливается. При этом втулка 1 продолжает двигаться и усилие подачи, передаваемое шпонкой 5 и серьгой 4, толкают дуговой резцедержатель вперед, поворачивая его на шарнирах. В результате отрезной резец врезается в сердечник и подрезает его.

Для отрезки сердечников диаметром 295 мм при кольцевом сверлении отверстий диаметром 415 мм на этом же предприятии применяют другую конструкцию отрезной головки (рис. 3.46, б) [34]. В ее корпусе 1 крепится дуга-резцедержатель 2, несущая отрезной резец 3. Дуга-

резцедержатель при помощи тяги 4 соединена с суппортом станка, который, перемещаясь в сторону задней бабки, поворачивает дугу-резцедержатель. Для гашения вибраций головки применяют пластмассовые направляющие 5. Второй суппорт станка неподвижен, он поддерживает стембель. При повороте дуги-резцедержателя резец, закрепленный на ней, постепенно врезается в сердечник и подрезает его. Подрезку не рекомендуется вести до конца во избежание повреждения стебля и сложностей удаления сердечника. Поэтому подрезанный сердечник отламывают при помощи клина. В этой связи кольцевые сверла лучше использовать для сверления сквозных отверстий. Однако и в этом случае при сверлении отверстий глубиной более 2500 мм возникают проблемы, связанные с провисанием и деформацией сердечника, вызванные перераспределением внутренних напряжений металла заготовки во время сверления [44]. Например, при сверлении отверстия диаметром 390 мм на глубину 8000 мм в конце сверления сердечник диаметром 314 мм прогибается на 10 мм. В результате деформированный сердечник давит на соприкасающиеся с ним кромки резца и ударяется о внутренние стенки стебля. Это сильно затрудняет ввод и вывод сверла из отверстия и вызывает выкрашивание режущих кромок инструмента.

Для устранения вредного влияния на процесс сверления провисания и деформации сердечника применяют специальные направляющие пробки (рис. 3.47) [44]. Для крепления такой пробки перед началом сверления в торце заготовки сверлят и растачивают отверстие 1 под разрезную втулку 2. Вращая гайку 3, втулку перемещают по конусной части штока 4 и крепят в отверстии. На другом конце штока на шариковых подшипниках 5 установлена втулка 6 с закрепленными на ней четырьмя бронзовыми направляющими 7. В процессе сверления сте-

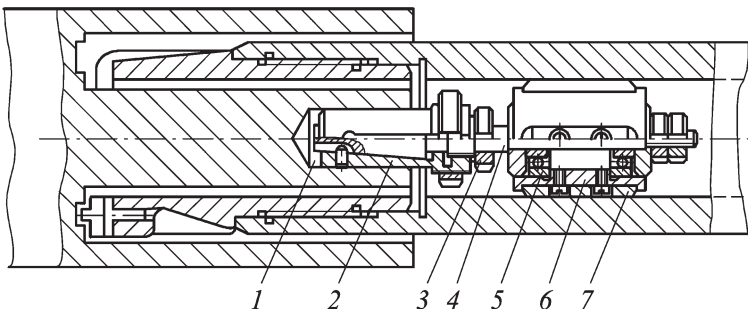


Рис. 3.47. Направляющая пробка для кольцевого сверла

бель перемещается вдоль своей оси, а втулка скользит внутри стебля и поддерживает конец сердечника. При этом СОЖ и стружка проходят через зазоры между поверхностями втулки и стенки стебля в промежутках между направляющими.

Головки для кольцевого сверления чаще всего изготавливают сборными. На рис. 3.48, *a* показана сборная однолезвийная головка кольцевого сверла фирмы Gebrüder Heller (Германия), предназначенная для сверления глубоких отверстий диаметром 50...350 мм. Головка состоит из корпуса, к которому винтами крепятся сменные режущий нож и две твердосплавные направляющие. Последние по мере износа можно переворачивать, меняя положение концов.

Кольцевая сверлильная головка имеет центральное отверстие для размещения образующегося в процессе сверления сердечника и боковое отверстие для внутреннего отвода стружки. С помощью внутренней прямоугольной резьбы с большим шагом головка крепится к стеблю, имеющему наружный диаметр  $d_{ст} = (0,83...0,91)d$ , где  $d$  — диаметр сверлильной головки кольцевого сверла.

Внутренний диаметр стебля определяется диаметром сердечника, образующегося при сверлении, и принятой величиной кольцевого зазора между сердечником и внутренним диаметром стебля.

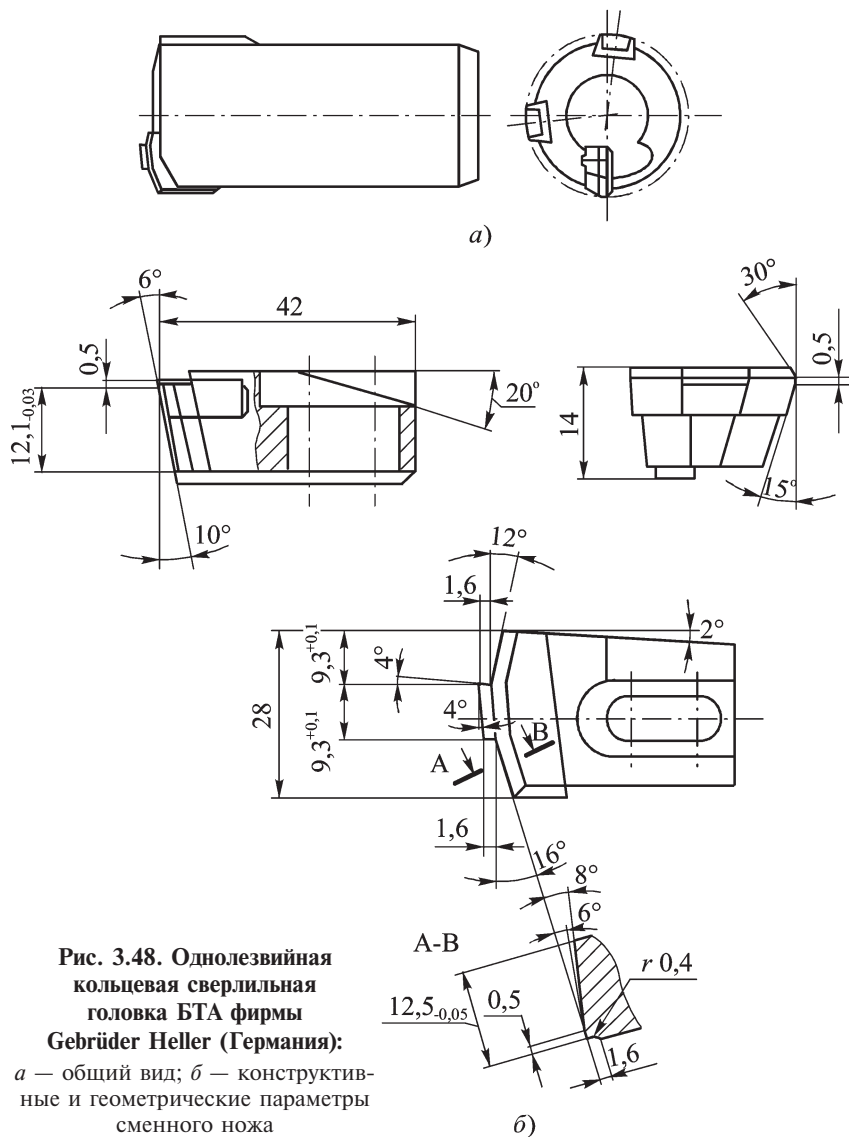
Режущий нож сверлильной головки (патент ФРГ № 914.573) состоит из стального корпуса, к которому припаяна твердосплавная пластина (рис. 3.48, *б*). Ширина ножа  $B$  в зависимости от диаметра сверлильной головки указана в табл. 3.16 [48].

**3.16. Ширина  $B$  ножа в зависимости от диаметра сверлильной головки кольцевого сверла БТА фирмы Gebruder Heller (Германия)**

$d$ , мм	60	80	100	125	150	175	200	250	300
$B$ , мм	24	28	34	34	37	37	40	44	44

Режущая кромка ножа заточена таким образом, что образует ломаную линию с выступающим «носиком». Благодаря такой заточке срезаемый слой делится по ширине на три стружки одинаковой ширины. Дробление этих стружек по длине осуществляется с помощью стружкодробящего порошка.

В корпусе сверлильной головки имеется гнездо под режущий нож, в котором одна стенка наклонена к оси головки под углом  $2^\circ$ . Это позволяет производить регулировку диаметра головки после переточки ножа. Для этого в корпус головки завинчен специальный винт, упи-



**Рис. 3.48. Однолезвийная  
кольцевая сверлильная  
головка БТА фирмы  
Gebrüder Heller (Германия):**

*a* — общий вид; *б* — конструктивные и геометрические параметры сменного ножа

рающийся в торец ножа, а фиксация ножа осуществляется другим винтом, головка которого находится в верхней части ножа. Такие головки можно перетачивать 5...6 раз.

Режимы сверления глубоких отверстий однолезвийными кольцевыми головками фирмы Gebrüder Heller (Германия) представлены в табл. 3.17 и 3.18, а режимы подачи СОЖ — на рис. 3.49.

### 3.17. Подачи при сверлении глубоких отверстий однолезвийными кольцевыми сверлами легированных сталей ( $\sigma_b = 850...1000$ МПа)

$d$ , мм	60	100	200	300
$S$ , мм/об (при $l/d = 100$ )	0,14...0,19	0,17...0,22	0,20...0,26	0,24...0,30

Примечание. 1. При  $l/d > 100$  подачу уменьшают. 2. При сверлении чугуна подачу повышают на 20 %, а цветных металлов — на 100 % и более.

### 3.18. Скорости резания при сверлении некоторых металлов однолезвийными кольцевыми сверлами

Обрабатываемый материал	Сталь	Чугун	Бронза	Алюминий
$V$ , м/мин	60...120	20...40	150...180	$\geq 300$

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) выпускает сборные кольцевые головки диаметром 112...250 мм и более (рис. 3.50, а). Ширина прорезаемой кольцевой канавки для этого диапазона диаметров равна  $(0,22...0,36)d$ . При этом головки диаметром до 196 мм имеют одну регулируемую периферийную режущую пластину с калибрующими ленточ-

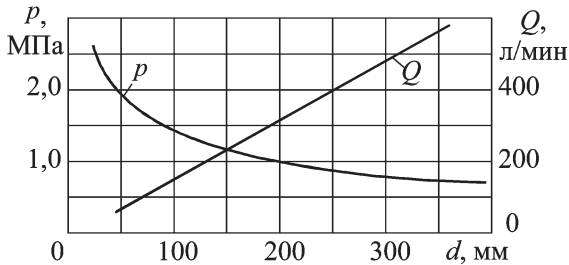
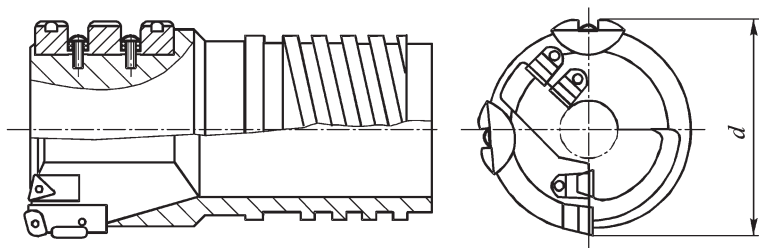


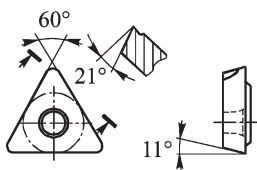
Рис. 3.49. Влияние диаметра  $d$  кольцевого сверла фирмы Gebrüder Heller (Германия) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

ками и три чередующиеся промежуточные режущие пластины треугольной формы, установленные с обеих сторон относительно оси головки.

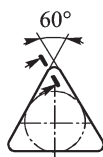
Головки диаметром 196...364 мм и более имеют одну периферийную и четыре промежуточные режущие пластины (рис. 3.50, б). Самоустанавливающиеся направляющие обеспечивают высокую виброустойчивость инструмента. К стеблям головки диаметром менее 196 мм кре-



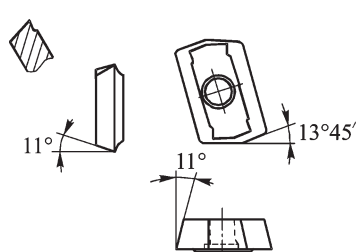
Центральная и промежуточная режущие пластины



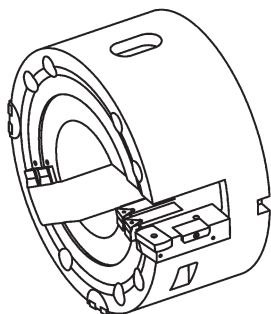
Центральная и промежуточная режущие пластины



Периферийная режущая пластина



а)



б)

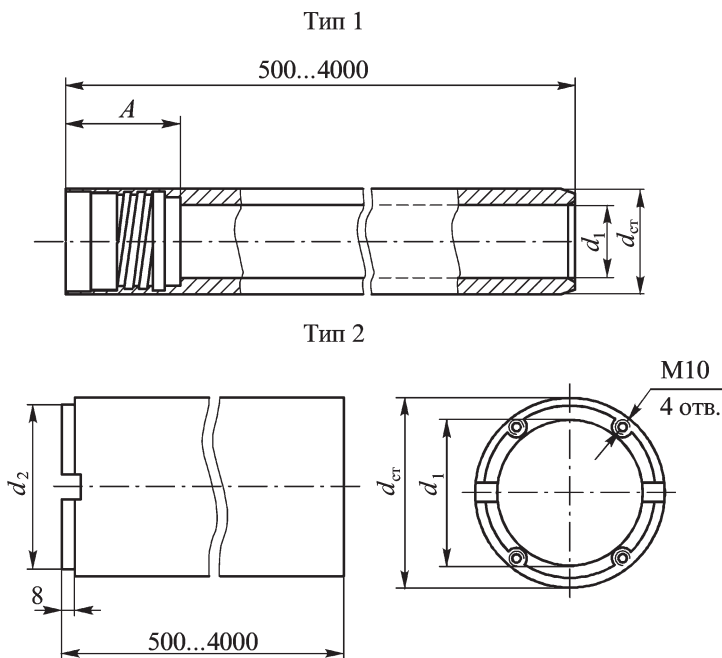
**Рис. 3.50. Сборные кольцевые сверлильные головки БТА фирмы Sandvik Coromant (Швеция):**  
 $a - d = 112...196$  мм;  $b - d > 196$  мм

пят с помощью прямоугольной четырехзаходной резьбы, а диаметром более 196 мм — четырьмя винтами и двумя шпонками.

Основные размеры стблей кольцевых сверл диаметром 112...364 мм представлены в табл. 3.19.

Режимы сверления глубоких отверстий сверлами фирмы Sandvik Coromant (Швеция) приведены в табл. 3.20, а режимы подачи СОЖ — на рис. 3.51.

### 3.19. Основные размеры стблей кольцевых сверл фирмы Sandvik Coromant (Швеция)



$d$ , мм	Тип 1			$d$ , мм	Тип 2		
	$d_{ст}$ , мм	$d_1$ , мм	$A$ , мм		$d_{ст}$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм
112...123,9	106	90	118	196...207,9	190	154	172
124...135,9	118	92	118	208...219,9	202	166	184

Окончание табл. 3.19

$d$ , мм	Тип 1			$d$ , мм	Тип 2		
	$d_{CT}$ , мм	$d_1$ , мм	$A$ , мм		$d_{CT}$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм
136...147,9	130	104	118	220...231,9	214	178	196
148...159,9	142	116	139	232...243,9	226	190	208
160...171,9	154	128	139	244...255,9	238	202	220
172...183,9	166	140	139	256...267,9	250	214	232
184...195,9	178	152	144	268...279,9	262	226	244
				280...291,9	274	238	256
				292...303,9	286	250	268
				304...315,9	298	262	280
				316...327,9	310	274	292
				238...339,9	322	286	304
				340...351,9	334	298	316
				352...363,9	346	310	328

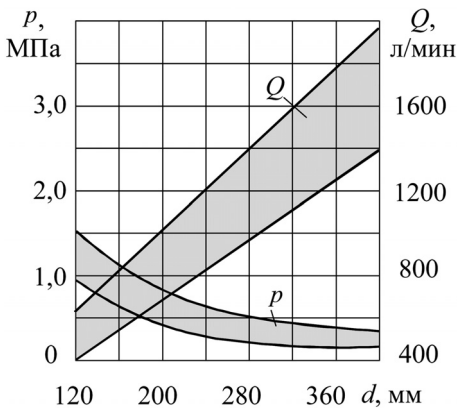


Рис. 3.51. Влияние диаметра  $d$  сборной кольцевой сверлильной головки фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ



## 3.20. Режимы сверления глубоких отверстий кольцевыми головками фирмы Sandvik Coromant (Швеция)

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об
<b>Нелегированные стали:</b>			
незакаленные (0,10...0,25 % С)	90...200	80...100	0,18...0,30
незакаленные (0,25...0,55 % С)	125...225	80...100	0,18...0,30
незакаленные (0,55...0,80 % С)	150...250	80...100	0,18...0,30
высокоуглеродистые инструментальные стали	180...275	80...100	0,18...0,30
<b>Низколегированные стали:</b>			
в состоянии поставки (сырые)	150...260	70...100	0,18...0,30
после закалки и отпуска	220...400	60...100	0,16...0,30
<b>Высоколегированные стали:</b>			
отоженные	150...250	70...100	0,18...0,30
сталь высокой твердости	250...400	60...100	0,16...0,30
<b>Стальное литье:</b>			
нелегированные стали	90...225	50...100	0,15...0,30
низколегированные стали (легированных элементов менее 5 %)	150...250	50...100	0,15...0,30
<b>Коррозионно-стойкие стали:</b>			
ферритные, мартенситные (13...25 % Cr)	150...270	50...90	0,16...0,30
аустенитные (Ni > 8%, 18...25 % Cr)	150...275	50...90	0,16...0,30

Окончание табл. 3.20

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об
<b>Ковкие чугуны:</b>			
ферритные	110...145	80...100	0,18...0,30
перлитные	150...270	80...100	0,18...0,30
<b>Серые чугуны:</b>			
ферритные	150...220	60...100	0,16...0,30
перлитные	200...330	60...100	0,16...0,30
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>			
ферритные	125...230	50...100	0,16...0,30
перлитные	200...300	50...100	0,16...0,30
<b>Алюминиевые сплавы:</b>			
деформированные	30...100	65...130	0,10...0,30
деформированные, закаленные со старением	30...150	65...130	0,10...0,30
литые без старения	40...100	65...130	0,10...0,30
литые со старением	70...140	65...130	0,10...0,30
<b>Медные сплавы:</b>			
латуни, свинцовистые бронзы ( $Pb > 1 \%$ )	70...160	65...130	0,10...0,30
латуни, свинцовистые бронзы ( $Pb \leq 1 \%$ )	50...200	65...130	0,10...0,30
Диаметр головки $d \geq 120$ мм.			

### 3.2. РАСТОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

**Расточные инструменты БТА** применяют для увеличения диаметров отверстий, повышения их точности (по размеру, форме, расположению) и для уменьшения шероховатости их поверхностного слоя.

Различают черновые, получистовые и чистовые расточные инструменты.

Черновые расточные инструменты снимают большие припуски ( $t_{\max} = 20$  мм) с точностью диаметральных размеров IT 10...11 и шероховатостью  $Rz = 40...80$  мкм.

Чистовые расточные инструменты снимают значительно меньшие припуски ( $t_{\max} = 1,6$  мм) с точностью диаметральных размеров IT 7...8 и шероховатостью  $Ra < 1$  мкм.

Получистовые расточные инструменты занимают промежуточное положение между черновыми и чистовыми.

На рис. 3.52 показана сборная однолезвийная расточная головка БТА фирмы Gebrüder Heller (Германия), предназначенная для растачивания глубоких отверстий диаметром 30...750 мм. Она состоит из сменного расточного резца с напайной твердосплавной режущей пластиной, двух сменных твердосплавных и трех пластмассовых направляющих. Последние смещены относительно твердосплавных направляющих к хвостовику головки, входят в обработанное отверстие с натягом 0,1 мм и служат для гашения вибраций.

Режущая пластина имеет заточенный сторужкодробящий порожек и может перемещаться (регулироваться) в радиальном направлении с помощью микрометрического винта. Такие головки работают с максимальной глубиной резания 15 мм, обеспечивают точность обработки IT 7...8, шероховатость  $Ra = 1,5...2,5$  мкм, увод осей отверстий 0,05...010 мм/м. Режимы подачи СОЖ в зону резания при работе такими головками приведены на рис. 3.53.

Фирма Iscar (Израиль) выпускает гамму расточных головок, предназначенных для обработки глубоких отверстий диаметром 14,5...100 мм (рис. 3.54). Головки изготавливают напайными и сборными; с внутренним, наружным и эжекторным отводом стружки; с наружной четырехзаходной и внутренней однозаходной прямоугольной резьбой. Точность обработки напайными (перетачиваемыми) головками IT 7, сборными — IT 8, а шероховатость соответственно  $Ra = 1$  мкм и  $Ra = 2$  мкм. При этом глубина резания  $t = 1...8$  мм.

Фирма Sandvik Coromant для растачивания отверстий диаметром 20...280 мм и более, глубиной до  $150D$  с точностью диаметральных раз-

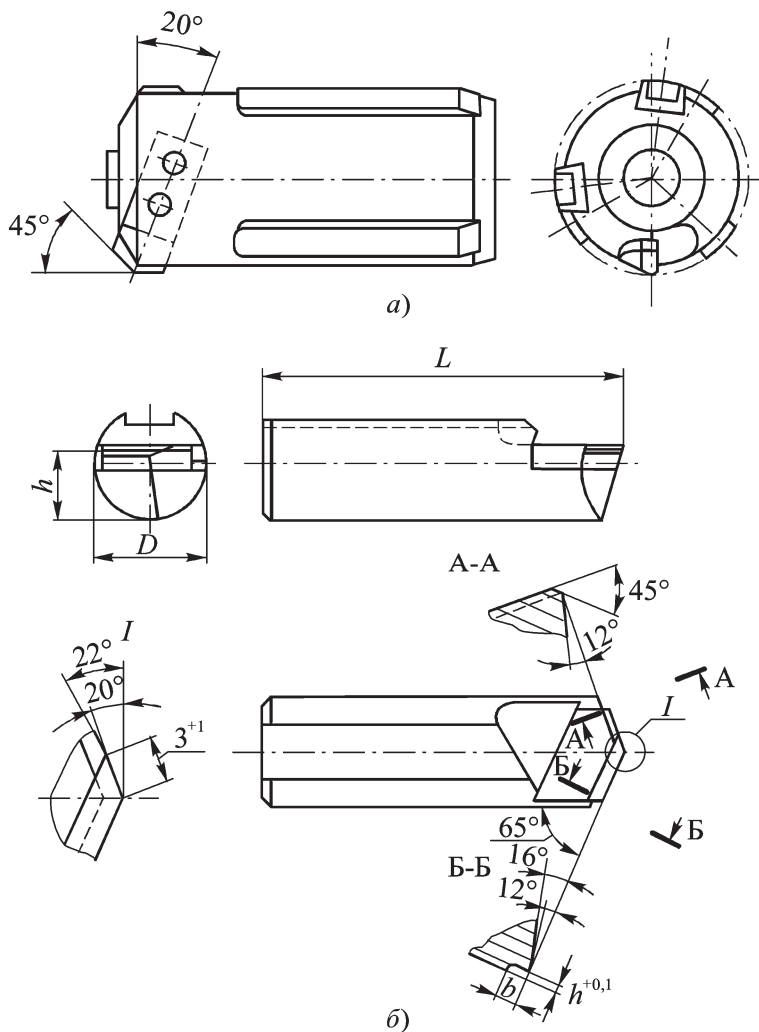


Рис. 3.52. Однолезвийная расточная головка БТА  
фирмы Gebrüder Heller (Германия):

а — общий вид; б — сменный расточной резец

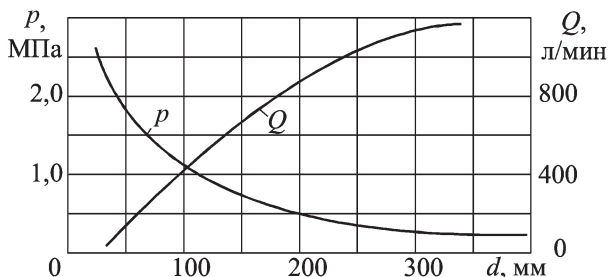


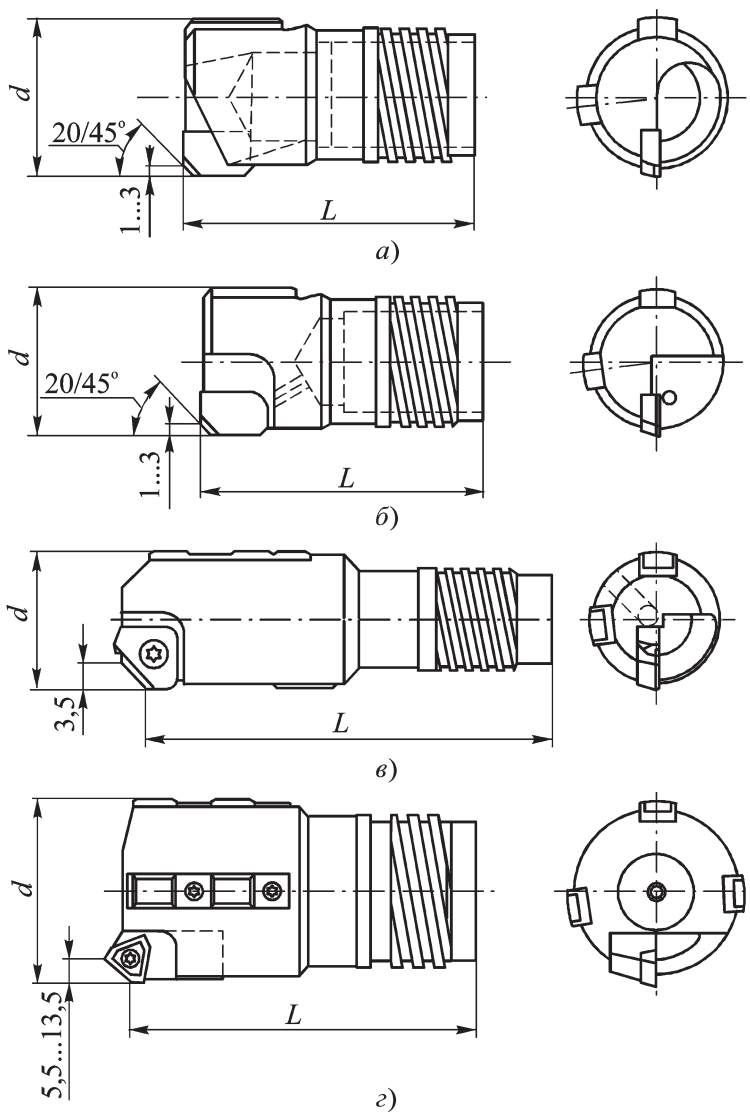
Рис. 3.53. Влияние диаметра  $d$  однолезвийной расточной головки фирмы Gebrüder Heller (Германия) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

меров IT 9...10 и шероховатостью  $Ra = 10$  мкм выпускает три конструкции сборных расточных головок БТА и таких же головок с эжекторным отводом стружки.

Расточные головки первой конструкции (рис. 3.55, а) применяют для растачивания глубоких отверстий диаметром 20...43 мм с точностью диаметральных размеров IT 9 и шероховатостью  $Ra = 1$  мкм. В этих головках винтами закреплены регулируемая твердосплавная режущая пластина со стружкодробящим порошком и калибрующей ленточкой, две цельнотвердосплавные полукруглые направляющие пластины и одна виброгасящая опора цилиндрической формы.

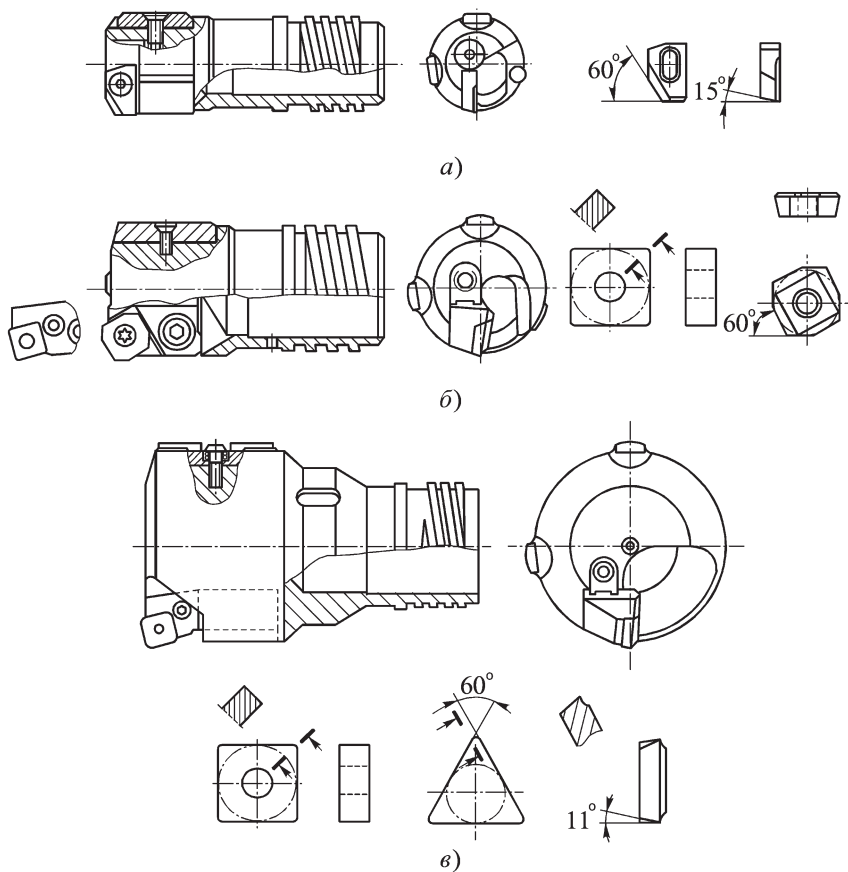
Расточные головки второй конструкции (рис. 3.55, б) применяют для растачивания глубоких отверстий диаметром 43...124 мм, с точностью диаметральных размеров IT 9 (когда в державке установлена режущая пластина с калибрующей ленточкой) и IT 10 (когда установлена режущая пластина без калибрующей ленточки) и шероховатостью  $Ra = 1$  мкм. При этом режущие пластины с калибрующей ленточкой крепят в державках винтами, а без калибрующей ленточки — рычагом через отверстие в пластине. В первом случае максимальная глубина резания достигает 4,5 мм, а во втором — 6 мм.

Расточные головки третьей конструкции (рис. 3.55, в) применяют для черногого растачивания глубоких отверстий диаметром 65...280 мм и более, с точностью диаметральных размеров IT 10 и шероховатостью  $Ra = 3$  мкм. В этих головках используют трех- и четырехугольные сменные твердосплавные режущие пластины, а в качестве направляющих — две твердосплавные самоустанавливающиеся направляющие. Треугольные пластины крепят в державках прихватом сверху, а четырехугольные — рычагом через отверстие в пластине. Если стружкодро-



**Рис. 3.54. Расточные головки фирмы Iscar (Израиль):**

*a, б* — напайная ( $d = 19 \dots 65$  мм); *в* — сборная ( $d = 25 \dots 40$  мм);  
*з* — сборная ( $d = 40 \dots 100$  мм)



**Рис. 3.55. Сборные расточные головки фирмы Sandvik Coromant (Швеция) и твердосплавные сменные режущие пластины к ним:**

*a* —  $d = 20...43$  мм; *б* —  $d = 43...124$  мм; *в* —  $d = 65...280$  мм

бязшие порошки на треугольных режущих пластинах не обеспечивают устойчивого стружкодробления, то применяют накладные стружколомы. В указанном диапазоне диаметров отверстий максимальная глубина резания пластинами треугольной формы равна 10 мм ( $d = 65...90$  мм) и 16 мм ( $d = 90...280$  мм), а четырехугольной формы — 12 мм ( $d = 65...90$  мм) и 17 мм ( $d = 90...280$  мм).

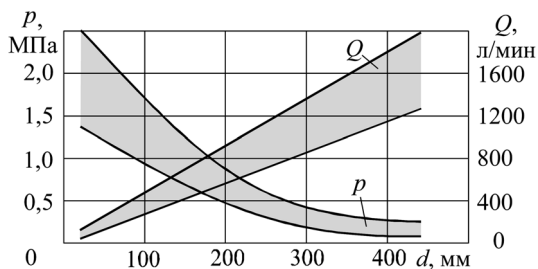


Рис. 3.56. Влияние диаметра  $d$  сборной расточной головки фирмы Sandvik Coromant (Швеция) на давление  $p$  и расход  $Q$  СОЖ

Режимы резания и подачи СОЖ при растачивании глубоких отверстий расточными головками фирмы Sandvik Coromant представлены соответственно в табл. 3.21 и на рис. 3.56.

Фирма Votek (Германия) выпускает расточные головки, применяемые для растачивания глубоких отверстий диаметром 45...250 мм. В этих головках регулируемая твердосплавная пластина в форме параллелограмма имеет калибрующие ленточки и крепится винтом к державке (рис. 3.57). В качестве направляющих используют три твердосплавные и три пластмассовые пластины. Последние служат для гашения колебаний в процессе обработки.

