

Н. И. РЕЗНИКОВ, А. С. ГОРЯЧЕВ, Г. С. ЖЕЛЕЗНОВ

РАЗДЕЛКА КЛАССНЫХ ОТВЕРСТИЙ В УЗЛАХ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В сборочных цехах машиностроительных заводов значительную долю общей трудоемкости занимает разделка классных отверстий совместно в нескольких деталях, образующих пакет. Часто пакеты состоят из разнородных материалов: высокопрочных закаленных сталей и алюминиевых сплавов, механические свойства которых различны. Разнородность материалов в пакетах ухудшает их обрабатываемость. Существующие методы ручной разделки часто не обеспечивают требуемого качества отверстия: чистоты $\nabla 7$ и точности 2 класса. Применение ручного разворачивания в ряде случаев обусловлено тем, что недостаточная жесткость конструкции, плохой доступ к местам обработки затрудняют применение машинных методов обработки. В зависимости от механических свойств обрабатываемого материала, конструкции разделяемого узла, условий доступа к месту обработки разворачивание отверстий может быть ручным, механизированным (с использованием пневматических или электромеханических приводов) или смешанным, когда предварительные переходы производятся с применением приводов, а два последних перехода — вручную. Чаще всего отверстия в смешанных пакетах разделяются по третьему методу.

Поскольку качество отверстий определяется последними переходами, в данной статье, в основном, рассматривается ручное разворачивание.

В настоящее время не имеется достаточно обоснованных исходных данных для разработки процессов ручного развертывания отверстий. Анализ существующей технологии вскрывает ряд противоречий, касающихся выбора величины подачи, глубины резания, конструкции инструмента и т. п. При разработке процессов ручного развертывания часто исходят из аналогии с машинным развертыванием, что оказывается неправильным, поскольку процесс ручного развертывания в отличие от машинного имеет свои особенности.

К процессу разделки отверстий в пакетах предъявляются следующие требования: обеспечение высокого качества отверстий (чистота $\nabla 7$, точность по A_3 и A), высокой производительности труда и низкой себестоимости операции. Удовлетворение указанных требований возможно на основе широкого внедрения достижений в области обработки металлов резанием с учетом особенностей процесса разделки отверстий в пакетах, обусловленных свойствами процесса ручного развертывания, конструкцией пакетов, расположением разделяемых отверстий в пространстве, возможностями удобства и доступа к ним при разделке.

Основными особенностями ручного развертывания являются неравномерность режимов резания, малые скорости резания и крутящие моменты, ограниченные возможностями рабочего-исполнителя; наличие условий, способствующих возникновению перекосов и боковых сил при развертывании.

В зависимости от материалов слоев, встречающихся в конструкциях изделий, пакеты можно разделить на три группы:

1. Цветные пакеты, составленные из алюминиевых сплавов Д16Т, В95Т, АК8, АЛ9, магниевых сплавов типа АМГ и т. п.

2. Стальные пакеты, составленные из сталей марок: 30ХГСА $\sigma_b = 120 \text{ кг/мм}^2$; 30ХГСНА $\sigma_b = 170 \text{ кг/мм}^2$; 40ХНМА $\sigma_b = 140 \text{ кг/мм}^2$ и других.

3. Смешанные пакеты, составленные из материалов, указанных в 1-ой и 2-ой группах, механические свойства и обрабатываемость которых резко отличаются друг от друга.

Цветные пакеты легко обрабатываются развертыванием, значительно хуже — стальные и смешанные.

Плохая обрабатываемость стальных пакетов обусловлена высокими механическими свойствами закаленных сталей, твердость которых сравнима с твердостью закаленных инструментальных сталей, а с учетом наклепа приближается к

ним. На обрабатываемость смешанных пакетов, кроме этого, оказывают влияние взаимное расположение стальных и цветных слоев и направление разделки. Это выражается в появлении кольцевых рисок, образующихся в цветных слоях под действием более твердой стальной стружки. Для предотвращения рисок рекомендуется после прохождения стального слоя очищать развертку от стружки и налипов или выдувать стружку из отверстия сжатым воздухом.

