

1 Исходные данные

При расчете комбинированной развертки исходными данными являются: диаметры ступеней обрабатываемого отверстия d_1 и d_2 соответственно, длины ступеней обрабатываемого отверстия l_1 и l_2 соответственно, обрабатываемый материал, чистота обработанных поверхностей Ra .

2 Анализ и техническое обоснование принятой конструкции развертки

Развертки являются многолезвийным инструментом для обработки точных цилиндрических и конических отверстий с малой шероховатостью. Точность обработки развертками 6-9 квалитет; для получения высокоточных отверстий применяются двух- и даже трехкратное развертывание комплектом из черновой, промежуточной и чистовой разверток. Достижимая шероховатость поверхности $Ra=0,32-1,25$ мкм.

Припуск на сторону при развертывании зависит от вида развертывания и диаметра инструмента (табл.1).

Таблица 1 - Припуски под развертывание, мм

Диаметр отверстия	Черновое, однократное развертывание	Чистовое, двукратное развертывание
8...10	0,08	0,05
12...18	0,12	0,06
20...30	0,15	0,07
30...50	0,20	0,08

В массовом и крупносерийном производстве для повышения производительности при обработке ступенчатых отверстий применяют комбинированные развертки. Эти инструменты могут использоваться на сверлильных, револьверных, агрегатных станках и токарных полуавтоматах.

Развертки малого диаметра изготавливают цельными из быстрорежущей стали. Инструменты диаметром больше 10-15 мм с целью экономии инструментального материала изготавливают сборными (с напайными или неперетачиваемыми пластинками твердого сплава) или составными (сварными). При изготовлении составных разверток рабочую часть инструмента делают из быстрорежущей стали, а хвостовик – из легированной конструкционной стали. Соединяют отдельные части инструмента сваркой трением или электроконтактной сваркой. Твердость рабочей части разверток из быстрорежущих сталей 62-65 HRC₃. Хвостовики составных разверток изготавливают из сталей 40X или 45X. Твердость корпуса 40-50 HRC₃.

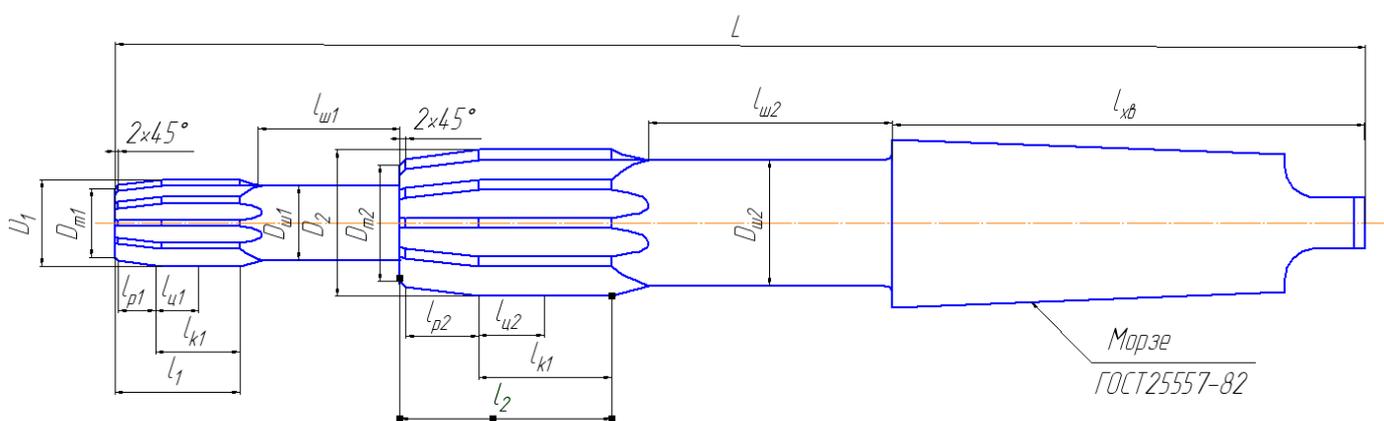
На выбор марки инструментального материала влияют физико-механические свойства обрабатываемого материала, размеры обрабатываемого отверстия.

В зависимости от диаметра развертки изготавливают с цилиндрическим или коническим хвостовиком. Развертки малого диаметра (до 10 мм) чаще всего делают с ци-

линдрическим хвостовиком, более крупные - с хвостовиком в виде конуса Морзе. Преимуществом конического хвостовика является лучшее центрирование инструмента и возможность передачи усилия резания за счет сил трения между хвостовиком и посадочным отверстием в шпинделе.