**Специальные расточные головки с подвижным резцом и подвижными и неподвижными направляющими** применяют для обработки фасонных глубоких отверстий (рис. 3.58). При этом подвижность резца и направляющих обеспечивается гидроприводом, управляемым УЧПУ станка,

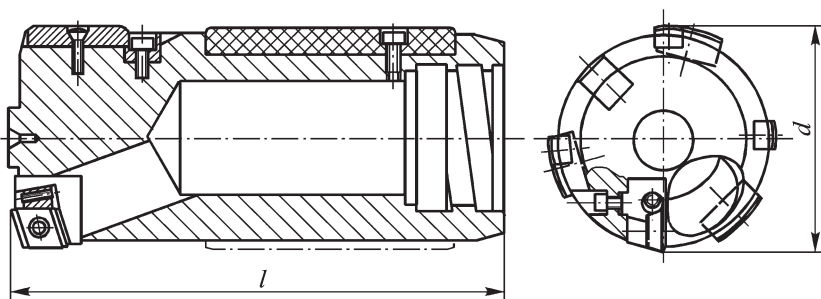


Рис. 3.57. Сборная расточная головка БТА фирмы Votek (Германия)

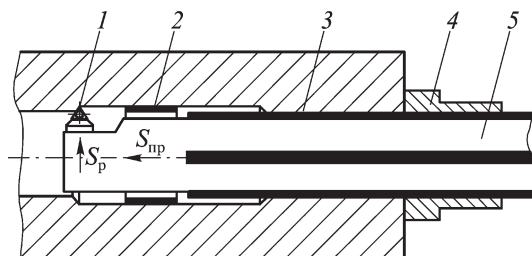


## 3.2.1. Режимы растачивания глубоких отверстий расточными головками фирмы Sandvik Coromant (Швеция)

Обрабатываемый материал	Твердость HV	Скорость резания V, м/мин	Глубина резания t, мм	
			1...3	3...8 >8
Подача S, мм/об				
<b>Нелегированные стали:</b>				
незакаленные (0,10...0,25 % C)	90...200	60...140	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
незакаленные (0,25...0,55 % C)	125...225	60...120	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
незакаленные (0,55...0,80 % C)	150...250	50...100	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,35
<b>Низколегированные стали:</b>				
в состоянии поставки (сырые)	150...260	50...130	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
после закалки и отпуска	220...450	50...120	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
<b>Высоколегированные стали:</b>				
отожженные	150...250	50...100	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
стали высокой твердости	250...450	60...100	0,15...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
<b>Стальное литье:</b>				
нелегированные стали	90...225	60...120	0,20...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
низколегированные стали (легированных элементов менее 5 %)	150...250	50...110	0,20...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
<b>Коррозионно-стойкие стали:</b>				
ферритные, мартенситные (13...25 % Cr)	150...270	50...95	0,20...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40
аустенитные (Ni > 8 %, 18...25 % Cr)	150...275	50...95	0,20...0,40	0,20...0,40 0,18...0,40

Окончание табл. 3.21

Обработываемый материал	Твердость НВ	Скорость резания V, м/мин	Глубина резания t, мм			
			1...3	3...8	>8	
			Подача S, мм/об			
<b>Ковкие чугуны:</b>						
ферритные	110...145	60...120	0,20...0,40	0,20...0,40	0,15...0,40	
перлитные	150...270	60...120	0,20...0,40	0,20...0,40	0,15...0,40	
<b>Серые чугуны:</b>						
ферритные	150...220	50...120	0,20...0,40	0,20...0,40	0,15...0,40	
перлитные	200...330	50...120	0,20...0,40	0,20...0,40	0,15...0,40	
<b>Чугуны с шаровидным графитом:</b>						
ферритные	125...230	60...120	0,20...0,40	0,20...0,40	0,15...0,40	
перлитные	200...300	60...120	0,20...0,40	0,20...0,40	0,15...0,40	
<b>Алюминиевые сплавы:</b>						
деформированные	30...100	65...300	0,20...0,40	0,20...0,40	0,20...0,40	
деформированные, закаленные со старением	30...150	65...300	0,20...0,40	0,20...0,40	0,20...0,40	
литые без старения	40...100	65...300	0,20...0,40	0,20...0,40	0,20...0,40	
литые со старением	70...140	65...300	0,20...0,40	0,20...0,40	0,20...0,40	
<b>Медные сплавы:</b>						
латуни, свинцовистые бронзы (Pb > 1 %)	70...160	65...300	0,20...0,40	0,20...0,40	0,20...0,40	
латуни, свинцовистые бронзы (Pb ≤ 1 %)	50...200	65...300	0,20...0,40	0,20...0,40	0,20...0,40	



**Рис. 3.58. Схема обработки глубокого профильного отверстия специальной расточной головкой:**

1 — СМП; 2 — подвижные направляющие; 3 — неподвижные направляющие; 4 — кондукторная втулка, 5 — стемпель

на котором используют эти инструменты. В результате сочетания движения резца в радиальном  $S_p$  и продольном  $S_{пр}$  направлениях обеспечивается получение сложных траекторий его вершины.

Растачивание отверстий такими инструментами ведется в следующей последовательности. Сначала расточной головкой БТА в заготовке готовится точное заправочное отверстие. Затем через это отверстие в полость заготовки заводится расточная головка для профильных отверстий. Первоначально головка базируется в отверстии неподвижными (жесткими) направляющими, а затем по мере углубления инструмента в отверстие — подвижными направляющими. При этом во избежание появления вибраций нагрузка на подвижные направляющие должна находиться в пределах 0,3...2,1 МПа [87].

Для получения малой шероховатости последний проход необходимо осуществлять с пониженными подачей и глубиной резания. После окончания обработки отверстия резец и подвижные направляющие заводятся в корпус головки, а инструмент на ускоренной подаче выводится из отверстия.

При растачивании такими головками профильных отверстий надежный отвод стружки возможен только при подаче СОЖ из расчета 75...95 л/мин на 1 мм обрабатываемого отверстия [87]. Это можно осуществить только при использовании станков глубокого сверления, имеющих мощные насосные станции.

## 4. СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

---

Высокоэффективная обработка глубоких отверстий требует применения не только специальных инструментов и СОЖ, но и специализированных, специальных и модернизированных универсальных станков. При этом специализированные станки используют для изготовления однотипных деталей, а специальные — для изготовления одной определенной детали, реже — нескольких однотипных деталей.

### 4.1. СТАНКИ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Станки для сверления глубоких отверстий можно классифицировать по различным признакам [42, 74, 81] и, в частности, по типам применяемых инструментов и диаметрам обрабатываемых отверстий.

**Станки для сверления глубоких отверстий спиральными сверлами** предназначены для сверления отверстий диаметром не более 30 мм и глубиной до  $50D$  и более. К ним относят, например, вертикальные сверлильные станки мод. ОС-401А и ОС-402А ОАО «Одесский завод радиально-сверлильных станков» (Украина), а также четырехшпиндельный агрегатный станок мод. 1АМ901 Минского завода автоматических линий (Беларусь).

Станок мод. ОС-401А (табл. 4.1) имеет ступенчатый автоматический цикл сверления. Он снабжен электромеханическим датчиком контроля процесса сверления по крутящему моменту, подающим команды на ускоренный вывод инструмента при перегрузках. После вывода сверла оно автоматически на ускоренном ходу возвращается к месту, где было прервано сверление.

Для уменьшения увода сверла заготовкам сообщается дополнительное вращение в сторону, противоположную направлению вращения инструмента. По упорам, расположенным на барабане, без переналадки можно сверлить отверстия на пять различных глубин. Станок снабжен гидравлическим бесступенчато регулируемым приводом подачи.

Ускоренный ход инструмента, включение вращения шпинделя и заготовки, прекращение подачи СОЖ и подготовка механизмов станка к следующему циклу при достижении заданной глубины сверления производятся автоматически.

**4.1. Основные технические характеристики вертикального одношпиндельного станка мод. ОС-401А для сверления глубоких отверстий**

Технические характеристики	Значения
Диаметры сверления отверстий, мм	6...12
Наибольшая глубина сверления, мм	300
Размеры стола, мм	400×320
Наибольшее перемещение стола, мм	350
Количество скоростей шпинделя	6
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	450; 700; 880; 1370; 1730; 2700
Расстояние от оси шпинделя до направляющих стойки, мм	200
Наибольший ход шпинделя, мм	320
Наименьшее и наибольшее расстояния от конца шпинделя до стола, мм	244...1034
Пределы подачи шпинделя (бесступенчатое регулирование), мм/мин	55...1000
Скорость ускоренного перемещения сверлильных салазок, м/мин	10
Частота вращения заготовки, мин <sup>-1</sup>	50
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	0,8–1,8–2,0
Общая мощность электродвигателей, кВт	2,625
Габариты станка (длина×ширина×высота), мм	640×1370×2715
Масса станка, кг	1200

На вертикальном двухшпиндельном станке мод. ОС-402А (табл. 4.2) имеются механизмы автоматического управления ускоренным перемещением сверлильных салазок, вращения шпинделя, заготовки и насоса охлаждения.

Автоматическая установка указанных узлов станка в заданном положении осуществляется при помощи барабана упоров. Последний позволяет сверлить отверстия на четыре разные глубины. Пятая глубина настраивается упором, установленным на сверлильных салазках.

#### 4.2. Основные технические характеристики вертикального двухшпиндельного станка мод. ОС-402А для сверления глубоких отверстий

Технические характеристики	Значения
Диаметры сверления отверстий, мм	6...12
Наибольшая глубина сверления, мм	300
Наибольшая величина перестановки гильзы шпинделя, мм	120
Расстояние от оси шпинделя до направляющих стойки, мм	200
Конус отверстия шпинделя	Морзе № 1
Расстояние от конца шпинделя до стола, мм:	
наименьшее	684
наибольшее	1034
Расстояние между осями шпинделей, мм	400
Скорость ускоренного перемещения салазок, м/мин	10
Пределы рабочих подач шпинделя, мм/мин	35...600
Наибольшее вертикальное перемещение стола, мм	350
Перемещение стола за один оборот рукоятки, мм	2,4
Общая мощность электродвигателей, кВт	6,925
Габариты станка (длина×ширина×высота), мм	1500×970×2775
Масса станка, кг	1600

Механизм вращения заготовки снабжен отдельным электродвигателем. Подача шпинделя станка гидравлическая.

Минским заводом автоматических линий (Беларусь) разработан специальный горизонтальный четырехшпиндельный агрегатный станок мод. 1АМ901 для сверления глубоких отверстий спиральными сверлами (табл. 4.3). На этом станке одновременно сверлят четыре заготовки, находящиеся в эмульсионной ванне. Цикл работы станка полуавтоматический: а) съем, установка и зажим заготовок; б) быстрый подвод силовых головок; в) рабочий ход силовых головок; г) ускоренный отвод силовых головок. Привод подач силовых головок — электромеханический, а механизма зажима заготовок — гидравлический.

**4.3. Основные технические характеристики специального  
четырёхшпиндельного агрегатного станка мод. 1АМ901  
для сверления глубоких отверстий**

Технические характеристики	Значения
Диаметр сверления, мм	30,5
Глубина сверления, мм	380
Ход стола, мм	800
Частота вращения шпинделей, мин <sup>-1</sup>	125
Рабочая подача шпинделей, мм/мин	35,1
Конус отверстия шпинделя	Морзе № 4
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	11,0
Общая мощность электродвигателей, кВт	17,75
Производительность, дет/ч (при коэффициенте загрузки 0,85)	14
Габариты станка (длина×ширина×высота), мм	3840×2950×1920
Масса станка, кг	6600

Для сверления глубоких отверстий спиральными сверлами применяют универсальные сверлильные, токарные и фрезерные станки с ручным и числовым программным управлением (ЧПУ), а также обрабатывающие центры (ОЦ). На этих станках можно применять также шнековые и перовые сверла. Однако при использовании этих ин-

струментов достигаются относительно низкие производительность, точность и качество поверхностного слоя. Значительное увеличение этих показателей возможно только при использовании инструментов с определенностью базирования (сверла ружейные, БТА и эжекторные). Но для этих инструментов требуются специальные или специализированные станки для сверления глубоких отверстий либо модернизированные универсальные станки (сверлильные, токарные и фрезерные). На таких станках можно сверлить сверлами БТА отверстия диаметром до 125 мм, кольцевыми сверлами — отверстия диаметром до 500 мм и более, а растачивать — отверстия диаметром до 2000 мм и более глубиной до 25 000 мм. При этом скорость резания может достигать 50...150 м/мин и более при обработке сталей, 200 м/мин и более — при обработке алюминиевых сплавов. Осевая составляющая силы резания при сверлении отверстий диаметром 200 мм может достигать 60 кН, а мощность, потребляемая главным приводом станка, — 70 кВт и более [81].

Станки для сверления глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования должны иметь:

- жесткие виброустойчивые станины и узлы направления инструмента;
- мощные насосные станции с системами фильтрации и охлаждения СОЖ;
- бесступенчатые приводы подачи инструментов, а иногда и вращения заготовок;
- контролирующие (расход и давление СОЖ, мощность, потребляемая главным приводом станка, осевая составляющая силы резания, число просверленных заготовок и др.) и предохранительные устройства;
- защиту станочника и площадей вокруг станка от брызг СОЖ.

Требования к габаритным размерам и потребляемым мощностям станков для сверления глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования, рекомендуемые Обществом германских инженеров, представлены в табл. 4.4.

Эти рекомендации носят общий характер и должны рассматриваться как ориентировочные. При этом следует исходить из того, что:

- указанные в таблице площади не включают площади, необходимые для управления, ремонта и обслуживания станка;
- длина станка определяется суммой удвоенной длины заготовки и надбавки, определяемой, например, длинами передней бабки, маслоприемника и люнетов;
- габаритные размеры бака насосной станции указаны без учета размеров систем охлаждения, фильтрации и очистки СОЖ;



4.4. Требования к габаритным размерам и потребляемым мощностям станков для сверления глубоких отверстий инструментами с определенностью базирования (VDI 3210)

Диаметр сверла $d$ (ружейное, БГА, эжекторное), мм	2...25	20...100	50...200	50...200+
Требуемые габариты станка, мм: $L$ — длина; $B$ — ширина; $l_3$ — длина заготовки	$L = 2l_3 + 1800$ $B = 800$	$L = 2l_3 + 4000$ $B = 1800$	$L = 2l_3 + 5000$ $B = 2400$	$L = 2l_3 + 7000$ $B \geq 4000$
Требуемые габариты бака системы охлаждения, мм: $L_6$ — длина; $B_6$ — ширина	$L_6 = 2000$ $B_6 = 1000$	$L_6 = 6000$ $B_6 = 1000$	$L_6 = 10\ 000$ $B_6 = 1100$	$L_6 = 11\ 000$ $B_6 \geq 1100$
Минимальный объем бака системы охлаждения, м <sup>3</sup>	0,6...1,0	1,0...4,0	2,5...6,0	6...12 и более
Мощность, потребляемая при сверлении, кВт	7,5	30	45	45 и более
Мощность, потребляемая системой охлаждения, кВт	14 (7,5 — эжекторное сверло)	37	55	55 и более

- размеры системы охлаждения сопоставимы по величине с указанными минимальными объемами баков.

**Станки для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами** предназначены для сверления и рассверливания глубоких отверстий диаметром 0,5...30,0 мм и глубиной до 1000 мм и более.

При работе на этих станках сверло обычно вращается и совершает движение подачи. Заготовка либо неподвижна, либо также вращается. Непрерывный отвод стружки осуществляется с помощью СОЖ, подаваемой в зону резания под давлением через стембель сверла (рис. 4.1).

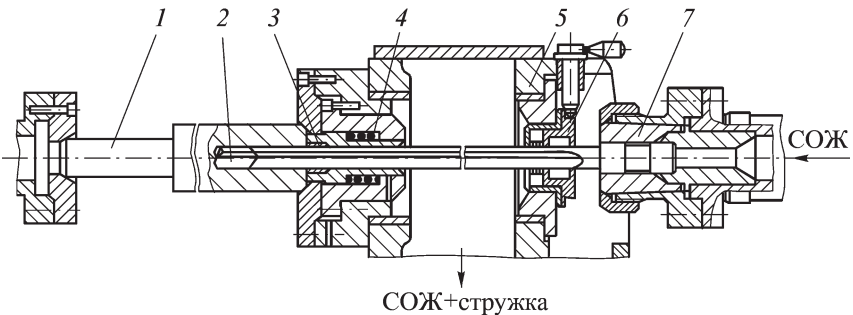
Проектирование станков для сверления глубоких отверстий осуществляют с использованием метода компоновки станков из нормализованных узлов-агрегатов. Благодаря этому снижается стоимость изготовления станков, а также уменьшается трудоемкость их проектирования и сроки изготовления.

Базовая модель станка для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами состоит из следующих основных узлов (рис. 4.2): бабка изделия 1, стол 2, станина 3, заготовка 4, стойка (стружкоприемник) 5, ружейное сверло 6, силовая головка 7, привод подачи и ускоренных перемещений 8 [74].

К нормализованным узлам станков для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами относят (рис. 4.3) [74]:

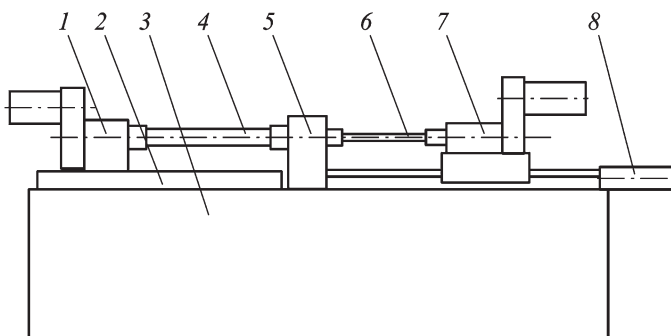
а) бабка изделия — является опорой левого конца заготовки и бывает либо с приводом вращения заготовки, либо без него;

б) стол — служит для установки заготовок. Бывает круглый вращающийся (вертикальный или горизонтальный) и с прямолинейным



**Рис. 4.1. Схема сверления глубоких отверстий ружейным сверлом:**

1 — заготовка; 2 — ружейное сверло; 3 — кондукторная втулка; 4 — пружина;  
5 — стойка; 6 — система уплотнений; 7 — зажимной патрон



**Рис. 4.2. Общий вид базовой модели станка фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами:**

1 — бабка изделия; 2 — стол; 3 — станина; 4 — заготовка; 5 — стойка;  
6 — ружейное сверло; 7 — силовая головка; 8 — привод подачи ускоренных перемещений

движением, а также неподвижный, продольный, поперечный и крестовой;

в) станина — является основным элементом несущей системы станка, может быть литой или сварной;

г) стойка — служит опорой правого конца заготовки и базой для крепления кондукторной втулки, а также для установки стружкоприемника с системой уплотнений и отвода СОЖ, выходящей из зоны резания по V-образной канавке ружейного сверла. Кондукторная втулка бывает неподвижной, вращающейся и прижимаемой к правому торцу заготовки пружиной, пневмо- или гидроприводом.

д) силовая головка — предназначена для сообщения сверлу движений подачи и вращения. В головку часто встраивают привод рабочих и ускоренных подач (рис. 4.4). Силовая головка может быть одно-, двух-, трех- и многошпиндельной. В качестве опоры шпинделя используются сверхточные радиально-упорные шарикоподшипники с предварительным натягом и циркуляционной смазкой. Радиальное биение переднего конца шпинделя станка не превышает 5 мкм. Вращение шпинделя осуществляется электродвигателем главного привода посредством зубчато-ременной передачи (рис. 4.5);

е) привод подачи — обеспечивает рабочую (дискретную или бесступенчатую) и ускоренную подачи сверла. При этом дискретное регулирование подачи осуществляется с помощью сменных зубчатых колес, а

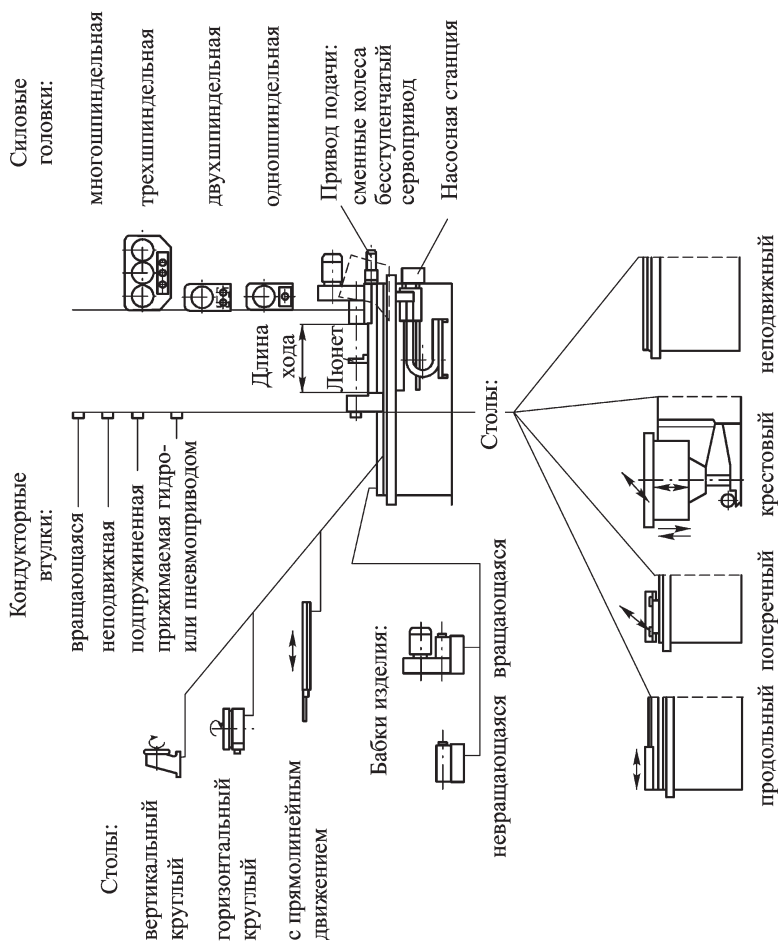
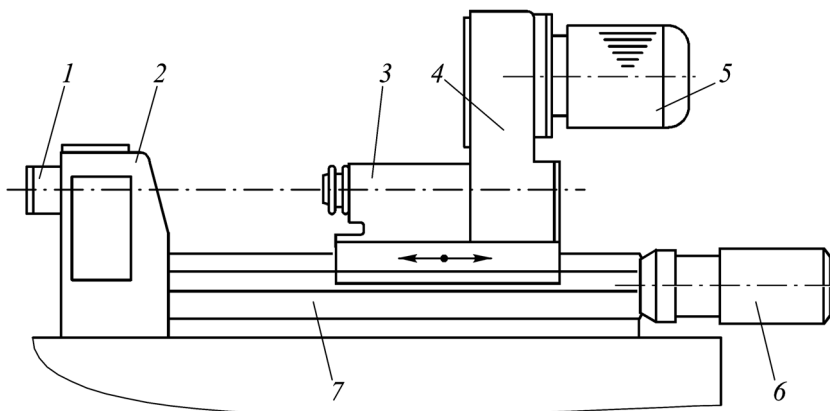
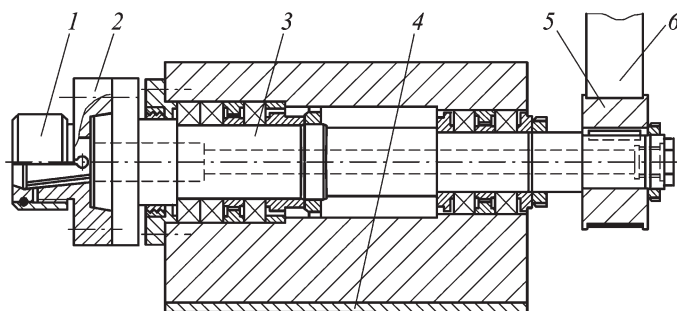


Рис. 4.3. Схема комплектования нормализованными узлами базовой модели станка фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами



**Рис. 4.4. Силовая головка станка фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами:**

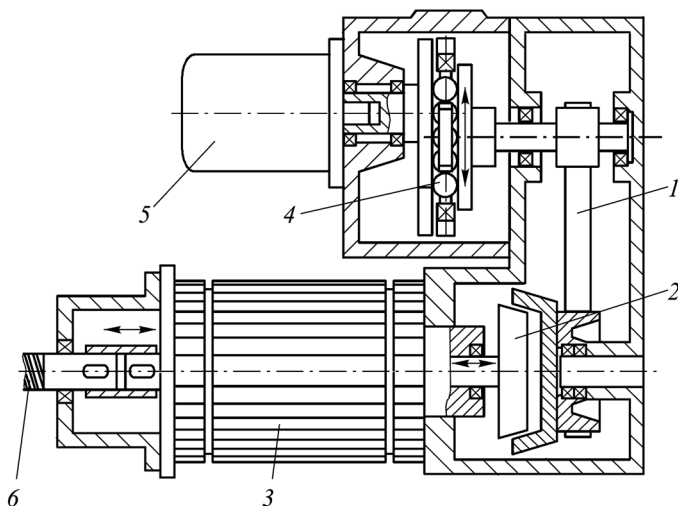
1 — узел крепления кондукторной втулки; 2 — стойка; 3 — шпиндельный узел; 4 — корпус; 5 — электродвигатель; 6 — привод подачи и ускоренных перемещений; 7 — направляющие



**Рис. 4.5. Схема шпиндельного узла станка фирмы Gildemeister+Knoll (Германия) для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами:**

1 — цанговый зажим; 2 — фланец; 3 — шпиндель; 4 — плита-компенсатор; 5 — шкив; 6 — зубчатый ремень

бесступенчатое — с помощью гидропривода или механического привода, например, вариатора. Последний применяется, например, в станках фирмы Gildemeister+Knoll (Германия) (рис. 4.6). Здесь частота



**Рис. 4.6. Схема привода подачи станка фирмы Gildemeister+Knoll (Германия) для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами:**

1 — зубчатый ремень; 2 — фрикционная муфта; 3 — двигатель ускоренных подач; 4 — шаровой вариатор; 5 — самотормозящийся электродвигатель; 6 — ходовой винт

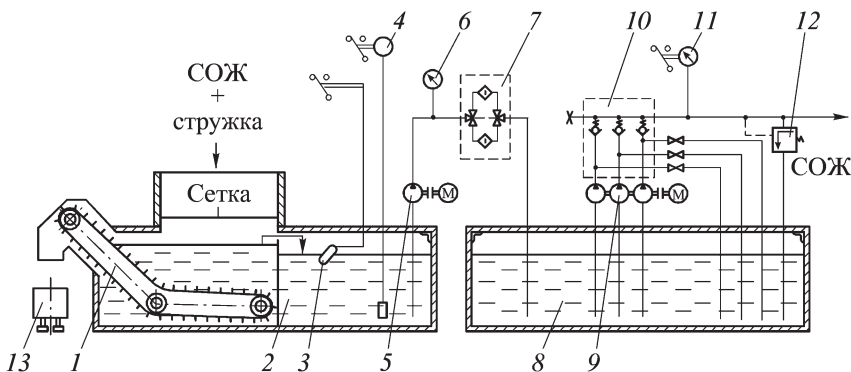
вращения ходового винта 6 соответствует либо частоте вращения двигателя ускоренных подач 3, либо частоте вращения выходного вала шарового вариатора 4. При этом регулирование подачи производится вручную как при выключенной, так и при включенной подачах. При отключенном двигателе ускоренных подач последний тормозится по цепи: фрикционная муфта 2 (действует как тормоз) — шаровой вариатор 4 — ротор самотормозящегося двигателя подачи 5. Если двигатель ускоренных подач выключен, то фрикционная муфта 2 разрывает кинематическую цепь соединения с приводом подачи. Ходовой винт станка вращается с частотой вращения двигателя ускоренных подач. При отключении двигателя ускоренных подач включается двигатель рабочей подачи. Вращение начинает передаваться через шаровой вариатор 4, зубчатый ремень 1 и включенную фрикционную муфту на вал якоря электродвигателя ускоренных подач 3 и, следовательно, на ходовой винт станка;

ж) насосная станция — служит для создания потока СОЖ с регулируемыми параметрами (расход, давление, температура и степень очи-

стки СОЖ) с целью смазки, охлаждения зоны резания и обеспечения гарантированного отвода СОЖ и стружки (рис. 4.7). Состоит из баков для загрязненной 2 и очищенной 8 СОЖ; насосов низкого 5 и высокого 9 давлений (шестеренные, винтовые); устройств 7 грубой, тонкой очистки (фильтры магнитные, ленточные, автоматические и др.) и воздушного охлаждения; регулирующей 3, 10, 12, распределительной и измерительной 4, 6, 11 аппаратуры, а также системы трубопроводов.

Принцип функционирования насосной станции заключается в следующем. От станка стружка вместе с СОЖ поступает в бак 2 для загрязненной жидкости. В последний встроен скребковый конвейер 1, который выносит стружку в центрифугу 13, где она подвергается 90%-ной очистке от СОЖ. Одновременно из этого бака СОЖ насосом 5 подается в бак 8 для очищенной жидкости, где она подвергается фильтрации, охлаждению и поступает к станку. Затем через хвостовик и стембель ружейного сверла СОЖ подводится в зону резания. Далее вместе со стружкой через V-образную канавку на стембле сверла, стойку (стружкоприемник), через окно в верхней стенке станины станка и трубопровод попадает в бак для загрязненной СОЖ и т.д.

Принцип агрегатирования при конструировании станков для сверления глубоких отверстий используется также в ОАО «Одесский завод



**Рис. 4.7. Схема насосной станции фирмы Gildemeister+Knoll (Германия) для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами и сверлами БТА:**

1 — скребковый конвейер; 2 — бак для загрязненной СОЖ; 3 — поплавковый выключатель; 4 — контактный термометр (0...60 °С); 5 — насос низкого давления; 6, 11 — манометр; 7 — система фильтров; 8 — бак для очищенной СОЖ; 9 — насосы высокого давления; 10 — блок управления; 12 — предохранительный клапан; 13 — центрифуга

радиально-сверлильных станков» (Украина). В табл. 4.5 приведены основные технические характеристики базового станка для сверления глубоких отверстий, выпускаемых этим предприятием [12].

**4.5. Основные технические характеристики базового станка для сверления глубоких отверстий ОАО «Одесский завод радиально-сверлильных станков» (Украина)**

Технические характеристики	Значения
Диаметры сверления, мм	3...40
Диаметры рассверливания и растачивания, мм	≤100
Наибольшая глубина сверления, мм	1000
Рабочая подача, мм/мин	4...300
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	450...12000
Количество шпинделей, шт.	1...4
Расположение оси вращения шпинделя	Вертикальное, горизонтальное
Масса заготовки, кг	40...200
Установка заготовок	Ручная, автоматическая
Максимальное давление СОЖ, МПа	10
Максимальный расход СОЖ, л/мин	210

Станок работает в полуавтоматическом и автоматическом режимах, снабжен программируемыми контроллерами, диагностикой неисправностей, в том числе системами контроля поломок и защиты от перегрузок инструмента. Это позволяет использовать также станки в автоматических линиях, применяя сверла ружейные, БТА, эжекторные, развертки одностороннего резания и расточные головки БТА. Точность обработанных отверстий, достигаемая на этих станках IT 6...9, шероховатость поверхностного слоя  $Ra = 0,2...1,6$  мкм.

Для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами это предприятие выпускает станок модели 2805 П, основные технические ха-



рактические которого представлены в табл. 4.6. На базе этой модели изготавливают специальные и специализированные станки.

**4.6. Основные технические характеристики станка для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами модели 2805П ОАО «Одесский завод радиально-сверлильных станков» (Украина)**

Технические характеристики	Значения
Диаметры сверления, мм	4...12
Глубина сверления, мм	400 и 630
Количество шпинделей, шт.	1...4
Рабочая подача (бесступенчатая), мм/мин	20...200
Ускоренная подача, мм/мин	8200
Высота центров, мм	250
Наибольший диаметр заготовки, мм	400
Наибольшая длина заготовки, мм	650
Габариты, мм:	
длина	4600
ширина	3100
высота	1850
Масса станка, кг	5700

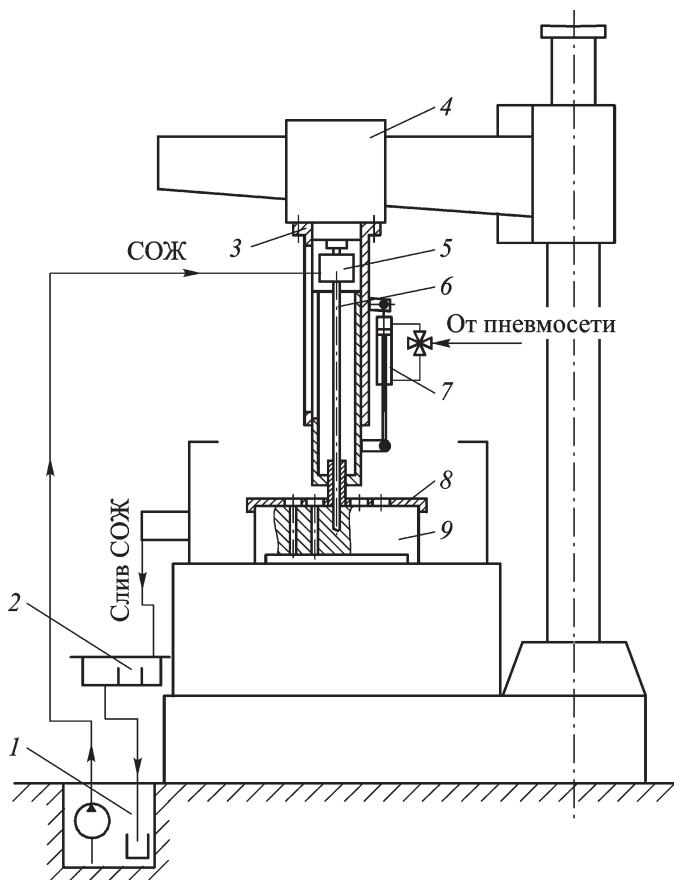
За рубежом станки для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами выпускают фирмы Tiefbohrtechnik, Loch, Nagel (Германия), Kanzaki (Япония) и др.