Основными показателями, характеризующими качество разделанных отверстий, являются чистота поверхности и отклонение размеров отверстия от заданной геометрической формы. Как показывают опыты, эти показатели по мере увеличения износа инструмента ухудшаются. Намного раньше и значительно ухудшается чистота поверхности. Поэтому технологическим критерием пригодности инструмента для дальнейшей работы является чистота обработанной поверхности.

Образование неровностей при ручном разворачивании обусловлено целым рядом явлений, основными из которых являются следующие:

1. Налипы обрабатываемого материала на контактных поверхностях инструмента.

2. Спрессовывание стружек в стружечных канавках инструмента, а также заклинивание мельчайших стружек в клиновых зазорах между контактными поверхностями.

3. Износ режущего инструмента и выкрашивание режущих кромок.

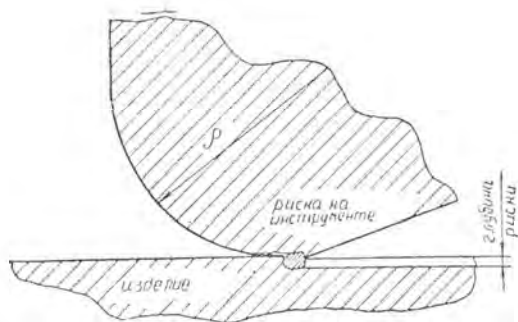
Опытами установлено, что налипообразование уменьшается с увеличением угла спирали разверток, с уменьшением шероховатости передней и задней граней инструмента и применением смазывающих средств.

Склонность к спрессовыванию стружек уменьшается с увеличением площади сечения стружечных канавок инструментов и улучшением условий отвода стружек.

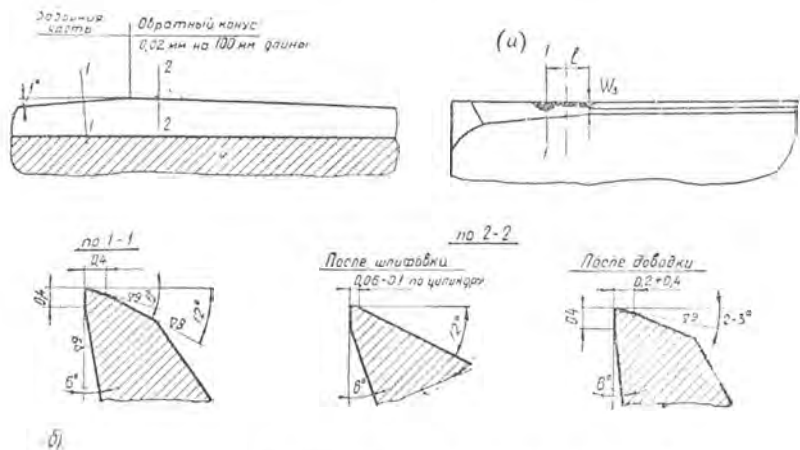
Это нашло отражение в разработанной конструкции инструмента (см. фиг. 7). Заклинивание мелких стружек наступает при наличии клиновых зазоров, образующихся по мере роста износа между обработанной поверхностью и инструментом.

Механизм воздействия мелких стружек и образование рисок на обработанной поверхности представлен на фиг. 1.

Износ разверток наблюдается как по заборной, так и калибрующей частям.



Фиг. 1. Воздействие мелких стружек на обработанную поверхность и инструмент.



Фиг. 2. Износ разверток (а) и геометрия заточки (б).

Вид износа представлен на фиг. 2 а. Как видно из этой фигуры, место наибольшего износа находится на некотором удалении l от калибрующей части. Оно соответствует месту контакта режущей кромки с поверхностью предварительного отверстия. Величина допустимого износа ручных разверток зависит от предела прочности обрабатываемого материала и уменьшается с увеличением последнего. Допустимые величины притупления инструмента приведены в таблице 1.

