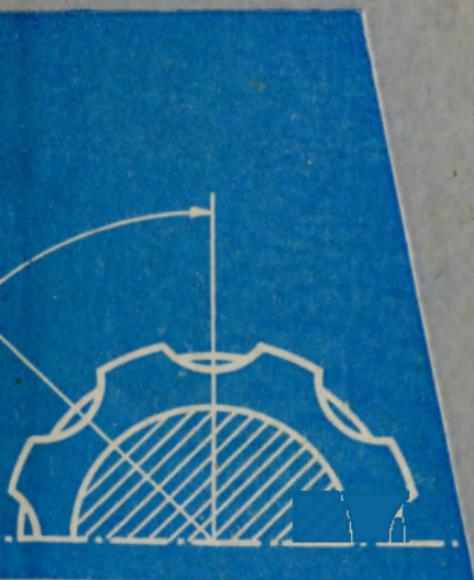


Д. К. МАРГУЛИС

ПРОТЯЖКИ ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ



МАШГИЗ

Д. К. МАРГУЛИС

ПРОТЯЖКИ ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ

*ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1962 СВЕРДЛОВСК

В книге рассмотрены вопросы проектирования, расчета и технологии изготовления круглых и многошлицевых протяжек переменного резания конструкции Челябинского тракторного завода; приведены результаты исследования процесса протягивания с большими, обычными и микронными подачами, результаты измерения температуры и усилий, возникающих при протягивании; описан новый метод определения рациональной величины подачи на зуб — метод равной стойкости черновой и чистовой частей протяжки; этот метод позволяет повысить размерную стойкость протяжек и дает возможность проектировать протяжки для автоматических линий и автоматизированных протяжных станков; в приложениях даны материалы, необходимые для конкретных расчетов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников заводов, проектных и научно-исследовательских институтов, а также может быть использована студентами машиностроительных вузов и техникумов.

Одобрена советом НТО Челябинского тракторного завода

Редактор инж. В. М. Горелов

УРАЛО-СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА
Ведущий редактор Т. М. Сомова

ПРЕДИСЛОВИЕ

Протягивание широко применяется в машиностроении, особенно на автомобильных и тракторных заводах, для предварительной, промежуточной и окончательной обработки внутренних и наружных поверхностей. Оно обеспечивает высокую производительность труда и точность обработки. Во многих случаях протягивание является единственным видом обработки, например при выполнении многошлицевых отверстий.

Качество протягивания зависит от конструкции протяжки, от способа разделения фронта стружки, геометрии зубьев и толщины стружки, срезаемой чистовыми зубьями, и от других факторов. От конструкции протяжки зависит чистота и точность обработки, стойкость между переточками и суммарный срок ее службы, производительность труда и экономичность самого процесса. Поэтому конструкторы постоянно работают над изысканием новых, более совершенных конструктивных форм протяжек.

Долгое время применялись только протяжки, имеющие подъем на каждый зуб. В 1940 г. в СССР появились так называемые протяжки прогрессивного резания, более производительные, чем протяжки других видов. Однако и они не лишены недостатков. Работая над совершенствованием конструкции протяжек, лаборатория резания Челябинского тракторного завода на основании всестороннего изучения процесса протягивания разработала конструкцию протяжек, названных протяжками переменного резания. Они дают возможность значительно улучшить качество обработки деталей, резко повысить производительность труда и значительно снизить расход быстрорежущей и легированной стали. Все это достигается благодаря следующим преимуществам протяжек переменного резания:

1. Режущая часть их намного короче режущей части протяжек других конструкций. Расход быстрорежущей и легированной стали уменьшается на 40—60%. Так, на ЧТЗ в результате применения этих протяжек годовая экономия быстрорежущей стали составляет около 30 т

2. В большинстве случаев протяжки переменного резания позволяют вести протягивание шлицевых отверстий за один проход

вместо двух-трех проходов при работе протяжками обычной конструкции. В связи с этим расход быстрорежущей стали снижается в 2—3 раза. Производительность труда повышается также в 2—3 раза. Например, производительность труда на протяжных операциях в среднем по заводу возросла более чем на 60%.

3. Повышается точность и чистота поверхности многощлицевых отверстий.

4. Стойкость протяжек переменного резания по сравнению с обычными и прогрессивными протяжками повышается примерно вдвое, а иногда и больше. Так, при обработке втулок звена гусеницы трактора суммарная стойкость обычной протяжки составляет 12 000 деталей, а протяжки переменного резания 32 000 деталей. Зубья протяжек переменного резания имеют более высокую прочность: они не ломаются, даже если сточены почти до самой спинки.