Например, станки фирмы Loch (Германия) изготавливают с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей (табл. 4.7). Приводы подач силовых головок гидравлические. Устройства управления могут быть на базе программируемых контроллеров, а также в сочетании с системами ЧПУ. Диагностика отказов фиксируется в виде текста или графически на экране монитора.

#### 4.7. Основные технические характеристики станков для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами, выпускаемых фирмой Loch (Германия)

Технические характеристики	Модели станков		
	ТВ 1-4/Е	ТВ 1-5/Е	ТВ 1-6/Е
Наибольшая глубина сверления, мм	250	300	600...2000
Диаметр сверления, мм:			
одношпиндельный станок	2...10	3...15	3...15
двухшпиндельный станок	8	10	10
трехшпиндельный станок	6	8	8
четырёхшпиндельный станок	4	6	6
Диаметр рассверливания, мм	15	20	20
Потребляемая мощность, кВт	2,2...4,0	4,0...5,5	4,0...5,5
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> (бесступенчатое регулирование)	2000...12 000	1500...9000	1500...9000
Рабочая подача, мм/мин (бесступенчатое регулирование)	0...500	0...500	0...500
Ускоренная подача, мм/мин	5000	5000	5000
Высота центров над столом, мм	250	250	250
Расход СОЖ, л/мин	5...30	5...50	5...50
Объем бака СОЖ насосной станции, л	800...1000	800...1000	800...1000

В связи с тем что стоимость специальных и специализированных станков для сверления глубоких отверстий достаточно высока, вместо них часто используют модернизированные универсальные станки. Для этого станки оснащают мощными насосными станциями с системами очистки СОЖ, переделывают привод подачи, устанавливают устройство для подвода СОЖ к сверлу и отвода стружки, а также для направления инструмента в процессе засверливания. На рис. 4.8 показана схема



**Рис. 4.8.** Схема модернизации радиально-сверлильного станка для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами:

1 — насосная станция; 2 — устройство фильтрации СОЖ; 3 — тубус; 4 — шпиндельная каретка с модернизированным приводом подачи; 5 — патрон для подвода СОЖ; 6 — ружейное сверло; 7 — пневмоцилиндр; 8 — кондуктор; 9 — заготовка

такой модернизации радиально-сверлильного станка для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами в трубных решетках из титанового сплава марки ПТ-3В [71]. Основные технические характеристики модернизированных станков представлены в табл. 4.8.

#### 4.8. Основные технические характеристики модернизированных радиально-сверлильных станков

Технические характеристики	Модель станка	
	2М55	2М57
Диаметр отверстия, мм	9,8	13,5
Глубина сверления, мм	100	160
Рабочая подача, мм/об	0,028	0,028
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	1000	1000
Марка масляной СОЖ	МР-3	МР-3
Расход СОЖ, л/мин	≤ 25	≤ 25
Давление СОЖ, МПа	≤ 6,3	≤ 6,3
Давление в пневмосети, МПа	0,4	0,4

В станке для центрирования шпиндельной каретки 4 относительно оси отверстия в кондукторе 8 служит тубус 3. Последний состоит из наружного и внутреннего полых цилиндров. Наружный цилиндр неподвижно крепится через переходную втулку к фланцу пиноли шпиндельной каретки и служит для центрирования и направления внутреннего подвижного цилиндра, на нижнем торце которого закреплена кондукторная втулка. Перемещение внутреннего цилиндра тубуса осуществляется с помощью пневмоцилиндра 7.

Кондуктор представляет собой две плиты с отверстиями, диаметр которых соответствует наружному диаметру кондукторной втулки тубуса. Из-за малого размера перемычки между соседними отверстиями трубных решеток в кондукторных плитах сделана специальная разбивка отверстий, позволяющая двумя кондукторными плитами за три установки просверлить все отверстия в трубной решетке.

Сбор и отвод отработанной СОЖ из зоны резания, фильтрацию ее в специальном переливном фильтре и слив в бак насосной станции 1 обеспечивает специальное устройство 2.

Суть переделки привода подач станка заключается в установке дополнительной пары зубчатых колес, позволяющей получить подачу,

равную 0,028 мм/об при частоте вращения шпинделя 1000 мин<sup>-1</sup>, и тем самым обеспечивать надежное дробление стружки.

Станок работает следующим образом. Кондукторная втулка, установленная в нижнем торце тубуса, центрирует его по отверстию кондуктора. С помощью пневмоцилиндра внутренняя подвижная часть тубуса прижимается кондукторной втулкой к торцу заготовки 9. После зажима шпиндельной каретки включаются подача СОЖ, вращение ружейного сверла 6 и рабочая подача инструмента. При этом подвод СОЖ к ружейному сверлу осуществляется через патрон 5. Стружка вместе с СОЖ удаляется через окна, имеющиеся в подвижной части тубуса. После окончания процесса сверления выключаются рабочая подача, вращение инструмента и подача СОЖ. С помощью пневмоцилиндра подвижная часть тубуса поднимается до выхода кондукторной втулки из кондуктора. Для сверления следующего отверстия цикл повторяется.

В последнее время для сверления глубоких отверстий все большее применение находят обрабатывающие центры. Например, фирма Tiefbohrtechnik (Германия) выпускает обрабатывающие центры, предназначенные для сверления ружейными сверлами глубоких отверстий в коленчатых валах 2...12-цилиндровых двигателях (табл. 4.9). На этих станках предусмотрена автоматическая смена не только инструмента, но и кондукторных втулок. При эксплуатации обрабатывающих центров возможна реализация так называемой *MMS*-технологии (*Minimalmengenschmierung*), заключающейся в охлаждении зоны резания небольшим ( $\leq 80$  мл/ч) количеством СОЖ, подаваемой в виде аэрозоли. Благодаря этому исключаются затраты на подготовку и утилизацию СОЖ, очистку стружки и т.д.

**Станки для сверления и растачивания глубоких отверстий сверлами БТА** предназначены для обработки отверстий диаметром 6...180 мм (сверление), до 500 мм (кольцевое сверление), до 500 мм (растачивание) и глубиной до 12 000 мм.

При обработке на этих станках инструмент и заготовка либо вращаются, либо неподвижны. Движение подачи совершает сверло. Непрерывный отвод стружки осуществляется с помощью СОЖ, подаваемой в зону резания через маслоприемник (рис. 4.9), установленный в направляющей стойке станка.

В конструкциях станков для сверления (растачивания) глубоких отверстий сверлами БТА, как и в станках для сверления глубоких отверстий ружейными сверлами, используется принцип агрегатирования.

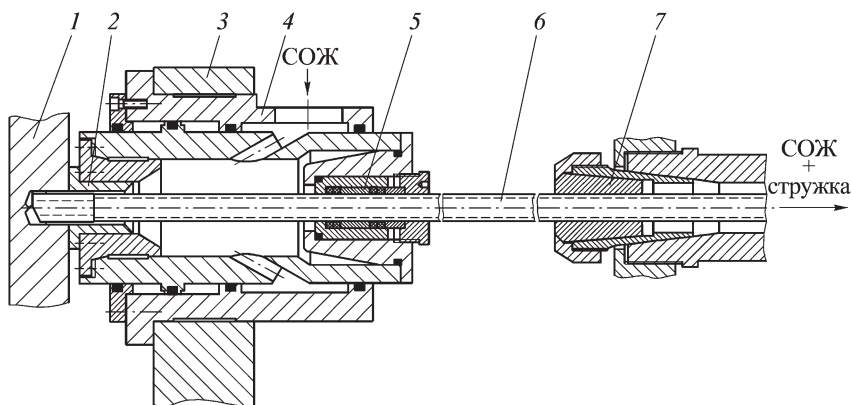
**4.9. Основные технические характеристики обрабатывающих центров фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) для сверления ружейными сверлами глубоких отверстий в колеччатых валах**

Технические характеристики	Модель станка	
	BW200–KW	BW250–KW
Диаметр отверстия, мм	2...12	2...15
Глубина отверстия, мм	≤ 400	≤ 600
Длина заготовки, мм	≤ 700	≤ 1300
Перемещения инструмента, мм:		
ось <i>X</i>	1000	1920
ось <i>Y</i>	320	560
ось <i>Z</i>	800	1000
ось <i>W</i>	800	870
Число шпинделей, шт.	1...3	1...3
Расстояние между осями шпинделей, мм	200	400
Частота вращения шпинделя (бесступенчатое регулирование), мин <sup>-1</sup>	1000...20 000	1000...20 000
Объем бака СОЖ, л	800	1000
Расход СОЖ, л/мин	1...48	1...68
Мощность электродвигателя насоса, кВт	7,5	11
Общая потребляемая мощность, кВт	45	55
Масса станка, кг	11 000	18 000

Например, фирма Tiefbohrtechnik (Германия) выпускает базовые конструкции станков следующих типов (рис. 4.10):

тип *N* — заготовка вращается, инструмент не вращается и совершает движение подачи;

тип *B* — заготовка вращается, инструмент либо вращается, либо не вращается и совершает движение подачи;



**Рис. 4.9. Схема сверления глубоких отверстий сверлом БТА:**

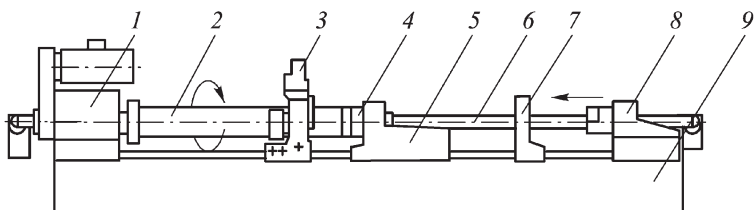
1 — заготовка; 2 — кондукторная втулка; 3 — направляющая стойка; 4 — маслоприемник; 5 — система уплотнений; 6 — сверло БТА; 7 — цанговый зажим

тип *P1* — заготовка (базируется на отдельном столе) не вращается, инструмент вращается и совершает движение подачи;

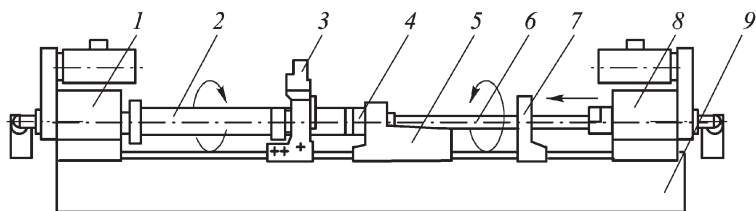
тип *P2* — заготовка (базируется на столе, установленном на станине станка) не вращается, инструмент вращается и совершает движение подачи.

В ОАО «Рязанский станкостроительный завод» базовые конструкции станков несколько иные (рис. 4.11). Компоновки станков типов *I* и *2* соответствуют компоновкам станков типов *N* и *B* фирмы Tiefbohrtechnik. Станки типов *P1* и *P2* для обработки корпусных деталей эта организация не выпускает вообще, но зато выпускает вертлюжные станки типов *3* и *4*. Последние в отличие от станков типов *I* и *2* допускают установку заготовки внутри полого шпинделя бабки изделия — вертлюга. По сравнению со шпинделями станков типов *I* и *2* вертлюги имеют большие поперечные размеры. При использовании вертлюжных станков упрощается выверка правого конца заготовки, повышается жесткость заготовки за счет ее закрепления ближе к средней части или в нескольких сечениях. Появляется возможность растачивания «на растяжение», а при доработке станка можно производить одновременную обработку отверстия с двух сторон [13].

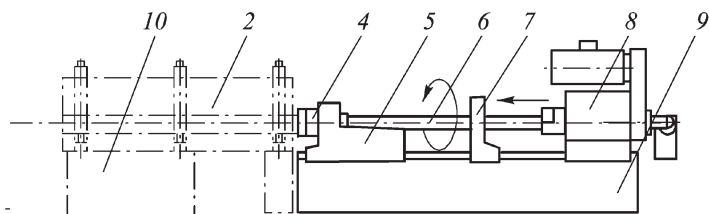
Станки ОАО «Рязанский станкостроительный завод» состоят из следующих нормализованных узлов [13, 45]:



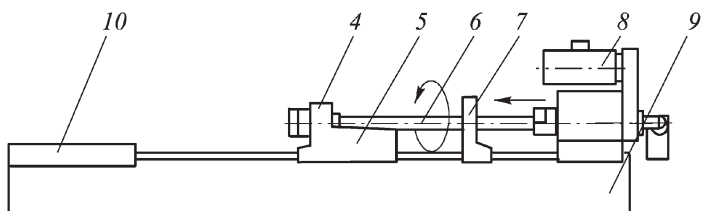
Тип N



Тип B



Тип P1



Тип P2

**Рис. 4.10. Базовые модели станков фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) для сверления глубоких отверстий сверлами БТА:**

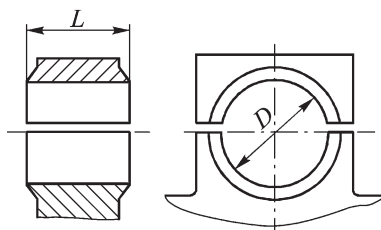
1 — бабка изделия; 2 — заготовка; 3 — лунет; 4 — маслоприемник; 5 — направляющая стойка; 6 — сверло БТА; 7 — стелбевой лунет; 8 — бабка инструмента; 9 — станина; 10 — стол



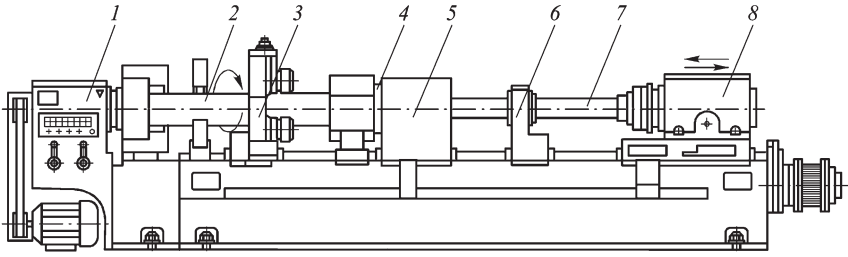
а) станина — собирается из секций длиной 3...6 м. При сборке соседние секции фиксируют шпонками и стягивают болтами. Станина имеет две прямоугольные закаленные направляющие. Секции станин отливают из серого чугуна марок СЧ15 или СЧ20, но могут изготавливать и сварными из листовой стали марок Ст 3 или Ст 4 (рис. 4.12). Здесь для сравнения приведена станина станка для сверления глубоких отверстий фирмы Wohlenberg (Германия), которую с целью повышения жесткости при изгибе и кручении изготавливают с двойными стенками.

б) направляющая стойка — имеет базовое отверстие, соосное с осью шпинделя бабки изделия, которое служит посадочным местом для установки маслоприемника или стружкоприемника, если применяются ружейные сверла, либо разрезных втулок для направления стебля. Формы и размеры посадочных поверхностей приведены в табл.4.10. Стойка имеет крышку с плоскостью разъема, совпадающей с осью базового отверстия. Для ускоренного перемещения стойки по станине, поджима маслоприемника к правому торцу заготовки и закрепления стойки на станине имеются отдельные приводы.

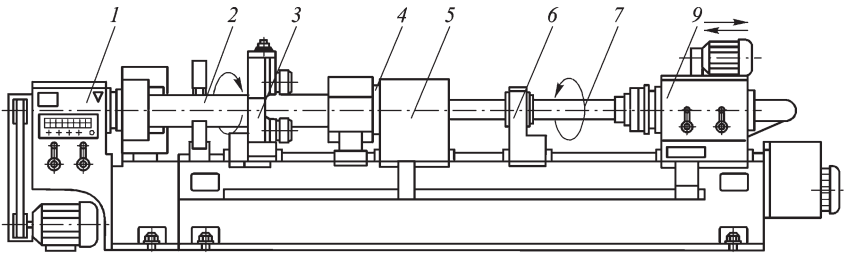
**4.10. Размеры посадочных мест в направляющих и промежуточных стойках станков ОАО «Рязанский станкостроительный завод» для обработки глубоких отверстий**



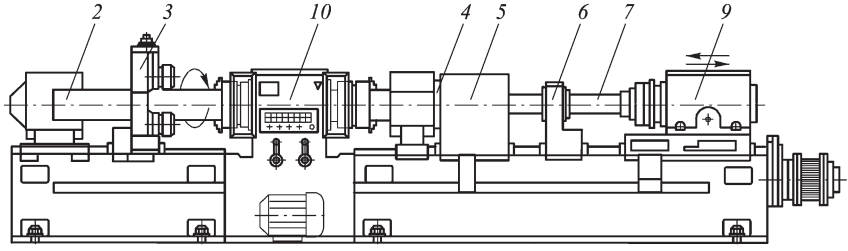
Высота центров станка, мм	Размеры посадочных мест, мм			
	В направляющей стойке		В промежуточной стойке	
	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>
315	300	250	300	170
400	350	250	350	170
500...630	500	300	500	250



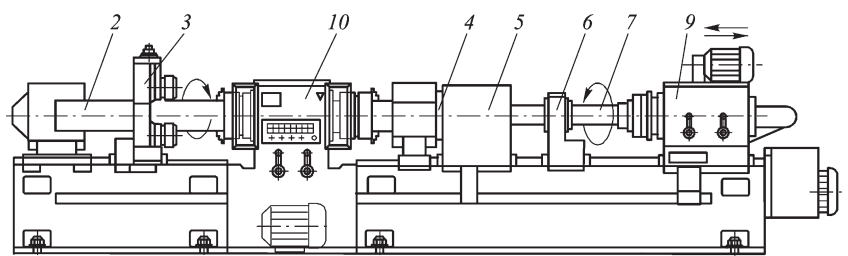
Тип 1



Тип 2



Тип 3

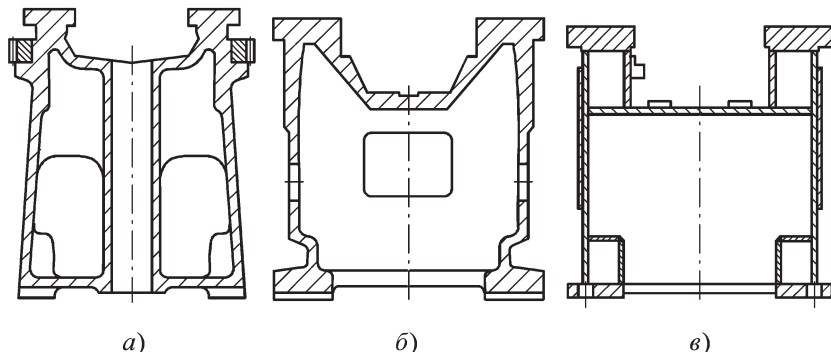


Тип 4

←

**Рис. 4.11. Базовые модели станков ОАО «Рязанский станкостроительный завод» для обработки глубоких отверстий инструментами БТА:**

1 — бабка изделия; 2 — заготовка; 3 — лонет; 4 — маслоприемник; 5 — направляющая стойка; 6 — стеблевой лонет; 7 — инструмент БТА; 8 — подающая каретка; 9 — бабка инструмента; 10 — вертлюжная бабка

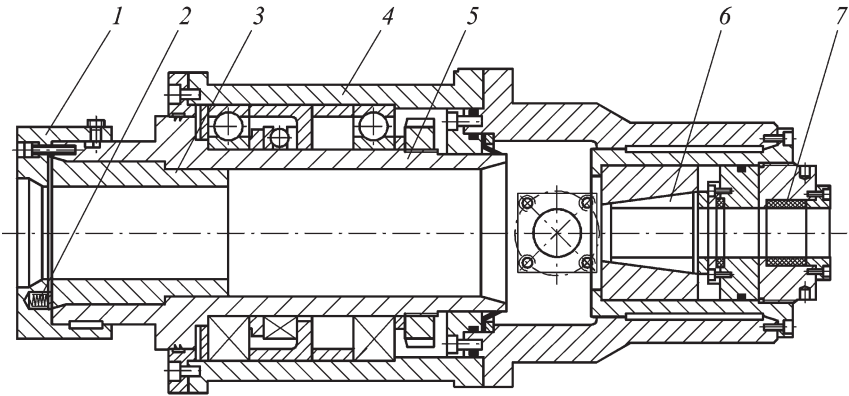


**Рис. 4.12. Поперечные разрезы станин станков для обработки глубоких отверстий инструментами БТА:**

*а* — фирмы Wohlenberg (Германия); *б* — ОАО «Рязанский станкостроительный завод» (литая); *в* — ОАО «Рязанский станкостроительный завод» (сварная)

*в*) маслоприемник — предназначен для подвода СОЖ в зону резания, уплотнения мест сопряжения маслоприемника с правым торцом заготовки и стеблем сверла, установки кондукторной втулки, демпфирования колебаний стебля сверла, поджима и центрирования правого конца заготовки (если маслоприемник имеет зажимной конус), компенсации теплового расширения заготовок. На рис. 4.13 показана одна из конструкций маслоприемника ОАО «Рязанский станкостроительный завод».

Маслоприемник фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) состоит из корпуса *б*, вращающейся кондукторной втулки *з*, зажимного конуса *2* и шпинделя *4*, который базируется на трех шарикоподшипниках — двух радиальных и одном упорном (шпиндель маслоприемника может быть и невращающимся) (рис.4.14). Движение зажима заготовки осуществляется направляющей стойкой. При этом кондукторная втулка поджимается к торцу заготовки пружиной *5*. В правой части маслоприемника



**Рис. 4.13. Маслоприемник конструкции  
ОАО «Рязанский станкостроительный завод»:**

1 — зажимной конус; 2 — пружина; 3 — кондукторная втулка; 4 — корпус;  
5 — шпindel; 6 — демпфер; 7 — уплотнение

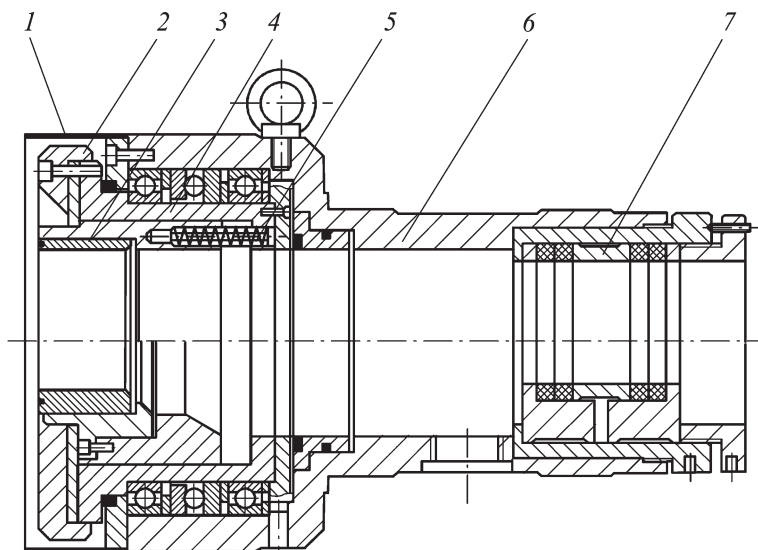
расположена система уплотнений 7 места сопряжения стебля и маслоприемника, а в левой части — защитный кожух 1, предохраняющий станочник от брызг СОЖ;

г) промежуточные стойки (стеблевые люнеты) — являются опорами для длинных стеблей. Как и направляющие стойки, они имеют крышки и соосное с осью шпинделя бабки изделия базовое отверстие (см. табл. 4.11). При работе с вращающимся стеблем в отверстие промежуточной стойки устанавливают демпфер, подобный изображенному на рис. 4.15. Последний состоит из корпуса 2, упорного кольца 1, подшипников 3 и 4, разрезной втулки 5, регулировочного кольца 6 и гайки 7. При затяжке гайки 7 втулка 5 смещается влево в коническом отверстии, обжимая стебель. Меняя затяжку стебля, можно регулировать частоту его собственных колебаний. При полной затяжке стебля в демпфере стойка будет двигаться вдоль станины вместе со стеблем инструмента, а при освобождении — останется стоять на месте;

д) подающая каретка — служит для закрепления невращающегося инструмента и сообщения ему рабочей и ускоренной подачи;

е) бабка изделия — используется для вращения заготовки и может быть токарного и вертлюжного типов;

ж) бабка инструмента — служит для закрепления вращающегося инструмента и сообщения ему рабочей и ускоренной подачи;



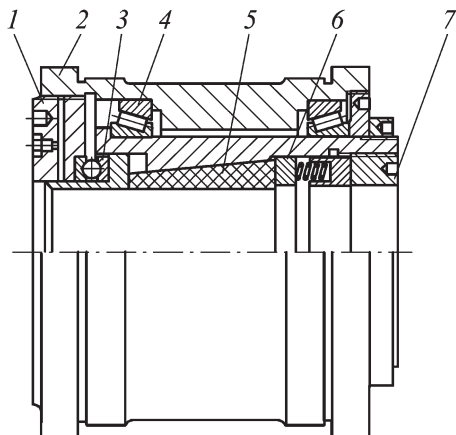
**Рис. 4.14. Маслоприемник фирмы Tiefbohrtechnik (Германия):**

1 — защитный кожух; 2 — зажимной конус; 3 — кондукторная втулка;  
4 — шпиндель; 5 — пружина; 6 — корпус; 7 — система уплотнений

з) насосная станция — осуществляет сбор стружки и фильтрацию СОЖ. При сверлении (рис. 4.16, а) СОЖ из бака насосной станции под давлением подается в маслоприемник, а затем через кольцевой зазор между стеблем и обработанным отверстием — в зону резания. Оттуда вместе со стружкой внутри стебля сверла поступает в тележку, которая движется за бабкой инструмента (подающей кареткой) вдоль станины станка. В тележке СОЖ отделяется от стружки и через лоток поступает в бак насосной станции. Здесь она фильтруется с помощью магнитных сепараторов, магнитных и пластинчатых фильтров до тонкости очистки 20 мкм и снова поступает в маслоприемник.

При растачивании отверстий (рис. 4.16, б) СОЖ из бака насосной станции под давлением подается к бабке инструмента (подающей каретке). Далее через стебель инструмента поступает в зону резания, а затем вместе со стружкой через растачиваемое отверстие в тележку и бак насосной станции.

Основные технические характеристики базовых моделей станков, выпускаемых ОАО «Рязанский станкостроительный завод» для свер-



**Рис. 4.15. Стеблевой демпфер фирмы Sandvik Coromant (Швеция):**

1 — упорное кольцо; 2 — корпус; 3 — упорный подшипник; 4 — конический подшипник; 5 — разрезная втулка; 6 — регулировочное кольцо; 7 — гайка

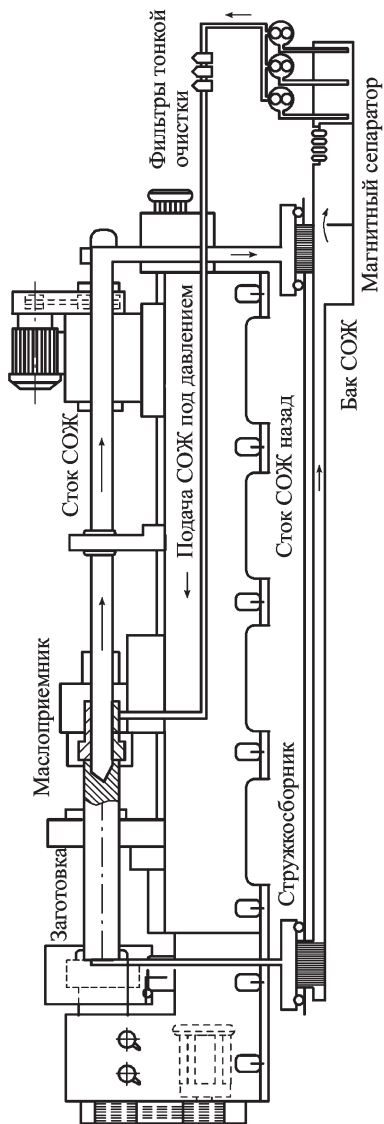
ления и растачивания глубоких отверстий инструментами БТА, представлены в табл. 4.11.

Из этой таблицы следует, что на указанных станках можно обрабатывать отверстия диаметром 40...125 мм (сверление) и до 500 мм (кольцевое сверление и растачивание). На этой основе разработана гамма станков с ЧПУ, обеспечивающая более широкий диапазон диаметров обрабатываемых отверстий (табл. 4.12) — 7...125 мм (сверление) и до 500 мм (кольцевое сверление и растачивание).

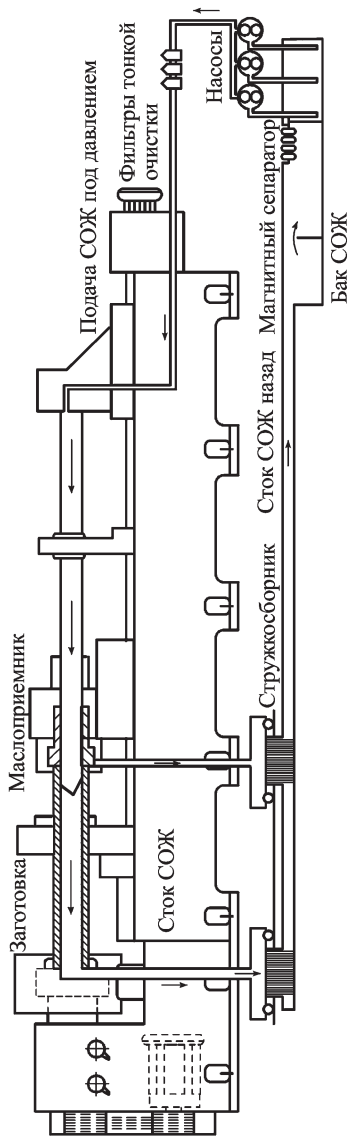
За рубежом станки такого класса выпускает, например, фирма Loch (Германия), основные технические характеристики которых представлены в табл. 4.13. На этих станках возможно использование всех типов инструментов с определенностью базирования: сверл ружейных, БТА, расточных инструментов БТА, кольцевых и эжекторных сверл. Для этого необходимо в направляющую стойку станка установить либо маслоприемник (сверла БТА, в том числе кольцевые и расточные головки БТА), либо стружкоприемник (сверла ружейные и эжекторные).

→

**Рис. 4.16. Схема циркуляции СОЖ при сверлении (а) и растачивании (б) глубоких отверстий инструментами БТА на станках ОАО «Рязанский станкостроительный завод»**



а)



б)

**4.11. Основные технические характеристики базовых моделей станков ОАО «Рязанский станкостроительный завод» для сверления и растачивания глубоких отверстий инструментами БГА**

Технические характеристики	Модель станка			
	2825П	2830П	2840П	2850П
Высота центров над направляющими, мм	315	400	500	630
Диаметр заготовки, мм	50...320	80...400	100...500	160...630
Длина заготовки, мм	600...4000*	600...4000*	1000...5000*	1000...5000*
Диаметр обрабатываемого отверстия, мм:				
сверление	40...100	40...100	≤ 125	≤ 125
кольцевое сверление	≤ 250	≤ 320	≤ 400	≤ 500
растачивание	≤ 250	≤ 320	≤ 400	≤ 500
Бабка изделия:				
частота вращения, мин <sup>-1</sup>	40...500	40...500	16...250	16...250
мощность электродвигателя, кВт	30	30	55	55
максимальный крутящий момент, Нм	3000	3000	8000	8000
Бабка инструмента:				
частота вращения, мин <sup>-1</sup>	100...630	100...630	80...500	80...500
мощность электродвигателя, кВт	20/28	20/28	55	55
максимальный крутящий момент, Нм	2000	2000	5000	5000



Окончание табл. 4.11

Технические характеристики	Модель станка			
	2825П	2830П	2840П	2850П
Привод подачи: рабочая подача (бесступенчатая), мм/мин ускоренная подача, мм/мин наибольшее усилие подачи, Н	5...3000 5000 50 000	5...3000 5000 50 000	5...3000 5000 50 000	5...3000 5000 50 000
Расход СОЖ насосной станции, л/мин	300	500	640	1000
Наибольшая масса заготовки, кг: с одним люнетом с двумя люнетами с тремя люнетами	3000 4000 5000	3000 4000 5000	5000 6500 8000	6000 7500 9000
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	14 800×2500× ×1480	14 500×2500× ×1650	19 850×2700× ×2085	19 850×2700× ×2100
Масса станка, кг	22 000	22 700	36 000	38 200

\* Возможна любая глубина обработки.

**4.12. Основные технические характеристики станков ОАО «Рязанский станкостроительный завод» для сверления и растачивания глубоких отверстий инструментами БГА**

Технические характеристики	Модель станка		
	2812ПФ3	2840ПФ3	2863ПФ3
Диаметр заготовки, мм	40...120	50...400	100...630
Диаметр обрабатываемого отверстия, мм:			
сверление	7...40	40...100	≤ 125
кольцевое сверление	—	≤ 320	≤ 500
растачивание	≤ 100	≤ 320	≤ 500
Бабка изделия:			
частота вращения, мин <sup>-1</sup>	400...6000	40...500	16...250
мощность электродвигателя, кВт	10	20/28	55
максимальный крутящий момент, Нм	2000	3000	8000
Бабка инструмента:			
частота вращения, мин <sup>-1</sup>	400...6000	100...630	80...500
мощность электродвигателя, кВт	10	30	55
максимальный крутящий момент, Нм	1500	2000	5000

Окончание табл. 4.12

Технические характеристики	Модель станка		
	2812ПФЗ	2840ПФЗ	2863ПФЗ
Привод подачи:			
рабочая подача (бесступенчатая), мм/мин	1...1000	5...3000	5...3000
ускоренная подача, мм/мин	3000	5000	5000
наибольшее усилие подачи, Н	2500	50 000	50 000
Расход СОЖ насосной станции, л/мин	200	≤ 500	≤ 1000
Наибольшая масса заготовки, кг:			
с одним люнетом	1000	3000	≤ 6000
с двумя люнетами	1300	4000	≤ 7500
с тремя люнетами	1600	5000	≤ 9000
Примечание. Возможна любая глубина обработки.			