Обрабатываемый материал	Предел прочности σ_B , кг/мм ²	Допустимый износ W_2 , мм
30ХГСНА, ЭИ 643	160 ÷ 180	0,15 ÷ 0,2
30ХГСА, 40ХНМА	120 ÷ 160	0,2 ÷ 0,25
Прочие стали	80	0,25 ÷ 0,3
Алюминиевые и магниевые сплавы	<40 ÷ 55	0,3 ÷ 0,35

С физической стороны износ разверток обусловлен следующими явлениями трения, происходящими при низких скоростях:

1. Разрушениями режущих кромок зубьев развертки о неровности стружки и обработанной поверхности путем среза, что приводит к образованию выкрашиваний и притуплению режущей кромки. Это начальная стадия износа. Размеры выкрашиваний не превышают 0,03 мм;

2. Взаимной пластической деформацией неровностей, имеющих на поверхностях инструмента, отверстия и стружки, и являющихся местами фактического контакта, с образованием металлических связей между контактными поверхностями. При относительном движении поверхностей происходит разрушение этих связей и скалывание вершин неровностей, вступивших в контакт. Пластическая деформация и разрушение происходит, главным образом, за счет материала, имеющего меньшую твердость. Увеличение размеров неровностей приводит к уменьшению площади фактического контакта и увеличению контактных напряжений — пластические деформации происходят в больших объемах, а вырывы становятся массивнее и распространяются глубже, что обуславливает увеличение интенсивности износа.

Твердость режущего инструмента всегда выше твердости обрабатываемого материала, поэтому разрушения преобладают в обрабатываемом материале. Но так как площадь контакта обрабатываемого материала за период резания несоизмеримо больше площади контакта инструмента, незначительные разрушения поверхности последнего с течением времени образуют износ.

Из сказанного следует, что для уменьшения изнашиваемости инструмента нужно стремиться к повышению его твердости и уменьшению высоты неровностей его контактных поверхностей. Это может быть достигнуто соответствующей

термообработкой и качественной заточкой и доводкой разверток. Разработанная геометрия инструмента предусматривает доводку по передней и задней граням зубьев разверток, как показано на фиг. 2б. Узкие ленточки позволяют повысить производительность процесса доводки и ее качество. Целесообразность доводки состоит еще и в том, что она снимает отпущенный при заточке слой на зубьях развертки и уменьшает биение режущих кромок на заборной части.

Опыты показывают, что при развертывании закаленных сталей быстрорежущими инструментами большое влияние на их стойкость оказывает твердость материала режущей части. Получить высокую твердость инструмента порядка $HRC\ 63 \div 66$ и, следовательно, его высокую стойкость, представляется возможным на основе применения новых марок быстрорежущих сталей: P9K5, P9Ф5, P18Ф2, P24 и т. п. Инструменты, изготовленные из этих марок, дали повышенные стойкости до трех раз по сравнению с P18, термически обработанной по принятой технологии.

Инструменты из быстрорежущей стали P18 также могут быть рекомендованы для развертывания закаленных сталей при условии их качественной термической обработки. Введение в процесс термообработки обработки холодом при $t = -70 \text{ — } -80^\circ\text{C}$ обеспечивает стабильное качество инструментов, твердость получается не ниже $HRC\ 63$.

