

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Технологическое оборудование»

Э. М. Дечко
Е. А. Маркова
О. К. Яцкевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕЛЬНЫХ СВЁРЛ

Пособие

для студентов специальности

1-36 01 01 «Технология машиностроения»,

1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2020

УДК 621.95
ББК 34.633
Д39

Рецензенты:

кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «Полоцкий государственный университет»;
генеральный конструктор ОАО «МЗОР» *А. С. Трусковский*

Дечко, Э. М.

Д39 Проектирование цельных сверл: пособие для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Э. М. Дечко, Е. А. Маркова, О. К. Яцкевич. – Минск: БНТУ, 2020. – 46 с.

ISBN 978-985-583-188-5.

В пособии кратко изложены основные вопросы по конструкции сверл, рассмотрена общая методика проектирования цельных сверл и приведен пример их расчета.

УДК 621.95
ББК 34.633

ISBN 978-985-583-188-5

© Дечко Э. М., Маркова Е. А.,
Яцкевич О. К., 2020
© Белорусский национальный
технический университет, 2020

Введение

Эффективная эксплуатация современного оборудования невозможна без создания надежной и экономичной инструментальной оснастки. Поэтому специалисты, работающие в машиностроении, должны уметь грамотно проектировать как инструменты универсального назначения, так и инструменты для станков с ЧПУ, автоматических линий, гибких производственных систем.

В настоящем пособии сделан упор на основы проектирования инструмента общего назначения – спирального сверла, с целью исключения часто встречающихся ошибок. Приведен общий алгоритм проектирования данного вида инструмента в рамках курсового проектирования и указания по реализации данного алгоритма.

1. Общие положения по проектированию свёрл

Конструкции сверл достаточно разнообразны. Они, как и конструкции других инструментов, зависят от конкретных условий работы и требований к размерам и форме отверстий, а также от допустимого увода оси отверстия при сверлении.

С целью уменьшения работы резания при сверлении сквозных отверстий большого диаметра, свыше 50 мм, используют сверла для кольцевого сверления, представляющие собой трубу с прорезными резцами на торце. Отверстие в сквозном металле не высверливается, а вырезается по периметру.

Для сверления точных глубоких отверстий применяют сверла с хорошим направлением по детали: ружейные, пушечные, эжекторные, охлаждение которых и вымывание стружки обеспечиваются СОЖ, подаваемой в зону резания под давлением по каналам в теле сверла.

Глубокие отверстия обычной точности сверлят шнековыми сверлами и другими спиральными с большим углом наклона стружечных канавок, обеспечивающих хороший вывод стружки.

Необходимые передние углы таких сверл обеспечиваются дополнительной заточкой по передним поверхностям, форма которых должна обеспечить дробление стружки, иначе она не будет выводиться из отверстия.

При остальных видах сверлильных работ используют стандартные спиральные сверла с углом наклона 30° для отверстий глубиной до пяти диаметров и перовые – для отверстий глубиной до трех диаметров. Проектирование стандартных сверл сопровождается адаптацией их параметров к условиям работы. Это прежде всего длина рабочей части, зависящая от глубины сверления, конструкции детали и зажимного приспособления, ширина ленточки и обратная конусность. Малая обратная конусность и большая ширина круглошлифованных ленточек обеспечивают более высокую точность сверления, но способствуют увеличению налипания обрабатываемого материала и защемлению сверл при обработке вязких металлов и материалов, дающих усадку отверстий, например, пластмасс.

Геометрические параметры выбираются оптимальными для конкретных условий работы. Повышение стойкости сверл достигается заточкой переходных режущих кромок (двойная заточка), подточкой перемычки по одному из методов, в зависимости от обрабатываемого материала, а также подточкой ленточек при обработке вязких металлов. Рекомендации по осуществлению этих и других мероприятий освещены в справочной и учебной литературе.

Оснащение сверл твердыми сплавами чрезвычайно полезно для повышения производительности сверления. Твердыми сплавами оснащают как специальные конструкции сверл, так и стандартные путем механического крепления пластин (предпочтительнее), напайки, приклеивания (предпочтительнее напайки) или изготовления целиком из твердого сплава (мелкоразмерные сверла). Для недостаточно жестких корпусов (спиральные сверла) используют твердые сплавы группы ВК для сверления как чугуна, так и стали. Корпуса сверл при этом усиливают за счет увеличения диаметра сердцевины, увеличения ее конусности, сокращения длины до минимума. Корпуса делают из закаленной стали 9ХС или даже быстрорежущей, если диаметр сверла по

пластине твердого сплава и корпуса одинаков. Это необходимо для повышения износостойкости корпуса. Если диаметр сверла по пластине несколько больше, чем по корпусу, то последний может быть изготовлен из конструкционной стали 40Х.

С целью уменьшения энергозатрат при сверлении и повышения производительности за счет работы с большими сечениями среза на зуб при всех прочих равных условиях целесообразно использовать прогрессивные (групповые) схемы резания, соответствующим образом изменив заточку сверла.

В процессе проектирования сверл необходимо рассчитать диаметр хвостовика из условий обеспечения передачи момента резания силами трения на хвостовике и выбрать по стандарту ближайший больший.

Возможно выполнение других расчетов по указанию руководителя проекта.

2. Конструкции и область применения свёрл

Сверло – осевой режущий инструмент для образования отверстий в сплошном материале и увеличения диаметра имеющегося отверстия. Сверла являются одним из самых распространенных видов инструментов. В промышленности применяют сверла: спиральные, перовые, одностороннего резания, эжекторные, кольцевого сверления, а также специальные комбинированные. Сверла изготавливают из легированной стали 9ХС, быстрорежущей стали Р6М5 и других, и оснащенные твердым сплавом ВК6, ВК6-М, ВК8, ВК10-М и др.

Спиральные сверла имеют наибольшее распространение и состоят из следующих основных частей: режущей, калибрующей или направляющей, хвостовой и соединительной. Главные режущие кромки сверла (рис. 1) прямолинейны и наклонены к оси сверла под углом в плане ϕ . Режущая и калибрующая части сверла составляют ее рабочую часть, на которой образованы две винтовые канавки, создающие два зуба, обеспечивающие процесс резания.

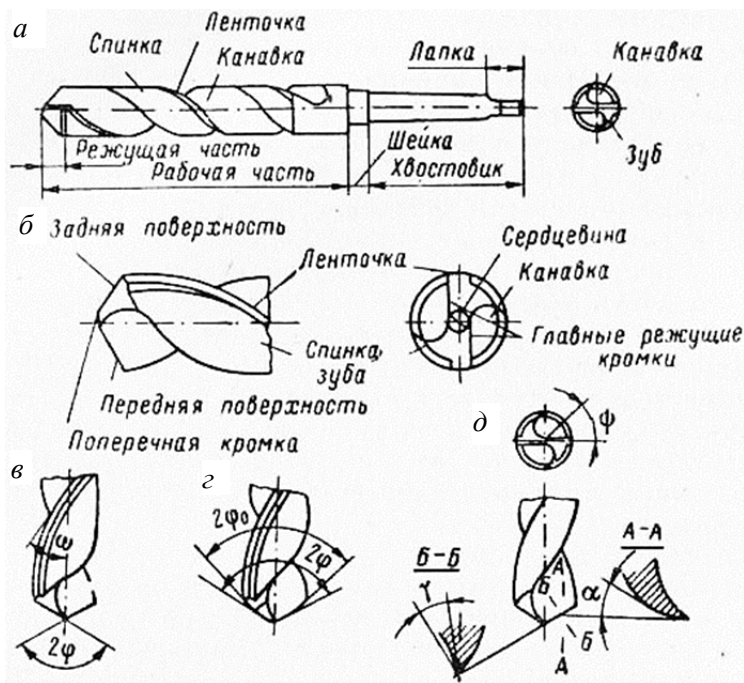


Рис. 1. Конструктивные элементы спирального сверла

Для уменьшения трения об образованную поверхность отверстия и уменьшения теплообразования в процессе работы сверло на всей длине направляющей части имеет занижение по спинке с оставлением у режущей кромки ленточки шириной 0,2–2 мм в зависимости от диаметра сверла. Ленточки обеспечивают направление сверла в процессе резания, и только в начале, на длине равной 0,5 значения подачи, они работают в качестве вспомогательной режущей кромки.