**4.13. Основные технические характеристики некоторых моделей станков фирмы Losch (Германия), применяемых для обработки глубоких отверстий инструментами БТА**

Технические характеристики	Модели станков									
	ТВ2-11	ТВ2-15	ТВ2-22	ТВ2-30	ТВ4-45	ТВ24-75	BSR1-22	BSR2-30	BSR4-45	
Глубина сверления, мм	300...2000	300...2000	300...2000	300...8000	300...10000	300...10000	300...1500	300...4000	300...8000	
Диаметр отверстия при сверлении, мм:										
одношпindelном	3...30	3...30	15...40(50)	16...65	16...120	30...160	—	—	—	
двухшпindelном	≤ 25	≤ 30	≤ 35	—	—	—	—	—	—	
трехшпindelном	≤ 20	≤ 25	≤ 30	—	—	—	—	—	—	
четырёхшпindelном	≤ 15	≤ 20	≤ 25	—	—	—	—	—	—	
рассверливании	≤ 40	≤ 65	≤ 100	≤ 150	≤ 250	≤ 400	20...100	20...250	20...305	
Потребляемая мощность, кВт	4...11	7,5...15	7,5...22 (30)	30	45	75	22	30	45	
Режущие инструменты	Сверла ружейные и БТА		Сверла БТА и эжекторные		Расточные инструменты БТА					
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> (бесступенчатое регулирование)	900...9000	600...6000	300...3000	110...1740	96...1980	44...815 (24 ступени)	300...2000	110...1740	96...1980	

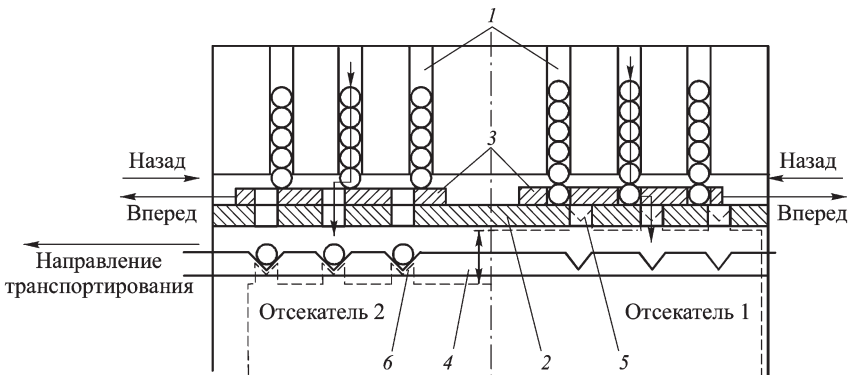
Окончание табл. 4.13

Технические характеристики	Модели станков								
	ТВ2-11	ТВ2-15	ТВ2-22	ТВ2-30	ТВ4-45	ТВ24-75	BSR1-22	BSR2-30	BSR4-45
Рабочая подача (бесступенчатая), мм/мин	0...1000	0...1000	0...1000	0...500	0...500	0...500	0...2500	0...2500	0...2500
Ускоренная подача, мм/мин	6000	6000	6000	7500	7500	5000	6000	7500	7500
Высота центров над направляющими, мм	250	250	250	300...400	300...400	300...500	250...400	300...400	300...400
Объем бака СОЖ, л	800...2000	800...2000	800...2000	1000...5000	2000...5000	2000...5000	1000...2000	1000...2000	2000...5000
Расход СОЖ, л/мин	10...110	10...110	25...400	25...400	50...1000	50...1300	50...400	50...700	50...1000

Станки изготавливают с горизонтальным расположением шпинделей. Они оснащены гидравлическими приводами подачи шпиндельных головок и столами различного типа. Устройства управления выполнены на базе программируемых контроллеров и частично в сочетании с ЧПУ. Диагностика отказов фиксируется на экране пульта управления в виде текста или графически. Высокочувствительные предохранительные устройства отключают процесс сверления при перегрузках.

При проектировании станков для обработки глубоких отверстий большое внимание уделяется повышению производительности процесса сверления. Это достигается обычно за счет снижения основного (машинного) и вспомогательного времени. В первом случае это решается прежде всего путем повышения режимов резания, а во втором — путем использования различных загрузочно-выгрузочных устройств.

Принцип работы одного из таких устройств, установленного на трехшпиндельном станке фирмы *Gildemeister+Knoll* (Германия) для сверления глубоких отверстий диаметром 31 мм сверлами БТА, заключается в следующем (рис. 4.17). Из шахт магазина *1* заготовки типа «Вал» падают в отверстия двух подвижных плит *3*. При горизонтальном перемещении последних отверстия, выполненные в них, совмещаются с аналогичными отверстиями в неподвижной плите *2*, и заготовки падают на приемные призмы *4*. Возвратно-поступательное движение



**Рис. 4.17.** Схема загрузочно-выгрузочного устройства станка фирмы *Gildemeister+Knoll* (Германия) для сверления глубоких отверстий сверлами БТА:  
*1* — магазин; *2* — неподвижная плита; *3* — подвижная плита; *4* — приемные призмы; *5* — передающие призмы; *6* — загрузочно-выгрузочный шибер

обеих плит 3 осуществляется двумя гидроцилиндрами. При этом каждая из этих плит служит для отсечки только трех заготовок. Далее передающие призмы 5 с помощью гидроцилиндра опускаются вниз и передают заготовки в приемные призмы 4 загрузочно-выгрузочного шибера 6, а затем в позицию обработки.

Благодаря использованию описанного устройства уменьшается вспомогательное время, затрачиваемое на установку, выверку и закрепление заготовок на станке.

Станки для сверления глубоких отверстий можно встраивать и в автоматические линии. Например, в ОАО «Саста» (Россия) разработана автоматическая линия для производства гильз пневмо- и гидроцилиндров (рис. 4.18). Это однопоточная линия последовательного действия, в состав которой входят: а) два токарных многофункциональных станка с ЧПУ мод. САТ630С15Ф3 и САТ630С15Ф4; б) станок фирмы Wohlenberg (Германия) для обработки глубоких отверстий (расточивание черновое, чистовое, раскатка); в) порталный манипулятор фирмы Fanuc Robotics Deutschland (Германия) с роботом «Fanuc M-701iC»/70Т (Япония); г) столы-палеты для укладки заготовок и готовых деталей.

Работает автоматическая линия следующим образом: манипулятор берет с палеты заготовку-трубу и устанавливает ее в патрон токарного станка. После обработки заготовки с одной стороны манипулятор переворачивает ее, а после полной обработки — вынимает из станка, устанавливает в патрон следующую заготовку, предварительно взятую с палеты, и укладывает на палету готовую деталь. Таким образом, на токарном станке мод. САТ630С15Ф3 выполняется предварительная обработка заготовки-трубы с образованием базовых поверхностей, необходимых для установки заготовки на станке для обработки глубоких отверстий фирмы Wohlenberg (Германия). На этом станке сначала производят черновое растачивание гильзы пневмо- и гидроцилиндра, а затем ее чистовое растачивание и раскатывание. Затем на токарном станке мод. САТ630С15Ф4 производят окончательную обработку корпуса пневмо- и гидроцилиндра. Производительность такой линии составляет 8 дет/ч при коэффициенте загрузки, равном 0,85.

**Тяжелые станки для растачивания глубоких отверстий инструментами БТА** предназначены для растачивания отверстий диаметром до 2500 мм, глубиной до 25 000 мм в заготовках весом до 250 тонн.

К станкам этого типа относятся станки, выпускаемые, например, ОАО «Краматорский завод тяжелого станкостроения» (Украина) (табл. 4.14).





**4.14. Основные технические характеристики некоторых моделей станков для растачивания глубоких отверстий, выпускаемых ОАО «Краматорский завод тяжелого станкостроения» (Украина)**

Технические характеристики	Модели станков								
	КЖ2850. 410Ф1	2880. 301ПФ1	28100. 400ПФ1	28160. 600ПФ1	КЖ1917	КЖ1910 КФ1	КЖ1947 Ф1	КЖ1907. 01Ф1	КЖ1940
Наибольший диаметр заготовки, мм	850	1600	2000	2500	1300	1300	1500	1550	3400
Длина заготовки, мм	8000	1000...6300	1000...8000	3000...12500	1000...5000	2000...10000	4000...10000	2000...8500	2000... 25 000
Диаметр растачиваемых отверстий, мм	18...500	63...800	100...1000	125...2000	500	600	600...1400	540...1450	80...2000
Масса заготовки, кг	30 000	50 000	50 000	100 000	25 000	25 000	50 000	50 000	250 000
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>									
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	5,6...1120	1...400	1...400	0,5...60	2...200	2...200	0,5...45	0,42...32	0,5...180
инструмента	5,6...1120	5...540	5...540	4...400	—	—	—	—	—
Рабочие подачи, мм/мин	0,1...3000	10...2000	10...2000	0,5...2000	—	—	—	—	—

Окончание табл. 4.14

Технические характеристики	Модели станков								
	КЖ2850. 410Ф1	2880. 301ПФ1	28100. 400ПФ1	28160. 600ПФ1	КЖ1917	КЖ1910 КФ1	КЖ1947 Ф1	КЖ1907. 01Ф1	КЖ1940
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	110	110	110	160	71	85	90	75	160/125
Масса станка, кг	45 000	125 000	140 000	380 000	70 332	88 000	272 140	220 000	650 000

К особенностям конструкций первых четырех моделей станков относятся: цифровая индикация продольного перемещения резца (стеблевой бабки); дополнительная стеблевая опора для крепления невращающегося стебля большого диаметра; центроискатель, облегчающий совмещение осей заготовки и центров станка; разгрузка направляющих от массы перемещающихся узлов.

Станок мод. КЖ1907.01Ф1 предназначен для растачивания внутренних полостей и обработки торцов сушильных цилиндров и барабанов наката тяжелых бумагоделательных машин. компоновка станка позволяет обрабатывать цилиндр за одну установку. При этом обработка выполняется консольно закрепленными расточными инструментами одновременно с двух сторон. В результате сокращается штучное время, достигается высокая соосность посадочных поясков под цапфы цилиндра и его минимальный дисбаланс. Оба инструментальных стебля имеют планшайбы с радиальным перемещением ползуна, несущего расточной резец.

При обработке фасонного перехода от торцевой поверхности к цилиндрической одновременно включаются осевая и радиальная подачи, имеющие индивидуальные бесступенчатые приводы.

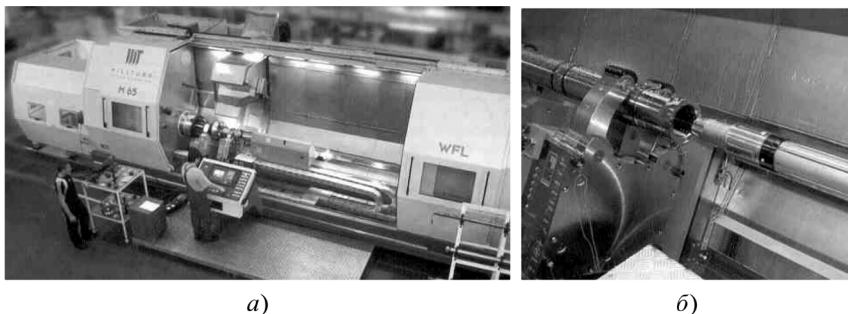
Обработку на этом станке можно вести без цифровой индикации и с цифровой индикацией с преднабором координат продольного и поперечного перемещения резца.

На станине предусмотрены устройства для механизированной загрузки заготовки в пустотелый шпиндель и для механизированного по прибору совмещения осей заготовки и центров станка.

Компоновка станка мод. КЖ1940 выполнена по типу сдвоенного станка для растачивания глубоких отверстий. Это позволяет производить обработку одновременно двух заготовок суммарной длиной до 18 000 мм или одну заготовку длиной до 25 000 мм. При этом подача стебля производится методом автоматического «перехвата» двумя невращающимися стеблевыми бабками.

**Специальный станок фирмы WFL Millturn Technologies (Австрия)** используется на Пермском моторном заводе для комплексной обработки валов турбин авиационных двигателей (рис. 4.19).

На этом станке с одной установки производят обточку внешних и внутренних поверхностей вала, фрезерование фланцев, глубокое сверление центрального канала, расточку точных отверстий на фланцах, нарезание внешних зубьев червячной зуборезной фрезой и внутренних зубьев зуборезным долбяком, растачивание глубокого фасонного отверстия специальной расточной головкой БГА.



**Рис. 4.19. Станок (а) фирмы WFL Millturn Technologies (Австрия) и инструмент (б) для изготовления глубоких фасонных отверстий**

Высокая точность обработки достигается в автоматическом режиме. Обработка деталей контролируется с помощью интегрированного измерительного устройства и, в случае необходимости, автоматически корректируется. В результате гарантируется точное взаимное расположение обработанных поверхностей, исключающее дисбаланс, а, следовательно, и вибрацию двигателя в процессе его эксплуатации.

Инструментальный магазин станка на 72 позиции и инструментальная система «Carpo C8» вмещают все необходимые режущие инструменты и измерительный щуп. Замена износившегося инструмента осуществляется параллельно с процессом обработки. Для длинных и тяжелых инструментов станок оснащен магазином «Pick-Up». Из этого магазина стебли и специальные инструменты автоматически подаются на призмное устройство сопряжения. Одним из инструментов, применяемых на этом станке, является специальная расточная головка, управляемая от УЧПУ станка и служащая для изготовления глубокого фасонного отверстия типа «бутылка». Движение резцов этой головки производится при помощи вращения фрезерного шпинделя. На этом станке в комбинации со специальным программным циклом можно изготавливать глубокие отверстия любых профилей.

Благодаря использованию этого станка время обработки вала турбины сократилось на 75 %. Существенно возросла точность обработки. Замена ранее используемых 18 станков одной моделью указанной модели позволила значительно уменьшить производственные площади.

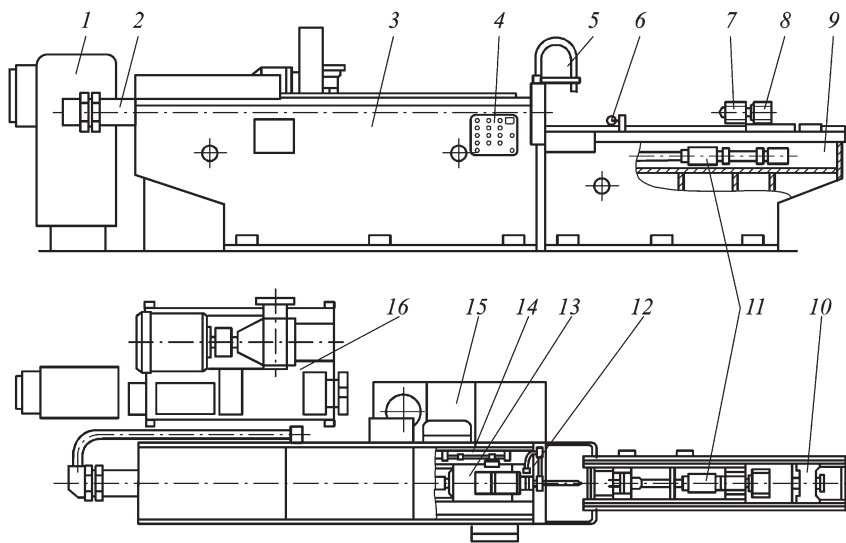
## 4.2. СТАНКИ ДЛЯ ПРОТЯГИВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Эти станки применяют для протягивания и дорнования отверстий диаметром 3...400 мм длиной до 10 000 мм. При этом тяговая сила станка может достигать 2000 кН, а длина хода рабочих салазок — 10 000 мм.

Для обработки отверстий длиной до  $15D$  обычно применяют универсальные горизонтально-протяжные и, реже, вертикально-протяжные станки для внутреннего протягивания (табл. 4.15).

Типовая конструкция горизонтально-протяжного станка для внутреннего протягивания состоит из следующих основных узлов (рис. 4.20) [2]:

а) основная станина — служит для размещения рабочего гидроцилиндра и рабочих салазок. В передней части станины находится массивная опорная плита с опорной планшайбой. Внизу передней части



**Рис. 4.20. Горизонтально-протяжной станок мод. 7Б56:**

1 — электрооборудование; 2 — рабочий цилиндр; 3 — рабочие салазки; 4 — пульт управления; 5 — устройство охлаждения; 6 — поддерживающий ролик; 7 — вспомогательный патрон; 8 — вспомогательные салазки; 9 — приставная станина; 10 — механизм фиксации и расфиксации; 11 — вспомогательный цилиндр; 12 — рабочий патрон; 13 — рабочие салазки; 14 — механизм регулирования хода станка; 15 — бак для СОЖ; 16 — насосная установка

**4.15. Основные технические характеристики некоторых моделей горизонтально-протяжных станков для внутреннего протягивания Минского завода протяжных станков (Беларусь)**

Технические характеристики	Модели станков					
	7А534	7А545	7А523	МП7А524	7555	МП1-1694*
Номинальное тяговое усилие, кН	250	630	100	100	1000	700
Длина хода рабочих салазок, мм, не более	1600	2000	1250	1600	2000	10000
Наружный диаметр заготовки, мм, не более	670	800	600	600	1500	
Длина протяжки, мм, не более	1715	2170	1365	1715	2190	2000
Скорость, м/мин::						
подвода протяжки	11,2	11,2	11,2	11,2	9,5	
отвода протяжки	18,8	18,8	18,8	18,8	12,0	
рабочего хода	1,5...13	1...7	1,5...12	1,5...12	0,5...3,7	0,5...3,0
обратного хода	20	12	20	20	6,5	

Окончание табл. 4.15

Технические характеристики	Модели станков					
	7А534	7А545	7А523	МП7А524	7555	МП1-1694*
Мощность, кВт:						
электродвигателя главного привода	37	45	11	11	55	50
суммарная	37,49	45,49	11,38	11,38	55,97	57,21
Габариты, мм:						
длина	7275	9135	6000	7115	10250	29500
ширина	2205	2450	1940	1940	2650	2900
высота	2300	2300	2300	2300	2000	1880
Масса станка, кг	5950	10850	3600	4500	17000	58200

\* Максимальные длина заготовки 8000 мм, диаметр обрабатываемого отверстия 155 мм; привод главного движения — электромеханический; регулировка рабочего хода — ступенчатая.

станины имеется механизм поддерживающего ролика. Последний поддерживает протяжку, когда ее задний хвостовик выходит из вспомогательного патрона. Поддержка осуществляется до конца обратного хода рабочих салазок, когда задний хвостовик протяжки снова входит во вспомогательный патрон;

б) рабочие салазки — перемещаются по направляющим станины, связывают шток рабочего цилиндра с рабочим патроном. В нижней части салазок имеется копир для опускания поддерживающего ролика в основной станине, когда рабочие салазки подходят к опорной плите;

в) механизм регулирования хода станка — находится в верхней части основной станины и выполнен в виде двух валиков, при угловом повороте которых включаются и выключаются конечные выключатели, управляющие работой гидросистемы станка. Настройкой положения закрепляемых на валиках кулачков обеспечивают требуемые величины рабочего и замедленного ходов, а также величина замедленного хода и крайнее положение рабочих салазок в конце обратного хода. Поворот кулачков происходит под воздействием копира, укрепленного на рабочих салазках;

г) приставная станина — предназначена для монтажа механизмов, обеспечивающих подвод и отвод протяжки. Движение подвода и отвода сообщаются одновременно поддерживающему ролику и вспомогательным салазкам от вспомогательного цилиндра. В конце подвода протяжки, когда поддерживающий ролик опускается в проем приставной станины, механизм фиксации и расфиксации обеспечивает расцепление вспомогательных салазок от механизма подвода и отвода. Это позволяет вспомогательным салазкам сопровождать протяжку до конца резания, что становится возможным благодаря тому, что поддерживающий ролик утоплен. В конце обратного хода вспомогательные салазки с помощью механизма фиксации и расфиксации вновь жестко соединяются с механизмом подвода и отвода. После этого начинается отвод протяжки, в начале которого поддерживающий ролик поднимается и становится опорой протяжки. При этом ее задний хвостовик закреплен во вспомогательном патроне;

д) гидропривод станка — служит для обеспечения возвратно-поступательного движения протяжки и состоит из бака, насоса, управляющей и контролирующей аппаратуры и рабочего гидроцилиндра. Гидропривод в протяжных станках используют в основном при длине хода рабочих салазок не более 2500 мм. В противном случае вследствие сжимаемости масла имеет место неравномерность скорости протягивания, способствующая снижению качества обработанной поверхно-



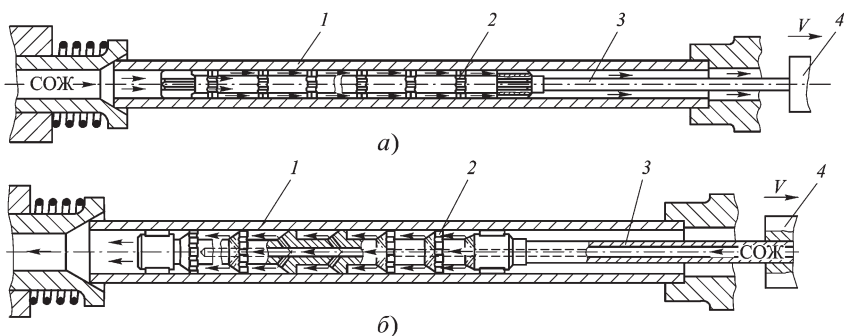
сти. Поэтому вместо гидропривода применяют электромеханический привод, характеризуемый высокой жесткостью и постоянством скорости протягивания. Такой привод имеет, например, специальный горизонтально-протяжной станок мод. МП1-1694, предназначенный для деформирующего протягивания (дорнования) отверстий диаметром 155 мм и длиной 7100 мм (см.табл. 4.15).

Кроме универсальных станков для обработки отверстий длиной более  $15D$  применяют специальные, специализированные или модернизированные универсальные протяжные станки. Они должны иметь: а) достаточную длину хода рабочих салазок; б) приспособление для базирования и закрепления заготовок; в) устройство для подачи СОЖ в зону резания [23].

Длина хода рабочих салазок задается конструкцией протяжного станка. Поэтому станок выбирают в соответствии с требуемой длиной хода рабочих салазок, которая должна быть несколько больше, чем длина протяжки (без тяги) и заготовки.

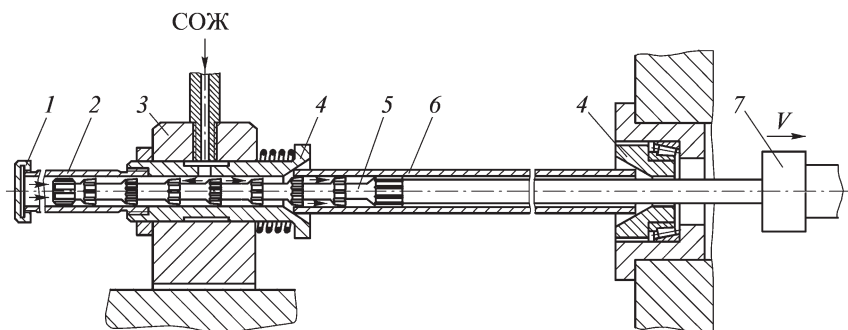
Приспособление для базирования и закрепления заготовок обычно состоит: а) из упорной бабки, в которую заготовка устанавливается и закрепляется таким образом, чтобы предохранить ее от смещения под влиянием усилия резания; б) люнета, служащего опорой свободного конца заготовки.

Подача СОЖ в зону резания осуществляется снаружи или через корпус инструмента (рис. 4.21) [23]. В последнем случае для протяжек диаметром 30...50 мм осевое отверстие в инструменте должно быть



**Рис. 4.21. Наружный (а) и внутренний (б) способы подачи СОЖ при протягивании глубоких отверстий:**

1 — заготовка; 2 — протяжка; 3 — тяга; 4 — тяговая головка



**Рис. 4.22. Схема приспособления для протягивания глубоких отверстий:**

1 — колпак; 2 — труба; 3 — задняя бабка; 4 — конус; 5 — протяжка;  
6 — заготовка 7 — тяговая головка

диаметром 6...12 мм, а радиальные отверстия (достаточно по два отверстия на зуб протяжки) — диаметром 3...5 мм.

Схема приспособления для протягивания глубоких отверстий показана на рис. 4.22 [23]. Здесь задняя бабка 3 может перемещаться по направляющим и устанавливаться в зависимости от длины заготовки 6, которая базируется в конусах 4. После установки на станке протяжки 5 с тягой колпак 1 трубы 2 предохраняет приспособление от утечки СОЖ, которая подается в сторону движения протяжки под давлением 1,2 МПа с расходом 20 л/мин.

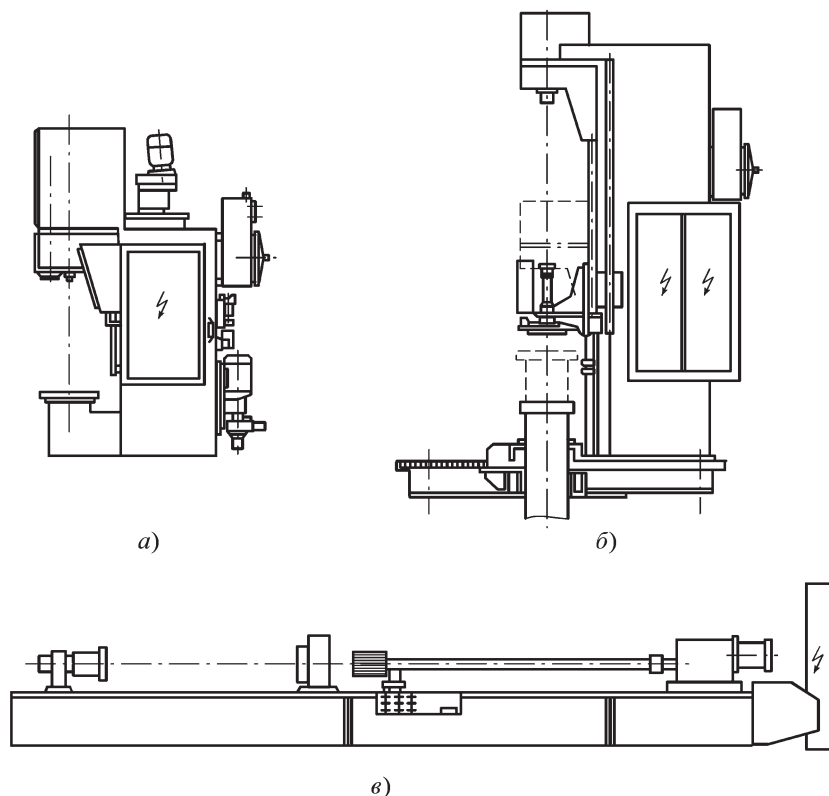
### 4.3. СТАНКИ ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Эти станки предназначены для обработки хонинговальными головками отверстий диаметром 1...1500 мм и глубиной до 25 000 мм.

В зависимости от расположения шпинделей и размеров обрабатываемых отверстий станки для хонингования глубоких отверстий бывают (рис. 4.23) [62, 74]:

- а) вертикальные (легкие, тяжелые) — обрабатывают отверстия диаметром 1...250 мм длиной до 1000 мм;
- б) вертикальные (с ямой для установки длинных заготовок) — обрабатывают отверстия диаметром 20...400 мм длиной до 4000 мм;
- в) горизонтальные — обрабатывают отверстия диаметром до 1500 мм длиной до 25 000 мм.

Основные технические характеристики некоторых моделей вертикальных хонинговальных станков, выпускаемых, например, ОАО



**Рис. 4.23. Хонинговальные станки для обработки глубоких отверстий:**

*а* — вертикальный; *б* — вертикальный с ямой, *в* — горизонтальный

«Стерлитамакский станкостроительный завод», представлены в табл. 4.16. Станки мод. 3Г824 и 3Г826 имеют системы ступенчатого регулирования частот вращения шпинделя и бесступенчатого регулирования скорости возвратно-поступательного движения пиноли либо шпиндельной головки. При этом длина хода настраивается кулачками.

Механизм разжима хонинговальной головки работает от гидропривода. Контроль диаметров обрабатываемых отверстий выполняется либо по счетчику двойных ходов, либо с помощью различных систем активного контроля, встроенных в станок.

**4.16. Основные технические характеристики некоторых моделей вертикальных хонинговальных станков, выпускаемых ОАО «Стерлитамакский станкостроительный завод» (Россия)**

Технические характеристики	Модели станков			
	ЗГ825	ЗГ826	СС740	СС740В
Размеры обрабатываемых отверстий, мм:				
диаметр	32...125	50...200	—	70...100
длина	10...400	10...650		
Масса заготовки, кг	≤ 250	≤ 250	—	—
Размеры рабочей поверхности стола, мм	500×630; 630×1000		—	—
Расстояние от оси шпинделя до колонны, мм	400; 360		—	380
Ход шпинделя, м	2±0,5... 500±2,5	2±0,5... 800±2,5	30...1000	500
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	50...315; 80...500	40...250; 63...400	0...500	0...500
Скорость возвратно-поступательного движения шпинделя, мм/мин	—	—	0...20	0...15
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	3,0; 4,0; 7,5	7,5; 5,5; 11	—	—
Мощность электродвигателя на-соса движения шпинделя, кВт	7,5	11	—	—
Суммарная мощность электро-двигателей, кВт	15	20,5	5,5...27	7,1
Габариты, мм:				
длина	2410	2410	1850...3000	2600
ширина	1960	2260	1650...2600	2500
высота	3450	4050	1700...3800	3000

Окончание табл. 4.15

Технические характеристики	Модели станков			
	ЗГ825	ЗГ826	СС740	СС740В
Масса станка, кг	3000	3500	1700...5000	3150
Система ЧПУ	—	—	SIEMENS SINUMERIK 840D	

Главными особенностями хонинговального станка мод. СС740В являются: а) система ЧПУ, обеспечивающая одновременное управление ходом возвратно-поступательного движения, вращения шпинделя, разжима брусков и контроля диаметра обрабатываемого отверстия; б) привод возвратно-поступательного движения с помощью шариковинтовой передачи и электродвигателя; в) привод вращения шпинделя станка от электродвигателя с частотным регулированием; г) импульсный электромеханический привод разжима брусков (черновая обработка) и пневматический привод разжима брусков (чистовая обработка); д) пневматическая система контроля диаметра обрабатываемого отверстия с обратной связью и корректировкой формы отверстия в продольном сечении.

Благодаря этим особенностям достигается более высокая точность и производительность процесса хонингования; в 1,5...2,0 раза уменьшается потребление электроэнергии; из-за отсутствия гидростанции сокращается площадь, занимаемая станком.

Горизонтальные хонинговальные станки отличаются тем, что у них вращательное движение совершает не только инструмент, но и заготовка. Возвратно-поступательное движение сообщается стеблевой бабке обычно с помощью гидропривода. Для поддержания и направления заготовки и инструмента используют специальные лунеты.

Основные технические характеристики некоторых моделей горизонтальных хонинговальных станков, выпускаемых ОАО «Рязанский станкостроительный завод», представлены в табл. 4.17.

Станок мод. РТ61701 снабжен системой осцилляции с частотой до 10 Гц и амплитудой 1...8 мм. Поэтому режущие зерна брусков хонинговальной головки при своем движении не повторяют траекторий предыдущих зерен, что позволяет использовать их режущие свойства в более полной мере. В результате на 40 % повышается производительность процесса хонингования и уменьшается погрешность формы отверстий.

**4.17. Основные технические характеристики некоторых моделей  
хонинговальных станков, выпускаемых  
ОАО «Рязанский станкостроительный завод»**

Наименование параметра	Базовая модель	
	РТ61701	РТ61902
Предельные наружные диаметры заготовок, мм	40...100	50...300
Предельные глубины обрабатываемых отверстий, мм	150...6000*	1000...2500*
Предельные диаметры обрабатываемых отверстий, мм	28,5...70	38...200
Наибольшая масса заготовок, кг	1000	1600
Пределы частот вращения шпинделей, мин <sup>-1</sup> :		
бабки изделия	80...500	8...16
бабки стебля	120...240	40...250
Пределы рабочих подач бабки стебля, мм/мин	1000...8000	1...12 000
Наибольшая подача бабки стебля, мм/мин	10 000	16 000
Частота осциллирования, дв.ходов/мин	600	—
Амплитуда осциллирования, мм	1...8	—
Мощность приводов, кВт:		
бабки изделия	15	4,2/7,1
бабки стебля	3,2/5,3	18,5
подач	8	8
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	44	48
Габариты, мм:		
длина	18 200	13 050
ширина	2900	3070
высота	2020	2020
Масса станка (вместе с отдельно расположенными агрегатами и электрооборудованием), кг	20 000	17 000

\* Возможна любая глубина обработки отверстий.