Закрепление развертки в шпинделе станка с помощью конуса Морзе называется жестким. При таком закреплении ось развертки всегда совпадает с осью шпинделя. Однако, если обработка отверстий производится с переустановкой заготовки или с многократным позиционированием инструмента, то ось предварительно обработанного отверстия и инструмента могут не совпасть. Это приведет к ухудшению качества обработанной поверхности.

Поэтому для разверток часто используется закрепление в плавающих или качающихся патронах, конструкция которых позволяет развертке самоустанавливаться по оси предварительно обработанного отверстия. Для закрепления в этих патронах развертка должна иметь цилиндрический хвостовик с отверстием под палец.



Комбинированная развертка

Развертки снабжаются длинной шейкой между хвостовиком и рабочей частью или между отдельными частями комбинированной развертки, что необходимо для подвода развертки при обработке глубоких отверстий. Диаметр шейки $D_{ш}$ должен быть меньше диаметра сердцевины, чтобы не препятствовать фрезерованию зубьев. Длина шейки $l_{ш}$ выбирается из конструктивных соображений.

Развертки могут быть выполнены с равномерным распределением зубьев по окружности или с неравномерным. Развертки с неравномерным распределением зубьев обеспечивают более высокую точность формы отверстия в поперечном сечении за счет уменьшения величины огранки, но они более сложные в изготовлении.

На основании вышеизложенного выбирают тип, конструкцию и материал комбинированной развертки.

3 Проектирование комбинированной развертки

3.1 Определение геометрических параметров режущей части

1. Главный угол в плане φ .

Величина главного угла в плане φ непосредственно влияет на стойкость развертки,

чистоту обрабатываемой поверхности и усилие, необходимое для развертывания.

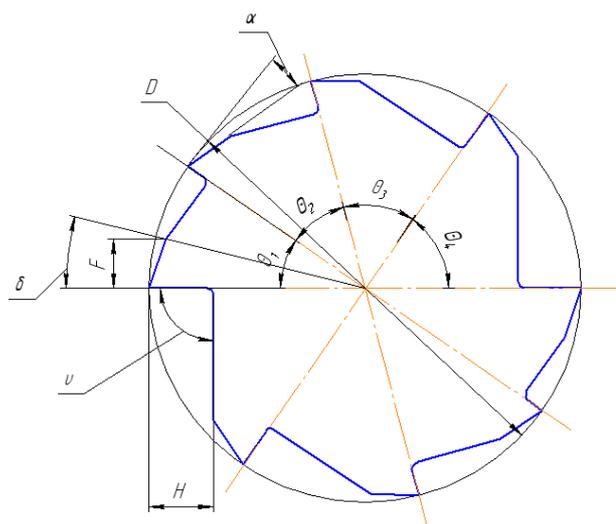
Величина угла φ выбирается в зависимости от типа развертки, марки обрабатываемого материала, вида отверстия. Для ручных разверток $\varphi=1-6^{\circ}$. Для машинных разверток $\varphi=12-15^{\circ}$ — при обработке стали; $\varphi=3-5^{\circ}$ — при обработке чугуна; при обработке глухих отверстий $\varphi=45^{\circ}$.

У всех разверток, имеющих главный угол в плане отличный от 45° на передней торце делается фаски под углом 45° для облегчения входа развертки в отверстие.

Заборная часть развертки осуществляет основную работу резания. В месте сопряжения заборной части развертки и ее калибрующей части создается плавный переход.

2. Задний угол α

Форма поперечного сечения развертки показана на рис.2. Величина заднего угла на режущей части выбирается в зависимости от обрабатываемого материала. При обработке углеродистых и легированных сталей с $\sigma_{в} \approx 500$ МПа $\alpha=6-15^{\circ}$, при обработке титана $\alpha=6-10^{\circ}$, при обработке алюминиевых сплавов $\alpha=10-15^{\circ}$. Для чистовых разверток значение заднего угла уменьшается, для черновых увеличивается.



Поперечное сечение развертки

Для более длительного сохранения исполнительного размера развертки задний угол на калибрующей части принимается небольшим $\alpha=2-5^{\circ}$.

Режущие кромки на режущей части разверток затачиваются остро; на режущих кромках калибрующей части оставляется ленточка f шириной от 0,08 до 0,4 мм.

3. Передний угол γ и угол наклона стружечной канавки ω

Передний угол в большинстве случаев принимается равным нулю. $\gamma=7-10^{\circ}$ выполняется только у черновых разверток при обработке вязких материалов.

Большинство разверток имеют прямые стружечные канавки с $\omega=0$. Винтовые канавки делают у котельных разверток, предназначенных для обработки несплошных отверстий. В этом случае для исключения явления самозатягивания развертки направление винтовой стружечной канавки должно быть противоположно направлению

вращения развертки. Угол наклона винтовых канавок выбирается: для развертывания твердых металлов равным $\omega=7\div 8^\circ$; для - развертывания вязких металлов равным $\omega=14\div 16^\circ$.