5. Протяжки переменного резания не нуждаются в очистке от стружки при эксплуатации. Форма стружечных канавок обеспечивает свободное выпадение стружки. Это облегчает и экономит труд рабочего, освобождая его от необходимости непрерывно очищать протяжку от стружки, что приходится делать при работе протяжками других конструкций.

6. Протяжки переменного резания в изготовлении не сложнее прогрессивных и значительно проще обычных протяжек с подъемом на каждый зуб.

В настоящее время протяжки переменного резания широко применяются на многих машиностроительных заводах — ЧТЗ, ХТЗ, Минском тракторном, Кировском (Ленинград), ГАЗ, Московском заводе малолитражных автомобилей, ЗИЛ, Харьковском тепловозостроительном, Уралмашзаводе и др. Протяжки переменного резания изготавливаются Московским и Свердловским инструментальными заводами. Внедрением протяжек этой конструкции занимаются научно-исследовательские институты НИИТАвтопром* (Москва), НИИТЕХМАШ (Челябинск), ВПТИ (Ленинград).

В 1958 г. на ЧТЗ шлицевые и шпоночные протяжки переменного резания, а также протяжки для наружного протягивания получили дополнительное конструктивное улучшение — были ликвидированы ленточки с нулевыми задними углами на боковых поверхностях зубьев. Это облегчило изготовление протяжек и повысило их стойкость.

Коренное изменение геометрии зубьев и увеличение числа зубьев на чистовой части настолько повысили стойкость протяжек пере-

* В 1953 г. Институтом были опубликованы результаты производственных испытаний протяжек переменного резания на Московском заводе им. Лихачева и руководство по проектированию их. В этих материалах протяжки переменного резания произвольно были названы прогрессивными [30].

менного резания, что стало возможным увеличение в несколько раз подачи черновых зубьев их по сравнению с подачей черновых зубьев у обычных протяжек. Следует указать, что увеличенные подачи черновых зубьев впервые были применены инж. П. П. Юнкиным в 1942 г. на протяжках его конструкции, известных под названием прогрессивных. Однако из-за сложности изготовления и вследствие использования в них ряда традиционных элементов, значительно снижающих их работоспособность (нулевые задние углы на вспомогательных режущих кромках; узкие стружкоразделительные канавки, создающие ребра жесткости на стружках, и др.), прогрессивные протяжки не получили такого широкого распространения, как протяжки переменного резания.

Распространению в промышленности протяжек переменного резания способствовал выход в свет в 1956 г. первого издания настоящей книги. Положительное значение имел и выпуск ведомственных руководящих материалов по проектированию таких протяжек.

Однако в некоторых из этих материалов ошибочно указывалось, что высокая стойкость протяжек переменного резания является результатом применения больших подач. Так, в руководящих материалах, выпущенных НИИТАвтопром в 1957 г., указывается, что с увеличением подачи растет и стойкость. На этом основании Институтом рекомендуется применение больших подач, величина которых ограничивается лишь прочностью протяжки, усилием станка и помещаемостью стружки в канавке. В подготовленных НИИТАвтопром общемашиностроительных нормативах режимов резания на протяжные работы (1959 г.) содержатся те же ошибочные положения.

Эти положения, если бы они были правильными, давали бы основания считать, что процесс резания при протягивании не подчиняется общим законам, свойственным другим процессам резания. В действительности для всех без исключения режущих инструментов характерно то, что с ростом толщины срезаемого слоя растет интенсивность износа и уменьшается стойкость до затупления, когда дальнейшая работа становится нецелесообразной.

В приведенных в настоящем издании исследованиях автора наглядно показаны источники ошибок, возникающих при измерении величины износа зубьев протяжек по задней грани, которые, по-видимому, и легли в основу ошибочных положений.

В следующем издании нормативов по протяжным работам указанные ошибки необходимо устранить и построить нормативы на правильной научной основе.

Исследования автора подтвердили положение, выдвинутое ранее в работах проф. Г. И. Грановского, о том, что стойкость протяжек, как и других инструментов, уменьшается при увеличении толщины среза и скорости резания. Закономерности процесса резания при протягивании, отражающие физическую сущность его,

использованы автором для создания новой методики конструирования протяжек.

Эта методика позволяет проектировать протяжки, обладающие высокой стойкостью, величина которой может быть установлена заранее. Последнее особенно важно при проектировании протяжек, предназначенных для работы на автоматических линиях и автоматизированных протяжных станках. Новая методика проверена в условиях ЧТЗ и дала хорошие результаты. Она излагается в настоящей работе.