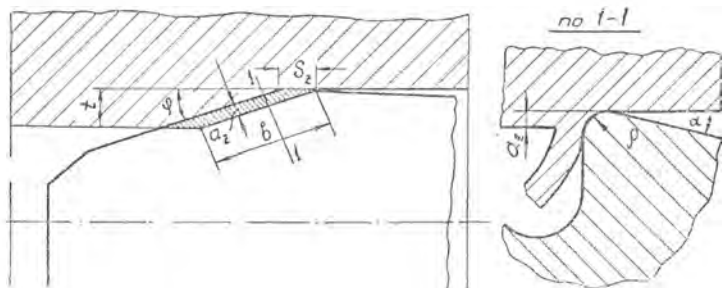
При ручном развертывании целесообразно применение смазывающих сред, так как улучшается чистота поверхности, облегчается труд исполнителя, уменьшается износ инструментов. Этому благоприятствует низкая скорость резания. Механизм действия смазывающих сред в данном случае заключается в том, что частицы жидкости успевают проникнуть в зону контакта инструмента и поверхности отверстия и, заполняя впадины, воспринимают часть контактных давлений, образуя гидравлическую опору для инструмента. Это приводит к снижению контактных напряжений, вследствие чего объем пластических деформаций по вершинам неровностей уменьшается. Образуются более слабые связи между неровностями — сила трения уменьшается. Кроме этого при наличии смазки сближение поверхностей контактов уменьшается и сухое трение частично заменяется жидкостным или полусухим. Смазка препятствует также образованию наливов.

Из опробованных жидкостей (дибутилфтолат; различные масла: машинное, веретенное, турбинное; олифа; олеиновая кислота; керосин) лучшие результаты показал дибутилфто-

лат. При обработке пакетов из алюминиевых и магниевых сплавов можно применять керосин. Тем не менее, универсальной смазкой является дибутылфтолат.

Это однако не исключает применения других смазывающих средств, дающих бесспорные выгоды по сравнению с разворачиванием всухую. Целесообразно смазку наносить не только на инструмент, но и на поверхность разделяемого отверстия.

Режимы резания (скорость, глубина, подача) при ручном разворачивании имеют большое значение, хотя их выполнение затруднительно. Кроме того, они могут служить исходными данными для разработки средств механизации. Наибольшее влияние на стойкость инструментов при разворачивании отверстий в закаленных сталях оказывает скорость резания: при $V \geq 6$ м/мин развертки из быстрорежущих сталей изнашиваются мгновенно. Величина скорости резания при обработке стальных слоев не должна превышать 2 м/мин. При обработке отверстия в цветных материалах она не лимитируется. Влияние подачи сказывается в том, что она определяет при выбранном угле заборного конуса φ толщину среза a_z (см. фиг. 3).



Фиг. 3. Геометрия сечения среза при ручном разворачивании.

$$a_z = \frac{s_0}{z} \cdot \sin \varphi,$$

где s_0 — подача на оборот, мм/об;
 z — число зубьев,

С увеличением подачи отношение $\frac{a_z}{\rho}$, (ρ — радиус округления режущей кромки) увеличивается, фактический передний угол также увеличивается, что благоприятно ска-

зывается на процессе стружкообразования. Нагартовка срезаемого слоя уменьшается, направление инструмента улучшается вследствие того, что количество зубьев, участвующих в работе, увеличивается. Кроме того, при этом путь трения зуба по поверхности отверстия уменьшается — стойкость разверток, оцениваемая количеством обработанных отверстий, увеличивается.

Из сказанного выше следует, что при имеющемся износе увеличение подачи может привести к улучшению чистоты поверхности. Увеличение подачи неблагоприятно сказывается лишь в том, что при этом увеличиваются радиальные силы, обуславливающие усадку отверстия. По данным наших опытов, оптимальная величина подачи составляет $s_2 = 1 \div 1,5$ мм на зуб.

Глубина резания определяется величиной припуска, оставленного от предыдущего прохода. Существует мнение, что с уменьшением глубины резания качество обработанного отверстия улучшается. В практике, исходя из этого положения, глубину резания уменьшают при подходе к последнему переходу. Например, разделка отверстия $\varnothing 42 A$ на последних переходах производилась развертками $\varnothing 41,9; 41,95; 41,98; 42A$.

Глубина резания при развертывании должна выбираться с учетом механических свойств обрабатываемого материала и искажений формы предварительного отверстия. Нужно стремиться к минимальному наклепу поверхностных слоев, а резание производить с толщиной среза, превышающей глубину наклепанного слоя. Это определяется необходимостью уменьшить износ переходного участка заборной части, который формирует поверхность обработанного отверстия в калибрующую. Работая в менее наклепанном слое, он изнашивается медленнее, сохраняя свои режущие свойства.