Спиральные сверла из быстрорежущей стали с цилиндрическим хвостовиком изготавливают диаметром от 1 до 20 мм. В зависимости от длины рабочей части сверла делят на короткую, среднюю и длинную серии. Сверла с коническим хвостовиком изготавливают диаметром от 6 до 80 мм, удлиненные

и длинные. Быстрорежущие сверла диаметром свыше 6–8 мм делают сварными, хвостовики у этих сверл, а также хвостовики и корпуса у сверл, оснащенных твердым сплавом, изготавливают из стали 45, 40Х, кроме того для корпусов сверл, оснащенных твердым сплавом, применяют сталь 9ХС и быстрорежущие стали.



Рис. 2. Спиральные сверла, приведенные в каталоге GUHRAING

3. Износостойкие покрытия, используемые для сверл из быстрорежущих сталей

Основное предназначение износостойкого покрытия – это увеличение производительности за счет возможности работы с высокими скоростями резания. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущие инструменты является одним из эффективных путей повышения стойкости и расширения их технологических возможностей.

В качестве материалов для покрытий используются карбиды, нитриды, бориды, карбонитриды и силициды тугоплавких металлов, а также оксид алюминия и синтетические сверхтвердые материалы на основе алмаза и эльбора.

Существуют два основных метода нанесения износостойкого покрытия на режущий инструмент (рис. 3):

- CVD методом химического осаждения из газовой фазы;
- PVD методом физического осаждения из газовой фазы;
- комбинация этих двух методов.

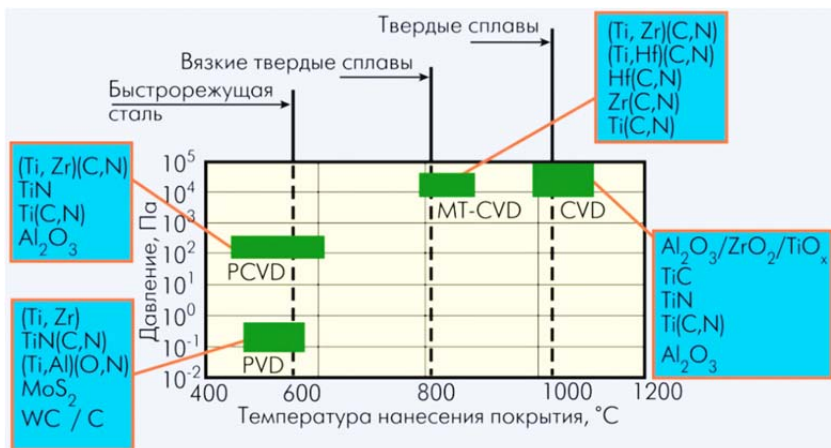


Рис. 3. Параметры основных методов нанесения покрытий на режущий инструмент

1. Покрытия CVD (получаемые по методу химического осаждения покрытий) широко используются для нанесения покрытий на твердые сплавы, в частности, на твердосплавные СМП. В этом методе используется осаждение покрытия при высокой температуре из газовой фазы.

2. Покрытия PVD (получаемые по методу физического осаждения покрытий) имеют следующие основные преимущества: низкая температура нанесения, позволяющая упрочнять инструменты из быстрорежущих сталей, и небольшая толщина (1,5–6 мкм). Кроме этого PVD-покрытия обладают более высокой трещиностойкостью и лучше приспособлены для работы с ударными нагрузками.

Основные виды PVD покрытий, наносимых на инструмент для обработки отверстий из быстрорежущих сталей, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендации по применению PVD покрытий
для спиральных сверл из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Тип покрытия	Свойства, особенности и область применения
Сталь	TiN	Наиболее распространенный вид износостойкого покрытия общего назначения, увеличивает стойкость инструмента для обработки резанием в 2–3 раза
	TiCN	Применяется взамен TiN в качестве износостойкого покрытия на инструмент и покрытия на детали машин. Покрытие часто имеет многослойную структуру с постепенным увеличением к поверхности доли углерода. Замещение атомов азота углеродом в кристаллической решетке нитрида титана приводит к повышению твердости, что увеличивает износостойкость, но делает покрытие более хрупким. Для увеличения вязкости проводится нанесение нескольких слоев таким образом, чтобы между ними создавались внутренние напряжения. Применяется для чистовой обработки конструкционных сталей
Чугун	(Ti,Al)N	Имеет повышенную тепло- и износостойкость, стойкость к окислительному износу при более высокой твердости по сравнению с существующими покрытиями. Покрытие создает тепловой барьер, практически изолирующий инструментальный материал. Происходит перераспределение тепловых потоков, и большая часть тепла уходит в стружку. Применяется при высокоскоростной обработке, обработке без применения СОЖ. Наносится как однослойное, так и многослойное, которое обладает способностью поглощать трещины и увеличивать стойкость инструмента

Продолжение табл. 1

Обрабатываемый материал	Тип покрытия	Свойства, особенности и область применения
	nAlCo	Нанокompозитное покрытие на базе Ti, Al, представляющее собой нанокристаллические зерна, внедренные в аморфную матрицу. Обладает очень высокой твердостью. Уникальность материала заключается в том, что с увеличением твердости увеличивается и эластичность покрытия, хотя эти два параметра являются взаимоисключающими. В результате покрытие одинаково хорошо работает и при высокопроизводительной обработке, и в обычных условиях
Алюминиевые сплавы	TiN	см. ранее
	TiCN+MoS ₂	Покрытие на основе TiCN, обладающего высокой твердостью и износостойкостью, с нанесенным поверх мягким самосмазывающимся покрытием на основе дисульфида молибдена. Применяется при глубоком сверлении
	(Ti,Cr)N	Используется в качестве самостоятельного покрытия, а также в качестве отдельных его слоев. Свойства и область применения аналогична TiN, но является более пластичным, что делает предпочтительным его применение для инструментов, эксплуатирующихся в условиях ударно-циклических нагрузок и больших сечений срезаемого слоя
	(Ti,Cr)N+MoS ₂	Покрытие на основе TiCrN, обладающего высокой износостойкостью и пластичностью, с нанесенным поверх мягким самосмазывающимся покрытием на основе дисульфида молибдена. Применяется при глубоком сверлении
Титановые, никелевые сплавы	MoS ₂	Самосмазывающееся мягкое покрытие, создающее эффект смазывания даже в сухом состоянии. В результате сокращается поверхностное трение между деталью и инструментом и связанное с ним выделение тепла. Наносится поверх основного покрытия. Применяется при глубоком сверлении

Обрабатываемый материал	Тип покрытия	Свойства, особенности и область применения
	(Al,Ti)N	см. ранее
	TiAlCN+CBC	Однослойное покрытие на основе графита, нанесенное поверх покрытия TiAlCN, имеет наногradientную структуру и защищает инструмент от возникновения нароста на кромках. Применяется при обработке высоколегированных материалов, титановых и никелевых сплавов, особенно при нарезании резьбы
Медь	CrN	Используется в качестве самостоятельного покрытия, а также в качестве его отдельных слоев. Обладает высокой пластичностью, хорошими трибологическими свойствами. Применяется для снижения налипания материала заготовки на режущий инструмент при обработке мягких металлов
Латунь, бронза	TiCN	см. ранее
	(Al, Ti)N	см. ранее
Пластик	TiCN	см. ранее
	(Ti,Al)N	см. ранее

4. Методика расчета цельного спирального сверла для обработки отверстий, глубиной менее трех диаметров

Для расчета спирального сверла необходимо знать следующие исходные данные:

- параметры отверстия (диаметр и глубина): d (мм) и h (мм);
- тип отверстия (сквозное или глухое);
- материал заготовки (марка материала и ГОСТ, твердость, предел прочности).

Порядок расчета.

1. Постановка задачи на проектирование.