Редакция

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В настоящей книге приняты следующие условные обозначения:

- z — общее число зубьев протяжки;
- $z_0; z_n; z_4; z_k$ — число черновых, переходных, чистовых и калибрующих зубьев; добавление соответствующего индекса для элементов шлицевой протяжки указывает на принадлежность зубьев к определенной части протяжки, например, число черновых шлицевых зубьев обозначается $z_{ш0}$;
- z_p — число зубьев, одновременно участвующих в работе;
- z_c — число зубьев в секции; добавление индекса в последнем случае указывает на часть протяжки, как и выше, например, число зубьев в секции на фасочной части обозначается $z_{сф}$;
- $i_0; i_n; i_4$ — число секций черновых, переходных и чистовых зубьев;
- s_z — подъем на зуб на одну сторону; добавление соответствующих индексов определяет часть протяжки и вид зубьев, на пример, подъем на зуб черновой части протяжки обозначается s_{z0} ;
- $s_{zш0}$ — подъем на шлицевый черновой зуб;
- s_{zc} — максимально допустимый подъем на зуб при условии равной стойкости черновой и чистовой частей протяжки;
- $t_0; t_n; t_4; t_k$ — шаг черновых, переходных, чистовых и калибрующих зубьев;
- $l_0; l_n; l_4; l_k$ — длина черновой, переходной, чистовой и калибрующей частей протяжки;
- A — полный припуск на протягивание;
- $A_0; A_n; A_4$ — припуски на черновые, переходные и чистовые зубья;
- $A_{ф}; A_k; A_{ш}$ — припуски на фасочную, круглую и шлицевую части шлицевой комбинированной протяжки;
- $A_{к0}$ — припуск на черновые зубья круглой части;
- a — толщина среза;
- L_p — длина режущей части протяжки;
- L_1 — расстояние от переднего торца до первого зуба;
- $l_{пн}$ — длина передней направляющей части;
- $l_{пк}$ — длина переходного конуса;
- $l_{зн}$ — длина задней направляющей части;
- L — общая длина протяжки;
- $L_{макс}$ — максимальный ход штока станка;
- $D_{хв}$ — диаметр переднего хвостовика;
- $D_{пн}$ — диаметр передней направляющей;
- $D_{зн}$ — диаметр задней направляющей;
- l — длина протягивания;
- h — глубина стружечной канавки;
- b — ширина спинки зуба (ширина задней грани);
- j — ширина фаски с нулевым задним углом;
- γ — передний угол;
- α — главный задний угол;

- α_v — задний угол по выкружке;
 N — число выкружек;
 g — ширина выкружек;
 R_a — радиус выкружек;
 R_k — радиус абразивного круга для выкружки;
 q_o — осевая сила резания, приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки, кг/мм;
 P — осевая сила резания, кг;
 k_{mo} — поправочный коэффициент на силу резания в зависимости от состояния материала;
 k_{po} — то же, в зависимости от способа разделения стружки;
 $k_{охл}$ — то же, в зависимости от вида охлаждения;
 $P_{ст}$ — максимальное расчетное тяговое усилие станка с учетом его состояния;
 $P_{хв}$ — максимально допустимая сила резания в зависимости от прочности хвостовика протяжки;
 $P_{оп}$ — максимально допустимая сила резания в зависимости от прочности режущей части протяжки;
 $D_{оп}$ — диаметр опасного сечения режущей части протяжки;
 k — коэффициент помещаемости стружки;
 D_k — диаметр калибрующих зубьев;
 D_o — диаметр отверстия, подготовленного под протягивание;
 D — диаметр отверстия, окончательно обработанного протяжкой;
 d — диаметр окончательно обработанного шлицевого отверстия (диаметр выступов);
 $D_{вш}; D_{вф}$ — диаметр впадин шлицевой и фасочной частей протяжки;
 $B_{ф}; B_{ш}; B_k$ — длина режущих кромок на фасочных, шлицевых и круглых зубьях (ширина среза);
 B — длина режущей кромки круглого зуба (ширина режущего сектора);
 $B_{ф}; B_{ш}$ — ширина режущих секторов прорезных фасочных и шлицевых зубьев;
 B — ширина шлицевого паза детали;
 t — размер фаски на шлицевом выпуске;
 φ — угол фаски от оси шлица (по чертежу детали);
 β_k — технологический удобный угол фаски и угол профиля фасочных зубьев протяжки;
 n — число шлицев.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Рассмотрим простую плоскую шпоночную протяжку. Режущими элементами протяжки являются ее зубья. Зубья разделены между собой впадинами, которые служат для помещения стружки и называются стружечными канавками. Каждый зуб имеет переднюю и заднюю поверхности, или грани, главную и вспомогательные режущие кромки.