4. Угол стинки зуба v .

Канавки разверток диаметром до 20 мм фрезеруются угловой фрезой с углом профиля $v=80^\circ$. У разверток диаметром свыше 20 мм канавки образуют фрезами, профиль которых выполнен по радиусу $R=25$ мм.

3.2 Определение размеров поперечного сечения сверла

1 Номинальный диаметр развертки.

Развертка является чистовым инструментом, поэтому к ней предъявляются повышенные требования по величине и расположению поля допуска на наружный диаметр.

При назначении допусков на развертку следует иметь в виду следующее:

развертка, как правило, разбивает отверстие, поэтому максимальный диаметр развертки выполняется меньше наибольшего диаметра отверстия;

развертка должна допускать возможно большее количество переточек, т.е. должна иметь определенный запас на износ;

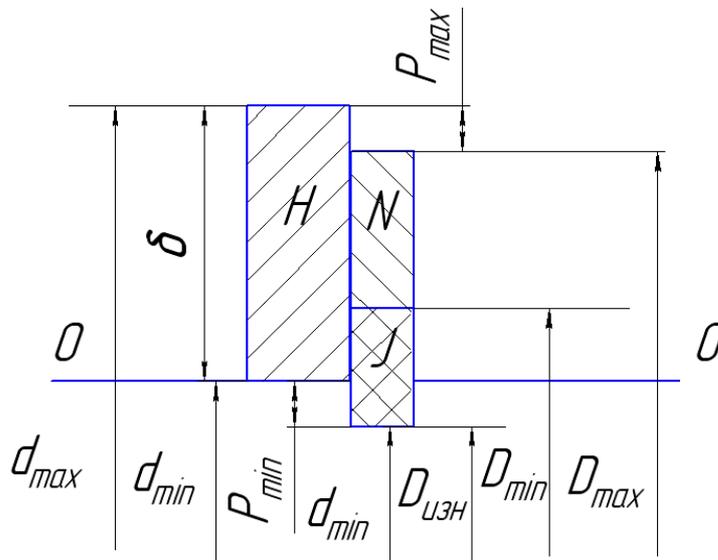
развертка должна иметь допуск на изготовление такой величины, чтобы получение ее на круглошлифовальном или доводочном станках не вызывало затруднений;

при изменении размеров от переточек в пределах запаса на износ развертка должна обеспечивать заданную точность и шероховатость отверстия.

Номинальный диаметр развертки D_i принимают равным номинальному диаметру обрабатываемого отверстия. Расположение допусков и поле допуска на диаметр должны учитывать разбивку отверстия во время обработки, уменьшение диаметра инструмента при переточках и т.д. В связи с этим поле допуска на наружный диаметр развертки смещают к верхнему краю поля допуска на обрабатываемое отверстие. Для увеличения запаса на износ нижнее отклонение диаметра изношенной развертки выбирают ниже нижнего отклонения диаметра отверстия.

Схема допусков исполнительных размеров приведена на рис.3, где δ - допуск обрабатываемого отверстия, d_{min} - минимальное значение диаметра обрабатываемого отверстия, d_{max} - максимальное значение диаметра обрабатываемого отверстия, N - допуск на изготовление развертки, J - гарантированный запас (допуск) на износ развертки в процессе эксплуатации, D_{min} - минимальное значение диаметра новой развертки, D_{max} - максимальное значение диаметра новой развертки, P_{max} - максимальная разбивка отверстия и P_{min} - минимальная разбивка отверстия.

Значения допусков на изготовление рабочих диаметров развертки и величины разбивки отверстий при развертывании приведены в табл. 2.



Расположение поля допуска развертки:

Таблица 2 - Элементы допусков на развертки

Элементы до- пуска	Точ- ность отвер- стия	Номинальный диаметр развертки, мм					
		1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50
Допуск изго- товления N, мкм	H6	5	8	10	10	10	15
	H7	10	12	15	15	15	20
Максимальная величина раз- бивки P _{max} , мкм	H6	5	7	9	10	12	14
	H7	7	9	11	12	14	16
Минимальная величина раз- бивки P _{min} , мкм	Составляет для всех диаметров и квалитетов точности 5 мкм						

2. Торцовый диаметр развертки.

Для облегчения входа развертки в отверстие в начальный момент торцовый диаметр развертки D_m должен быть меньше диаметра предварительно обработанного отверстия. Его величина равна

$$D_m = D - (2,6 \div 2,8)t, \text{ мм},$$

где t – глубина резания.

3. Обратная конусность.