Глубина наклепа отверстий в закаленных сталях, полученных после обработки быстрорежущим инструментом, не превышает 0,03 мм. Твердость быстро уменьшается с удалением от поверхности. Поэтому оптимальной глубиной резания для закаленных сталей следует считать 0,05 мм.

Алюминиевые сплавы входят в конструкцию в закаленном и состаренном состоянии. Опыты показали, что при этом во всех случаях нетрудно получить качественные отверстия. Поэтому глубина выбирается из соображений вмещаемости стружки в канавки инструмента и точности отверстия. Во всяком случае, ее не следует брать меньше 0,05 мм.

Из сказанного можно сделать вывод, что глубина резания при ручном развертывании должна быть не менее 0,05 мм почти для всех случаев. Все вышесказанное о глубине резания касается только чистового развертывания. При черновом развертывании глубину резания следует увеличивать. Однако необходимо учитывать, что с увеличением глубины резания условия работы исполнителя ухудшаются.

Рекомендуемые переходы при развертывании приведены в таблице 2.

Таблица 2

Обрабатываемый материал	Диаметр отверстия, мм	Подача на зуб, мм	Глубина резания, мм			
			зенкерование	1-е черновое разверт.	2-е черновое разверт.	чистовое развертывание
Стальные пакеты и смешанные	до 20	0,5	0,15	0,1	0,1	0,05
	св. 20	1,0	0,2	0,1	0,1	0,05
Пакеты из алюминиевых и магниевых сплавов	до 20	1,0	1,0	0,2	0,2	0,1÷0,15
	св. 20	1,0	1,0	0,2	0,2	0,2

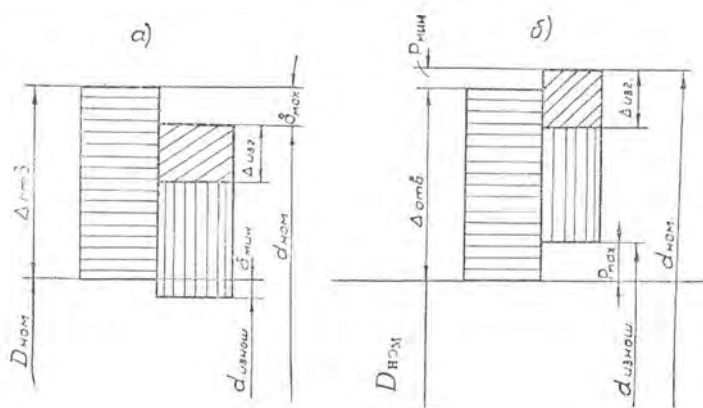
Внедрение найденных оптимальных глубин резания позволило уменьшить количество инструментов, участвующих в операции, и повысить качество отверстий. Развертки, номинальный диаметр которых был равен $d=0,05$ мм и $d=0,02$ мм, были изъяты из комплекта.

При ручной разделке предъявляются высокие требования к точности размеров и формы получаемых отверстий.

Для отверстий, разделанных ручным развертыванием, характерны следующие отклонения: конусность, овальность, разбивка или усадка, величина которых, как правило, не превышает 0,01 мм.

При развертывании отверстий в пакетах в зависимости от их конструкции и применяемого инструмента может получаться как разбивка отверстия, так и усадка. Иногда даже в одном пакете отверстие в одних слоях может получить усадку, а в других разбивку. Это приводит к ступенькам на

стенках отверстия. Разбивка или усадка учитываются при изготовлении инструмента соответствующим выбором схемы полей допусков (фиг. 4).