Обрабатываемой поверхностью принято называть поверхность, с которой срезается стружка; обработанной называют поверхность, полученную в результате снятия стружки. При протягивании обрабатываемой поверхностью называют поверхность, с которой срезается слой металла всеми зубьями протяжки; обработанная поверхность получается в результате снятия стружки всеми зубьями протяжки. Каждый отдельно взятый зуб протяжки имеет свою обрабатываемую и свою обработанную поверхность. Так, для среднего зуба (фиг. 1, а) поверхность 1 является обрабатываемой, а поверхность 5 обработанной.

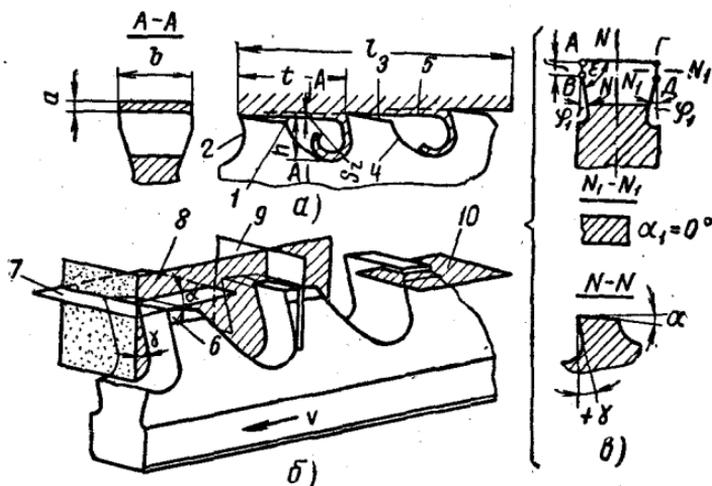
Передняя грань зуба (поверхность 2) — это грань, по которой сходит стружка. Она представляет собой плоскость или, в отдельных случаях, линейчатую поверхность, которая служит частью поверхности стружечной канавки. Главная задняя грань зуба (поверхность 3) — это грань, обращенная к обработанной поверхности. За главной задней гранью расположена поверхность 4, называемая спинкой зуба. Спинка зуба, как и передняя грань, является частью поверхности стружечной канавки. Нижняя часть поверхности стружечной канавки называется ее дном.

Главная режущая кромка $АГ$ образуется пересечением главной задней и передней граней зуба протяжки. Вспомогательные режущие кромки $АВ$ и $ДГ$ образуются пересечением передней грани с вспомогательными задними гранями $б$ (фиг. 1, б, в)

Высотой зуба, или глубиной стружечной канавки, h называется расстояние от главной режущей кромки до дна стружечной канавки (фиг. 1, а). Шагом зубьев t называется расстояние между

режущими кромками двух соседних зубьев. Шаг зубьев измеряется в направлении, параллельном оси протяжки.

Срезание последовательных слоев металла у обычных протяжек достигается тем, что главная режущая кромка каждого последующего зуба расположена выше, чем у предыдущего, на величину s_z . Это превышение называют подъемом на зуб. У протяжек для обработки отверстий различают подъем на зуб на сторону и на диаметр. Величина подъема на зуб определяет толщину среза a . Как видно из фиг. 1, a , толщина среза a может быть равна расстоянию между главными режущими кромками двух соседних зубьев, т. е. $a = s_z$ (ниже будет показано, что величина a может быть равна и $2s_z$). Ширина среза b равна глубине резания; как видно из фиг. 1, a , она равна также длине режущей кромки зуба.



Фиг. 1. Основные элементы зубьев шпоночной протяжки и координатные плоскости.

При протягивании подъем, т. е. превышение одного зуба протяжки над другим, заменяет подачу, которая представляет собой при других процессах резания вспомогательное движение инструмента, необходимое для срезания новых слоев металла. В дальнейшем изложении термин «подъем на зуб» применяется для характеристики размеров зубьев протяжки, а термин «толщина среза» — для характеристики процесса протягивания.

Скорость резания v , равная скорости движения штока протяжного станка при рабочем ходе, измеряется в метрах в минуту.

На фиг. 1, b показаны принятые для всех инструментов координатные и секущие плоскости, с помощью которых определяется положение режущей части инструмента в пространстве, и обозначены углы режущей части протяжки.