Для уменьшения сил трения между калибрующей частью развертки и обработанным отверстием и, следовательно, для уменьшения разбивки отверстия и износа инструмента, диаметр калибрующей части развертки уменьшают по направлению к хво-

стовику. На конце калибрующей части диаметр ее равен

$$D_1 = D - (0,04 \div 0,08) \text{ мм.}$$

У машинных разверток обратная конусность образуется после цилиндрического участка длиной $l_{ц}$.

4. Длины развертки.

Длина заборной части разверток устанавливается равной:

$$l_{pi} = \frac{D_i - D_{mi}}{2} \operatorname{ctg} \varphi + m, \text{ мм,}$$

где $m = 1 \div 3$ мм (в зависимости от диаметра развертки).

Длина рабочей части машинных разверток

$$l_i = (0,8 \div 3) D_i, \text{ мм.}$$

Длина цилиндрической части

$$l_{ци} = (0,25 \div 0,5) l_{ki}.$$

Длина рабочей части развертки равна

$$l_i = l_{pi} + l_{ki} + 2, \text{ мм.}$$

Длина переходной шейки $l_{ш1}$ принимается такой, чтобы в момент окончания работы второй ступени калибрующая часть первой ступени полностью вышла из отверстия.

5. Число зубьев развертки.

Число зубьев развертки всегда четное. Это объясняется тем, что в этом случае радиальные составляющие сил резания для двух зубьев, лежащих на одном диаметре, взаимно уравновешиваются. В результате предотвращается возможность увода оси развертки и повышается точность обработанного отверстия. Кроме того, четное количество зубьев облегчает контроль диаметра развертки.

Число зубьев можно ориентировочно определить по формуле:

$$z = 1,5\sqrt{D} + (2 \div 4).$$

Большая величина z принимается для разверток повышенной точности.

Для уменьшения величины огранки отверстия развертки делают неравномерным угловым шагом. Величина углового шага меняется в пределах 180° так, чтобы на одном диаметре обязательно находилось два зуба. Разность между соседними угловыми шагами определяется зависимостью

$$\Delta\theta = \frac{360^\circ}{z^2}.$$

Рассчитанное значение $\Delta\theta$ округляют до величины кратной $30'$.

Значения угловых шагов определяется зависимостью

$$\theta_{Ki} = \frac{180^\circ - \sum_{i=1}^{z/2} (i-1) \cdot \Delta\theta}{0,5 \cdot z} + (i-1) \cdot \Delta\theta, \text{ град,}$$

где i - - порядковый номер зуба.

6. Глубина стружечной канавки.

У разверток с переменным угловым шагом глубину стружечной канавки делают также переменной, что позволяет использовать для всех канавок одну и ту же фрезу с постоянным профилем. Глубину канавок можно определить из формулы

$$H_K = \frac{D}{2} \left(1 - \frac{\sin(\delta + \nu - \theta_i)}{\sin \nu}\right),$$

где $\delta = \frac{180^\circ}{\pi D} F$ - угол, соответствующий ширине спинки зуба, град,

F – ширина спинки зуба (см. табл.3), мм,

$\nu=80^\circ$ – угол профиля фрезы, град.

Таблица 3 – Значения ширины спинки зуба, мм

Диаметр, мм	Число зубьев в z	Ширина спинки F				
		z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
до 10	6	0,8	1	1,2		
11-17	8	0,8	1,1	0,9	1	
18-24		1,0	1,3	1,1	1,2	
25-28		1,2	1,6	1,3	1,4	
св. 30	10	1,3	1,7	1,5	1,4	1,6

Требования к разверткам приведены в приложении

Таблицы 1 – Параметры шероховатости поверхностей режущей части развертки Ra, мкм

Поверхность	Чистовые развертки	
	Квалитет отверстия	
	6, 7-9	10, 11
Передняя поверхность	1,6	3,2/1,6
Задняя поверхности на режущей части и ленточка на калибрующей части	1,6/0,8, 1,6	3,2
Задняя поверхность на калибрующей части	6,3	

В числителе даны значения для разверток из быстрорежущей стали, в знаменателе – для разверток, оснащенных твердым сплавом.

Таблица 2 – Допуски биения зубьев режущей части разверток, мкм

Диаметр развертки, мм	Квалитет обрабатываемого отверстия			
	6	7,8	9,10	11
Быстрорежущие развертки				
3-10	10	12	16	20
10-30	12	16	20	25
Св. 30	16	20	25	32
Цельные твердосплавные развертки				
1-6		10	12	
6-10		12	16	
10-12		16	20	

Таблица 3 – Допуски радиального биения калибрующей части разверток, мкм

Диаметр развертки, мм	Квалитет обрабатываемого отверстия			
	6	7,8	9,10	11
Быстрорежущие развертки				
3-10	6	8	10	12
10-30	8	10	12	16
Св. 30	10	12	16	20
Цельные твердосплавные развертки				
1-6		6	8	
6-10		8	10	
10-12		10	12	