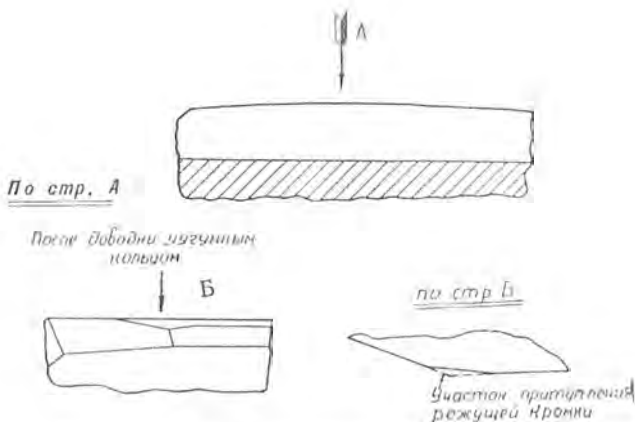
Фиг. 4. Схема полей допуска разверток:

- а) для случаев разбивки отверстий;
 б) для случаев усадки отверстий.
- где $\Delta_{отв.}$ — допуск на отверстие;
 $\Delta_{разг.}$ — допуск на изготовление разверток;
 $\delta_{max}; \delta_{min}$ — максимальная и минимальная разбивка;
 $p_{max}; p_{min}$ — максимальная и минимальная усадка;
 $d_{ном}$ — номинальный диаметр развертки;
 $d_{изв.ш.}$ — диаметр изношенной развертки.
 $D_{ном}$ — номинальный диаметр отверстия.

Применение двух схем полей допусков приводит к увеличению номенклатуры режущих инструментов, что нежелательно.

Разбивку на входе в отверстие можно значительно уменьшить, улучшая направляемость инструмента. Это может быть достигнуто повышением точности предварительного отверстия, применением (где это целесообразно) направляющих втулок и кондукторов, механизацией процесса разделки, способствующей уменьшению боковых сил.

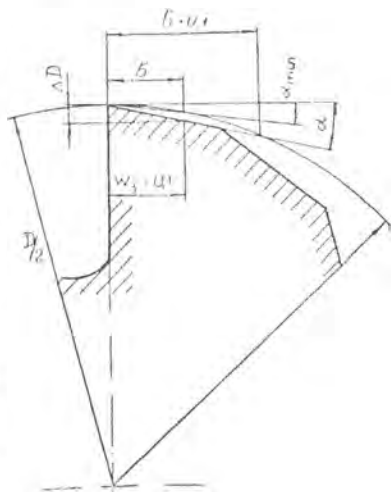
Из конструктивных элементов инструмента на появление разбивки или усадки решающее влияние оказывает оформление калибрующего участка зуба, которое может быть выполнено двояко: с калибрующей цилиндрической ленточкой (фиг. 5) и без нее, что называется «наостро» (фиг. 6). Первое достигается доводкой чугунами кольцами с пастой



Фиг. 5. Изменение геометрии зуба при доводке чугуными кольцами.

ГОИ, второе — на специальном доводочном станке мелкозернистыми абразивными кругами (зернистость 3, M28, M14).

Оформление калибрующей части «наостро» обладает рядом преимуществ перед цилиндрической калибрующей ленточкой, недостатки которой обусловлены методом доводки. Наблюдения показывают, что режущие кромки при этом имеют завалы и притуплены, а в месте перехода заборной части в калибрующую образуется прямая конусность (фиг. 5). При доводке кольцами необходимое осевое сечение зуба трудно выдержать, а прямая конусность на калибрующей части неизбежна, что увеличивает трение и способствует усадке отверстия. Кроме этого, по мере износа инструмента образуются клиновые зазоры, где скапли-



Фиг. 6. Схема доводки «наостро».

W_3 — износ по задней грани,
 ΔD — изменение диаметра развертки,
 связанное с износом и пореточкой ее.

ваются и заклиниваются мелкие стружки, ухудшающие чистоту поверхности.

Напротив, доводка «наостро» позволяет выдержать точно осевое сечение зуба; наличие обратной конусности и отсутствие цилиндрической ленточки уменьшают и трение, что облегчает работу исполнителя и весьма важно для ручного развертывания. Наиболее существенным преимуществом доводки «наостро» является более высокое качество отверстий: чистота поверхности улучшается за счет того, что калибрующая часть зуба зачищает неровности, а заклинивание мелких стружек исключается, усадка отсутствует, а разбивка может быть уменьшена до минимума за счет устранения перекосов. Нами был принят второй тип оформления калибрующей части—«наостро». На основе проведенных опытов и анализа работы основных конструктивных элементов разверток, а также учета особенностей процесса развертывания отверстий в пакетах была определена оптимальная геометрия и конструкция разверток, показанная на фиг. 7.