Плоскость 7 — это плоскость резания; она проходит через главную режущую кромку по касательной к поверхности резания.

Поверхность резания образуется непосредственно главной режущей кромкой в процессе резания. Таким образом, при работе шпоночной протяжки плоскость резания совпадает с поверхностью резания. Плоскость 9 является основной плоскостью и перпендикулярна направлению движения протяжки.

Главные углы зубьев протяжки, как и других режущих инструментов, рассматриваются в главной секущей плоскости 8 (плоскость $N - N$). Она совпадает с вектором скорости резания и перпендикулярна проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Передний угол γ — это угол между передней гранью зуба и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, проходящей через главную режущую кромку (фиг. 1, б). Главный задний угол α — это угол между главной задней гранью зуба и плоскостью резания. Вспомогательные задние углы зуба протяжки лежат во вспомогательной секущей плоскости 10, которая перпендикулярна проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость (фиг. 1, в).

Как видно из фиг. 1, в, задний вспомогательный угол α_1 на вспомогательных режущих кромках AB и $ДГ$ равен нулю. Это создает неблагоприятные условия для процесса резания, вызывая излишнее трение. Поэтому ширину f вспомогательных режущих кромок стараются выбирать не более нескольких десятых долей миллиметра, а затем срезают их под углом φ_1 .

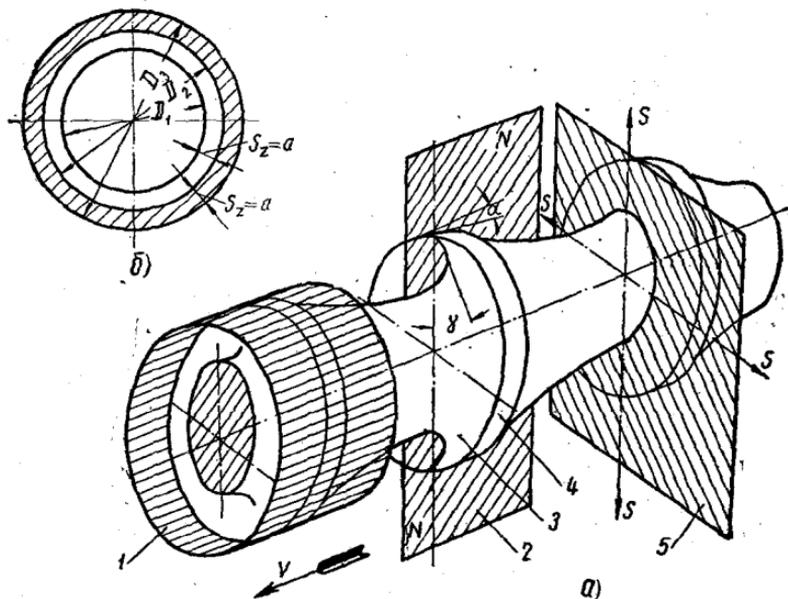
Если рассматривать зуб протяжки как резец в плане (см. фиг. 1, в), то точки A и $Г$ будут вершинами резца. Угол при вершине ϵ , образованный проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость, равен 90° . При движении протяжки зубья ее последовательно вступают в работу и выходят из работы. Число зубьев, одновременно участвующих в работе, является величиной переменной и определяется по формуле

$$z_p = \frac{l}{t},$$

где l — длина протягивания;
 t — шаг зубьев протяжки.

Если при определении z_p получается дробное число, то оно означает, что фактическое число зубьев, одновременно участвующих в работе, изменяется от ближайшего меньшего до ближайшего большего целого числа. Все расчеты обычно ведут по наибольшему значению z_p , округляя дробное число до большего целого, так как это обеспечивает определение максимального усилия, возникающего при протягивании. Если при определении z_p получается целое число, которое показывает максимальное количество целых шагов, укладываемых в длине протягивания, то для нахождения большего значения фактически участвующих в работе зубьев к нему прибавляют единицу.

Величина шага зубьев на протяжке может отличаться от номинального значения шага. Так, по ГОСТ 9126—59 допускается отклонение от заданного чертежом размера одного шага в пределах удвоенного допуска 5 класса точности. Для расчетов можно принимать суммарное отклонение, равное 0,8 мм. Так как при изготовлении протяжек ошибки в величине шага обычно не накапливаются в одну сторону, а частично компенсируются ошибками в другую сторону, то в качестве гарантийной может быть принята



Фиг. 2. Координатные плоскости и элементы зубьев круглой протяжки.