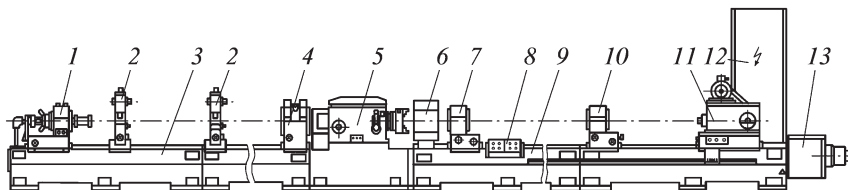
В станке мод. РТ61902 стеблевая бабка перемещается на опорах качения по закаленным направляющим специального профиля, что позволяет повысить скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки. Разжим и сжатие брусков хонинговальной головки осуществляется гидроцилиндром. Длинные стебли поддерживаются опорами, расположенными в стеблевых люнетах, кинематика механизма перемещения которых подобрана так, что скорость его в два раза ниже скорости перемещения бабки и обеспечивает, тем самым, постоянное поддержание стебля в его середине.

Хонинговальный станок мод. РТ61703 ОАО «Рязанский станкостроительный завод» имеет следующие основные узлы (рис. 4.24):

а) станина — состоит из станины стебля и станины изделия, которые собираются из секций, соединенных между собой винтами и зафиксированных штифтами. Станина имеет две плоские прямоугольные направляющие. Между ними расположен ходовой винт, с помощью которого от привода подач осуществляется перемещение бабки стебля;

б) бабка передняя — предназначена для сообщения вращения заготовки. Крепится на тумбе, которая стыкуется со станиной. Изменение частоты вращения шпинделя бабки достигается перемещением блоков шестерен по шлицевым валам при помощи двух рукояток, выведенных на переднюю стенку бабки;

в) стойка центрирующая — предназначена для подвода СОЖ к заготовке и ее уплотнения, исключая ее разбрызгивание жидкости. С помощью маховика пиноль стойки с закрепленным на ее шпинделе уплотняющим устройством подводится с помощью передачи винт-гайка к торцу заготовки. Перемещение стойки по станине осуществляется как вручную, так и механически;



**Рис. 4.24. Хонинговальный станок мод. РТ61703  
ОАО «Рязанский станкостроительный завод»:**

1 — центрирующая стойка; 2 — люнет изделия; 3 — станина изделия; 4 — люнет кольцевой; 5 — передняя бабка; 6 — кожух; 7 — люнет направляющий; 8 — пульт; 9 — станина стеблевая; 10 — люнет стеблевой; 11 — бабка стеблевая; 12 — электрический шкаф; 13 — привод подач

г) бабка стеблевая — служит для закрепления стебля с инструментом и сообщения ему осциллирующего движения с помощью регулируемого кривошипно-шатунного механизма. Бабка устанавливается на сани и перемещается по станине механически с помощью привода подач, посредством ходового винта и гайки, закрепленной на санях;

д) привод подач — представляет собой двухступенчатый редуктор, крепится к правому торцу станины стебля и посредством ходового винта сообщает продольное перемещение бабке стеблевой, несущей инструмент;

е) люнет изделия — поддерживает заготовку с помощью роликовых опор. Для удобства загрузки и выгрузки заготовки верхняя часть люнета — поворотная. Перемещение нижних роликов осуществляется синхронно от одной рукоятки. Зажим пинолей с роликами производится резьбовыми сухарями. Перемещение люнета по станине осуществляется вручную;

ж) люнет стеблевой — предназначен для поддержания и направления стебля инструмента. Перед началом обработки, когда бабка стеблевая находится в крайнем правом (исходном) положении, люнет стеблевой располагается примерно посередине между люнетом направляющим и бабкой стеблевой. В процессе обработки заготовки сани с установленной на них стеблевой бабкой доходят до люнета, сцепляются с ним и до конца обработки передвигают его впереди себя. Сцепка люнета с санями позволяет осуществлять его отвод в исходное положение. Расцепляется люнет с санями посредством специального устройства люнета и упора, расположенного на станине. Люнет стеблевой может перемещаться по станине и вручную;

з) люнет направляющий — предназначен для поддержания и направления стебля инструмента. Крепится на станине неподвижно при помощи поджимных планок и имеет возможность ручную перемещаться по станине;

и) люнет кольцевой — предназначен для центрирования и поддержания заготовки в процессе ее обработки. Центрирование заготовки производится с помощью четырех кулачков, закрепленных в корпусе люнета. Шпиндель люнета смонтирован на подшипниках качения. Перемещение люнета по станине осуществляется вручную.

За рубежом горизонтальные хонинговальные станки выпускают фирмы Giuseppe Giana (Италия), Nagel (Германия), Sunnen (США) и др.

Общий вид горизонтального хонинговального станка фирмы Sunnen (США) представлен на рис. 4.25, а технические характеристики некоторых моделей хонинговальных станков этой фирмы представлены в табл. 4.18.





Рис. 4.25. Станок фирмы Supleen (США) для хонингования глубоких отверстий

**4.18. Основные технические характеристики некоторых моделей горизонтальных хонинговальных станков, выпускаемых фирмой Sunnen (США)**

Технические характеристики	Модели станков						
	НТС-200	НТС-3000	НТС-4000	НТС-5000	НТС-6000	НТС-8000	НТС-10000
Диаметр отверстия, мм	25...550 (1000)						
Глубина отверстия, мм	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000
Объем бака насосной станции СОЖ, л	300	300	300	500	500	500	500
Габариты, мм:							
длина	6200	8200	10200	12700	14700	18700	22700
ширина	1200	1200	1200	1500	1500	1500	1500
высота	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Масса станка, кг	2600	3000	3400	4200	4600	5400	6200

## 5. КОНТРОЛЬ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

К точности и качеству поверхности глубоких отверстий предъявляются определенные требования. Оценить соответствие обработанного глубокого отверстия этим требованиям можно только путем использования соответствующих средств и методов контроля.

### 5.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Точность и качество поверхности глубоких отверстий определяют следующими основными геометрическими параметрами:

- а) размеры — диаметр, длина (глубина — для глухих отверстий);
- б) отклонения формы:
  - в поперечном сечении — овальность, огранка;
  - в продольном сечении — конусообразность, бочкообразность, корсетность, непрямолинейность оси отверстия;
- в) отклонения расположения — увод оси отверстия;
- г) шероховатость поверхности отверстия.

Из указанных параметров самыми специфическими, используемыми, как правило, только при контроле глубоких отверстий, являются увод и непрямолинейность оси отверстия. Чтобы уяснить смысл этих параметров, введем следующие понятия (рис. 5.1) [45]:

- геометрическая ось детали — это прямая линия, соединяющая геометрические центры поперечных сечений детали, расположенных на его концах;

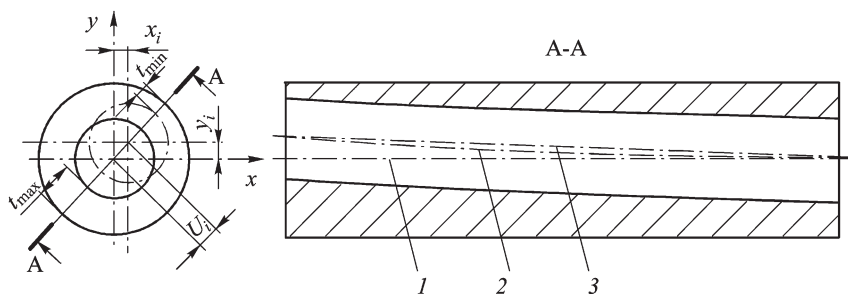


Рис. 5.1. Схема расположения осей в детали:

- 1 — геометрическая ось детали; 2 — действительная ось глубокого отверстия;  
3 — теоретическая ось глубокого отверстия

- действительная ось глубокого отверстия — это линия, соединяющая геометрические центры поперечных сечений отверстия, расположенных по всей ее длине;

- теоретическая ось глубокого отверстия — это прямая линия, соединяющая геометрические центры поперечных сечений отверстия, расположенных на его концах.

Из этих понятий следует, что *увод оси отверстия* — это расстояние между действительной осью глубокого отверстия и теоретической осью (осью вращения) детали в заданном сечении (рис. 5.1):

$$U_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2},$$

где  $x_i$  и  $y_i$  — координаты центра действительной оси отверстия в  $i$ -м сечении.

Увод оси отверстия можно оценить также измерением разности толщины детали, под которой понимают наибольшую разность толщины стенок детали, измеренную в заданном поперечном сечении:

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min},$$

где  $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$  — соответственно максимальная и минимальная толщины стенок детали.

Таким образом, увод оси отверстия равен половине величины биения поверхности отверстия относительно наружной поверхности детали в том же сечении:

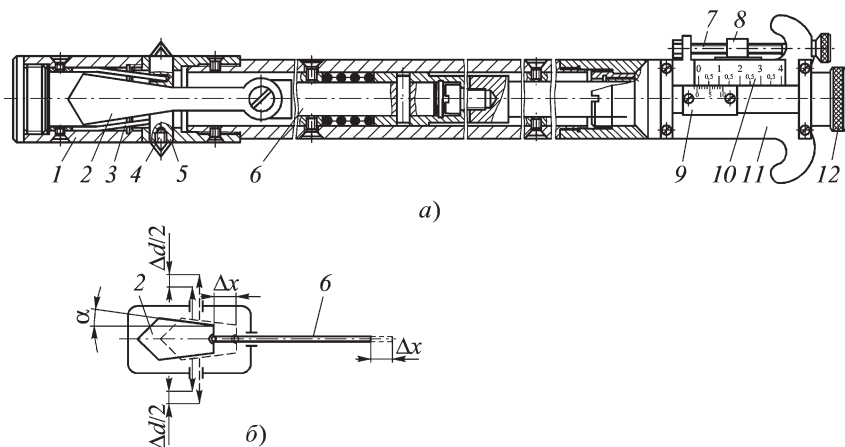
$$U = \Delta t/2.$$

## 5.2. КОНТРОЛЬ ДИАМЕТРОВ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Для измерения диаметров глубоких отверстий по всей их длине применяют специальные измерительные приборы, называемые звездками [44].

Механическая звездка с нониусной шкалой (рис 5.2, *a*) используется для контроля отверстий диаметром 30...300 мм и состоит из корпуса 1, внутри которого в продольном направлении перемещается клин 2. В корпусе имеются два окна с перемещающимися в них ползунами 5, которые опираются на клин 2. Пластинчатые пружины 3 обеспечивают постоянство контакта ползунков с клином. В ползунах 5 имеются гнезда с резьбой, в которых крепятся сменные измерительные штифты — колки 4.

При измерении посредством рукоятки 12 перемещают тягу 6 и шарнирно связанный с ней клин 2. В зависимости от направления переме-



**Рис. 5.2. Механическая звездка с нониусной шкалой (а) и схема ее работы (б):**  
 1 — корпус; 2 — клин; 3 — пружина; 4 — колок; 5 — ползун; 6 — тяга; 7 — винт; 8 — каретка; 9 — нониус; 10 — линейка; 11 — рамка; 12 — рукоятка

щения клина ползуны с укрепленными в них колками выдвигаются или утапливаются. Для отсчета перемещений тяги с клином применяется линейка 10 с делениями и нониус 9. Линейка 10 крепится на каретке 8. При вращении винта 7 линейка 10 перемещается вдоль рамки 11 и устанавливается в требуемом положении. Нониусная линейка 9 крепится на тяге и перемещается вместе с ней.

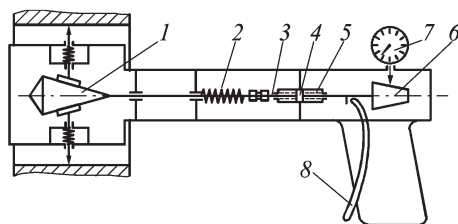
При контроле изменению диаметра отверстия на величину  $\Delta d$  соответствует продольное перемещение  $\Delta x$  клина 2 и связанной с ним тяги 6 (рис. 5.2, б). Зависимость между продольным перемещением тяги и изменением диаметра контролируемого отверстия имеет вид:

$$\Delta d = 2\Delta x t g \alpha_{\kappa},$$

где  $\alpha_{\kappa}$  — угол наклона клина.

Определив продольное перемещение тяги и пользуясь этой зависимостью, определяют величину изменения диаметра отверстия. При этом предельная погрешность измерения достигает  $\pm 0,25$  мм.

Более высокую точность отсчета обеспечивают звездки с индикатором и постоянным измерительным давлением (рис. 5.3) [44]. При измерении у этих звездок перемещение тяги 3 с клином 1 осуществляется под действием предварительно сжатой пружины 2. На другом конце тяги имеется клин б, на который опирается наконечник измерительно-



**Рис. 5.3. Механическая звездка с индикатором и постоянным измерительным давлением:**

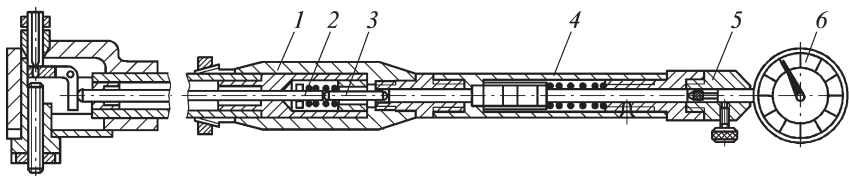
1, 6 — клин; 2 — пружина; 3 — тяга; 4 — поршень; 5 — цилиндр;  
7 — индикатор; 8 — рычаг

го стержня индикатора 7. При перемещении тяги с клином также перемещается и клин 6, жестко связанный с тягой. Величина отклонения стрелки индикатора 7 определяется углом конуса клина 6 и величиной его продольного перемещения. Изменения диаметров контролируемого отверстия отсчитывают по показаниям индикатора.

Для опускания колков во время перемещения звездки внутри отверстия от одного сечения к другому служит рычаг 8. Нажимая на него, перемещают тягу 3 с клином 1 и сжимают пружину 2. В момент измерения диаметра отверстия рычаг 8 отпускают. Под действием сжатой пружины 2 тяга 3 с клином 1 перемещается в сторону индикатора, выдвигая колки до их касания с поверхностью отверстия. Для исключения удара колков, раздвигаемых пружиной, о стенки отверстия, предусмотрен гидравлический тормоз, состоящий из поршня 4 и цилиндра 5. Поршень жестко закреплен на тяге. При его перемещении вместе с поршнем жидкость в цилиндре перетекает из одной полости в другую через отверстие в поршне и обеспечивает плавное перемещение всех подвижных деталей звездки.

На заводе тяжелого машиностроения (г. Электросталь) для измерения диаметров отверстий в диапазоне 50...450 мм и длиной до 4000 мм применяют устройство, разработанное на базе стандартного индикаторного нутромера (рис. 5.4) [68]. Устройство состоит из индикаторного нутромера со стержнем 2, плавающего контакта 3, соединителя 1 с цангой и гайкой, удлинителя 4, крепежной втулки 5 и индикатора часового типа 6. Здесь в качестве удлинителя используют стандартные удлинители микрометрических нутромеров.

Устройство, как и рассмотренные выше звездки, настраивают на измеряемый размер по эталону в виде кольца или по плоскопараллель-



**Рис. 5.4. Индикаторный нутромер для измерения диаметров глубоких отверстий:**

1 — соединитель; 2 — стержень; 3 — плавающий контакт; 4 — удлинитель;  
5 — крепежная втулка; 6 — индикатор часового типа

ным концевым мерам длины с боковиками. При этом погрешность измерения в указанном диапазоне размеров отверстий составляет не более 0,010...0,025 мм.

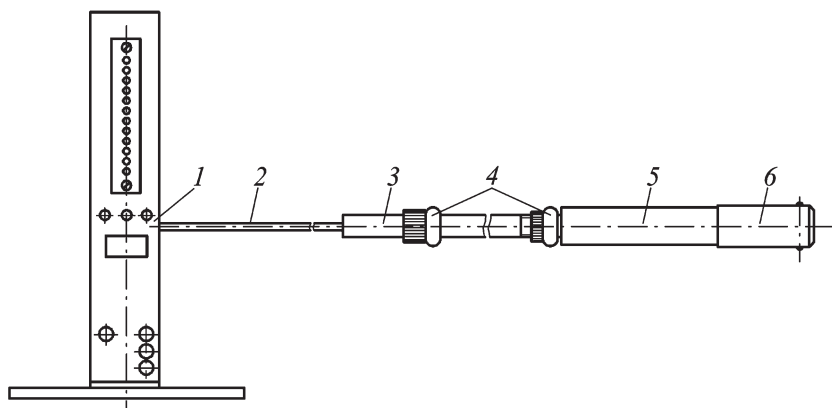
В ОАО «НИИ измерения» (г. Москва) разработан электрический прибор мод. БВ-6408, предназначенный для измерения диаметров глубоких отверстий (табл. 5.1). Прибор состоит из индуктивной пробки 5 и электронного прибора 1 (рис. 5.5). Индуктивная пробка имеет два подпружиненных измерительных наконечника 6. Для продвижения пробки по каналу измеряемого отверстия она снабжена складной рукояткой 3, базирующейся в отверстии с помощью опор 4. Внутри индуктивной пробки находится дифференциальный индуктивный преобразователь, фиксирующий перемещения измерительных наконечников и передающий по кабелю 2 электрический сигнал в электронный прибор 1.

### 5.1. Основные технические характеристики прибора для контроля диаметров глубоких отверстий мод. БВ-6408

Технические характеристики	Значения
Диаметр отверстия, мм	8...44
Длина отверстия, мм	≤ 5000
Принцип действия	Индуктивный
Диапазон показаний цифровой индикации, мкм	±100; ±200; ±300
Дискретность цифровой индикации, мкм	1,0
Предел допускаемого размаха показаний, мкм	2,0

Окончание табл. 5.1

Технические характеристики	Значения
Предел допускаемой погрешности измерений в зависимости от диапазона измерений, мкм:	
диапазон измерений $\pm 50$	3,0
диапазон измерений $\pm 100$	5,0
диапазон измерений $\pm 150$	8,0
диапазон измерений $\pm 250$	11,0
Контактное усилие, Н	1,0 $\pm$ 0,2
Масса, кг	6



**Рис. 5.5. Прибор мод. БВ-6408 для измерения диаметров глубоких отверстий:**

1 — электронный прибор; 2 — соединительный кабель; 3 — рукоятка;  
4 — опоры; 5 — индуктивная пробка; 6 — наконечник

Процесс измерения осуществляют следующим образом. В отверстие горизонтально расположенной детали вводят индуктивную пробку. В необходимых или заданных сечениях вдоль оси отверстия (обычно через 100...150 мм) пробку останавливают и по показаниям электронного блока отмечают отклонение диаметра отверстия в этом сечении. Так,



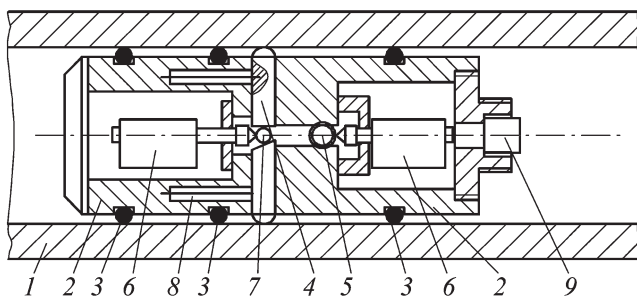
продвигая пробку в глубь отверстия, определяют отклонения диаметра на глубину до 2500 мм. Затем пробку вынимают из детали, и в случае необходимости диаметр отверстия измеряют с другого конца детали.

Для контроля овальности отверстия измерения производят в двух взаимно перпендикулярных сечениях. Причем сначала измеряют диаметр отверстия по всей длине в одном сечении, затем деталь или пробку поворачивают вокруг своей оси на  $90^\circ$ , и диаметр отверстия измеряют в другом сечении. Поворачивая деталь или пробку вокруг оси на  $360^\circ$ , можно проанализировать также и погрешности формы отверстия в поперечных сечениях.

Для контроля диаметров глубоких отверстий применяют также индуктивные приборы серии ПКВД [66].

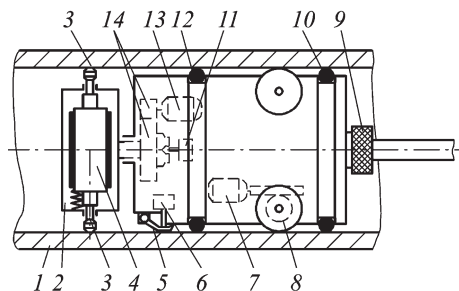
Измерительные головки таких приборов имеют либо четыре колка (рис. 5.6), либо два (рис. 5.7). В последнем случае измерение диаметра отверстия производится сначала при движении головки в одном направлении, а после ее выхода из отверстия она разворачивается на  $90^\circ$  и производится измерение в обратном направлении. При этом перемещение измерительной головки осуществляется вручную или с помощью электропривода. Электрическое питание измерительной головки производится через гибкий кабель от блоков питания и регистрации.

Большим достоинством индуктивных приборов является возможность непрерывного замера диаметра отверстия вдоль всей его образующей. При этом в качестве регистрирующих устройств применяют



**Рис. 5.6.** Схема измерительной головки ПКВД с четырьмя колками:

1 — деталь; 2 — корпус; 3 — центрирующие кольца; 4 — колки для измерения диаметра в вертикальной плоскости; 5 — колки для измерения диаметра в горизонтальной плоскости; 6 — индуктивные преобразователи; 7 — шарик; 8 — пружины разжима колков; 9 — кабельный разъем



**Рис. 5.7. Схема измерительной головки ПКВД с двумя колками:**

1 — деталь; 2 — поворотная измерительная головка; 3 — колки; 4 — индуктивный преобразователь; 5 — рычаг переключателя; 6 — переключатель поворота измерительной головки и реверса осевой подачи; 7 — привод осевой подачи; 8 — ролик осевой подачи; 9 — кабельный разъем; 10, 12 — центрирующие кольца; 11 — выключатель поворота измерительной головки; 13 — привод поворота измерительной головки; 14 — редуктор

самописцы или блоки с магнитной памятью и возможностью распечатки результатов измерений.

Как и в предыдущем случае, перед работой измерительные головки необходимо настраивать на размер по кольцу-калибру или микрометру.

В табл. 5.2 приведены основные технические характеристики прибора контроля внутренних диаметров глубоких отверстий мод. ПКВД-3 [66].

### 5.3. КОНТРОЛЬ УВОДА ОСЕЙ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

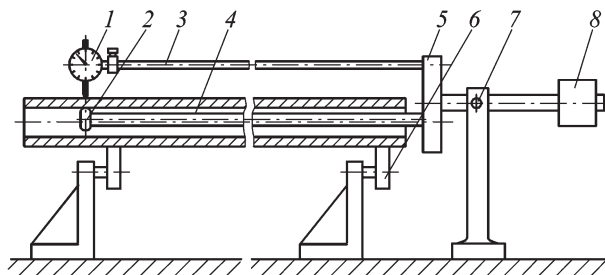
Принцип работы приборов контроля увода осей глубоких отверстий чаще всего основан на измерении биения поверхности контролируемого отверстия при вращении детали вокруг своей теоретической оси. При этом увод оси отверстия определяется как половина величины биения отверстия в этом же сечении.

Схема работы стержневого прибора для контроля разностенности отверстий глубиной не более 2000 мм показана на рис. 5.8 [44]. Прибор состоит из двух стержней 3 и 4, скрепленных между собой планкой 5. На измерительном стержне 4 крепится ролик 2, свободно вращающийся на шарикоподшипнике, а на наружном стержне 3 — индикатор 1. При этом диаметр ролика должен быть на 1,0...1,5 мм меньше диаметра контролируемого отверстия.

## 5.2. Основные технические характеристики прибора мод. ПКВД-3

Технические характеристики	Значения
Диаметр отверстий, мм:	
без центрирующих колец	114,90...116,00
с центрирующими кольцами	124,90...126,00
Длина детали, мм	≤ 8000
Погрешность измерения, мкм:	
при отклонении от номинала в пределах 0...0,25 мм	10
при отклонении от номинала в пределах 0...0,50 мм	20
Время контроля одной детали, мин	2
Длина измерительной головки, мм	470
Масса измерительной головки, кг	6,5

Для измерения разностенности стержень 4 вводят в контролируемое отверстие на требуемую глубину детали, установленной на двух роликовых призмах 6. Благодаря грузу 8 и возможности качания прибора вокруг оси 7 обеспечивается постоянное касание ролика 2 поверхности отверстия.



**Рис. 5.8. Схема стержневого прибора для контроля разностенности:**

1 — индикатор часового типа; 2 — ролик; 3, 4 — стержни; 5 — планка;  
6 — роликовая призма; 7 — ось; 8 — груз

Разностенность определяется при повороте детали на  $360^\circ$  и равняется алгебраической разности между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора за один оборот. При этом точность измерений составляет  $\pm 0,03$  мм.

Прибор мод. 4КРСМ относится к оптическим приборам контроля разностенности (рис. 5.9) [66]. При измерении этим прибором деталь *I* устанавливают горизонтально на роликовые призмы *2*, одну из которых располагают в контролируемом сечении. В этом же сечении устанавливают шкалу самоцентрирующейся марки *3*. При вращении детали на роликовых призмах центр шкалы марки, совпадающий с центром отверстия, описывает окружность радиусом *e*. Диаметр этой окружности равен максимальной разностенности детали в указанном сечении [66]:

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min} = [r - (R - e)] - [r - (R + e)] = 2e,$$

где  $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$  — соответственно максимальная и минимальная толщина стенки детали;  $r$  — наружный радиус детали;  $R$  — радиус отверстия;  $e$  — расстояние между осями отверстия (точка  $O_0$ ) и детали (точка  $O$ ).

Для определения величины этого диаметра используют визирную трубу *4*.

В последнее время, в связи с тем что точность таких измерений низка ( $\pm 0,25$  мм), а процедура контроля малопроизводительна, оптические приборы контроля разностенности применяют относительно

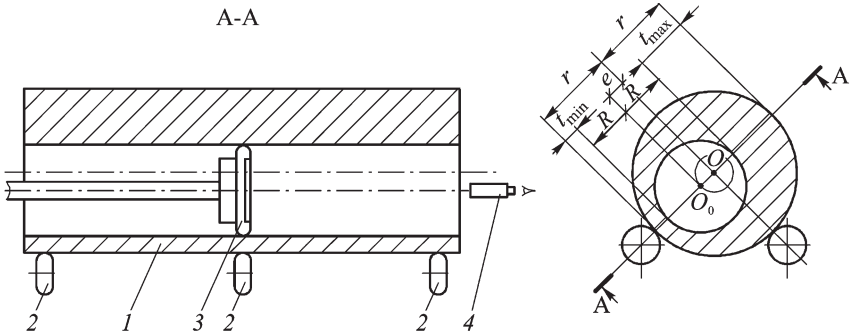


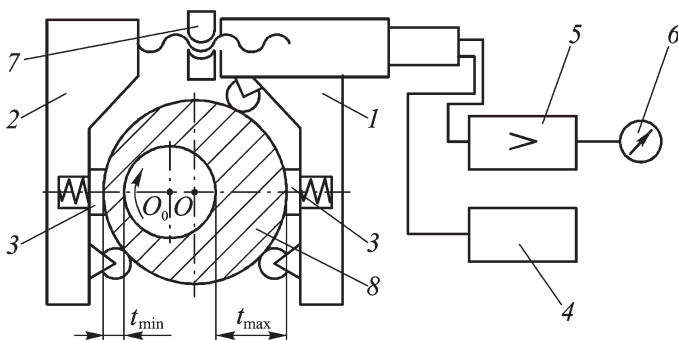
Рис. 5.9. Схема контроля разностенности оптическим прибором мод. 4КРСМ:

*I* — деталь; *2* — роликовые призмы; *3* — самоцентрирующаяся марка;  
*4* — визирная труба

редко. Более эффективными являются ультразвуковые приборы — скобы ПКР и типа «Центр» [66].

Принцип измерения разностенности скобой ПКР состоит в следующем (рис. 5.10). Губки 1 и 2 скобы при помощи передачи винт-гайка 7 охватывают деталь 8 в измеряемом сечении. При этом губки оснащены ультразвуковыми преобразователями 3, питаемыми импульсными сигналами от блока 4. Для улучшения акустического контакта зазор между деталью и преобразователем заполняют машинным маслом. Посылаемый импульс проходит в детали до стенки отверстия, отражается от нее и принимается тем же ультразвуковым преобразователем. Прибор 6 фиксирует время прохождения посланным импульсом двойной толщины стенки. Суммируя с помощью блока 5 сигнал с двух преобразователей и зная скорость прохождения звуковой волны в материале детали, вычисляется ее разностенность. Полученное значение сигнала подается на регистрирующий прибор 6. Основные технические характеристики скобы ПКР представлены в табл. 5.3 [66].

Прибор «Центр» используют для измерения разностенности, толщины стенок, а также радиального биения наружной и внутренней поверхностей детали относительно оси ее вращения (рис. 5.11) [66]. Измерительный блок прибора крепится на суппорте станка и подводится к наружной поверхности детали 9 до соприкосновения с ней призмы 1 и ультразвукового преобразователя 2. Благодаря шаровому шарниру 4 измерительный блок самоустанавливается относительно поверхности



**Рис. 5.10. Схема измерения разностенности скобой ПКР:**

1 — неподвижная губка; 2 — подвижная губка; 3 — ультразвуковой преобразователь; 4 — блок питания; 5 — блок суммирования и усиления сигналов; 6 — регистрирующий прибор; 7 — передача винт-гайка; 8 — деталь

## 5.3. Основные технические характеристики скобы ПКР

Технические характеристики	Значения
Диаметр наружной поверхности детали, мм	155...275
Толщина стенок детали, мм	17,5...62,5
Максимальная измеряемая разностенность, мм	5
Максимальная погрешность измерения, мм	0,1
Максимально допустимая шероховатость наружной и внутренней поверхностей детали $Rz$ , мкм	20
Время измерения разностенности в одном сечении, мин	1

детали. При этом индуктивный преобразователь 3 своим штоком 5 измеряет радиальное биение наружной поверхности детали. При вращении последней непрерывно определяется текущая толщина стенки  $t^{\text{тек}}$ , а при необходимости — разностенность  $\Delta t = t_{\text{max}}^{\text{тек}} - t_{\text{min}}^{\text{тек}}$ . Результаты из-

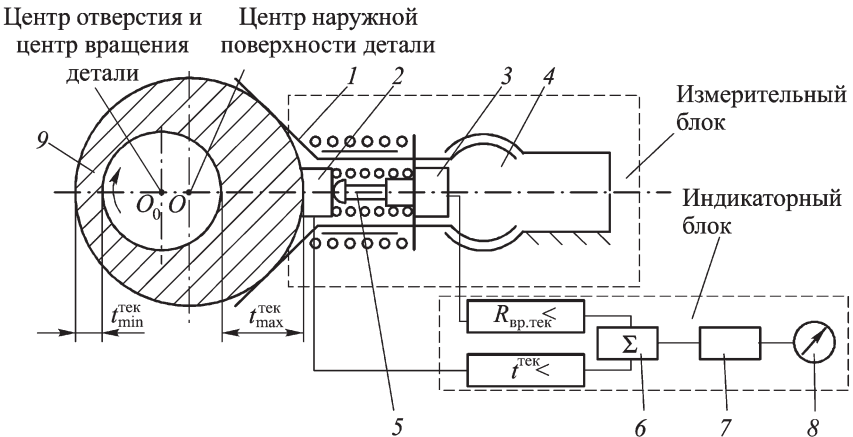


Рис. 5.11. Схема измерения разностенности прибором «Центр»:

1 — призма; 2 — ультразвуковой преобразователь; 3 — индуктивный преобразователь; 4 — шаровой шарнир; 5 — шток индуктивного преобразователя; 6 — сумматор; 7 — переключатель рода работ; 8 — регистрирующий прибор; 9 — деталь

мерений фиксируются в индикаторном блоке, состоящем из сумматора 6, переключателя рода работ 7 и регистрирующего прибора 8.

Основные технические характеристики прибора «Центр» представлены в табл. 5.4 [66].

#### 5.4. Основные технические характеристики прибора «Центр»

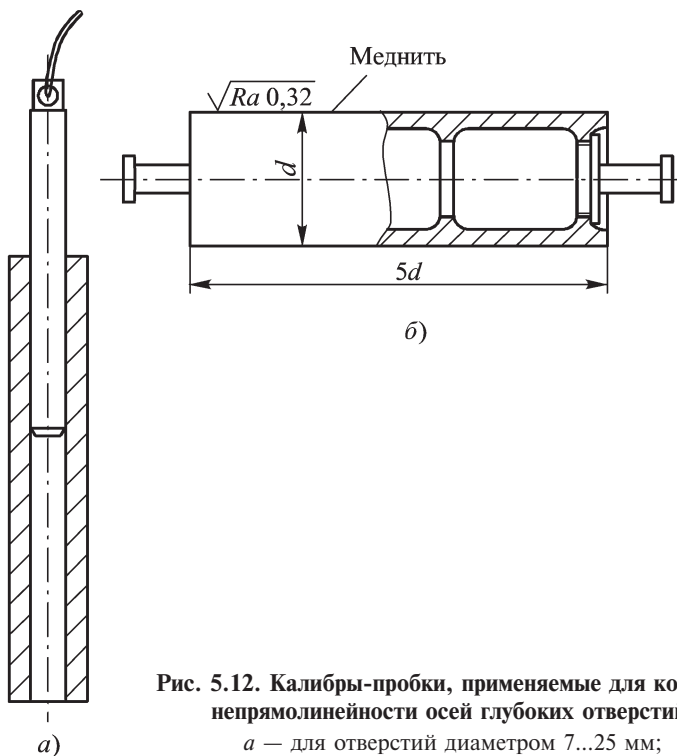
Технические характеристики	Значения
Наружный диаметр детали, мм	80...350
Диапазон измерения радиального биения и разностенности, мм	0...10
Допускаемая погрешность измерения радиального биения и разностенности, мм	0,1
Диапазон измерения толщины стенки, мм	5...65
Допускаемая погрешность измерения толщины стенки, мм	0,1...0,01
Время измерения всех параметров в одном сечении, мин	3

#### 5.4. КОНТРОЛЬ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ОСЕЙ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

В производственных условиях контроль отклонения от прямолинейности оси глубоких отверстий иногда производят с помощью калибра-пробки, длина рабочей части которого должна быть не менее пяти диаметров (рис. 5.12). При прохождении такого калибра через контролируемое отверстие под действием собственного веса деталь считается годной [66].