Отличия и преимущества данной конструкции от принятых на ряде машиностроительных заводов состоят в следующем.

1. Введена доводка по передней и задней граням заборной и калибрующей частей, что обеспечивает высокую чистоту рабочих граней, снятие отпущенного при заточке слоя и отсутствие биений режущих кромок.

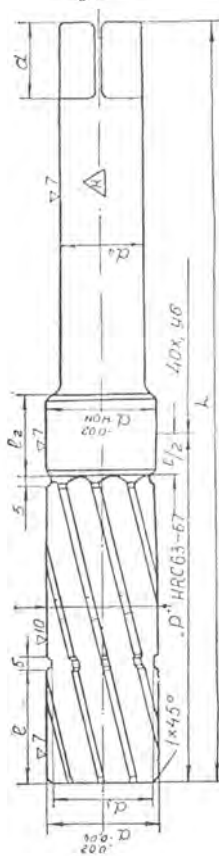
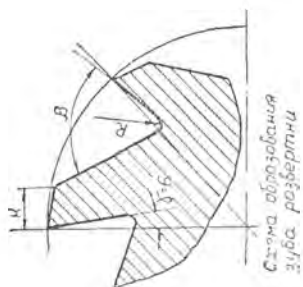
2. Число зубьев уменьшено, что позволяет увеличить сечение стружечных канавок, жесткость и высоту зуба. Последнее благоприятно сказывается на качестве заточки по передней грани. Уменьшение числа зубьев облегчает работу исполнителя.

3. Переднее направление имеет стружкоотводящие канавки, исключающие спрессовывание стружек и позволяющие удалять их без извлечения инструмента из отверстия. С другой стороны, канавки позволяют произвести более качественную заточку заборной части, так как условия выхода заточного круга улучшаются.

4. Длина рабочей части развертки уменьшена за счет сокращения длин заборного и обратного конусов.

Основные конструктивные размеры разверток приведены в таблице 3.

До настоящего времени ни в технической литературе, ни в производственной практике нет определенного мнения от-



Фиг. 7. Конструкция чистой развертки.

Параметры ручных разверток

№ п/п.	d , мм диаметр развертки	Число зубь- ев, z	β°	K , мм	R , мм	l , мм	l_2 , мм	l_3^* , мм	l_4 , мм	d_3 , мм	d_4 , мм	a , мм	h , мм
1	св. 4 — до 6	4	110°	0,6	20	10	10	5	15	$d-1,5$	3,9	6	3
2	св. 6 — до 10	6	85°	0,7	20	15	15	6	20	$d-2$	5,9	8	4,9
3	св. 10 — до 15	6	85°	1	25	20	15	7	22	$d-2$	9,9	12	8
4	св. 15 — до 20	6	85°	1,5	25	20	15	8	25	$d-3$	14,9	15	12
5	св. 20 — до 25	8	70°	2,0	25	25	20	8	30	$d-4$	19,9	17	16
6	св. 25 — до 30	8	70°	2,5	30	30	20	8	35	$d-4$	22	20	16
7	св. 30 — до 35	8	75°	3,0	30	30	25	10	40	$d-4$	28	20	20
8	св. 35 — до 40	8	75°	3,5	30	35	25	10	40	$d-4$	28	20	20
9	св. 40 — до 45	8	75°	3,5	30	35	25	10	45	$d-4$	28	20	20
10	свыше 45	8	75°	4	40	35	25	11	45	$d-4$	28	20	20

* Для первой черновой развертки: l_3 черт. = $l_3 + 10$ мм.

носителю выбора некоторых конструктивных параметров разверток.