величина, равная $0,4z_p$, где 0,4 — половина допускаемого отклонения.

Если расстояние от входного торца детали до зуба, еще не вступившего в работу, обозначить через x , то условие, при котором он не сможет коснуться детали, прежде чем выйдет из работы ближайший к выходу из детали зуб, выразится отношением

$$tz_p \geq l_{\max} + x \text{ мм,}$$

где $x = 0,4 z_p$.

Подставив это значение x и решив неравенство относительно z_p , получим выражение для определения минимального значения шага с учетом реальных отклонений

$$z_p \geq \frac{l_{\max}}{t - 0,4} \quad (1)$$

Если в результате вычислений получится дробное число, то оно должно быть увеличено до ближайшего большего целого числа. Если получится целое число, то оно не нуждается в добавлении единицы, как это требуется при определении z_p без учета отклонений величины шага.

Перейдем к круглым протяжкам. На фиг. 2, а схематически показаны зубья круглой протяжки без стружкоделительных канавок, причем диаметр каждого последующего зуба больше, чем предыдущего.

Поверхность резания 1 при протягивании цилиндрических отверстий является цилиндрической. Плоскость резания в этом случае заменяется линейчатой поверхностью, образованной отрезком прямой, параллельным оси протяжки, который движется вдоль лезвия зуба. Эта линейчатая поверхность совпадает с цилиндрической поверхностью резания. Концентрично ей располагается и обработанная поверхность, которая на детали образуется последним зубом протяжки.

Основная плоскость (плоскость 5) перпендикулярна оси протяжки. Главная секущая плоскость 2 проходит через ось протяжки и перпендикулярна проекции главной режущей кромки на основную плоскость. В этой плоскости рассматриваются главные углы режущей части зуба. Передняя грань 3 зуба протяжки и главная задняя грань 4 зуба в общем случае являются коническими поверхностями.

Передний угол γ определяется как угол между передней гранью зуба и радиусом протяжки, проходящим через рассматриваемую точку режущей кромки. Главный задний угол α — это угол, образованный плоскостью резания и задней гранью 4 зуба.

Стрелками S условно показано направление движения подачи. У круглых протяжек это движение заменяется постепенным нарастанием диаметра зубьев, которое называют, как и у шпоночных протяжек, подъемом. У круглых и многошлицевых протяжек подъем на зуб на сторону равен полуразности диаметров двух соседних зубьев, т. е.

$$s_z = \frac{D_2 - D_1}{2} \text{ мм.}$$

У протяжек с прогрессивной и переменной схемами резания имеются группы зубьев одинакового диаметра, называемые секциями. В связи с этим их часто называют секционными протяжками. Для таких протяжек применяют понятие подъема на секцию. Подъемом на секцию зубьев называется полуразность диаметров зубьев двух соседних секций.

Ширина стружки, срезаемой зубом круглой протяжки, равна длине режущей кромки

$$b = \pi D_i,$$

где D_i — диаметр данного зуба, мм.

Зубья протяжки вступают в работу поочередно и также поочередно прекращают ее. Между моментами вступления в работу (и прекращением ее) первого и последнего зубьев лежит определенный отрезок времени, который тем больше, чем длиннее протяжка. Период работы одного зуба, т. е. чистое время резания им, гораздо меньше периода работы всей протяжки. Пусть, например, длина детали $l = 100$ мм, длина режущей части протяжки $L_p = 1000$ мм, скорость резания $v = 5$ м/мин.

Машинное время работы одного зуба t_1 , т. е. чистое время резания им при протягивании одной детали, равно

$$t_1 = \frac{l}{1000 v} = \frac{100}{1000 \cdot 5} = 0,02 \text{ мин.}$$

Машинное время работы всей режущей части протяжки

$$t_p = \frac{l + L_p}{1000 \cdot 5} = \frac{100 + 1000}{1000 \cdot 5} = 0,22 \text{ мин.},$$

т. е. t_p в 11 раз больше t_1 .

Когда говорят о стойкости инструмента как о продолжительности работы его до затупления, то обычно имеют в виду стойкость как физический параметр, между которым и скоростью резания существует определенная взаимосвязь. Поэтому, учитывая особенности протягивания, под стойкостью протяжки следует понимать продолжительность работы до затупления одного зуба ее, т. е. чистое время резания одним зубом. Стойкость протяжки можно также оценивать суммарной длиной протягивания до затупления. И в этом случае во внимание будет приниматься путь чистого резания одним и, естественно, каждым зубом протяжки.