В этом пункте следует:

- а) дать характеристику обрабатываемого материала, привести его химический состав, механические свойства;
- б) руководствуясь информацией (пункт а), выбрать инструментальный материал, используя табл. 2–4, привести его марку, ГОСТ, химический состав и механические свойства;
- в) описание конструкции сверла (цельное, сборное); если сверло сборное, то предложить материал хвостовика, руководствуясь табл. 6, привести его химический состав, механические свойства, твердость и описать способ и место присоединения рабочей и хвостовой части.

Таблица 2

Область применения быстрорежущих сталей нормальной теплостойкости

Марка стали по ГОСТ	Аналог по ISO 4957	Область применения
P18 W17,0–18,5 %	HS18-0-1	Все виды режущего инструмента при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей
P12 W12,0–13,0 %	–	Все виды режущего инструмента для обработки конструкционных сталей взамен марки P18
P9 W8,5–10,0 %	–	Чистовые и получистовые режущие инструменты простой формы, не требующие большого объема шлифования и предназначенные для обработки конструкционных материалов с пределом прочности до 1 ГПа (сверла, изготавливаемые методом пластического деформирования, деревообрабатывающие инструменты)

Марка стали по ГОСТ	Аналог по ISO 4957	Область применения
P6M5 W5,5–6,5 %	HS6-5-2	То же, что и P18, но предпочтительна для изготовления резбонарезного инструмента и инструмента, работающего с ударными нагрузками
P6AM5 W5,5–6,5 %	HS6-5-2	По сравнению с P6M5 имеет повышенную твердость и износостойкость
P6M3 W5,5–6,5 %	–	Чистовые и получистовые инструменты небольших размеров – в основном: сверла, зенкеры, дисковые фрезы – для обработки конструкционных материалов. Имеет пониженную шлифуемость

Таблица 3

Область применения быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости [7, с. 278, табл. 28]

Марка стали по ГОСТ	Аналог по ISO 4957	Область применения
10P6M5	–	То же, что и P6M5, но имеет больший период стойкости
P12Ф3	–	Чистовые инструменты для обработки вязких аустенитных сталей и материалов, обладающих абразивными свойствами
P9Ф5	–	Инструменты простой формы, не требующие больших объемов шлифования (резцы, зенкеры, развертки) для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами. Чистовые инструменты для обработки легированных сталей и сплавов

Продолжение табл. 3

Марка стали по ГОСТ	Аналог по ISO 4957	Область применения
P6M5K5	HS6-5-2-5	Черновые и получистовые инструменты для обработки улучшенных легированных сталей в условиях повышенного разогрева режущей кромки. Основная быстрорежущая сталь повышенной производительности. Фрезы, долбяки, зенкеры, метчики, плашки
P9K5	–	Обработка нержавеющей и жаропрочных сталей, сталей повышенной прочности. Черновые и получистовые фрезы, долбяки, метчики
P9K10	–	Резцы, червячные фрезы, зенкеры, работающие на повышенных режимах резания углеродистых, легированных конструкционных сталей, различных труднообрабатываемых материалов
P6M5Ф3	HS6-5-3	Чистовые и получистовые инструменты для обработки углеродистых и легированных сталей; на повышенных скоростях. Для инструментов с высоконагруженными режущими кромками: фасонные резцы, фрезы, протяжки
P9M4K8	HS10-4-3-10	Различные инструменты для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов (высокопрочных, жаропрочных, нержавеющей), а также улучшенных легированных сталей. Применяется, когда использование P6M5K5 не достаточно эффективно
P2AM9K5	HS2-9-1-8	Обладает высокой вязкостью. Для обработки улучшенных легированных и коррозионностойких, нержавеющей сталей

Марка стали по ГОСТ	Аналог по ISO 4957	Область применения
11P3AM3Ф2	–	Для инструментов простой формы при обработке углеродистых и малолегированных сталей с пределом прочности до 800 МПа

Таблица 4

Область применения мало- и безвольфрамовых быстрорежущих сталей нормальной теплостойкости

Марка стали по ГОСТ	Область применения
11P3M3Ф2Б	Ножовочные полотна, сверла, фрезы, метчики. Период стойкости аналогичен P6M5, а износостойкость более высокая
11P3AM3Ф2	Для инструментов простой формы при обработке углеродистых и малолегированных сталей с пределом прочности до 800 МПа. Ножовочные полотна, пилы, сверла, фрезы, метчики
P2Ф2K8M6 P0Ф2K8M6	Сверла, развертки, метчики (для сталей с $HV \geq 300$ и $\sigma_b = 0,9-1,0$ ГПа). Протяжки, червячные фрезы, все виды резцов
P2AM9K5	Обладает высокой вязкостью. Используется для обработки улучшенных легированных и коррозионно-стойких, нержавеющей сталей
11M5Ф	Обладает повышенной прочностью и удовлетворительной шлифуемостью. Все виды инструментов для обработки неупрочненных сталей и чугунов, а также цветных металлов и сплавов

Положение сварного шва показано на рис. 4 и определяется размером l' .

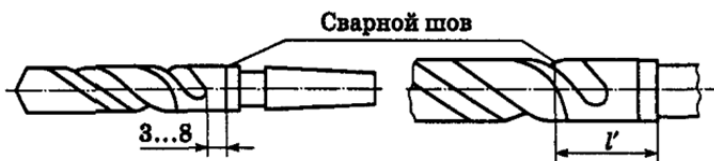


Рис. 4. Положение сварочного шва

Таблица 5

Положение сварного шва

Диаметр сверла, мм	14–20	20–32	32–40	40–52
l'	22–30	32	36	40

Таблица 6

Марки сталей для нерабочих частей сверла

Наименование инструмента	Марки стали	Твердость, HRC ₃
Сверла, зенкеры, развертки из быстрорежущей стали: диаметром до 8 мм с цилиндрическим хвостовиком и диаметром до 6 мм с коническим хвостовиком изготавливаются цельными	см. табл. 2–4	35–55 лапка
хвостовики сверл, зенкеров лапка	45, 40X	40–50 30–40
Корпуса сверл и зенкеров с твердосплавными пластинами	У7А, 40Х, 45Х, ХВСГ 9ХС	40–50 56–62
Для глубоких отверстий	20Х, 40Х, 9ХС, 35ХГСА	40–50
Корпуса кольцевых сверл	12ХН3А	–

2. Выбор покрытия. Марка износостойкого покрытия и способ его нанесения.

3. Выбор и обоснование геометрических параметров спирального сверла.

Выполнение этого пункта следует начать с эскиза рабочей части сверла с указанием всех геометрических параметров.

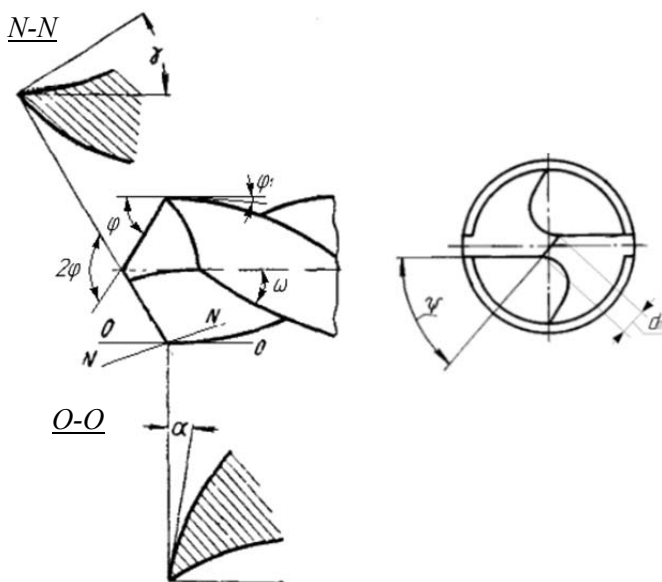


Рис. 5. Эскиз рабочей части сверла

Рекомендуемые углы наклона винтовой канавки ω и углы при вершине 2φ спиральных сверл приведены в табл. 7, 8.