Например, оспаривается целесообразность неравномерной разбивки зубьев по окружности, хотя все развертки в настоящее время изготавливаются с неравномерным угловым шагом зубьев; высказываются за уменьшение обратного конуса и применение только прямозубых разверток. Поэтому на этих вопросах необходимо здесь остановиться.

Нами были проведены специальные опыты, чтобы сравнить работу ручных спиральных разверток с равномерным и неравномерным угловыми шагами зубьев. В обоих случаях никаких преимуществ одной конструкции перед другою не обнаружено, разницы в качестве отверстий и работе инструментов не было. Следует отметить и тот факт, что по условиям фрезерования канавок и заточки зубьев разверток точно получить равномерный угловой шаг практически невозможно. Поэтому для разверток со спиральным зубом задавать в чертежах неравномерный угловой шаг просто не имеет смысла.

Анализ выбора длин заборного и обратного конуса показывает, что они могут быть значительно уменьшены по сравнению с данными заводских нормалей. Этим может быть получена экономия дорогостоящих быстрорежущих сталей. Результаты анализа, проведенного нами, нашли отражение в таблице 3.

Длина заборного конуса $l_{з.к.}$ определяется углом φ и величиной глубины резания t ;

$$l_{з.к.} = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi} + 3,$$

где второе слагаемое учитывает неточности изготовления угла заборного конуса. При условии заточки на доводочном станке эта величина может быть уменьшена. По нашим данным можно принять $t = 0,05$ мм, $\varphi = 1^\circ$. Тогда:

$$l_{з.к.} = \frac{0,05}{0,0174} + 3 = 7 \text{ мм.}$$

Длина обратного конуса выбирается из условий обеспечения размера развертки при ее переточках. Конусность необходима для того, чтобы уменьшить трение и износ обратного конуса. Количество возможных переточек определяется размерным износом инструмента и увеличивается с уменьшением последнего. Если принять, по данным практики, отношение размерной стойкости к стойкости инструмента равным 5, а снимаемый слой при заточке по задней грани 0,05 мм, то длина обратного конуса получается равной

$$l_{\text{о.к.}} = \frac{0,05}{0,0174} \cdot 5 = 15 \text{ мм.}$$

Для определения влияния величины угла спирали на процесс развертывания нами были проведены опыты с развертками, имеющими следующие углы спирали: $\omega^\circ = 10; 0; 15; 30; 45$. Соответственно число зубьев: $z = 8; 8; 8; 6; 4$. Здесь $\omega = -10^\circ$ относится к правой спирали.

Опыты показали, что применение больших углов спирали с $\omega = 30^\circ, 45^\circ$ для ручных разверток нецелесообразно: качество отверстий не улучшается, развертки имеют склонность к заклиниванию в отверстиях, что усложняет работу исполнителя. Кроме того, развертки с большими углами спирали нетехнологичны и имеют значительно меньшую стойкость.

Правая спираль определяет склонность развертки к самозатягиванию в отверстие, которое может возникнуть при определенном угле спирали. Качество отверстий при этом значительно ухудшается: появляются спиральные риски. Однако, применяя небольшие углы спирали $-5^\circ, -10^\circ$, можно избежать самозатягивания, получив снижение усилий подачи, что может быть использовано для черновых разверток, а также и для чистовых, применяющихся для разделки отверстий в труднодоступных местах.

Прямозубые развертки обеспечивают несколько худшую чистоту поверхности, так как они по сравнению со спиральными развертками имеют большую склонность к образованию наливов. Однако при работе с большими подачами прямозубые развертки равноценны спиральным.

Производственное внедрение разверток, изготовленных в соответствии с разработанными на основании данного исследования руководящими техническими материалами по ручной разделке отверстий в пакетах показало, что значительно снижается цикл разделки за счет уменьшения числа переходов и снятия ручной притирки. Производительность труда повышается на 20—30%. Стойкость разверток повышается в 3—5 раз и значительно облегчаются условия работы исполнителя за счет снижения усилия резания.