Одной из наиболее характерных особенностей процесса протягивания является то, что стружка, срезанная каким-либо зубом, остается во впадине перед ним с момента вступления его в работу до момента выхода из детали (фиг. 3). Поэтому впадина должна иметь достаточные размеры для размещения всей стружки с некоторым запасом. Эту особенность протяжки принято характеризовать так называемым коэффициентом помещаемости стружки

Под коэффициентом помещаемости стружки k понимается отношение площади стружечной канавки в продольном сечении протяжки к площади срезанной стружки в том же сечении. Так как сливные стружки, образующиеся при протягивании стали, меди, алюминия и других вязких металлов, свертываются в спиральный завиток и занимают не всю площадь канавки, а лишь часть ее (фиг. 3, а), то и расчет коэффициента помещаемости ведется на заполнение только этой, так называемой активной части площади стружечной канавки $F_{акт}$. Таким образом, для металлов, при об-

работке которых образуются сливные стружки, коэффициент помещаемости определяется по формуле

$$k = \frac{F_{\text{акт}}}{F_{\text{стр}}} = \frac{\pi h^2}{4ls_z}, \quad (2a)$$

где $F_{\text{стр}}$ — площадь стружки в продольном сечении, мм².

При протягивании хрупких металлов — чугуна, бронзы, латуны, — дающих стружку надлома, заполняется вся площадь канавки, обозначаемая через $F_{\text{полн}}$ (фиг. 3, б). При обработке этих металлов коэффициент k определяется по формуле

$$k = \frac{F_{\text{полн}}}{F_{\text{стр}}} = \frac{F_{\text{полн}}}{ls_z}. \quad (2б)$$

Значение коэффициента помещаемости k должно быть не меньше величин, найденных опытным путем и приведенных на стр. 25 и 26.

На фиг. 4 схематически представлен общий вид круглой протяжки. Она имеет следующие части: передний хвостовик 1, предназначенный для соединения с патроном, с помощью которого осуществляется связь между штоком станка и протяжкой; переднюю направляющую часть 4, на которую с небольшим зазором во избежание перекоса надевается протягиваемая деталь. Для того чтобы деталь легче входила на переднюю направляющую, впереди последней имеется небольшой конус 3, называемый направляющим конусом.

Часть тела протяжки, расположенная между передним хвостовиком и направляющим конусом, называется шейкой 2. Длина ее зависит от размеров и конфигурации протягиваемой детали и приспособления, на котором она устанавливается. Следующая часть протяжки — режущая, или рабочая, часть 5, на которой располагаются зубья, срезающие весь слой металла от первоначального размера отверстия до требуемого. Режущая часть, в свою очередь, состоит из нескольких участков с зубьями различного типа:

- а) обдирочной, или черновой, режущей части, предназначенной для срезания основной массы металла (l_0);
- б) переходной части, постепенно снижающей толщину срезаемой стружки при переходе с обдирочных на чистовые зубья (l_n);
- в) чистовой части, предназначенной для получения заданной чистоты поверхности (l_q);
- г) калибрующей части (l_k), которая служит для сохранения размера протяжки и в какой-то мере для придания отверстию окончательного размера.

Калибрующая часть протяжки отличается от всех предыдущих тем, что все ее зубья имеют одинаковый диаметр, в связи с чем они поочередно, по мере переточек, переходят в последние чистовые зубья. Другим отличием зубьев калибрующей части является то, что режущая кромка их представляет собой полную окружность. Зубья же всех остальных частей — обдирочной, переходной и чис-

товой — имеют различные устройства для разделения периметра стружки на отдельные участки.

Могут быть протяжки, у которых отсутствует какая-либо группа зубьев, например переходная или чистовая, или даже две группы, например, переходная и чистовая.

Задняя направляющая b обеспечивает устойчивое положение последних зубьев протяжки по мере выхода их из детали. Если бы ее не было, последние участвующие в работе зубья больше бы врезались в одну сторону и этим искажали бы форму отверстия, искривляли его ось.

У протяжек, которые имеют значительную длину или вес, за задней направляющей выполняется еще задний хвостовик (на фиг. 4 не показан). Назначение заднего хвостовика — не допустить перекоса протяжки под влиянием собственного веса. Задний хвостовик опирается на подвижной люнет, имеющий отверстие во втулке диаметром, немного большим диаметра заднего хвостовика. У автоматизированных протяжных станков задний хвостовик изготавливается, как и передний, с выточкой под кулачки быстродействующего патрона. С помощью такого заднего хвостовика протяжка отводится назад, в исходное положение.