Таблица 7

Углы наклона винтовой канавки ω и углы при вершине 2φ спиральных сверл диаметром от 0,25 до 9,9 мм [5, с. 207]

Диаметр сверла, мм	$\omega, ^\circ$	$2\varphi, ^\circ$
0,25–0,35	18	112°
0,4–0,45	19	
0,5–0,7	20	
0,75–0,95	21	

Окончание табл. 7

Диаметр сверла, мм	$\omega, ^\circ$	$2\varphi, ^\circ$
1,0–1,9	22	113°
2,0–2,9	23	
3,0–3,4	24	
3,5–4,4	25	
4,5–6,4	26	114°
6,5–8,4	27	
8,5–9,9	28	

Таблица 8

Углы наклона винтовой канавки ω и углы при вершине 2φ спиральных сверл диаметром от 10 мм [5]

Обрабатываемый материал	$\omega, ^\circ$	$2\varphi, ^\circ$
Сталь с σ_B , МПа		
до 500	35	116
500–700	30	116–118
700–1000	25	120
1000–1400	20	125
Нержавеющие и коррозионно-стойкие стали	25	120
Чугун	25–30	116–120
Медь красная	34–45	125
Медные отливки и латунь	25–30	130
Бронза с НВ		
до 100	8–12	125
100 и более	15–20	135
Алюминиевые сплавы, литейные	35–45	130–140
Алюминиевые сплавы, деформируемые	45	140
Пластмассы, эбонит, бакелит	8–12	60–100
Дерево	25–30	60–85

Величина заднего угла и угла наклона поперечной кромки на периферии сверла принимается в зависимости от диаметра по табл. 9.

Таблица 9

Величина заднего угла и угла наклона поперечной кромки на периферии сверла [3, с. 369]

Диаметр сверла, мм	$\alpha_0, ^\circ$	$\psi, ^\circ$
2–3,5	14	47
3,5–5	11	48
5,1–7	9	49
7,1–11	9	50
11,1–18	8	52
18,5–80	8	55

Принимаем для диаметра сверла величину обратной конусности на 100 мм длины (табл. 10).

Таблица 10

Величина обратной конусности сверла на 100 мм длины [5, с. 206]

$D_{св}$	до 6	от 6 до 18	свыше 18
Обратная конусность, b , мм	0,03–0,08	0,04–0,10	0,05–0,12

Определяем вспомогательный угол в плане φ_1 в зависимости от принятой конусности b :

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{b}{100}\right).$$

Форму заточки принимаем одинарную, независимо от исходных данных для всех вариантов, с целью упрощения расчета.

Определяем диаметр сердцевины сверла (d_c , мм) в зависимости от принятого диаметра проектируемого сверла по табл. 11.

Параметры сердцевины сверла

Диаметр сверла $D_{св}$, мм	Диаметр сердцевины d_c , мм
от 0,25 до 1,25	$(0,28-0,20) \cdot D_{св}$
от 1,5 до 12,0	$(0,19-0,15) \cdot D_{св}$
от 13,0 до 80,0	$(0,145-0,125) \cdot D_{св}$

Утолщение сердцевины по направлению к хвостовику 1,4–1,5 мм на 100 мм длины рабочей части сверла для сверл из легированных сталей и 1,7–1,8 – для сверл из быстрорежущих сталей.

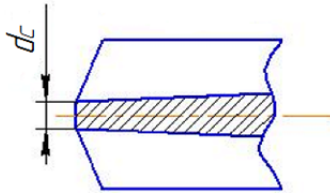


Рис. 6. Эскиз сердцевины резца

Определение передних и задних углов, в заданных точках по длине главной режущей кромки. Точки следует расположить в следующих координатах:

$$r_1 = 0,5 \cdot D_{св}; \quad r_2 = 0,25 \cdot D_{св}; \quad r_3 = 0,5 \cdot d_c.$$

Методика расчета изложена в [3, с. 364]. Передний угол определяется как угол между плоскостью, касательной к передней поверхности, и плоскостью резания.

Плоскость, касательная к передней поверхности, может быть задана двумя прямыми, одна из которых режущая кромка AB (рис. 7), а другая прямая xE , касательная к винтовой линии в данной точке x режущей кромки, получаемой при пересечении цилиндрической поверхности с передней винтовой поверхностью канавки сверла. Эта прямая (рис. 7, в) располо-

жена под углом ω_x к оси сверла в плоскости T , касательной к цилиндрической поверхности в данной точке x режущей кромки. Угол ω_x определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\omega_x = \frac{r_x}{R_{\text{св}}} \cdot \operatorname{tg}\omega,$$

где ω – угол наклона винтовой канавки сверла на периферии;

$R_{\text{св}}$ – наружный радиус сверла, мм;

r_x – радиус окружности, на которой лежит данная точка x , мм.

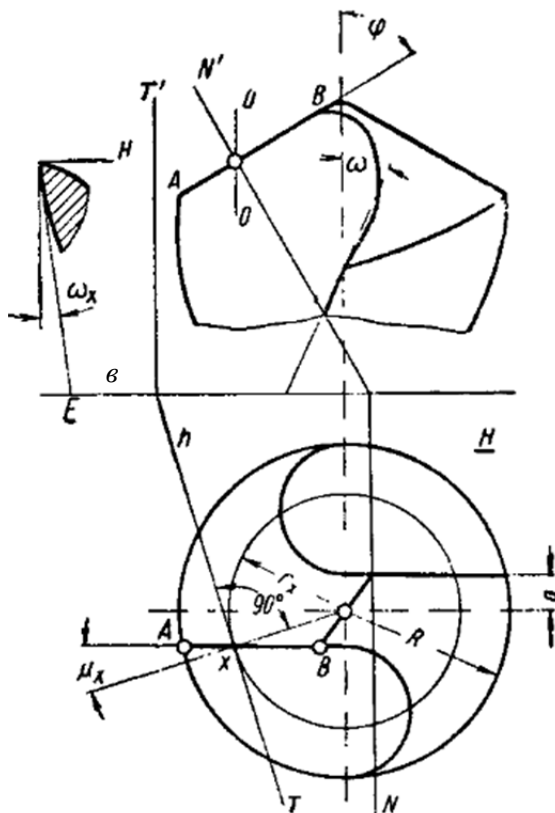


Рис. 7. Эскиз для расчета переднего угла сверла

Положение плоскости T определяется углом μ_x между r_x и проекцией режущей кромки на плоскость, перпендикулярную к оси сверла.

Положение плоскости резания тоже может быть определено двумя прямыми. За одну из них можно принять режущую кромку AB , а за другую – прямую xH , касательную к поверхности резания в заданной точке x режущей кромки.

Передний угол γ_{Nx} в данной точке x в сечении NN , нормальном к режущей кромке, определяется по формуле [3]:

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nx} = \frac{(1 - \sin^2 \mu_x \cdot \sin^2 \varphi) \cdot \operatorname{tg} \alpha_x}{\sin \varphi \cdot \cos \mu_x} - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \mu_x,$$

причем

$$\sin \mu_x = \frac{a_x}{r_x}.$$

Величина a_x в частном случае для нормализованных сверл равна 0,5 диаметра сердцевины.

Задний угол в заданной точке x определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{D_{\text{св}}}{D_x} \cdot \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Перед началом расчета выполнить эскиз с указанием трех исследуемых точек.

4. Расчет конструктивных параметров сверла.

Эскиз инструмента с конструктивными параметрами представлен на рис. 8.

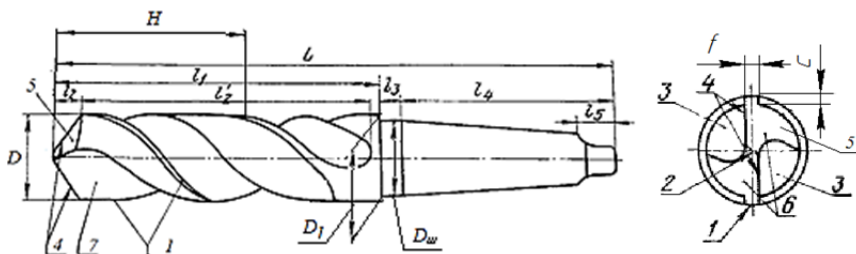


Рис. 8. Эскиз инструмента:

L – общая длина сверла; l_1 – длина рабочей части; l_2 – длина режущей части; l'_2 – длина направляющей части; l_3 – длина шейки; l_4 – длина хвостовика; l_5 – длина лапки; $D_{ш}$ – диаметр шейки; D_1 – диаметр сверла в конце направляющей части; H – шаг винтовой канавки; 1 – ленточка; 2 – поперечная режущая кромка; 3 – стружечные канавки; 4 – главные режущие кромки; 5 – главная задняя поверхность; 6 – зуб (перо) сверла; 7 – передняя поверхность

Диаметр шейки рассчитывается по формуле:

$$D_{ш} \approx D_{св} - (0,1-0,5).$$

Общая длина определяется по формуле:

$$L = l_1 + l_3 + l_4;$$

$$l_1 = l_{св} + 3D_{св},$$

где $l_{св}$ – глубина сверления, мм;

$D_{св}$ – диаметр сверла, мм;

l_3 – принимают из интервала 8–12 мм.