Более точно контроль отклонения от прямолинейности производится оптическими приборами, замеряющими расстояние между действительной и геометрической осями отверстия. При этом геометрическая ось отверстия может задаваться: а) стальной струной; б) оптической осью зрительной трубы; в) лучом оптического квантового генератора (ОКГ) — лазера.

Устройство, в основу метрологической схемы измерения которого положена стальная струна, неподвижно закрепленная между центрами крайних сечений контролируемого отверстия, показана на рис. 5.13 [7].



**Рис. 5.12. Калибры-пробки, применяемые для контроля  
непрямолинейности осей глубоких отверстий:**

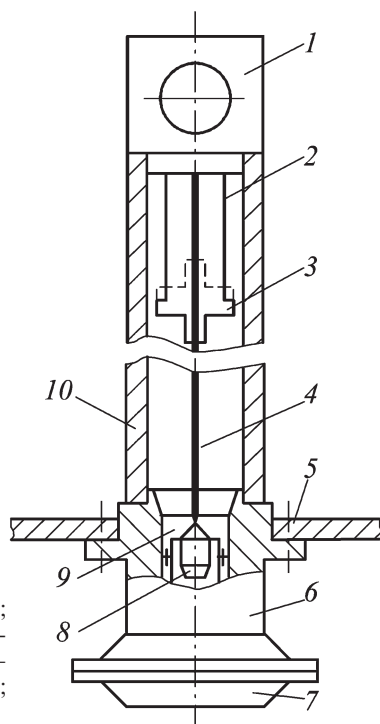
*a* — для отверстий диаметром 7...25 мм;

*б* — для отверстий диаметром 50...130 мм

В этом случае измерение производят при вертикальном положении детали *10*, которую устанавливают на базовый торец блока натяжения струны *б* с центровкой по отверстию. На верхний торец детали помещают блок подачи *1*, несущий центрально расположенную струну *4*, и измерительный блок *3*, перемещаемый электродвигателем. Здесь центр масс измерительного блока совмещен с осью струны.

Для обеспечения высокой точности измерения измерительный блок снабжен кольцевыми пневмосоплами, с помощью которых производят бесконтактное измерение, результаты которого фиксирует самописец. Для отверстий с допуском прямолинейности образующей до  $2/1000$  мм/мм, но не более  $3/7000$  мм/мм применяют электронные измерительные системы с индуктивными преобразователями.



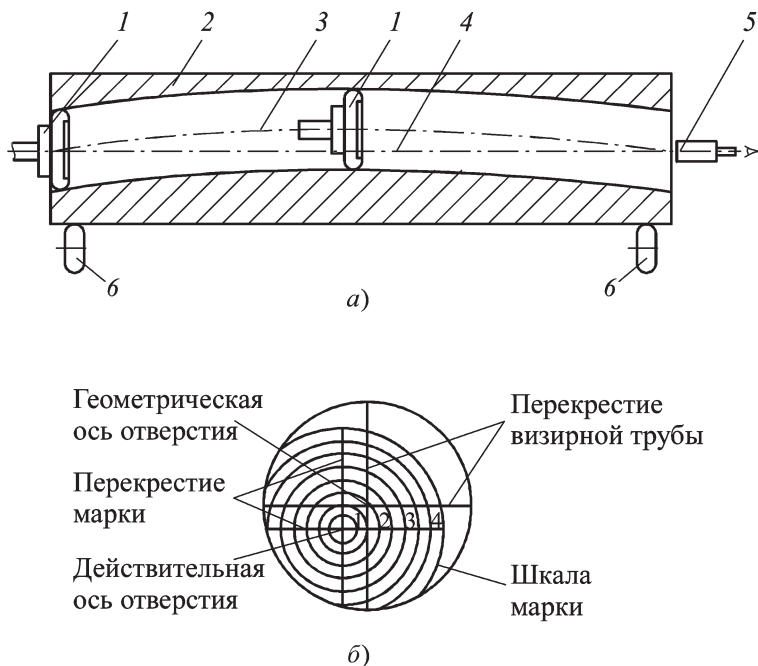


**Рис. 5.13. Схема измерительной части устройства для контроля непрямолинейности осей глубоких отверстий:**

1 — блок подачи; 2 — пневмокоммуникация; 3 — измерительный блок; 4 — струна; 5 — основание; 6 — блок натяжения струны; 7 — пневмокамера; 8 — наконечник; 9 — захват; 10 — деталь

В приборе мод. 4КРСМ деталь 2 базируется на роликовых призмах 6. Геометрическая ось отверстия задается оптической осью визирной трубы 5 (рис. 5.14, а) [66]. При этом визирная труба устанавливается в отверстии так, что ее оптическая ось проходит через центры крайних сечений отверстия и задает, таким образом, ее геометрическую ось 4. В дальнейшем визирная труба сохраняет положение геометрической оси, которая в поле зрения контролера видится как точка пересечения перекрестия (рис. 5.14, б).

При перемещении самоцентрирующейся марки 1 по каналу отверстия в случае его непрямолинейности центр марки, совпадающий с действительной осью отверстия 3, будет отклоняться от геометрической оси отверстия. Так как марка имеет подсвеченную прозрачную шкалу в виде концентрических окружностей с ценой деления 0,5 мм, то по ним можно определять величину и направление изменения прямолинейности канала. При этом точность измерений невелика ( $\pm 0,25$  мм).



**Рис. 5.14. Схема контроля отклонения от прямолинейности осей отверстий прибором мод. 4КРСМ (а) и шкала (б) марки в поле зрения визирной трубы прибора:**

1 — самоцентрирующаяся марка; 2 — деталь; 3 — действительная ось отверстия; 4 — геометрическая ось отверстия; 5 — визирная труба; 6 — роликовые призмы

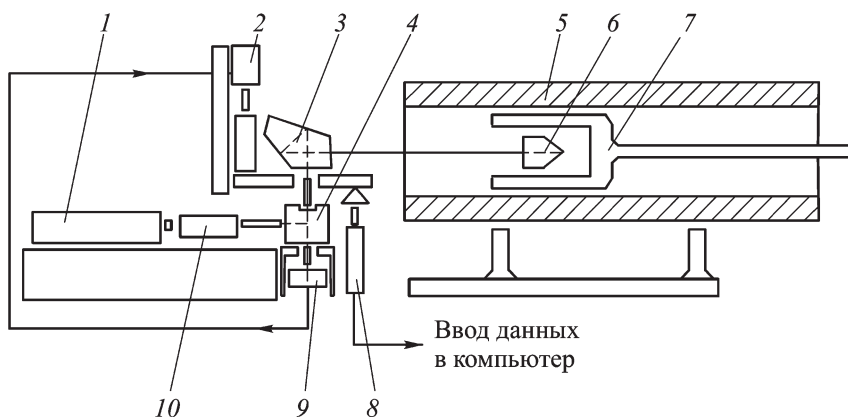
Более высокую точность измерений обеспечивают приборы, в которых в качестве опорной оси используют луч лазера. К таким приборам относятся, например, приборы, разработанные НПФ «ПИКА» (г. Пермь) и предназначенные для контроля отклонения от прямолинейности каналов цилиндров штанговых глубинных насосов (ШГН) (табл. 5.5).

Контроль отклонения от прямолинейности глубоких отверстий приборами серии «ПИКА-Н» осуществляется следующим образом (рис. 5.15) [60].

В контролируемое отверстие устанавливают самоцентрирующуюся марку 7 с угольным отражателем — трипельпризмой 6 и перемещают

## 5.5. Основные технические характеристики приборов серии «ПИКА-Н»

Основные технические характеристики	Модель прибора		
	«ПИКА-Н6»	«ПИКА-Н7»	«ПИКА-Н8»
Диаметры контролируемых отверстий, мм	8...30	27...105	50...800
Длина контролируемых отверстий, мм	≤ 3000	≤ 6000	≤ 12 000
Диапазон измерения, мм	±2	±4	±12
Предел допускаемой основной погрешности, мм	0,03	0,04	0,15



**Рис. 5.15. Схема прибора «Пика» для контроля прямолинейности глубоких отверстий:**

1 — лазер; 2 — следящая система; 3 — пентапризма; 4 — светоделительная призма; 5 — деталь; 6 — трипельпризма; 7 — самоцентрирующаяся марка; 8 — преобразователь линейных перемещений; 9 — фотоприемник; 10 — коллиматор

ее по всей длине отверстия в детали 5. На станине стенда установлен приемоизлучающий блок, содержащий маломощный газовый лазер 1, коллиматор 10, светоделительную призму 4 и пентапризму 3 с крышей,

направляющей луч лазера на центрирующую марку. Луч лазера, отразившись от уголкового отражателя самоцентрирующейся марки, возвращается в приемоизлучающий блок через пентапризму с крышей, светоделительную призму и попадает на позиционно-чувствительный фотоприемник (ПЧФ) 9.

При смещении самоцентрирующейся марки от номинального положения, вызванного непрямолинейностью оси контролируемого отверстия, падающий на ПЧФ луч лазера также сместится от своего номинального положения. В результате следящая система 2 будет перемещать пентапризму с крышей до тех пор, пока выходящий из нее луч не вернется в центр уголкового отражателя и, соответственно, в центр ПЧФ. Указанное смещение соответствует смещению центрирующей марки от своего номинального положения, а следовательно, и контролируемой непрямолинейности и определяется обычным (индукционным или растровым) высокоточным преобразователем линейных перемещений  $\delta$ . Для уменьшения потерь мощности лазерного луча при его разделении светоделительную призму выполняют поляризационной, а перед уголковым отражателем устанавливают четвертьволновую пластину, поворачивающую плоскость поляризации отраженного луча на  $90^\circ$ .

Для увеличения быстродействия прибора перемещение отражательного блока по каналу контролируемого отверстия осуществляется с помощью механизированного привода, управляемого персональным компьютером по специальной программе, позволяющей автоматически останавливать отражающий блок через каждые 200 мм и проводить в этом сечении несколько измерений, а после окончания всех измерений осуществлять обработку полученных данных.

Программа обработки включает: а) приведение геометрических значений к геометрической оси контролируемого отверстия, проходящей через центры крайних сечений; б) вычисление суммарной непрямолинейности отверстия по измеренным величинам горизонтальной и вертикальной проекций; в) вычисление погонной непрямолинейности отверстия.

В ООО «РС-Прибор» (г. Ижевск) разработан пневматический измерительный комплекс «Аэротест-ШГН», в состав которого входит, в частности, установка для контроля размеров внутреннего канала цилиндров штанговых глубинных насосов (ШНГ) (табл. 5.6). В свою очередь эта установка состоит из опоры, системы управления, комплекта измерительных приспособлений для контроля внутреннего диаметра и огранки (пневматических пробок), комплекта измерительных приспособлений

соблений для контроля прямолинейности оси цилиндра, комплекта настроечных колец, пневматического линейного привода.

### 5.6. Основные технические характеристики установки для контроля размеров внутреннего канала цилиндров ШГН мод. РЛПА 401152.007

Технические характеристики	Значения
Диаметры контролируемых отверстий, мм	26,988 <sup>+0,1</sup> ; 31,75 <sup>+0,1</sup> ; 38,10 <sup>+0,1</sup> ; 44,45 <sup>+0,1</sup> ; 57,15 <sup>+0,1</sup> ; 69,85 <sup>+0,1</sup>
Длина контролируемых отверстий, мм	≤ 12000
Количество делений шкалы, шт.	100
Цена деления шкалы, мкм	1
Предел основной погрешности измерения, мкм	± 5
Время установления показаний, с	5
Количество измерений, шт.	≥ 10000
Габаритные размеры, мм	9270 × 896 × 2350
Масса, кг	350

Стенд позволяет в автоматическом режиме осуществлять измерение диаметра, огранки и прямолинейности внутреннего диаметра канала цилиндра. Контролируемый цилиндр размещается на трех опорах — двух роликовых и одной «плавающей». Продольному перемещению цилиндра препятствует торцевой упор. Опоры являются регулируемыми и для каждого типоразмера насосов имеется свой набор опор. Контрольный калибр вместе со штоком крепится к подвижной каретке пневматического привода. По команде оператора привод начинает обрабатывать рабочий ход, проталкивая калибр по каналу цилиндра с остановками в заранее определенных сечениях, которые задаются датчиками положения, расположенными на боковой поверхности привода. После остановки происходит считывание размеров сечения. Система управления автоматически выделяет максимальный и минимальный размеры в сечении и выводит их на экран монитора, где одновременно прорисовывается профиль контролируемой поверхности. По завершении цикла

контроля система управления приводит каретку привода в исходное положение, а на экране монитора отображаются: максимальный и минимальный размеры по всем контролируемым сечениям, гистограмма профиля поверхности, заключение о годности цилиндра.

Для перехода на другой типоразмер цилиндров необходимо установить на стенд соответствующий калибр и провести настройку по установочным кольцам. При этом система управления проведет самотестирование и укажет уровень погрешности измерения, который автоматически сравнивается с допустимой погрешностью. В процессе работы система управления автоматически предохраняет установку от аварийных нагрузок и останавливает привод в случае их возникновения.

В ОАО «НИИИзмерения» (г. Москва) разработан электронно-механический прибор модели БВ-7648, предназначенный для контроля отклонения от прямолинейности осей отверстий труб погружных электродвигателей и насосов (табл. 5.7).

Измерительное устройство прибора представляет собой двухопорный мостик, базирующийся по образующей контролируемого отверстия с расположенным посередине между опорами мостика измерительным наконечником. Контроль отклонения от прямолинейности выполняется путем измерения и последующей математической обработки радиальных перемещений наконечника, вызванных отклонениями образующей отверстия от прямой линии, при перемещении (трассировании) измерительного устройства вдоль оси отверстия. При этом измерение радиальных перемещений наконечника осуществляется индуктивной измерительной системой, содержащей индуктивный преобразователь линейных перемещений. Фиксация отсчетов этой системы выполняется с постоянным по длине отверстия шагом по сигналам фотоэлектрической измерительной системы, измеряющей осевую координату наконечника.

Перемещение измерительного устройства по длине контролируемого отверстия выполняется вручную при помощи устройства перемещения, снабженного фотоэлектрическим растровым преобразователем угловых перемещений.

Обработку полученных при трассировании данных и индикацию результатов контроля выполняет микропроцессорным электронным блоком, который обеспечивает также распечатку на принтере протокола контроля и графика формы образующей отверстия. При необходимости результаты контроля могут быть переданы в персональный компьютер.

**5.7. Основные технические характеристики прибора мод. БВ-7648**

Технические характеристики	Значения
Диаметр контролируемых отверстий, мм	80; 90; 100; 105
Допускаемые отклонения диаметра отверстия от номинального, мм:	
нижнее	-0,5
верхнее	+1,0
Длина детали, мм	≤ 6000
Шероховатость поверхности отверстия, мкм	$Ra \leq 6,3$
Толщина стенки детали, мм	≥ 5,5
Базовая (нормируемая) длина, мм	1000...2000
Шаг дискретности цифровой индикации:	
отклонений от прямолинейности, мкм	1,0
длины трассирования, мм	1,0
Погрешность измерения ( $\Delta$ — отклонение от прямолинейности), мкм	$2 + \Delta/10$
Шаг измерения, мм	10; 20; 25
Максимальная длина трассирования, мм	2500
Максимальная допускаемая скорость трассирования, м/с	0,25
Измерительное усилие, Н	$2 \pm 0,5$
Масса измерительного устройства, кг	9

В зависимости от длины контролируемого отверстия и расположения участков контроля трассирование может выполняться с одной или с двух сторон отверстия.

### 5.5. КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

В связи со значительной протяженностью поверхностей глубоких отверстий измерение шероховатости, например в середине отверстия, существующими измерительными средствами невозможно. Обычно в таких случаях применяют метод слепков, заключающийся в снятии негативных копий с контролируемых поверхностей.

Наилучшим материалом для получения слепков является масляно-гуттаперчевая смесь, состоящая из 47 % гуттаперчи, 40 % масла и 13 % пека<sup>1</sup> [17]. Массу варят в масле при температуре ниже точки ее кипения. Сначала варят пек, после этого имеющиеся в нем песчинки осаждаются. Затем массу сливают и варят с гуттаперчей, нарезанной мелкими кусочками. После этого полученную массу нарезают кусочками примерно по 10 граммов и нагревают в водяной ванне при температуре 85...100° С.

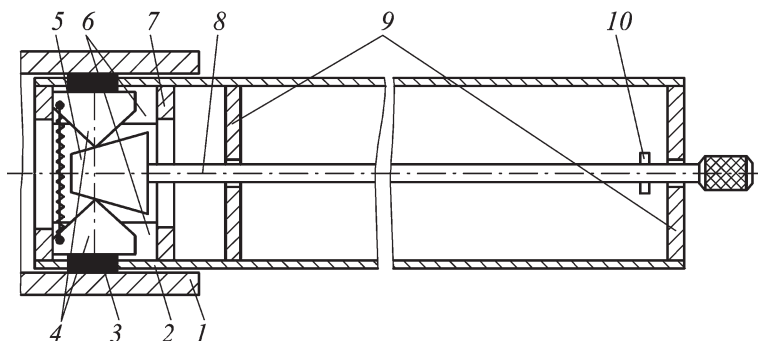
Для снятия слепка внутри отверстия детали *1* используют, например, приспособление, изображенное на рис 5.16 [68]. Оно состоит из трубы *2* с двумя диаметрально расположенными окнами, через которые под действием плоских прижимов *4* выдавливается масляно-гуттаперчевая масса *3*. Прижимы *4* перемещаются в пазах, образуемых четырьмя пластинами *6* при воздействии на них конуса *5*. Перемещение прижимов в осевом направлении ограничивается двумя кольцами *7*. С конусом неподвижно соединен стержень *8*, установленный на трех опорах *9*, расположенных по концам и в середине трубы. Перемещение конуса *5* и стержня *8* ограничивается в осевом направлении штифтом *10*.

Пользуются приспособлением следующим образом. Контролируемую поверхность отверстия очищают бензином. Затем масляно-гуттаперчевой массой заполняют окна так, чтобы труба свободно входила в измеряемое отверстие. Наружную поверхность масляно-гуттаперчевой массы смазывают тонким слоем жидкого смазочного материала, чтобы масса легко отделялась от контролируемой поверхности. Трубу вводят в отверстие на заданную глубину и, перемещая стержень с конусом, выдавливают с помощью прижимов масляно-гуттаперчевую массу до соприкосновения с контролируемой поверхностью. В таком положении приспособление выдерживают не менее 5 мин. Затем конус отводят вправо, вынимают слепок и измеряют на любом приборе для контроля шероховатости. При этом погрешность измерения не превышает 15 % в сторону ее уменьшения [68].

---

<sup>1</sup> Пек — твердое или вязкое аморфное вещество черного цвета, остаток от перегонки дегтей.





**Рис. 5.16. Приспособление для снятия слепков с поверхности глубоких отверстий:**

1 — деталь; 2 — труба; 3 — масляно-гуттаперчевая масса; 4 — прижимы; 5 — конус; 6 — пластины; 7 — кольцо; 8 — стержень; 9 — опоры; 10 — штифт

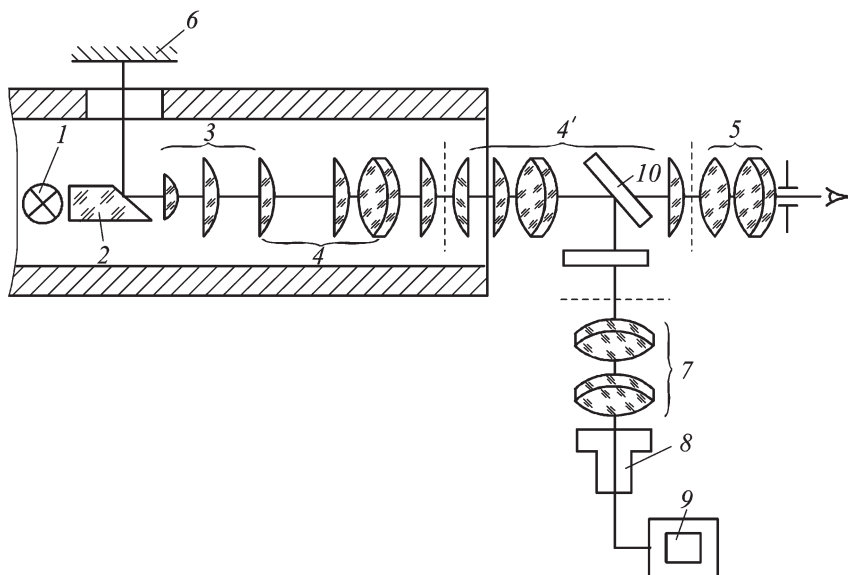
Кроме контроля шероховатости часто возникает потребность в осмотре поверхностей глубоких отверстий с целью обнаружения всевозможных дефектов. Это осуществляется с помощью специальных приборов ревизии внутренних поверхностей (РВП) — технических эндоскопов.

Принцип действия эндоскопа состоит в осмотре контролируемой поверхности с помощью специальной оптической системы, позволяющей передавать изображение на расстоянии. Оптическая схема линзового эндоскопа, получившего широкое применение в промышленности, состоит из источника света 1, освещающего поверхность объекта контроля, сменной призмной или зеркальной насадки 2, изменяющей направление и размеры поля зрения прибора, объектива 3, основной передающей оптической системы 4 и окуляра 5 (рис. 5.17).

Сменная оптическая система 4' служит для увеличения длины прибора или подключения телевизионной системы наблюдения, состоящей из видикона 8 и монитора 9. Зеркало 10 и объектив 7 предназначены для проектирования изображения поверхности объекта контроля б на мишень видикона 8.

С помощью сменных призмных насадок 2 можно осуществлять наблюдение с кольцевым полем обзора (при поиске дефектов во время предварительного осмотра) или с боковым направлением визирования (при детальном изучении поверхностей).

Конструктивно линзовые эндоскопы выполнены в виде корпуса цилиндрической формы, внутри которого размещены все элементы



**Рис. 5.17. Оптическая схема линзового эндоскопа:**

1 — источник света; 2 — сменная насадка; 3 — объектив; 4 — основная оптическая система; 4' — сменная оптическая система; 5 — окуляр; 6 — контролируемая поверхность; 7 — объектив; 8 — видеон; 9 — монитор; 10 — зеркало

прибора. Обычно в комплект входит несколько трубок. На корпусе прибора нанесена шкала для определения местоположения дефекта по длине изделия. Эндоскопами некоторых моделей можно фотографировать дефекты с помощью фотопроставки.

Линзовые эндоскопы обычно имеют жесткую конструкцию. Однако есть приборы, имеющие участки корпуса с гибкой оболочкой, изгибающиеся в пределах  $5...10^\circ$ . Параметры некоторых моделей отечественных эндоскопов приведены в табл. 5.8.

Линзовыми эндоскопами можно обнаруживать царапины, трещины, коррозионные пятна, выбоины и другие дефекты размерами  $0,03...0,08$  мм в отверстиях длиной до 10 000 мм и диаметром  $5...100$  мм и более. Имеются приборы, которые могут определять не только размеры, но и глубину дефектов методом светового сечения с помощью специальной насадки (точность измерения  $\pm 0,02$  мм).

5.8. Технические характеристики отечественных линзовых эндоскопов

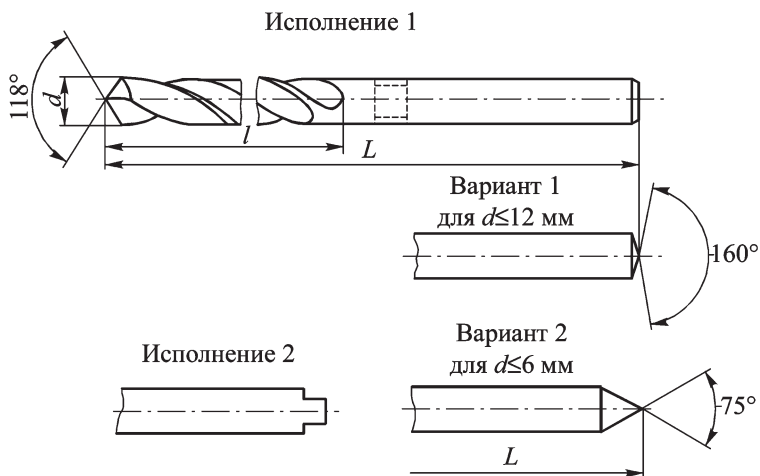
Модель	Увеличение объектива		Поле зрения, градусы		Разрешающая способность, мм <sup>-1</sup>		Глубина наблюдения, м	Диаметр отверстий контрольных изделий, мм	Габаритные размеры (длина/диаметр), мм	Масса, кг	Число трубок
	Кругового обзора	Бокового обзора	Объективного зора	Объективного зора	Объективного зора	Объективного зора					
РВП-451	3,3...5,3	6,9...11,7	45	35	17 (на расстоянии 32 мм)	25 (на расстоянии 30 мм)	1,5...7,5	38...60	7500/60	8	5
РВП-452	4,5...5,7	12,7...15,8	30	30	23 (на расстоянии 17 мм)	—	1,5...7,5	24...30	7500/30	6	5
РВП-456	0,8...7,3	1,1...10,4	70	70	5 (на расстоянии 205 мм)	5	1,5...6,0	37...400	6500/47	5	4
РВП-457	2,2...4,5	3,2...6,4	50	50	12 (на расстоянии 15 мм)	12	0,7...2,1	15...30	2500/14,5	1,8	3
РВП-461	0,8...4,6	0,9...5,4	—	—	7 (на расстоянии 33 мм)	7	3,3...16,5	60...830	17200/75	19	5

Окончание табл. 5.8

Модель	Увеличение объектива		Поле зрения, градусы		Разрешающая способность, мм <sup>-1</sup>		Глубина наблюдения, м	Диаметр отверстий контролируемых изделий, мм	Габаритные размеры (длина/диаметр), мм	Масса, кг	Число трубок
	Кругового обзора	Бокового обзора	Объектив кругового обзора	Объектив бокового обзора	Объектив кругового обзора	Объектив бокового обзора					
РВП-465	3,2...5,6	4,5...15,6	—	—	70 (на расстоянии 9 мм)	—	1,8...3,7	18,6	4000/34	3,43	4
РВП-467	3,5...6,0	—	72	—	30 (на расстоянии 6,7 мм)	30	4,2	9...15	4500/23	1,35	1
РВП-469	3,6...9,0 2,6...6,6	—	74°35'	—	35 (на расстоянии 11,5 мм)	25	4,2	15...37	4500/30	1,7	1
РВП-470	0,7...2,2	—	24 69	—	12 (на расстоянии 100 мм)	12	7	34	7200/32	6,5	2

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### 1. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ. ДЛИННАЯ СЕРИЯ (ГОСТ 886–77)



$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
1,00	52	29
1,10	56	33
1,20	60	37
1,30		
1,40	70	45
1,50		
1,60	76	50
1,70		
1,80	80	53
1,90		

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
1,95	85	56
2,00		
2,05		
2,10		
2,15	90	59
2,20		
2,25		
2,30		
2,35		

Продолжение П. 1

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм		
2,40	95	62	4,10	119	78		
2,45			4,20				
2,50			4,25				
2,55			100	66	4,30	126	82
2,60					4,40		
2,65					4,50		
2,70					4,60		
2,75	4,70						
2,80	106	69	4,80	132	87		
2,85			4,90				
2,90			5,00				
2,95			5,10				
3,00			5,20				
3,10	112	73	5,30	139	91		
3,15			5,40				
3,20			5,50				
3,30			5,60				
3,35			5,70				
3,40	119	78	5,80	148	97		
3,50			5,90				
3,60			6,00				
3,70			6,10				
3,80			6,20				
3,90	119	78	6,30	148	97		
4,00			6,30				

Продолжение П. 1

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
6,40	148	97	8,80	175	115
6,50					
6,60					
6,70					
6,80	156	102	9,00		
6,90					
7,00					
7,10					
7,20					
7,30					
7,40					
7,50					
7,60	165	109	9,50	184	121
7,70					
7,80					
7,90					
8,00					
8,10					
8,20					
8,30					
8,40	175	115	9,60	195	128
8,50					
8,60					
8,70					
			9,70		
			9,80		
			9,90		
			10,00		
			10,10		
			10,20		
			10,30		
			10,40		
			10,50		
			10,60		
			10,70		
			10,80		
			10,90		
			11,00		
			11,10		

*Продолжение П. 1*

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
11,20	195	128	13,60	214	140
11,30			13,70		
11,40			13,75		
11,50			13,80		
11,60			13,90		
11,70			14,00		
11,80			205	134	14,25
11,90	14,50				
12,00	14,75				
12,10	15,00	227			149
12,20	15,25				
12,30	15,40				
12,40	15,50				
12,50	15,75				
12,60	214	140	16,00	235	154
12,70			16,25		
12,80			16,50		
12,90			16,75		
13,00			17,00	241	158
13,10			17,25		
13,20	17,40				
13,30	17,50				
13,40	214	140	17,75	241	158
13,50			18,00		



*Продолжение П. 1*

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
18,25	247	162
18,50		
18,75		
19,00		
19,25	234	166
19,40		
19,50		
19,75		
20,00		
20,25	261	177
20,50		
20,75		
21,00		
21,25		
21,50	268	176
21,75		
22,00		
22,25		
22,50		
22,75	275	180
23,00		
23,25		
23,50		

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
23,75	282	185
24,00		
24,25		
24,50		
24,75		
25,00	290	190
25,25		
25,50		
25,75		
26,00		
26,25	298	195
26,50		
26,75		
27,00		
27,25		
27,50	307	201
27,75		
28,00		
28,25		
28,50		
28,75		
29,00		

Окончание П. 1

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
29,25	307	201	30,50	325	213
29,50			30,75		
29,75			31,00		
30,00			31,25		
30,25	325	213	31,50		

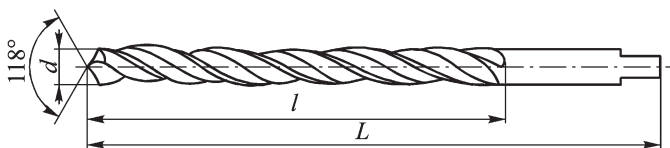
Примечания. 1. Сверла изготавливаются: повышенной точности класса А1 и нормальной точности классов В1 и В2 (исполнение 1 и исполнение 2).

2. Центровые отверстия — по ГОСТ 14034–74. Допускается изготовление сверл без центровых отверстий.

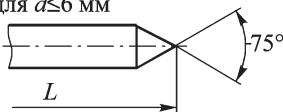
3. Технические требования — по ГОСТ 2034–80.

4. Конструктивные элементы и геометрические параметры режущих элементов сверл — по ГОСТ 4010–77.

## 2. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С КОРОТКИМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ. ДЛИННАЯ СЕРИЯ (ГОСТ 12122-77)



Вариант  
для  $d \leq 6$  мм



$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
1,00	48	26
1,05		
1,10		
1,15	50	28
1,20		
1,25	52	30
1,30		
1,35		
1,40	55	33
1,45		
1,50		
1,55	58	35
1,60		
1,65		
1,70		

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
1,75	62	38
1,80		
1,85		
1,90	66	41
1,95		
2,00		
2,05	74	44
2,10		
2,15		
2,20		
2,25		
2,30	74	44
2,35		
2,40		
2,45		

Продолжение П. 2

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм		
2,50	74	44	(4,25)	96	64		
2,55			70	47	4,30	102	69
2,60					4,40		
2,65	4,50						
2,70	79	51	4,60	108	74		
2,75			4,70				
2,80			4,80				
2,85			4,90				
2,90			5,00				
2,95			5,10				
3,00			5,20				
3,10	84	55	5,30	116	80		
(3,15)			5,40				
3,20			5,50				
3,30			5,60				
(3,35)			5,70				
3,40	91	60	5,80	124	86		
3,50			5,90				
3,60			6,00				
3,70			6,10				
3,80	96	64	6,20	124	86		
3,90			6,30				
4,00			6,40				
4,10			6,50				
4,20			6,60				

Окончание П. 2

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
6,70	124	86	8,70	151	107
6,80	133	93	8,80		
6,90			8,90		
7,00			9,00		
7,10			9,10		
7,20			9,20		
7,30			9,30		
7,40			9,40		
7,50			9,50		
7,60			142		
7,70				9,70	
7,80	9,80				
7,90	9,90				
8,00	10,00				
8,10	10,10				
8,20	10,20				
8,30	10,30				
8,40	10,40				
8,50	10,50				
8,60	151	107	10,60	162	116

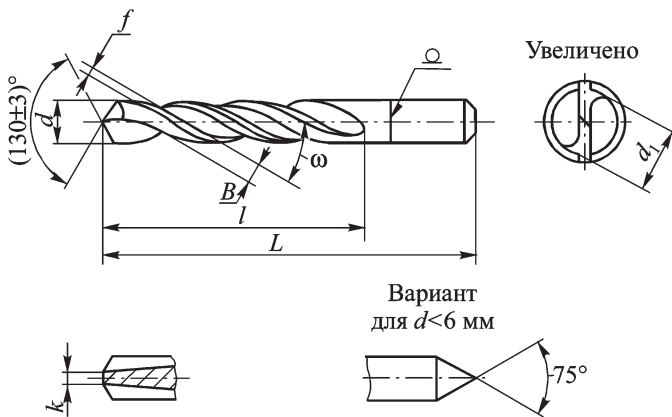
Примечания. 1. Сверла изготавливаются: повышенной точности класса А1 и нормальной точности классов В1 и В2.