Длина режущей части определяется из соотношения

$$l_2 = \frac{D_{св}}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi.$$

Шаг винтовой канавки рассчитывается по формуле:

$$H = \pi \cdot D_{св} \cdot \operatorname{ctg} \omega.$$

Величина l_4 вытекает из расчета хвостовика.

Расчет хвостовика предполагает определение номера конуса Морзе и габаритных размеров.

Расчет следует начать с определения режимов резания [7, с. 276].

1. Глубина резания

$$t = 0,5 \cdot D_{\text{св}}.$$

2. Подачу s (мм/об) при известной глубине резания t выбираем из таблицы [7, табл. 25]

$$s = 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

3. Скорость резания

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} K_v.$$

4. Крутящий момент

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p.$$

5. Осевая сила

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p.$$

6. Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

7. Мощность резания

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}.$$

Определение номера конуса Морзе хвостовика. Схема для выполнения расчета представлена на рис. 9.

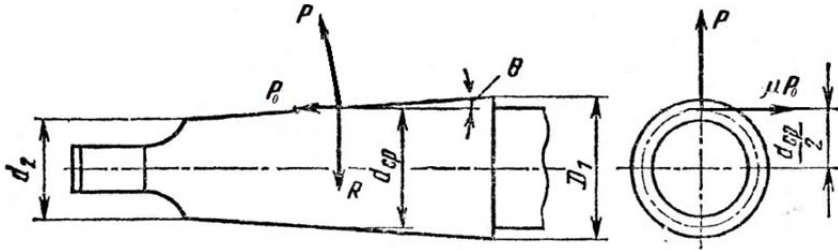


Рис. 9. Расчетная схема для определения момента трения

Момент трения между поверхностями хвостовика и гнезда шпинделя

$$M_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot P_0 (D_1 - d_2)}{4 \cdot \sin \theta} \cdot (1 - 0,04 \cdot \Delta\theta),$$

где P_0 – осевая сила, Н;

θ – половина угла конуса, $\theta = 1^\circ 26' 16''$;

$\Delta\theta$ – отклонение угла конуса, $\Delta\theta = 5'$.

Приравниваем момент трения к максимальному моменту сил сопротивления резанию, то есть к моменту, создающемуся при работе затупившимся сверлом, который увеличивается до трех раз по сравнению с моментом, принятым для нормальной работы сверла.

Средний расчетный диаметр конуса хвостовика

$$d_{\text{ср.р}} = \frac{6M_{\text{ср}} \cdot \sin \theta}{\mu \cdot P_0 \cdot (1 - 0,04 \cdot \Delta\theta)},$$

где $M_{\text{ср}}$ – момент сопротивления резанию, Н·м;

μ – коэффициент трения по стали, $\mu = 0,096$.

Далее по СТ СЭВ 147-75 выбираем номер конуса Морзе с учетом среднего расчетного диаметра (табл. 12).

Параметры хвостовика с конусом Морзе

Обозначение величины конуса	Конусы Морзе						
	0	1	2	3	4	5	6
	при конусности						
	$\frac{1}{19,212} = 0,05205$	$\frac{1}{20,047} = 0,04988$	$\frac{1}{20,020} = 0,04995$	$\frac{1}{19,922} = 0,05020$	$\frac{1}{19,254} = 0,05194$	$\frac{1}{19,002} = 0,05263$	$\frac{1}{19,180} = 0,05214$
D	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348
D_1	9,2	12,2	18,0	24,1	31,6	44,7	63,8
d_2	6,1	9,0	14,0	19,1	25,2	36,5	52,4
$d_{3 \max}$	6,0	8,7	13,5	18,5	24,5	35,7	51,0
$l_{3 \max}$	56,5	62,0	75,0	94,0	117,5	149,5	210,0
$l_{4 \max}$	59,5	65,5	80,0	99,0	124,0	156,0	218,0
a	3,0	3,5	5,0	5,0	6,5	6,5	8,0
bh_{13}	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19,0
c	6,5	8,5	10,0	13,0	16,0	19,0	27,0
e_{\max}	10,5	13,5	16,0	20,0	24,0	29,0	40,0
R	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	13,0
R_1	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0
v	0,06	0,06	0,065	0,065	0,07	0,07	0,07

Определяем ширину ленточки f и высоту затылка по спинке c по табл. 13.

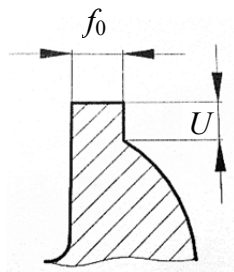


Рис. 10. Параметры ленточки сверла

Таблица 13

Параметры ленточки, мм

Диаметр сверла D	Ширина ленточки f_0	Высота затылка по спинке c	Диаметр сверла D	Ширина ленточки f_0	Высота затылка по спинке c
0,55–0,75	0,2	0,1	15–20	1,2	0,6
0,8–1,0	0,3	0,15	20–25	1,6	0,7
1,1–2,0	0,4		25–30	1,8	0,8
2–5	0,6		30–35	1,8	0,9
5–8	0,7	0,2	34–40	2,0	1,0
8–10	0,8	0,3	40–45	2,3	
10–12	0,9	0,4	45–50	2,6	1,2
12–15	1,0		50–80	3,0	1,5

Примечание. 1. Размеры в мм.

2. Сверла диаметром до 0,5 мм изготавливают без ленточек.

Ширина пера B определяется по формуле:

$$B = 0,58 \cdot D_{\text{св.}}$$

5. Расчет исполнительных размеров сверла.

Средний диаметр отверстия с учетом допуска на отверстие Н12 после сверления:

$$d_{\text{ср}} = D_0 + \text{В.О.} - 0,0737TD,$$

где D_0 – диаметр отверстия, мм;

В.О. – верхнее отклонение для соответствующего диаметра сверла, мм;

Н.О. – нижнее отклонение, мм;

TD – допуск отверстия, мм.

Далее получаем размеры D_{max} и D_{min} отверстия:

$$D_{\text{max}} = D_0 + \text{В.О.};$$

$$D_{\text{min}} = D_0 + \text{Н.О.}$$

Определяем допуск на диаметр отверстия:

$$P_{\text{max}} = 0,5 \cdot TD.$$

Отсюда максимальный диаметр сверла:

$$d_{\text{max}} = D_{\text{max}} - P_{\text{max}}.$$

Выбираем допуск на диаметр сверла в зависимости от точности обработки сверла (обычно по 8-му качеству).

Определяем допуски на диаметр сверла:

$$d_{\text{min}} = d_{\text{max}} - h8.$$

Строим схему расположения полей допусков (рис. 11).

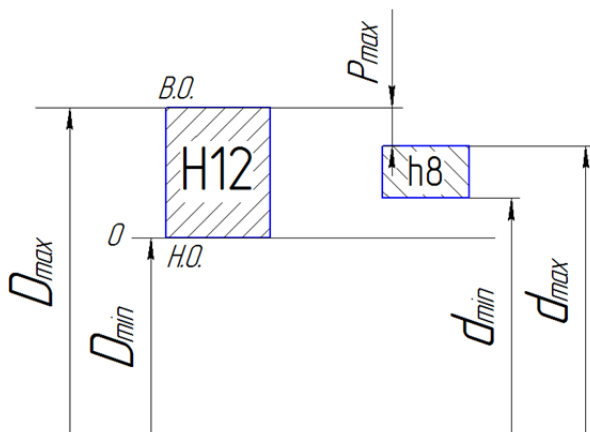


Рис. 11. Схема распределения полей допусков

После сверления точность отверстия обычно соответствует 12-му качеству.

6. Расчет профиля фрезы для обработки канавки сверла.

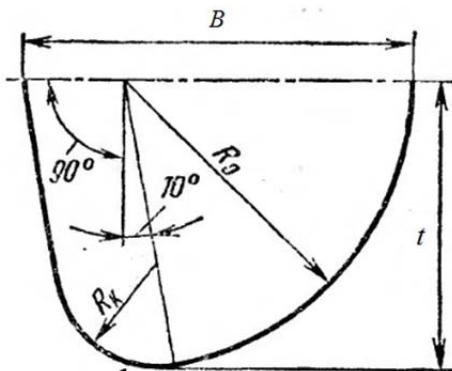


Рис. 12. Эскиз профиля фрезы

Расчет осуществляется аналитическим методом:

$$R_0 = C_R \cdot C_r \cdot C_\phi \cdot D_{CB},$$

где C_R – коэффициент, зависящий от углов 2φ и ω , определяемый по формуле:

$$C_R = \frac{0,026 \cdot 2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega},$$

C_r – коэффициент, учитывающий изменение диаметра перемычки, определяемый по формуле:

$$C_r = \left(\frac{0,14 \cdot D_{\text{св}}}{d_{\text{п}}} \right)^{0,044},$$

где $d_{\text{п}}$ – диаметр перемычки, мм;

$C_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий влияние диаметра канавочной фрезы:

$$C_{\text{ф}} = \left(\frac{13 \cdot \sqrt{D_{\text{св}}}}{D_{\text{ф}}} \right)^{0,9}, \text{ при } D_{\text{ф}} = 13\sqrt{D_{\text{св}}} \text{ получим } C_{\text{ф}} = 1.$$

Радиус закругления вершины фрезы

$$R_{\text{к}} = C_{\text{к}} \cdot D_{\text{св}};$$

$$C_{\text{к}} = 0,015 \cdot \omega^{0,75}.$$

Ширина фрезы

$$B = R_0 + \frac{R_{\text{к}}}{\cos \psi_1}.$$

Так как угол ψ_1 обычно мал ($\sim 10^\circ$), то

$$B \approx R_0 + R_{\text{к}}.$$

Далее чертим эскиз расчетного профиля фрезы.

Проверочный расчет сверла на прочность и жесткость.

Чтобы сверло надежно противостояло силам резания, оно должно иметь запас прочности, превышающий действующие нагрузки. Необходимо выдерживать следующие соотношения:

$$3M_{кр} \leq 0,0206 \cdot 10^{1,4m+0,2n'} \tau_k q^3;$$

$$3P_0 \leq KF\sigma_T;$$

$$P_0 \leq \frac{\eta \pi^2 EI_{\min}}{l^2},$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м;

τ_k – предел прочности материала сверла на кручение, МПа;

m – коэффициент, определяемый по формуле:

$$m = \frac{k}{d};$$

Таблица 14

$D_{св}$	1,5–12	13–80
k/d	0,18–0,15	0,15–0,13

P_0 – осевая сила, Н;

F – площадь поперечного сечения рабочей части сверла, мм², определяемая по формуле:

$$F = 0,314 \cdot D_{св}^2,$$

n' – коэффициент, определяемый по формуле:

$$n' = \frac{B_0}{D_{\text{св}}},$$

где B_0 – ширина пера, мм;

$D_{\text{св}}$ – диаметр сверла, мм;

q – диаметр спинки, мм, определяемый по формуле:

$$q = D_{\text{св}} - 2c,$$

c – высота спинки, мм;

$K = 0,22-0,25$ и $\eta = 1,67$ – коэффициенты, учитывающие зависимость сверла;

σ_T – предел текучести при сжатии материала рабочей части сверла, ГПа;

E – модуль упругости материала сверла, ГПа;

I_{min} – минимальный момент инерции поперечного сечения сверла, мм⁴:

$$I_{\text{min}} = 0,0054 \cdot D_{\text{св}}^4,$$

l – вылет сверла, мм;

$$l = L - L_{\text{хв}},$$

где L – общая длина сверла, мм;

$L_{\text{хв}}$ – длина хвостовика, мм.

Если все соотношения выполняются, то прочность и жесткость данного сверла обеспечена при сверлении отверстия заданного диаметра.

Технические требования на спроектированный инструмент по ГОСТ 2034-80.

Необходимо назначить допуск на диаметр спроектированного спирального сверла по табл. 15.

Таблица 15

Допуск на диаметр стандартных спиральных сверл, мм

Диаметр сверла, мм	Сверла общего назначения			Сверла точного исполнения		
	Отклонение		Допуск	Отклонение		Допуск
	Верхнее	Нижнее		Верхнее	Нижнее	
От 0,25 до 0,5	–	–0,01	–	–	–	–
Св. 0,5 до 0,75	0	–0,015	0,015	0	–0,009	0,009
»0,75 »1	0	–0,02	0,02	0	–0,011	0,011
»1 »3	0	–0,025	0,025	0	–0,014	0,014
»3 »6	0	–0,03	0,03	0	–0,018	0,018
»6 »10	0	–0,036	0,036	0	–0,022	0,022
»10 »18	0	–0,043	0,043	0	–0,027	0,027
»18 »30	0	–0,052	0,052	0	–0,033	0,033
»30 »50	0	–0,062	0,062	0	–0,039	0,039
»50 »80	0	–0,074	0,074	0	–0,046	0,046

Пример.

Исходные данные.

Параметры отверстия (диаметр и глубина): $d = 20$ мм и $h = 50$ мм.

Тип отверстия (сквозное или глухое) – глухое.

Материал заготовки (марка материала и ГОСТ, твердость, предел прочности) – СЧ15 (ГОСТ 1412-85), НВ175.

1. Постановка задачи на проектирование:

а) химический состав обрабатываемого материала – серого чугуна с пластинчатым графитом СЧ15 (ГОСТ 1412-85) приведен в табл. 16.

Таблица 16

Химический состав обрабатываемого материала
СЧ15 (ГОСТ 1412-85)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
				Не более	
СЧ15	3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,2	0,15

Таблица 17

Механические свойства обрабатываемого материала
СЧ15 (ГОСТ 1412-85)

Марка чугуна	Предел прочности, σ_b , МПа	Твердость, НВ, МПа	Относительное удлинение, δ , %
СЧ15	147	1630–2290	0,2–1

б) исходя из обрабатываемого материала и пользуясь табл. 2, 3, 4, принимаем материал инструмента Р6М5К5.

Таблица 18

Механические свойства инструментального материала
Р6М5К5

Марка	$\sigma_{из}$, МПа	HRC	Теплостойкость (HRC 58), °C
Р6М5К5	2600–3000	64–66	630

в) принимаем сварную конструкцию сверла. Материал хвостовика – сталь 45 (см. табл. 6), твердость 40–50 HRC_с,

2. Выбор покрытия. Принимаем покрытие из нитрида титана и алюминия TiAlN и способ нанесения PVD (получаемые по методу физического осаждения покрытий) (см. табл. 1).

3. Выбор и обоснование геометрических параметров спирального сверла. Рекомендуемые углы наклона винтовой канавки и угла при вершине спиральных сверл диаметром более 10 мм принимаем по табл. 8: $\omega = 27^\circ$ и $2\varphi = 118^\circ$.

Принимаем для сверла диаметром 20 мм задний угол на периферии и угол наклона поперечной режущей кромки по табл. 9: $\alpha_0 = 8^\circ$ и $\psi = 55^\circ$.

Принимаем величину обратной конусности сверла $b = 0,08$ мм на 100 мм длины (см. табл. 10). Определяем вспомогательный угол в плане φ_1 в зависимости от принятой конусности b :

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{0,08}{100}\right) = 0,046^\circ.$$

Принимаем форму заточки одинарную.