2. Центровые отверстия — по ГОСТ 14034–74. Допускается изготовление сверл без центровых отверстий.

3. Технические требования — по ГОСТ 2034–80.

4. Конструктивные элементы и геометрические параметры режущих элементов сверл — по ГОСТ 4010–77.

**3. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ  
ХВОСТОВИКОМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ.  
ДЛИННАЯ СЕРИЯ (ГОСТ 19544–74)**



Вариант  
для  $d < 6$  мм

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклонной винтовой канавки $\omega$ , град
1,95	85	56	1,75	0,9	0,55	0,30	36
2,00			1,80				
2,05			1,85				
2,10			1,90				
2,15	90	59	1,95	1,0	0,60	0,35	
2,20			2,00				
2,25			2,05				
2,30			2,10				
2,35			2,15	1,1			

Продолжение П. 3

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\omega$ , град
2,40	95	62	2,20	1,1	0,60	0,35	36
2,45			2,25				
2,50			2,30				
2,55			2,35	1,2			
2,60			2,40				
2,65			2,45				
2,70	100	66	2,50	1,3	0,70	0,35	38
2,75			2,55				
2,80			2,60				
2,85			2,65	1,4			
2,90			2,70				
2,95			2,75				
3,00	106	69	2,80	1,5	0,80	0,35	38
(3,15)			2,85				
3,20			2,90				
3,30			3,00				
(3,35)			3,10				
3,40			112	73			

Продолжение П. 3

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\omega$ , град	
3,50	112	73	3,20	1,6	0,80	0,35	38	
3,60			3,30		0,85			
3,70				1,7				0,90
3,80	119	78	3,40		1,8			
3,90			3,50					
4,00				3,60	0,95			
4,10			3,70					
4,20	1,9	3,80	0,95					
(4,25)								
4,30	126	82	3,90	2,0	1,00	0,40	40	
4,40			4,00					
4,50				4,10				2,1
4,60			4,20					
4,70								
4,80	132	87	4,35	2,2	1,05			
4,90			4,45					
5,00								4,50
5,10			4,60	2,3				
5,20								4,70



Продолжение П. 3

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\phi$ , град
5,30	132	87	4,80	2,3	1,05	0,40	40
5,40	139	91	4,90	2,4			
5,50			5,00				
5,60			5,10				
5,70			5,20	2,5			
5,80			5,30				
5,90			5,40	2,6			
6,00			5,50				
6,10			148	97	5,60	2,7	
6,20	2,8						
6,30		5,70					
6,40		5,80					
6,50	5,90	2,9					
6,60	6,00						
6,70	6,10	3,0					
6,80	6,20						
6,90	156	102	6,30	3,2	1,10		
7,00			6,40				
7,10			6,50	3,3	1,20		

Продолжение П. 3

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\phi$ , град
7,20	156	102	6,60	3,3	1,20	0,50	40
7,30			6,70	3,4			
7,40							
7,50			6,90				
7,60	165	109	7,00	3,5	1,30	0,55	
7,70			7,10				
7,80			7,20	3,6			
7,90			7,30				
8,00			7,40	3,7			
8,10			7,50				
8,20			7,60	3,8			
8,30			7,70				
8,40	7,80	3,9	1,40				
8,50	7,90						
8,60	175	115		8,00			
8,70				8,10	4,0		
8,80			8,20				
8,90			8,30				
9,00							

Продолжение П. 3

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\phi$ , град
9,10	175	115	8,30	4,1	1,50	0,60	40
9,20			8,40				
9,30			8,50				
9,40			8,60	4,2			
9,50			8,70				
9,60	184	121	8,80	4,3	1,6		
9,70			8,90				
9,80			9,00				
9,90			9,10	4,4	1,7		
10,00			9,20				
10,10			9,30	4,5			
10,20			9,40				
10,30			9,50				
10,40			9,60	4,6			
10,50			9,70				
10,60	9,80	4,7	1,8	0,70			
10,70	195				128	9,90	
10,80						10,00	
10,90						10,10	4,8

Окончание П. 3

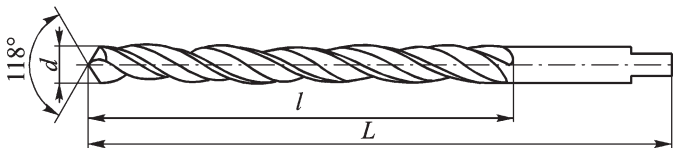
$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d_1$ , мм	$B$ , мм	$k$ , мм	$f$ , мм	Угол наклона винтовой канавки $\omega$ , град
11,00	195	128	10,20	4,8	1,8	0,70	40
11,10			10,30	4,9	1,9		
11,20			10,40				
11,30			10,50				
11,40			10,60	5,0			
11,50			10,70				
11,60			10,80				
11,70			10,90	5,1			
11,80			11,00				
11,90			205	134			
12,00	11,20						

Примечания. 1. Центровые отверстия — по ГОСТ 14034–74.

2. Технические требования — по ГОСТ 19548–88.

3. Геометрические параметры режущей части сверл, формы заточки и профиль инструмента для обработки стружечных канавок сверл — по ГОСТ 19543–74.

#### 4. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ (ТУ 2-035-402-75)



d, мм	Исполнение 1		Исполнение 2	
	L, мм	l, мм	L, мм	l, мм
2,00	120	50	140	55
2,15				
2,20				
2,50				
2,85				
2,90				
2,95				
3,00				
3,15				
3,20				
3,35				
3,40	130	70	150	75
3,50				
3,60				
3,70				

d, мм	Исполнение 1		Исполнение 2	
	L, мм	l, мм	L, мм	l, мм
3,80	130	70	150	75
3,90				
4,00				
4,50				
4,80				
4,90				
5,00	160	85	180	85
5,50				
6,00				
6,20				
6,30	230	90	250	100
6,50				
6,70				
7,00				

Окончание П. 4

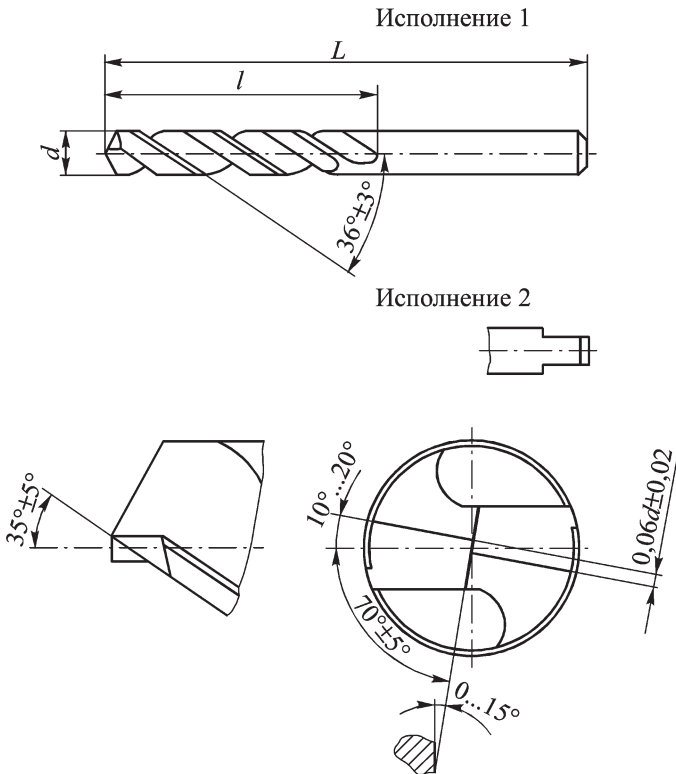
$d$ , мм	Исполнение 1		Исполнение 2	
	$L$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
7,10	250	100	280	110
7,30				
7,60				
7,70				
7,80				

$d$ , мм	Исполнение 1		Исполнение 2	
	$L$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
8,00	250	100	280	110
8,10	280	110	300	120
8,50				
8,60				
9,00				

Примечания. 1. Конструктивные элементы и геометрические параметры — по ГОСТ 4010–77.

2. Технические требования — по ГОСТ 2034–80Е.

**5. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ  
ОТВЕРСТИЙ В ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЯХ  
(ТУ 2-035-731-80)**



<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
4,5	139	87
4,7		
5,0		
5,5	148	91
6,0		

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм
6,3	156	97
6,5		
7,0		
7,3	165	109
7,5		

Окончание П. 5

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
7,7	175	115	9,3	205	140
8,0			9,5		
8,5	184	121	9,6		
9,0			10,0		

Сверла предназначены для сверления отверстий глубиной до  $12d$  в труднообрабатываемых и жаропрочных сталях и имеют специальную заточку.

Обрабатываемый материал	$2\varphi$ , град	$\gamma$ , град	Подточка поперечной кромки, мм	Подточка направляющей ленточки, мм
Жаропрочные сплавы	125...130	5	$(0,1...0,12)d$	—
Титановые сплавы	130...135	5	$(0,08...0,1)d$	$l_1 \approx d$
Высокопрочные конструкционные стали	130...135	0	$(0,12...0,14)d$	—

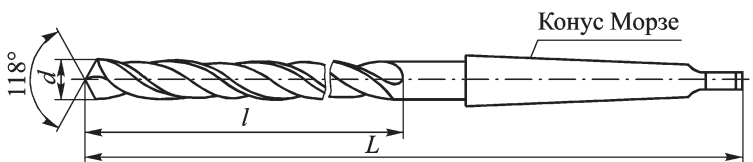
Ориентировочные режимы резания при обработке стали марки X18H9T — по ГОСТ 5632–72 ( $\sigma_b = 550...600$  МПа):

Скорость резания, м/мин	15...20
Подача, мм/об	0,05...0,12
Применение охлаждения — обязательно	

Основные параметры, размеры и технические требования — по ТУ 2–035–731–80.



## 6. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ ДЛИННЫЕ С КОНИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ (ГОСТ 12121–77)



Вариант исполнения  
сверл с шейкой



$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
5,00	155	74	1
5,10			
5,20			
5,30			
5,40	161	80	
5,50			
5,60			
5,70			
5,80			
5,90			
6,00	167	86	
6,10			

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
6,20	167	86	1
6,30			
6,40			
6,50			
6,60			
6,70	174	93	
6,80			
6,90			
7,00			
7,10			
7,20			
7,30			

Продолжение П. 6

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе
7,40	174	93	1	9,40	188	107	1
7,50				9,50			
7,60	181	100		9,60	197	116	
7,70				9,70			
7,80				9,80			
7,90				9,90			
8,00				10,00			
8,10				10,10			
8,20				10,20			
8,30				10,30			
8,40	10,40						
8,50	10,50						
8,60	188	107		10,60	206	125	
8,70				10,70			
8,80				10,80			
8,90				10,90			
9,00				11,00			
9,10				11,10			
9,20			11,20				
9,30	11,30						

Продолжение П. 6

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	
11,40	206	125	1	13,40	223	142	1	
11,50				13,50				
11,60				13,60				
11,70				13,70				
11,80				13,80				
11,90	215	134		13,90	245	147		2
12,00				14,00				
12,10				14,25				
12,20				14,50				
12,30				14,75				
12,40				15,00				
12,50				(15,40)	251	15,25	257	159
12,60						15,50		
12,70						15,75		
12,80						16,00		
12,90	16,25							
13,00	223	142		16,50	257	159		
13,10				16,75				
13,20				16,75				
13,30								

Продолжение П. 6

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	
17,00	257	159	2	21,25	289	191	2	
17,25	263	165		21,50				
(17,40)				21,75				
(17,50)				22,00				
17,75				22,25				
18,00				22,50				
18,25	269	171		22,75	296	198		
18,50				23,00				
18,75				23,25				
19,00				319	23,50			
19,25					23,75			
(19,40)	275	177		23,90	327	206		3
19,50				24,00				
119,75				24,25				
20,00				24,50				
20,25			24,75					
20,50	282	184	25,00	335	214			
20,75			25,25					
(20,90)			25,50					
21,00			25,75					

*Продолжение П. 6*

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе
26,00	335	214	3	31,00	360	239	3
26,25							
26,50							
26,75	343	222		31,75	369	248	4
27,00							
27,25							
27,50							
27,75							
28,00	351	230		32,00	397	257	
28,25							
28,50							
28,75							
29,00							
29,25							
29,50							
29,75	360	239	34,00	406	267		
30,00							
30,25							
30,50	360	239	34,25	416	267		
30,75							
				34,50			
				35,00			
				35,50			
				36,00			
				36,50			
				36,75			
				37,00			
				37,50			
				38,00			
				38,50			

Окончание П. 6

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе	$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
39,00	426	277	4	44,50	447	298	4
39,50				45,00			
39,75				45,50			
40,00				46,00			
40,50	436	287		46,25	459	310	
41,00				46,50			
41,50				47,00			
42,00				47,50			
42,25				48,00			
42,50				48,50			
43,00	447	298		49,00	470	321	
43,50				49,50			
44,00			50,00				

Примечания. 1. Сверла изготавливаются: повышенной точности класса А1 и нормальной точности классов В1 и В2.

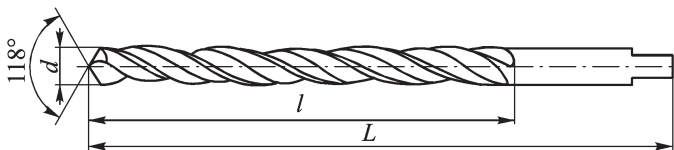
2. Размеры конусов Морзе — по ГОСТ 25557—2006.

3. Технические требования — по ГОСТ 2034—80.

4. Сверла могут выполняться как с шейкой, так и без нее. Размеры шейки не регламентируются.

5. Конструктивные элементы и геометрические параметры режущих элементов сверл — по ГОСТ 4010—77.

**7. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ  
ХВОСТОВИКОМ. СВЕРХДЛИННАЯ СЕРИЯ (ТУ 2-035-600-77)**



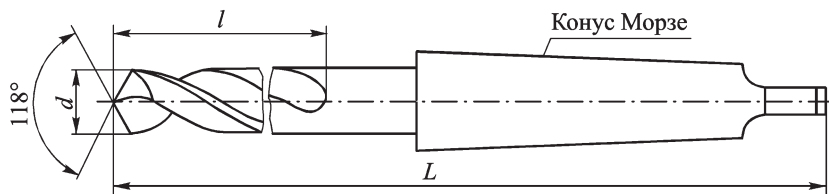
$d$ , мм	Исполнение 1		Исполнение 2		Исполнение 3	
	$L$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
6,1	290	100, 130, 160	320	120, 160, 200	350	150, 180, 230
6,2						
6,3						
6,5						
6,6	310	110, 150, 180	350	120, 160, 200	370	180, 220, 260
6,7						
6,8						
6,9						
7,0	320	100, 120, 200	370	150, 180, 210	410	200, 230, 260
7,2						
7,5						
7,7						
7,9						
8,0	400	150, 250, 300	450	100, 200, 300	500	200, 300, 350
8,2						
8,4						

Окончание П. 7

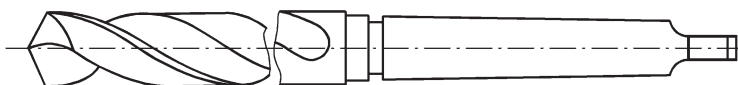
$d$ , мм	Исполнение 1		Исполнение 2		Исполнение 3	
	$L$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм
8,5						
8,7						
8,8						
8,9						
9,0						
9,2	400	150, 250, 300	450	100, 200, 300	500	200, 300, 350
9,5						
9,6						
9,7						
9,9						
10,0						



## 8. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ УДЛИНЕННЫЕ С КОНИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ (ГОСТ 2092–77)



Вариант исполнения  
сверл с шейкой



d, мм	L, мм	l, мм	Конус Морзе	d, мм	L, мм	l, мм	Конус Морзе		
6,00	225	145	1	7,30	235	155	1		
6,10				7,50					
6,20				7,60					
6,30				230	150	7,70		240	160
6,40	7,80								
6,50	7,90								
6,60	8,00								
6,70	8,10								
6,80	8,20								
6,90	235	155		8,30	240	160			
7,00				8,40					
7,10				8,50					
7,20				8,60					

Продолжение П. 8

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе
8,70	245	165		10,90	255	175	
8,80				11,00			
8,90				11,10			
9,00				11,20			
9,10				11,30			
9,20				11,40			
9,30				11,50			
9,40				11,70			
9,50				11,80			
9,60				250			
9,70	12,00						
9,80	12,10						
9,90	12,20						
10,00	12,30						
10,10	12,40						
10,20	12,50						
10,30	12,60						
10,40	12,70						
10,50	12,80						
10,60	255	175		13,00			
10,70				13,10			
10,80				13,20			

Продолжение П. 8

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе
13,30	265	185	1	18,00	305	205	2
13,50				310	210	18,25	
13,70						18,50	
13,80						18,75	
14,00						19,00	
14,25	290	190	2	19,25	320	220	
14,50				19,40			
14,75				19,50			
15,00				19,75			
15,25	295	195		20,00			
15,40				330	230	20,25	
15,50						20,50	
15,75						20,75	
16,00						20,90	
16,25	300	200		21,00	335	235	
16,50				21,25			
16,75				21,50			
17,00				22,00			
17,25	305	205		22,25			
17,40				22,50			
17,50				22,75			
17,75				23,00			

Окончание П. 8

<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе	<i>d</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>l</i> , мм	Конус Морзе
23,25	360	240	3	26,50	375	255	3
23,50				26,75			
23,75	365	245		27,00	385	265	
23,90				27,25			
24,00				27,50			
24,25				27,75			
24,50				28,00			
24,75				395			
25,00	28,50						
25,25	28,75						
25,50	29,00						
25,75	29,25						
26,00	29,50						
26,25			30,00				

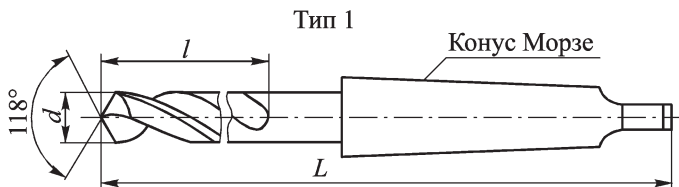
Примечания. 1. Размеры конусов Морзе — по ГОСТ 25557–2006.

2. Технические требования — по ГОСТ 2034–80.

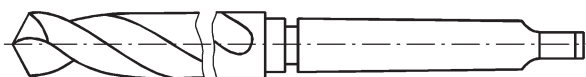
3. Сверла могут выполняться как с шейкой, так и без нее. Размеры шейки не регламентируются.

4. Конструктивные элементы и геометрические параметры режущих элементов сверл — по ГОСТ 4010–77.

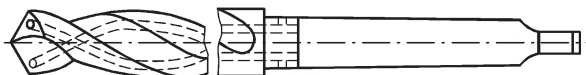
**9. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С КОНИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ  
И УДЛИНЕННОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЮ, БЕЗ ПОДВОДА  
И С ПОДВОДОМ СОЖ (ТУ 2–035–721–80)**



Вариант исполнения сверла с шейкой



Тип 2



$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
Без подвода СОЖ (тип 1)			
10	210	130	1
	255	175	
	300	220	
	350	270	
	400	220	
11	220	140	
	255	175	
	300	220	
	350	270	

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
11	400	270	1
12	230	150	
	255	175	
	300	220	
	350	270	
	400	270	
13	230	150	
	255	175	
	300	220	
	350	270	

Продолжение П. 9

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе	$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
13	400	270	1	20	350	250	2
14	230	150			400	300	
	255	175			450	300	
	300	220		21	300	200	
	350	270			350	250	
	400	270			400	300	
15	250	150	450	300			
	300	200	22	300	200		
	350	250		350	250		
	400	300		400	300		
	450	300		450	300		
16	250	150		23	300	200	
	300	200	350		250		
	350	250	400		300		
	400	300	450		300		
	450	300	32		350	200	
19	250	150		400	235		
	300	200		450	300		
	350	250		500	350		
	400	300		550	400		
	450	300		600	400		
20	300	200	33	350	200	4	

Продолжение П. 9

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе	$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
33	400	235	4	37	400	250	4
	450	300			450	300	
	500	350			500	350	
	550	400			550	400	
	600	400			600	400	
34	350	200		38	400	250	
	400	250			450	300	
	450	300			500	350	
	500	350			550	400	
	550	400			600	400	
	600	400	39		400	250	
350	200	450		300			
400	250	500		350			
450	300	550		400			
500	350	600		400			
550	400	40		400	250		
600	400		450	300			
35	400		250	500	350		
	450		300	550	400		
	500		350	600	400		
	550		400	41	400	250	
	600	400	450		300		
36	400	250	36		41	41	
	450	300					
	500	350					
	550	400					
	600	400					

Продолжение П. 9

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе	$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе	
41	500	350	4	45	600	400	4	
	550	400			400	250		
	600	400			450	300		
42	400	250		46	500	350		
	450	300			550	400		
	500	350			600	400		
	550	400			47	450		300
	600	400				48		450
43	400	250		49	450			300
	450	300			50	400		250
	500	350				450		300
	550	400				500		350
	600	400	550			400		
44	400	250	51	600		400		
	450	300		450	265			
	500	350		500	310			
	550	400		550	370			
	600	400		600	415			
45	400	250	52	450	265			
	450	300		500	310			
	500	350		550	370			
	550	400		600	415			



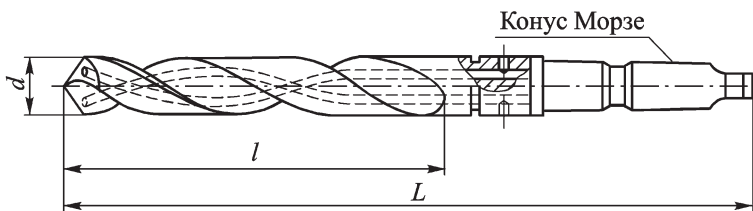
Окончание П. 9

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе	$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе			
54	450	265	5	37	400	240	4			
	500	310		38						
	550	370		39						
	600	415		40						
55	450	265		41	450	290		4		
	500	310		42						
	550	370		43						
	600	415		44						
С отверстиями для подвода СОЖ (тип 2)				45						
32	400	245	4	46						
33				47						
34	400	240		48						
35				49						
36				50						

Примечания. 1. Сверла типа 1 предназначены для сверления глубоких отверстий глубиной до  $27d$ , а типа 2 — до  $6d$ .

2. Основные размеры и технические требования — по ТУ 2–035–721–80, остальные технические требования — по ГОСТ 2034–80.

## 10. СВЕРЛА СПИРАЛЬНЫЕ С ОТВЕРСТИЯМИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ (ТУ 2–035–447–76)

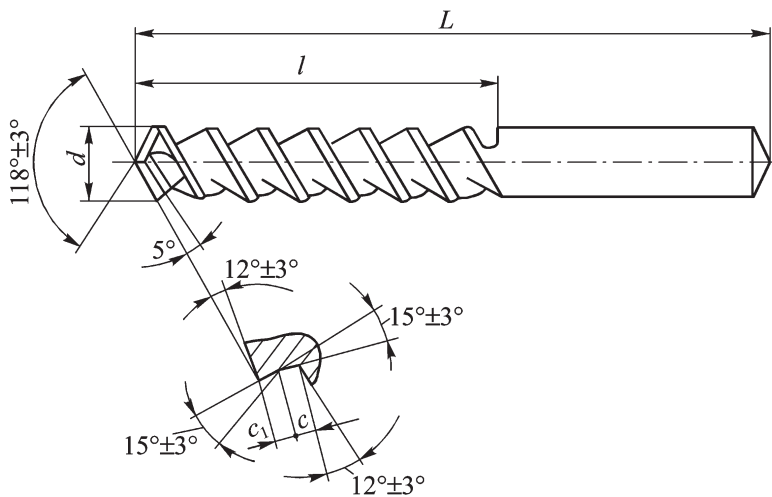


$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
18	258	150	2
19			
19,5			
20			
20,5			
21			
21,5			
22			
23	263	155	3
24	290		
25			

$d$ , мм	$L$ , мм	$l$ , мм	Конус Морзе
26	295	160	3
27	300	170	
28			
29	305	175	
30			
31	310	180	
32	345		
32,5			
33	350	190	
34			
35			

Примечание. Основные размеры, конструктивные элементы и технические требования — по ТУ 2–035–447–76.

## 11. СВЕРЛА ШНЕКОВЫЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ (ТУ 2–035–425–75)



$d$ , мм		$L$ , мм		$l$ , мм		$c$ , мм		$c_1$ , мм	
Но- ми- наль- ное	Откло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение
5,0	-0,03	130	±2,5	85	±3,3	1,2	±0,1	0,8	±0,1
5,1									
5,2									
5,3									
5,4		140	±2,5	85	±3,3	1,2	±0,1	0,8	±0,1
5,5									
5,6									
5,7				90					

Продолжение П. 11

$d$ , мм		$L$ , мм		$l$ , мм		$c$ , мм		$c_1$ , мм									
Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение								
5,8	-0,03	140		90		1,2		0,8									
5,9																	
6,0																	
6,1	-0,036	150				1,5		1,0									
6,2																	
6,3																	
6,4																	
6,5																	
6,6																	
6,7		±2,5			100	±3,3		±0,1	±0,1								
6,8																	
6,9																	
7,0		155					1,8		1,2								
7,1																	
7,2																	
7,3																	
7,5																	
7,6											165			110			
7,7																	

Продолжение П. 11

<i>d</i> , мм		<i>L</i> , мм		<i>l</i> , мм		<i>c</i> , мм		<i>c</i> <sub>1</sub> , мм			
Но- ми- наль- ное	Откло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение		
7,8	-0,036	165		110		1,8		1,2			
7,9											
8,0											
8,1											
8,2											
8,3											
8,4											
8,5											
8,6		±2,5		115		±3,3		±0,1	±0,1		
8,7											
8,8											
8,9											
9,0											
9,1											
9,2		175		115			2,4		1,6		
9,3											
9,4											
9,5											
9,6		185	±2,9	120							

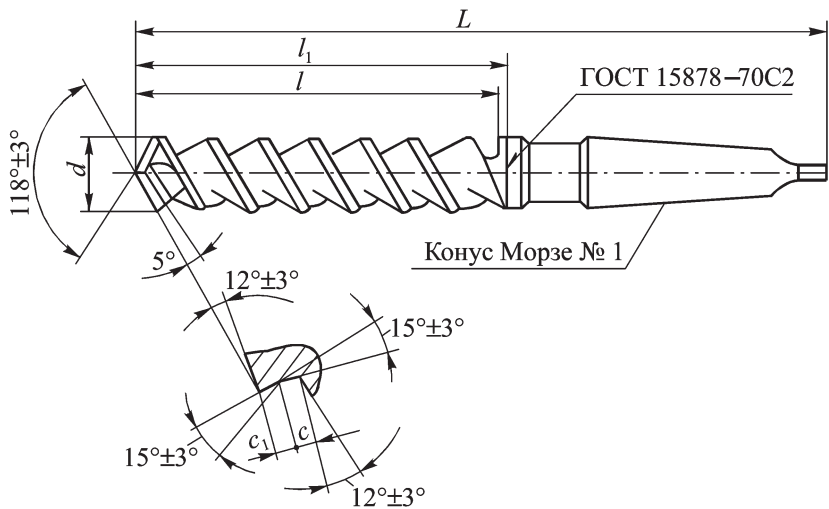
Окончание П. 11

$d$ , мм		$L$ , мм		$l$ , мм		$c$ , мм		$c_1$ , мм	
Но- ми- наль- ное	Откло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение	Но- ми- наль- ное	От- кло- нение
9,7	-0,036	185	±2,9	120	±3,3	2,4	±0,1	1,6	±0,1
9,8									
9,9									
10,0									

Примечания. 1. Сверла предназначены для сверления глубоких отверстий в чугунах.

2. Основные размеры, конструктивные элементы, геометрические параметры и технические требования — по ТУ 2–035–425–75.

## 12. СВЕРЛА ШНЕКОВЫЕ С КОНИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ (ТУ 2-035-426-75)



$d$ , мм		$L$ , мм		$l$ , мм		$l_1$ , мм	$c$ , мм		$c_1$ , мм	
Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение		Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение
10,0	-0,043	250	±2,9	170	±3,75	172	2,4	±0,1	1,6	±0,1
10,1							2,7		1,8	
10,2										
10,3										
10,4										
10,5										
10,6							255		±2,9	
10,7										





Окончание П. 12

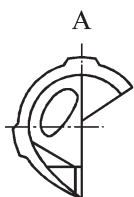
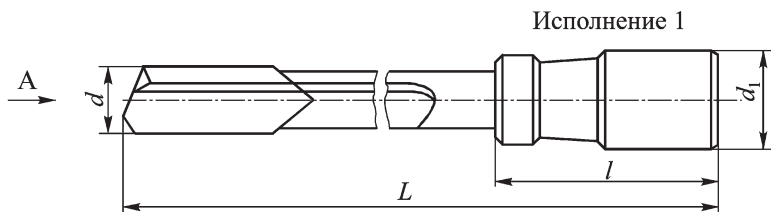
$d$ , мм		$L$ , мм		$l$ , мм		$l_1$ , мм	$c$ , мм		$c_1$ , мм	
Но- ми- наль- ное	От- кло- не- ние	Но- ми- наль- ное	От- кло- не- ние	Но- ми- наль- ное	От- кло- не- ние		Но- ми- наль- ное	От- кло- не- ние	Но- ми- наль- ное	От- кло- не- ние
13,0	-0,043	260	±2,9	180		182	3,0	±0,1	2,0	±0,1
13,1										
13,2										
13,3		265	±3,3	185	±3,75	187				
13,5										
13,7										
13,8										
14,0										

Пр и м е ч а н и я. 1. Сверла предназначены для сверления глубоких отверстий в чугунах.

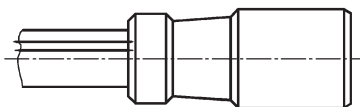
2. Основные размеры, конструктивные элементы, геометрические параметры и технические требования — по ТУ 2-035-426-75.

### 13. СВЕРЛА РУЖЕЙНЫЕ, ОСНАЩЕННЫЕ ЦЕЛЬНОЙ ТВЕРДОСПЛАВНОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЮ (ТУ2-035-655-79)

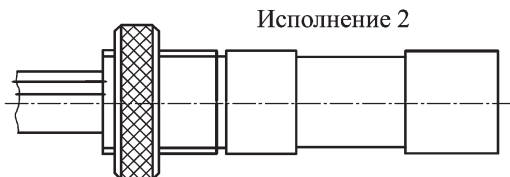
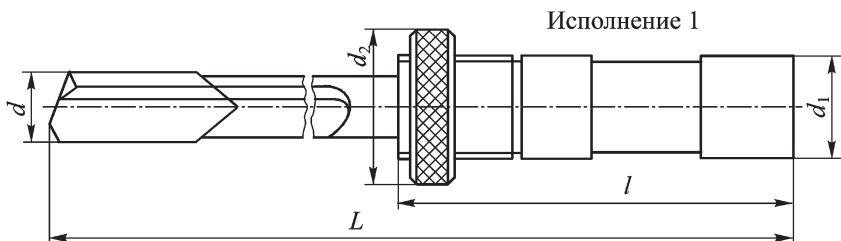
Тип 1



Исполнение 2



Тип 2



Окончание П. 13

d, мм	d <sub>1</sub> , мм		L, мм		l, мм		d <sub>2</sub> , мм
	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	
			Исполнения 1 и 2	Исполнения 1 и 2			
От 4,0 до 5,2	10	—	250, 400, 630	—	40	—	36
Св. 5,2 до 6,0			320, 500, 800				
Св. 6,0 до 6,5		16	320, 500, 800	360, 540, 840		85	
Св. 6,5 до 8,3			400, 630, 1000	440, 670, 1040			
Св. 8,3 до 9,5	16	20	500, 800, 1250	540, 840, 1290	50	40	
Св. 9,5 до 11,0				560, 860, 1310			
Св. 11,0 до 13,5		26	500, 1000, 1600	580, 1060, 1660		115	
Св. 13,5 до 15,3							
Св. 15,3 до 16,5	25	26	630, 1250, 2000	680, 1300, 2050	70	45	
Св. 16,5 до 17,3							
Св. 17,3 до 20,3							

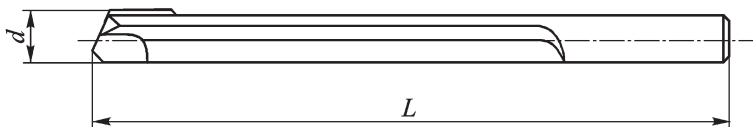
Примечания. 1. Сверла диаметром 4,0...20,3 мм предназначены для сверления отверстий с точностью Н7...Н14 и глубиной до 50 диаметров за один проход в конструкционных, легированных сталях и чугунах.

2. Основные размеры сверл и технические требования — по ТУ 2-035-655-79.

3. Режущая цельная рабочая часть сверла изготавливается из твердого сплава ВК6-М ГОСТ 3882-74, допускается применение твердых сплавов марок ВК6-ОМ, ВК8 по ТУ 2-034-203-83.

4. Стебель изготавливается из труб по ГОСТ 9567-75 (материал — сталь марки 30ХГСА) или труб по ГОСТ 19277-73 (материал — сталь марки 30ХГСА или 40ХН2МА).

#### 14. СВЕРЛА РУЖЕЙНЫЕ, ОСНАЩЕННЫЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ (ТУ 2–035–722–80)



$d$ , мм	$L$ , мм
7,5...9,0	140, 150
Св. 9,0 до 20,0	450, 550, 700
Св. 20,0 до 30,0	550, 850, 1250, 1700

Пр и м е ч а н и я. 1. Сверла предназначены для сверления отверстий с точностью Н8...Н14 и глубиной до 50 диаметров за один проход в деталях из конструкционных и легированных сталей и чугунов.