Диаметр сердцевины для диаметра сверла 20 мм:

$$d_c = (0,145-0,125) \cdot D_{св} = 0,13 \cdot 20 = 2,6 \text{ мм.}$$

Принимаем утолщение сердцевины сверла по направлению к хвостовику 1,7 мм на 100 мм, так как материал сверла – быстрорежущая сталь P6M5K5.

Определяем передние и задние углы в заданных точках по длине главной режущей кромки.

Расчетные точки располагаем в следующих координатах:

$$r_1 = 0,5 \cdot D_{св}; \quad r_2 = 0,25 \cdot D_{св}; \quad r_3 = 0,5 \cdot d_c.$$

Проводим расчет углов переднего γ_{Nx} и заднего α_x в каждой из выбранных точек.

1) При $r_1 = 0,5 \cdot D_{\text{св}} = 0,5 \cdot 20 = 10$ мм:

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \frac{10}{10} \cdot \operatorname{tg} 27^\circ = 0,5095;$$

$$\sin \mu_1 = \frac{1,3}{10} = 0,13;$$

$$\cos \mu_1 = \sqrt{1 - 0,13^2} = 0,9915;$$

$$\operatorname{tg} \mu_1 = \frac{\sin \mu_1}{\cos \mu_1} = \frac{0,13}{0,9915} = 0,1311;$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{N1} = \frac{(1 - 0,13^2 \cdot 0,8572^2) \cdot 0,5095}{0,8572 \cdot 0,9915} - 0,5150 \cdot 0,1311 = 0,5245;$$

$$\gamma_{N1} = \operatorname{arctg} 0,5245 = 27^\circ 40';$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{20}{20} \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 0,1405, \quad \alpha_1 = 8^\circ.$$

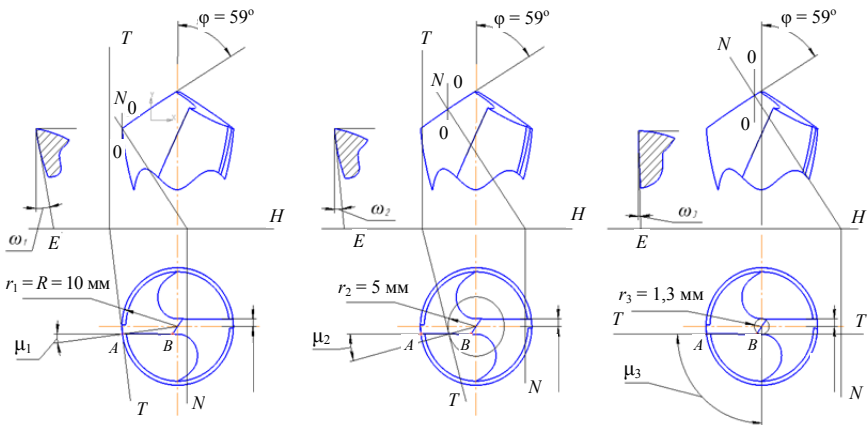


Рис. 12. Расчетные эскизы рабочей части сверла

2) При $r_2 = 0,25 \cdot D_{CB} = 0,25 \cdot 20 = 5$ мм:

$$\operatorname{tg} \omega_2 = \frac{5}{10} \cdot \operatorname{tg} 27^\circ = 0,2548;$$

$$\sin \mu_2 = \frac{1,3}{5} = 0,26;$$

$$\cos \mu_2 = \sqrt{1 - 0,26^2} = 0,9656;$$

$$\operatorname{tg} \mu_2 = \frac{\sin \mu_2}{\cos \mu_2} = \frac{0,26}{0,9656} = 0,2693;$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{N2} = \frac{(1 - 0,26^2 \cdot 0,8572^2) \cdot 0,2548}{0,8572 \cdot 0,9656} - 0,5150 \cdot 0,2693 = 0,1538;$$

$$\gamma_{N2} = \operatorname{arctg} 0,1538 = 8^\circ 45';$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{20}{10} \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 0,2811, \quad \alpha_2 = 15^\circ 42'.$$

3) При $r_3 = 0,5 \cdot d_c = 0,5 \cdot 2,6 = 1,3$ мм:

$$\operatorname{tg} \omega_3 = \frac{1,3}{10} \cdot \operatorname{tg} 27^\circ = 0,0662;$$

$$\sin \mu_3 = \frac{1,3}{1,3} = 1;$$

$$\cos \mu_3 = 0;$$

$$\gamma_{N3} = 0^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{20}{2,6} \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 1,081, \quad \alpha_3 = 47^\circ 14'.$$

4. Расчет конструктивных параметров сверла.

Определяем диаметр шейки сверла:

$$D_{\text{ш}} \approx 20 - (0,1-0,5) = 19,5 \text{ мм.}$$

Общая длина сверла составляет:

$$l_1 = 50 + 3 \cdot 20 = 110 \text{ мм.}$$

Принимаем по рекомендациям $l_3 = 10$ мм.

Длина режущей части:

$$l_2 = \frac{20}{2} \cdot \text{ctg}59^\circ = 6 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой канавки:

$$H = 3,14 \cdot 20 \cdot \text{ctg}27^\circ = 123 \text{ мм.}$$

Величина l_4 вытекает из расчета хвостовика.

Расчет хвостовика предполагает определение конуса Морзе и габаритных размеров. Расчет начинаем с определения режимов резания по методике [7].

1. Глубина резания:

$$t = 0,5 \cdot D_{\text{св}} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ мм.}$$

2. По [7, табл. 25] принимаем подачу s (мм/об) при известной глубине резания t :

$$s = 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

3. Определяем скорость резания при стойкости инструмента, $T = 60$ мин [7, табл. 30]. Значение степеней выбираем из [7, табл. 28] для материала режущей части Р6М5К5:

$$C_v = 17,1; \quad q = 0,25; \quad y = 0,40; \quad m = 0,2;$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv};$$

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v},$$

где $n_v = 1,3$ [7, табл. 2];

$$K_{uv} = 1 \text{ [7, табл. 6];}$$

$$K_{lv} = 1 \text{ [7, табл. 31];}$$

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{175} \right)^{1,3} = 1,11;$$

$$K_v = 1,11 \cdot 1 \cdot 1 = 1,11.$$

Тогда

$$V = \frac{17,1 \cdot 20^{0,25}}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,40}} \cdot 1,11 = 23,35 \text{ м/мин.}$$

4. Рассчитываем крутящий момент. По [7, табл. 32] определяем значения степеней:

$$C_M = 0,021; \quad q = 2,0; \quad y = 0,8;$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^{n_p},$$

где $n = 1$ [7, табл. 9];

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{175}{190} \right)^1 = 0,92.$$

Тогда

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,021 \cdot 20^2 \cdot 0,5^{0,8} \cdot 0,92 = 44,39 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Рассчитываем осевую силу:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p.$$

По [7, табл. 32] определяем значения степеней:

$$C_p = 42,7; \quad q = 1,0; \quad y = 0,8.$$

Тогда

$$P_0 = 10 \cdot 42,7 \cdot 20^1 \cdot 0,5^{0,8} \cdot 0,92 = 4512,55 \text{ Н}.$$

6. Частота вращения:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 23,35}{3,14 \cdot 20} = 371,8 \text{ об/мин.}$$

7. Мощность резания:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{44,39 \cdot 371,8}{9750} = 1,69 \text{ кВт.}$$

Используя расчетную схему (см. рис. 9), определяем средний диаметр конуса хвостовика, а затем выбираем номер конуса Морзе хвостовика по табл. 12.

$$d_{ср.р} = \frac{6 \cdot 44,39 \cdot \sin 1^\circ 26' 16''}{0,096 \cdot 4512 \cdot (1 - 0,04 \cdot 5)} = 19,8 \text{ мм.}$$

Принимаем хвостовик с конусом Морзе 3.

Тогда $l_4 = 99$ мм и соответственно общая длина сверла:

$$L = 110 + 10 + 99 = 219 \text{ мм.}$$

Принимаем ширину ленточки $f_0 = 1,2$ мм и высоту затылка $c = 0,7$ мм по табл. 13.

Определяем ширину пера B :

$$B = 0,58 \cdot 20 = 11,6 \text{ мм.}$$

5. Расчет исполнительных размеров сверла.

Средний диаметр отверстия с учетом допуска на отверстие Н12 после сверления:

$$d_{\text{ср}} = 20 + 0,210 - 0,0737 \cdot 210 = 20,19 \text{ мм,}$$

где D_0 – диаметр отверстия;

В.О. – верхнее отклонение, В.О. = 210 мкм;

Н.О. – нижнее отклонение, Н.О. = 0 мкм;

TD – допуск отверстия, $TD = 210$ мкм.

Рассчитываем размеры D_{max} и D_{min} отверстия:

$$D_{\text{max}} = D_0 + \text{В.О.} = 20 + 0,21 = 20,21 \text{ мм;}$$

$$D_{\text{min}} = D_0 + \text{Н.О.} = 20,0 \text{ мм.}$$

Определяем допуск на диаметр отверстия:

$$P_{\text{max}} = 0,5 \cdot TD = 0,5 \cdot 210 = 110 \text{ мкм.}$$

Отсюда максимальный диаметр сверла:

$$d_{\text{max}} = D_{\text{max}} - P_{\text{max}} = 20,21 - 0,11 = 20,1 \text{ мм.}$$

Выбираем допуск на диаметр сверла по 8-му качеству.
 Определяем допуски на диаметр сверла:

$$d_{\min} = d_{\max} - h8 = 20,1 - 0,033 = 20,067 \text{ мм.}$$

Строим схему расположения распределения допусков (рис. 13).

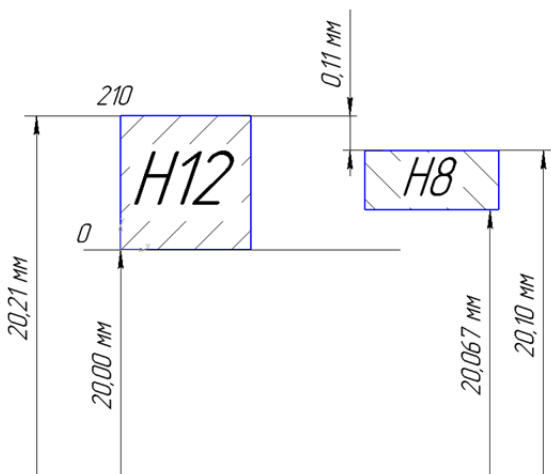


Рис. 13. Расчетная схема распределения допуском для сверла $\varnothing 20$ мм

6. Расчет профиля фрезы для обработки канавки сверла.

Определяем необходимые коэффициенты:

$$C_R = \frac{0,026 \cdot 118 \cdot \sqrt[3]{118}}{27} = 0,557;$$

$$C_r = \left(\frac{0,14 \cdot 20}{2,6} \right)^{0,044} = 1,003;$$

$$d_{\Pi} = d_c = 2,6 \text{ мм.}$$

Следовательно:

$$R_0 = 0,557 \cdot 1,003 \cdot 1 \cdot 20 = 11,173 \text{ мм.}$$

Радиус закругления вершины фрезы:

$$C_k = 0,015 \cdot \omega^{0,75} = 0,178;$$

$$R_k = 0,178 \cdot 20 = 3,56 \text{ мм.}$$

Ширина фрезы:

$$B \approx 11,17 + 3,56 = 14,73 \text{ мм.}$$

Далее чертим эскиз профиля фрезы.

Проверочный расчет сверла на прочность и жесткость:

$$n' = \frac{B_0}{D_{св}} = \frac{14,73}{20} = 0,7365.$$

Диаметр спинки: $q = D_{св} - 2c = 20 - 2 \cdot 0,7 = 18,6 \text{ мм.}$

Предел прочности материала сверла на кручение:
 $\tau_k = 1650 \text{ МПа.}$

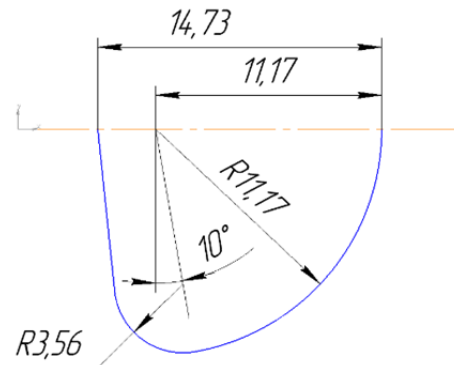


Рис. 14. Эскиз профиля фрезы

Тогда площадь поперечного сечения рабочей части сверла:

$$F = 0,314 \cdot 20^2 = 125,6 \text{ мм}^2.$$

Предел текучести при сжатии материала рабочей части сверла: $\sigma_T = 3 - 3,2 \text{ ГПа}$.

Модуль упругости материала сверла: $E = 225 \text{ ГПа}$.

Минимальный момент инерции поперечного сечения сверла:

$$I_{\min} = 0,0054 \cdot D_{\text{CB}}^4 = 0,0054 \cdot 20^4 = 864 \text{ мм}^4;$$

$$l = L - L_{\text{ХВ}} = 219 - 99 = 120 \text{ мм}.$$

Принимаем по табл. 14 $m = 0,14$.

Следовательно:

$$3 \cdot 44,39 \leq 0,0206 \cdot 10^{1,4 \cdot 0,14 + 0,2 \cdot 0,7365} \cdot 1650 \cdot 10^6 \cdot 0,0186^3;$$

$$133,14 \leq 482,16;$$

$$3 \cdot 4512 \leq 0,24 \cdot 125,6 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^9;$$

$$13536 \leq 90432;$$

$$4512 \leq \frac{1,67 \cdot 3,14^2 \cdot 225 \cdot 10^9 \cdot 864 \cdot 10^{-12}}{14 \cdot 400 \cdot 10^{-6}};$$

$$4512 \text{ Н} \leq 22 \cdot 228 \text{ Н}.$$

Все соотношения выполняются, следовательно, прочность и жесткость данного сверла при сверлении отверстия диаметром 20 мм обеспечены.

Технические требования на спроектированный инструмент по ГОСТ 2034-80.

1. Сверло должно изготавливаться по классу точности А1.
2. Твердость рабочей части сверла должна быть 63–66 HRC.
3. Твердость лапок сверла с коническим хвостовиком должна быть 32–47 HRC.
4. Предельные отклонение угла при вершине и заднего угла не должны быть более $\pm 3^\circ$.

Допуск на диаметр спроектированного спирального сверла назначается по табл. 15 и проставляется на рабочем чертеже сверла.

Библиографический список

1. Ящерицын, П. И. Основы резания материалов и режущих инструмент: учебник для машиностроит. спец. вузов / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск : Выш. школа, 1981. – 560 с., ил.
2. Алексеев, Г. А. Конструирование инструмента: учебник для машиностроительных техникумов / Г. А. Алексеев, В. А. Аршинов, Р.М. Кричевская; под общ. ред. Г. А. Алексеева. – М. : Машиностроение, 1979. – 384 с., ил.
3. Семенченко, И. И. Проектирование металлорежущих инструментов: учебное пособие. – М. : Машгиз, 1963. – 952 с.
4. Алексеев, Г. А. Расчет и конструирование режущего инструмента / Г. А. Алексеев, В. А. Аршинов, Е. А. Смольников. – М. : Машгиз. – 1951. – 603 с.
5. Аршинов, В. А. Резание металлов и режущий инструмент: учебник для техникумов / В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение. – 1976. – 440 с.
6. Справочник инструментальщика-конструктора. – 2-е изд., доп. и перераб. / В. И. Климов [и др.] – Москва ; Свердловск : Машгиз. – 1958. – 608 с.
7. Косилова, А. Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с., ил.
8. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент: учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск : Новое знание, 2007. – 400 с.

Учебное издание

ДЕЧКО Эдуард Михайлович
МАРКОВА Елена Александровна
ЯЦКЕВИЧ Ольга Константиновна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕЛЬНЫХ СВЁРЛ

Пособие
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

Редактор *В. И. Акулёнок*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 01.09.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,73. Уч.-изд. л. 2,14. Тираж 100. Заказ 82.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.