2. Основные размеры и технические требования на сверла должны соответствовать ТУ 2–035–722–80.

3. Материал режущей и направляющей пластин — твердый сплав марок по ГОСТ 3882–74.

4. Стебель сверла изготавливается из спецпрофиля по ТУ 3–752–77. Допускается изготовление стебля из стали горячекатаной круглой по ГОСТ 2590–88 марки 40Х или из трубы по ГОСТ 8734–75 из стали марки 30ХГСА по ГОСТ 5950–2000.

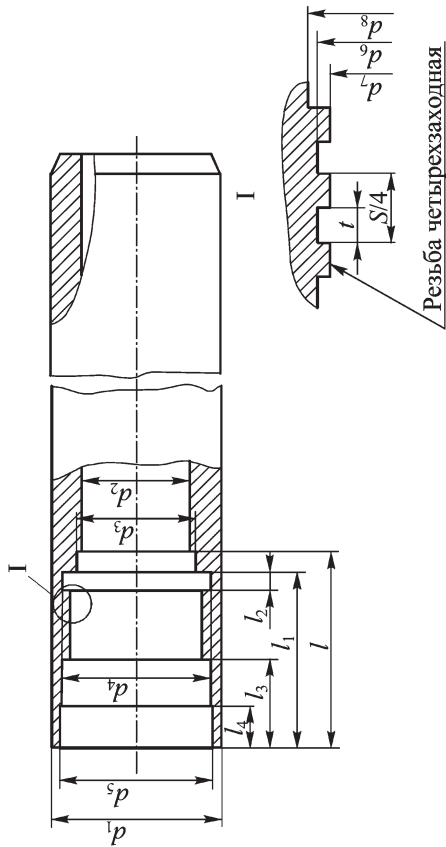
5. Хвостовики изготавливаются из стали 40Х.



Окончание П. 15

$d$ , мм	$L$ , мм	$d_{11}$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
Св. 24,1 до 26,4	54	15	17,5	19,5	18,9	17,7	6,0	18,0	3	22,0	12	1,8
		16	19,0	21,0	20,3	19,2		4	21,5			
Св. 26,4 до 28,7	59	18	21,0	23,5	22,8	21,2	6,0	21,5	4	25,0	16	2,3
		20	23,0	25,5	24,8	23,2						
Св. 31,0 до 33,3	59	22	25,5	28,0	27,3	25,7	6,0	21,5	4	25,0	16	2,3
		24	27,0	30,0	29,3	27,3						
Св. 36,2 до 39,6	69	26	30,0	33,0	32,3	30,3	7,0	26,0	5	30,5	20	2,8
		29	33,0	36,0	35,3	33,3						
Св. 39,6 до 43,0	69	32	36,0	39,6	38,3	36,3	7,0	26,0	5	30,5	20	2,8
		35	39,5	43,0	42,3	39,8						
Св. 43,0 до 47,0	76	39	43,5	48,0	47,3	43,8	7,5	30,5	6	34,5	24	3,3
		81	48,0	51,7	50,2	48,2						
Св. 47,0 до 51,7	76	35	39,5	43,0	42,3	39,8	7,5	30,5	6	34,5	24	3,3
		39	43,5	48,0	47,3	43,8						
Св. 51,7 до 56,2	79	39	43,5	48,0	47,3	43,8	7,5	30,5	6	34,5	24	3,3
		81	48,0	51,7	50,2	48,2						
Св. 56,2 до 60,2	81	39	43,5	48,0	47,3	43,8	7,5	30,5	6	34,5	24	3,3
		81	48,0	51,7	50,2	48,2						

16. СТЕБЛИ СВЕРЛ ТИПА БТА (ТУ 2-035-859-81)



Диаметр сверла $d$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$d_6$ , мм	$d_7$ , мм	$d_8$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
От 20,0 до 21,8	18	13	15,0	17,0	17,7	16,8	15,8	17,1	30	27	4	15,0	8,0	12	1,7
Св. 21,8 до 24,1	20	14	16,0	18,0	18,7	17,8	16,8	18,1							
Св. 24,1 до 26,4	22	15	17,5	19,5	20,5	19,3	18,1	19,6							
Св. 26,4 до 28,7	24	16	19,0	21,0	22,0	20,7	19,6	21,0							

Окончание П. 16

Диаметр сверла $d$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$d_6$ , мм	$d_7$ , мм	$d_8$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
Св. 28,7 до 31,0	26	18	21,0	23,5	24,5	23,2	21,6	23,5				16,0			
Св. 31,0 до 33,3	28	28	23,0	25,5	26,5	25,2	23,6	25,5		30	4		8,0		
Св. 33,3 до 36,2	30	22	25,5	28,0	29,0	27,7	26,1	28,0	33						
Св. 36,2 до 39,6	33	24	27,0	30,0	31,0	29,7	27,7	30,0						16	2,2
Св. 39,6 до 43,0	36	26	30,0	33,0	34,0	32,7	30,7	33,0			5	19,0			
Св. 43,0 до 47,0	39	29	33,0	36,0	37,0	35,7	33,7	36,0	40	36			9,5		
Св. 47,0 до 51,7	43	32	36,0	39,0	40,0	38,7	36,7	39,0							
Св. 51,7 до 56,2	47	35	39,5	43,0	44,0	42,7	40,2	43,0	44	40	6	19,5		24	3,2
Св. 56,2 до 60,0	51	39	43,5	48,0	49,0	47,7	44,2	48,0							

Примечания. 1. Сверла диаметром 20...60 мм предназначены для сверления глубоких отверстий за один проход с точностью Н10...Н12 на специальных станках для глубокого сверления глубиной до 2000 мм и более.

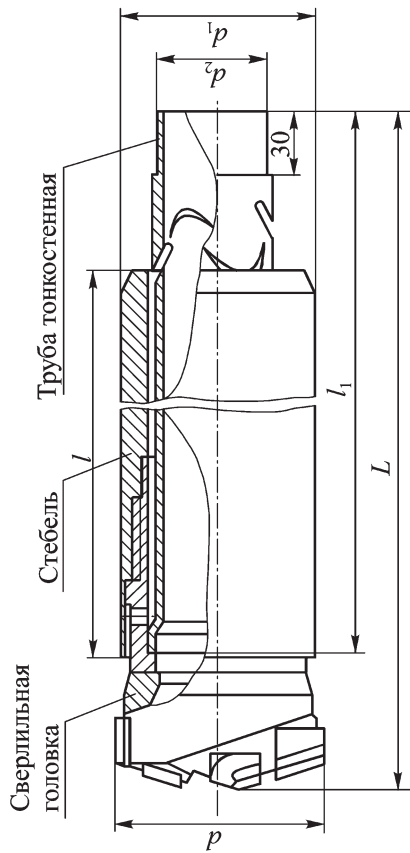
2. Основные размеры и технические требования — по ТУ 2-035-859-81.

3. В зависимости от обрабатываемого материала сверла оснащаются пластинами твердого сплава марок Т5К10, Т15К6, ВК8 — по ГОСТ 3882-74.

4. Обозначения — по ТУ 2-035-859-81.



### 17. СВЕРЛА ЭЖЕКТОРНЫЕ (ТУ 2-035-857-81)



$d$ , мм	$L$ , мм				$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$l$ , мм				$l_1$ , мм			
	Исполнение						Исполнение				Исполнение			
	1	2	3	4			1	2	3	4	1	2	3	4
От 20,0 до 21,8	323	453	683	1123	19,5	11,8	270	400	630	1070	300	430	660	1100

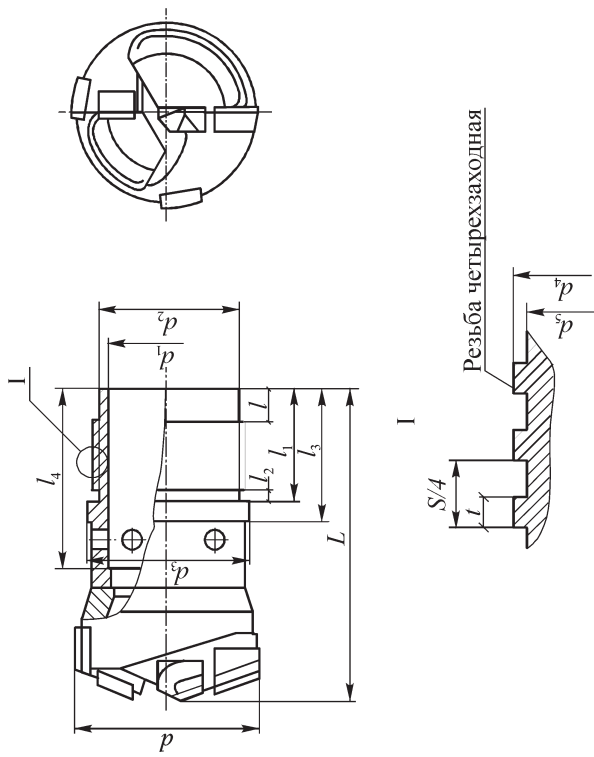


Окончание П. 17

$d$ , мм	$L$ , мм				$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$l$ , мм				$l_1$ , мм							
	Исполнение						Исполнение				Исполнение							
	1	2	3	4			1	2	3	4	1	2	3	4				
Св. 51,7 до 56,2	334	464	694	1134	51,0	35,8												
	336	466	696	1136			270	400	630	1070	300	430	660	1100				

Пр и м е ч а н и е. Допускается изготавливать сверла с размерами  $L$ ,  $l$ ,  $l_1$ , отличающимися от указанных в таблице.

18. ГОЛОВКИ СВЕРЛИЛЬНЫЕ ЭЖЕКТОРНЫХ СВЕРЛ (ТУ 2-035-857-81)



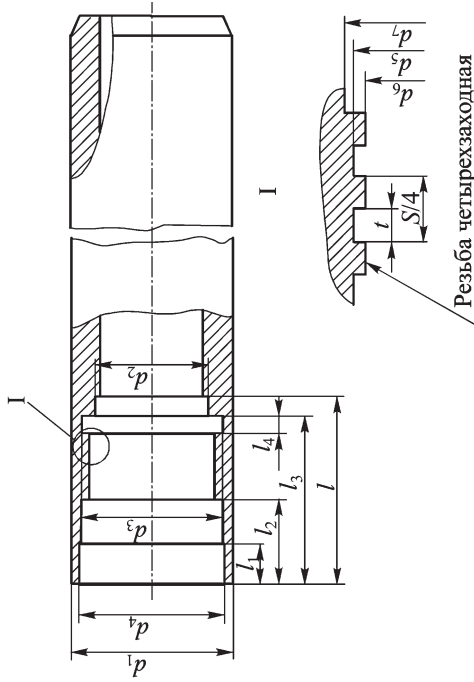
Продолжение П. 18

$d$ , мм	$L$ , мм	$d_1$ , мм	$d_{2s}$ , мм	$d_{3s}$ , мм	$d_{4s}$ , мм	$d_{5s}$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_{3s}$ , мм	$l_{4s}$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
От 20,0 до 21,8	53	14	16,0	18,0	17,4	16,2	6,0	18,0	3	22,0	30	12	1,8
		15	17,5	19,5	18,9	17,7							
Св. 21,8 до 24,1	54	16	19,0	21,0	20,3	19,2	6,0	21,5	4	25,0	33	16	2,3
		18	21,0	23,5	22,8	21,2							
Св. 26,4 до 28,7	59	20	23,0	25,5	24,8	23,2	6,0	21,5	4	25,0	33	16	2,3
		22	25,5	28,0	27,8	25,7							
Св. 28,7 до 31,0	66	24	27,0	30,0	29,3	27,3	7,0	26,0	5	30,5	40	20	2,8
		26	30,0	33,0	32,3	30,3							
Св. 33,3 до 36,2	69	29	33,0	36,0	35,3	33,3	7,0	26,0	5	30,5	40	20	2,8
		32	36,0	39,0	38,3	36,3							
Св. 36,2 до 39,6	71	32	36,0	39,0	38,3	36,3	7,0	26,0	5	30,5	40	20	2,8
Св. 39,6 до 43,0		32	36,0	39,0	38,3	36,3							
Св. 43,0 до 47,0	71	32	36,0	39,0	38,3	36,3	7,0	26,0	5	30,5	40	20	2,8

Окончание П. 18

$d$ , мм	$L$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
Св. 47,0 до 51,7	75	35	39,5	43,0	42,3	39,8							
						43,8							
Св. 51,7 до 56,2	78	39	43,5	47,0	46,3	43,8	7,5	30,5	6	34,5	44	24	3,3
						47,5							
Св. 56,2 до 60,0	80	43	47,5	51,0	50,3	4,7							

### 19. СТЕБЛИ ЭЖЕКТОРНЫХ СВЕРЛ (ТУ 2-035-857-81)



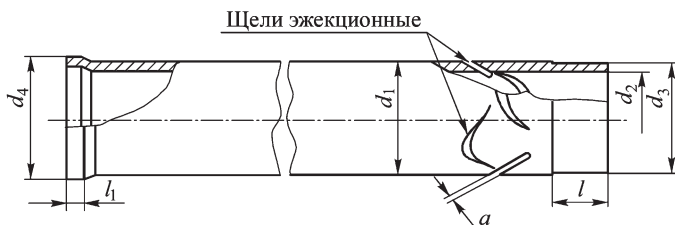
Диаметр сверла $d$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$d_6$ , мм	$d_7$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
От 20,0 до 21,8	19,5	16,0	18,0	18,7	17,8	16,6	18,1	30	8	15	27	4	12	1,7
Св. 21,8 до 24,1	21,5	17,5	19,5	20,5	19,3	18,1	19,5	30	8	15	27	4	12	1,7
Св. 24,1 до 26,4	23,5	19,0	21,0	22,0	20,6	19,6	21,0	30	8	16	27	4	12	1,7

Окончание П. 19

Диаметр сверла $d$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$d_5$ , мм	$d_6$ , мм	$d_7$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм
	26,0	21,0	23,5	24,5	23,2	21,6	23,5							
Св. 26,4 до 28,7	26,0	21,0	23,5	24,5	23,2	21,6	23,5							
Св. 28,7 до 31,0	28,0	23,0	25,5	26,5	25,2	23,6	25,5	33	8	16	30	4	16	2,2
	30,5	25,5	28,0	29,0	27,7	26,1	28,0							
Св. 31,0 до 33,3	30,5	25,5	28,0	29,0	27,7	26,1	28,0							
	33,0	27,0	30,0	31,0	29,7	27,7	30,0							
Св. 33,3 до 36,2	33,0	27,0	30,0	31,0	29,7	27,7	30,0	40		19	36	5	20	2,7
	35,5	30,0	33,0	34,0	32,7	30,7	33,0							
Св. 36,2 до 39,6	35,5	30,0	33,0	34,0	32,7	30,7	33,0							
	39,0	33,0	36,0	37,0	35,7	33,7	36,0		9,5					
Св. 39,6 до 43,0	39,0	33,0	36,0	37,0	35,7	33,7	36,0							
	42,5	36,0	39,0	40,0	38,7	36,7	39,0							
Св. 43,0 до 47,0	42,5	36,0	39,0	40,0	38,7	36,7	39,0							
	46,5	39,5	43,0	44,0	42,7	40,2	43,0							
Св. 47,0 до 51,7	46,5	39,5	43,0	44,0	42,7	40,2	43,0							
	51,0	43,5	47,0	48,0	46,7	44,2	47,0	44		19,5	40	6	24	3,7
Св. 51,7 до 56,2	51,0	43,5	47,0	48,0	46,7	44,2	47,0							
	55,5	47,5	51,0	52,0	50,7	48,2	51,0							
Св. 56,2 до 60,0	55,5	47,5	51,0	52,0	50,7	48,2	51,0							



## 20. ТОНКОСТЕННЫЕ ТРУБЫ ЭЖЕКТОРНЫХ СВЕРЛ (ТУ 2–035–857–81)



Диаметр сверла $d$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$a$ , мм
От 20,0 до 21,8	12	11	11,8	14	2	12	0,5
Св. 21,8 до 24,1	13	12	12,8	15			
Св. 24,1 до 26,4	14	13	13,8	16			
Св. 26,4 до 28,7	16	14	15,8	18			
Св. 28,7 до 31,0	18	16	17,8	20			
Св. 31,0 до 33,3	20	18	19,8	22			
Св. 33,3 до 36,2	22	20	21,8	24	2,5	0,4	
Св. 36,2 до 39,6	24	22	23,8	26			
Св. 39,6 до 43,0	27	25	26,8	29			
Св. 43,0 до 47,0	30	28	29,8	32			

Окончание П. 20

Диаметр сверла $d$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$d_4$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм	$a$ , мм
Св. 47,0 до 51,7	32	30	31,8	34	2,5	12	0,4
Св. 51,7 до 56,2	36	34	35,8	39			
Св. 56,2 до 60,0	40	38	39,8	43			

Примечания. 1. Сверла с эжекторным отводом стружки диаметром 20...60 мм предназначены для сверления глубоких отверстий за один проход с точностью Н10...Н12 на специальных станках для глубокого сверления или модернизированных под эжекторное сверление универсальных станках.

2. Основные размеры и технические требования — по ТУ 2–035–857–81.

3. В зависимости от обрабатываемого материала сверла оснащаются пластинами твердого сплава марок Т5К10, Т15К6, ВК8.

4. Тонкостенные трубы и стебли изготавливаются из труб по ГОСТ 8734–75 из стали 30ХГСА с механическими свойствами по группе Г ГОСТ 8733–74.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

---

1. **Арефьев М.Г., Карпов Л.И.** Производство стволов стрелкового оружия. М.: НКАП Оборонгиз, 1945. 228 с.
2. **Ашихмин В.Н.** Протягивание. М.: Машиностроение, 1981. 144 с.
3. **Бабаев С.Г., Мамедханов Н.К., Гасанов Р.Ф.** Алмазное хонингование глубоких и точных отверстий. М.: Машиностроение, 1978. 103 с.
4. **Бахвалов В.А.** Способ хонингования глубоких отверстий и инструмент для его реализации // СТИН, 2006, № 4. С. 39–40.
5. **Беляев Г.С., Табачников П.И.** Технология производства валов. М.–Л.: Машгиз, 1961. 251 с.
6. **Брейкин Г.А., Пазюк Е.И.** Обработка деталей на тяжелых токарных станках. М.–Л.: Машгиз, 1958. 108 с.
7. **Буховский Г.И.** Устройство для контроля размерных параметров отверстий гильз длинноходовых гидроцилиндров // Измерительная техника, 1983, № 8. С. 24–26.
8. **Буяновский И.А.** К оценке нижних температурных пределов действия химически активных присадок // Трение и износ, 1981. Т. 2, № 4. С. 703–707.
9. **Вахнова Л.И.** Прошивка отверстий в твердосплавных рабочих частях сверл одностороннего резания // Экспресс-информация «Обработка резанием (технология, оборудование, инструмент)». М.: НИИМАШ, 1983. Вып. 1. С.23–24.
10. **Водопьянов А.В.** Расчет размеров стружколомающих порошков у сверл для глубокого сверления // Известия Томского политехнического института, 1968. Т. 158. С. 114–116.
11. **Выдрин В.Н., Гросман А.Б., Симовских В.Н.** Прутки из быстрорежущей стали с двумя внутренними спиральными каналами // Теория и практика производства метизов: сб. науч. тр. Магнитогорск: Магнитогорский горно-металлургический институт, 1975, вып. 11. С. 19–25.
12. **Гольдрайх Г.М., Джугурян Т.Г., Капительман Л.В.** Станки для глубокого сверления // Техника машиностроения, 1996, № 3 (9). С. 39–41.
13. **Губергриц Л.И., Дроздов Ф.М.** Станки для сверления и растачивания глубоких отверстий // Станки и инструмент, № 4, 1989, с. 2–4.
14. **Диннебир Ю.** Сверление, развертывание и зенкование / ред. и дополнения П.В. Кондратьева. М.: ОНТИ НКТП СССР, 1934. 196 с.
15. **Драгун А.П.** Режущий инструмент. Л.: Лениздат, 1986. 271 с.
16. **Драчук А.В.** Протягивание винтовых шлицев. М.: Машиностроение, 1972. 88 с.
17. **Егоров В.А.** Оптические и шуповые приборы для измерения шероховатости поверхности. М.: Машиностроение, 1965. 224 с.
18. **Злобин Г.П.** Формование изделий из порошков твердых сплавов. М.: Металлургия, 1980. 224 с.
19. **Игошин В.В.** Исследование условия рационального отвода стружки при токарной обработке металлов резцами со стружкозавивающими элементами: автореф. дисс. на соискание степени канд. техн. наук. Пенза: ПТИ, 1967. 32 с.

20. **Инструменты** из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова. М.: Машиностроение, 2005. 555 с.
21. **Калмыков В.И., Петровская Т.М., Бадаева А.С., Мещеряков А.И.** Разработка и исследование схемы прошивки ультразвуком глубоких отверстий в твердосплавных рабочих частях сверл одностороннего резания // Прогрессивные инструменты для обработки отверстий (конструкция, технология изготовления, эксплуатация): сб. науч. тр. М.: ВНИИ ОНТИ, 1979. С. 35–46.
22. **Кацев П.Г.** Обработка протягиванием: справочник. М.: Машиностроение, 1986. 272 с.
23. **Кацев П.Г.** Протягивание глубоких отверстий. М.: ГИОП, 1957. 232 с.
24. **Кириллин Б.Н.** Вибрационное сверление ружейными сверлами // Станки и инструмент, 1968, № 5. С. 22–24.
25. **Кирсанов С.В.** Исследование процесса глубокого сверления стали эжекторными сверлами: дис. на соискание степени канд. техн. наук. Томск: ТПИ, 1980. 117 с.
26. **Кирсанов С.В.** Некоторые особенности сверления глубоких отверстий мелкокоразмерными ружейными сверлами // Справочник. Инженерный журнал, № 5 (122), 2007. С. 40–41.
27. **Кирсанов С.В.** Смазочно-охлаждающие технологические средства, применяемые при обработке глубоких отверстий // Справочник. Инженерный журнал, № 6 (51), 2001. С. 5–7.
28. **Кирсанов С.В.** Смазочно-охлаждающие технологические средства, применяемые при хонинговании // Справочник. Инженерный журнал, № 3 (60), 2002. С. 7–9.
29. **Кирсанов С.В.** Современные конструкции инструментов для сверления и растачивания глубоких отверстий // Справочник. Инженерный журнал, № 2 (95), 2005. С. 46–53.
30. **Кирсанов С.В.** Станки для обработки глубоких отверстий // Справочник. Инженерный журнал, № 8 (53), 2001. С. 46–49.
31. **Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г., Кокарев В.И.** Инструменты для обработки точных отверстий. М.: Машиностроение, 2005. 336 с.
32. **Кисель А.В.** Станок глубокорасточной модели КЖ 1907. 01Ф1 / Экспресс-информация: «Обработка резанием (технология, оборудование, инструмент)». М.: НИИМАШ, 1981. Вып. 8. С. 4–5.
33. **Кожевников Д.В.** Современная технология и инструмент для обработки глубоких отверстий: обзор. М.: НИИМАШ, 1981. 60 с.
34. **Кононенко С.Г.** Обработка глубоких отверстий. М.: Машиностроение, 1964. 41 с.
35. **Кремень З.И., Стратиевский И.Х.** Хонингование и суперфиниширование деталей / под ред. Л.Н. Филимонова. Л.: Машиностроение, 1988. 137 с.
36. **Лещенко М.И., Оганян А.А.** Технология и инструмент для обработки глубоких отверстий толстостенных цилиндров. М.: ВНИИТЭМР, 1989. 60 с.
37. **Липатов А.Н.** Глубокое сверление на станках с ЧПУ // Станки и инструмент, 1991, № 5. С. 29–31.
38. **Литвинов Л.П.** Вибросверление глубоких отверстий // Вестник машиностроения, № 5, 1990. С. 22–24.

39. **Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю.** Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М.: Эльф ИПР, 2006. 286 с.
40. **Малиновский Г.Т.** Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. Свойства и применение. М.: Химия, 1993. 160 с.
41. **Мальцев О.С., Коган М.Л., Петухов В.К. и др.** Сверла глубокого сверления Ø1–14 мм, оснащенные цельными твердосплавными наконечниками // Твердые сплавы и тугоплавкие материалы: сб. трудов ВНИИТС. № 14. М.: Металлургия, 1973. С. 110–114.
42. **Машиностроение.** Энциклопедия: металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. Т. IV-7. М.: Машиностроение, 2002. 864 с.
43. **Медведев Д.Д.** Точность обработки в мелкосерийном производстве. М.: Машиностроение, 1973. 120 с.
44. **Минков М.А.** Технология обработки глубоких точных отверстий. М.–Л.: Машиностроение, 1965. 176 с.
45. **Обработка** глубоких отверстий / Н.Ф. Уткин, Ю.И. Кижняев, С.К. Плужников и др.; под общ. ред. Н.Ф. Уткина. Л.: Машиностроение, 1988. 269 с.
46. **Общемашиностроительные** нормативы времени и режимов резания на обработку глубоких отверстий (сверление, растачивание, развертывание и раскатывание). Среднесерийное, мелкосерийное и единичное производство. М.: Экономика, 1988. 135 с.
47. **Одинцов Л.Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
48. **Окубо Т.** Прецизионная обработка глубоких отверстий по методу БТА // Кикай то когу, 1966, т.10, № 10, с. 8–18.
49. **Осман М.О.М., Латиневич В.** Усовершенствование многолезвийного инструмента для расточки отверстий по способу БТА // Конструирование и технология машиностроения. 1976. № 2. С. 93–100.
50. **Перескоков А.И.** Изготовление сверлильных головок типа БТА // Машиностроитель, 1981, № 7. С. 28–29.
51. **Подураев В.Н.** Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970. 350 с.
52. **Поруцкий Г.В.** Периодичность очистки систем СОЖ металлорежущих станков // Станки и инструмент, 1982, № 2. С. 19–20.
53. **Применение** способа глубокого сверления с эжекторным отводом стружки на специальном и универсальном модернизированном оборудовании: методические рекомендации. М.:НИИМАШ, 1984. 53 с.
54. **Протяжки** для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. М.: Машиностроение, 1986. 232 с.
55. **Санин П.И.** Химические аспекты граничной смазки (химическое модифицирование поверхностей трения) // Трение и износ, 1980. Т. 1, № 1, с. 45–57.
56. **Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю.** Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. 92 с.
57. **Скиженок В.Ф., Лемешонок В.Д., Цегельник В.П.** Высокопроизводительное протягивание. М.: Машиностроение, 1990. 240 с.

58. **Смазочно-охлаждающие** технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под общей ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.
59. **Смазочно-охлаждающие** технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Бульжов и др. / под общ. ред. Л.В. Худобина. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
60. **Соколов А.В., Вяткин М.Д., Шендеров И.Б., Козловский А.М., Пыхов С.И., Шуринов В.А.** Обеспечение прямолинейности каналов при производстве трубных заготовок // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2000, № 12. С. 48–49.
61. **Справочник** конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В.А. Грецишника и С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006. 542 с.
62. **Справочник** по технологии резания материалов. В 2 кн. Кн. 2 / под ред. Г. Шпура, Т. Штеферле; пер. с нем. под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 1985. 668 с.
63. **Твердосплавные** сверла одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ. Методические рекомендации по конструированию, технологии изготовления и эксплуатации. М.: ВНИИ, 1981. 68 с.
64. **Технология** и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувилин. М.: МИСиС, 2001. 428 с.
65. **Троицкий Н.Д.** Глубокое сверление. Л.: Машиностроение, 1971. 176 с.
66. **Туктанов А.Г.** Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия. М.: Машиностроение, 2007. 375 с.
67. **Флукке Ф.** От каменного сверла до сверла спирального // Машиностроитель, 1934, № 2. С. 20–23.
68. **Чеканов В.Е.** Измерение внутренней поверхности глубоких цилиндров // Вестник машиностроения, 1989, № 10. С. 51–52.
69. **Черничкин С.А.** Кольцевое сверление и обработка глубоких отверстий. М.: Машиностроение, 1964. 240 с.
70. **Шатин В.П., Шатин Ю.В.** Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1975. 456 с.
71. **Шашков В.П.** Устройство для сверления глубоких отверстий в трубных решетках титановых теплообменников // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 1997, № 5. С. 44–45.
72. **Braband G., Rothamel R.** Tiefbohrwerkzeuge des VEB Werkzeugkombinat Schmalkalden // Metallbearbeitung, 37, 1983, № 6. S. 164–166.
73. **Buse B., Fuß H., Bolle D.** Prozeßbegleitende Temperaturmessungen an den Stützleisten von BTA — Tiefbohrwerkzeugen // Industrie — Anzeiger, 1987. V. 109, № 53. S. 42–43.
74. **Conrad K.-J. u.a.** Taschenbuch der Werkzeugmaschinen. Leipzig: Carl Hanser Verlag, 2002. 807 s.
75. **Eichler R.** Prozeßsicherheit beim Enlippenbohren mit kleinsten Durchmesser. Diss. Stuttgart.: Institut für Werkzeugmaschinen, 1996. 156 s.
76. **Fienkelburg H.** Tiefbohren // Oberflächentechnik, 1978. V. 55, № 7...8. S. 242. 244–248.

77. **Fink P.** Spanformung beim Tiefbohren mit Einlippenwerkzeugen // TZ für Metallbearbeitung, 1980, V. 74, № 8. S. 44–50, 62.
78. **Greuner B.** Tiefbohren–Verfahren, Anwendungskriterien // VDI — Zeitschrift, 1978, V. 120, № 8, p. M3–M5, M8–M23.
79. **Greuner B., Osman M.O.M.** Unrund Bohren, ziehend mit einem neuentwickelten BTA — Innenkopierwerkzeug // Technische Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung, 1974, V. 68, № 9. S. 332–324.
80. **Knobloch H.** Kühlschmierstoffreinigung beim Tiefbohren und Honen // Technische Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung, 1974, V. 68, № 11. S. 409–412.
81. **Knoll H., Streicher P.** Konstruktionsprinzipien von Tiefbohrmaschinen // Werkstatt und Betrieb, 1976, V. 109, № 3. S. 153–162.
82. **Lilot P.** Une application particuliere du forage profond // Alliance Industrielle, 1966, V. 86, № 8. P. 243–255.
83. **Osman M.O.M., Greuner B.** Entwicklungstendenzen eines BTA — Werkzeuges zum Bohren ins Volle // Technische Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung, 1974, V. 68, № 5. S. 166–168.
84. **Pfleghar F.** Aspekte zur konstruktiven Gestaltung von Tiefbohrwerkzeugen // Werkstattstechnik, 1997, V. 67, № 4. S. 211–218.
85. **Pfleghar F.** Bestimmung der Reibungszahl an den Führungsleisten einschneidiger Bohrwerkzeuge // Industrie — Anzeiger, 1975, 97, № 94. S. 1997–1998.
86. **Pfleghar F.** Kräfte an Schneide und Führungsleisten von Einlippen — Tiefbohrwerkzeuge // Werkzeugmaschine international, 1974, № 6. S. 51–56, 70.
87. **Ruby D.** Inside Job. CNCs and bottle-boring tools allow the machining of complex profiles in deep bores // Cutting Tool Engineering, 2002, V. 54, № 12. P. 54, 56, 57.
88. **Schmidt H.** Das Tiefbohren — ein hochproduktives Fertigungsverfahren // Technica, 1962, Bd. 11, № 19. S. 1405–1409.
89. **Stockert R., Thai T. P.** Einfluß von Gewichts — und Fliehkräften auf die Auslegung von Tiefbohrwerkzeugen // Industrie — Anzeiger, 1978, V. 100, № 103–104. S. 56–57.
90. **Stockert R., Weber U.** Auslegung von einschneidigen Tiefbohrwerkzeugen mit zwei Einzelschneiden // VDI — Zeitschrift, 1978, V. 120, № 22. S. 1057–1061.
91. **Stockert R., Weber U.** Untersuchung der Energie — Verhältnisse beim Tiefbohren min einschneidigen BTA — Vollbohrköpfen // Industrie — Anzeiger, 1977, V. 99, № 26. S. 39–40.
92. **Streicher P.** Tiefbohren der Metalle. Verfahrenstechnische und Konstruktive Probleme. Würzburg: Vogel-Verlag, 1975. 128 s.
93. **Sturenburg O.H.** Zum Mittenverlauf beim Tiefbohren. Ursachen, Messung und Verringerung der Mittenabweichung von Bohrungen in der Metallbearbeitung. Diss. Stuttgart: Institut für Werkzeugmaschinen, 1983. 113 s.
94. **Zielasko W., Thamke D.** Einlippentiefbohren mit Druckluft und minimalen Kühlschmierstoffmengen // Maschinenmarkt, 1997, 103, 29. S. 20–25.
95. **Zimmermann D.** Kühlschmierstoffe chlorfrei // Fertigungstechnik, 1987, V. 14, № 5. S. 68, 70.
96. **Zwingmann G.** Kühlschmierstoffe für das Tiefbohren // Industrie — Anzeiger, 1974, V. 96, № 107–108. S. 2388–2391.

Справочное издание

**Кирсанов Сергей Васильевич  
Гречишников Владимир Андреевич  
Григорьев Сергей Николаевич  
Схиртладзе Александр Григорьевич**

**ОБРАБОТКА ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Редактор *Е.М. Нуждина*  
Художественный редактор *Н.А. Свиридова*  
Корректор *М.Я. Барская*

Сдано в набор 10.03.2010. Подписано в печать 27.07.2010.  
Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,07. Уч.-изд. л. 20,31.  
Тираж 1000 экз. Заказ

ООО «Издательство Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4  
[www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)

Отпечатано в типографии ФКП «НИИ «Геодезия»  
141292, г. Красноармейск, Моск. обл.,  
пр-т Испытателей, 14

ISBN 978-5-94275-521-8



9 785942 755218