Припуском на протягивание обычно называют слой металла, который удаляется всеми зубьями протяжки, начиная от поверхности предварительно подготовленного отверстия до наибольших размеров окончательно обработанного отверстия. Полный припуск на протягивание A равен разности диаметра отверстия до протягивания D_0 и диаметра отверстия после протягивания D . Различают также припуск на протягивание на сторону A_c , равный полуразности диаметров D и D_0 (фиг. 5). Припуск на протягивание назначается в соответствии с общими технологическими нормами. Величина припуска, кроме того, зависит от особенностей построения технологического процесса и конфигурации протягиваемой детали.

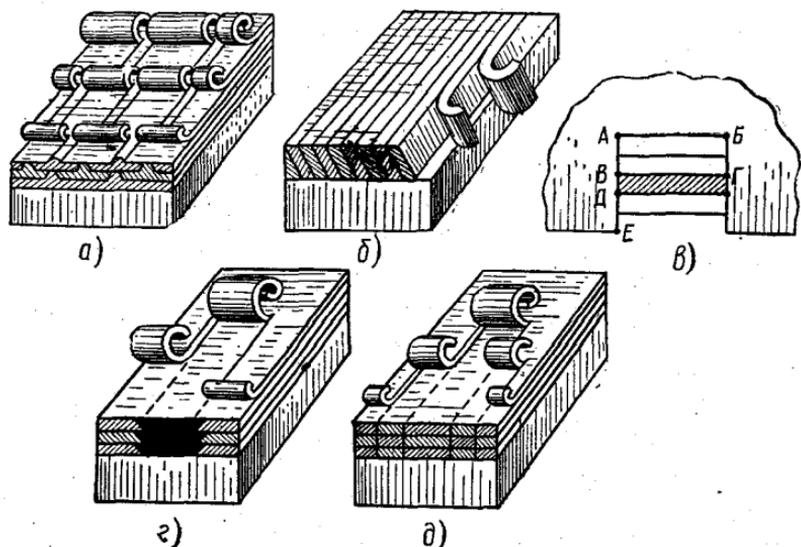
Весь припуск подразделяют на несколько частей, каждую из которых срезает определенная группа зубьев. Так, различают припуск на черновые зубья A_0 , на переходные зубья A_n и на чистовые зубья A_c .

Секцией зубьев называется группа зубьев одного диаметра (применительно к прогрессивным протяжкам) или группа зубьев с несколько заниженным диаметром последнего зуба (применительно к протяжкам переменного резания).

К основным понятиям, связанным с способами удаления припуска и с образованием обработанной поверхности, относится понятие о схемах резания при протягивании. Необходимо указать, что при кажущейся простоте этого вопроса он является весьма сложным, не имеющим в настоящее время однозначного решения. На фиг. 6, *a* показана последовательность срезания припуска по профильной схеме резания. При этой схеме срезания припуска

форма режущих кромок каждого зуба протяжки подобна окончательной форме обрабатываемых поверхностей; режущие кромки параллельны этим поверхностям; окончательную форму и размеры требуемой поверхности (как наружной, так и при обработке отверстий) определяет последний зуб. Все предыдущие зубья непосредственного участия в образовании окончательной формы и размеров обработанной поверхности не принимают.

На фиг. 6, б показана генераторная схема резания. Одним из основных признаков ее является то, что форма главной режущей кромки в большинстве случаев не подобна форме обработанной



Фиг. 6. Схемы срезания стружки.

поверхности. Главные режущие кромки при обработке плоскостей располагаются под некоторым углом или перпендикулярно к обработанной поверхности. Формирование последней выполняют вспомогательные режущие кромки всех зубьев протяжки.

При обработке поверхностей сложного профиля, например при протягивании шлицевых отверстий, зубья протяжек срезают припуск и формируют различные части этих поверхностей одновременно по обеим схемам. Покажем это на примере обработки паза (фиг. 6, в). Боковую поверхность пазы AE образуют вспомогательные режущие кромки каждого зуба последовательным срезанием элементарных участков $ВД$. Главные режущие кромки $ВГ$ каждого зуба расположены перпендикулярно к обработанной поверхности AE . Таким образом, обработка боковой поверхности пазы происходит по генераторной схеме. Поверхность пазы AB получает свою форму и размеры в результате снятия стружки лишь последним

зубом. Главные режущие кромки предыдущих зубьев, например *ВГ*, хотя и имеют подобную форму и располагаются параллельно поверхности *АБ*, в окончательном образовании ее не участвуют. Таким образом, обработка поверхности *АБ* происходит по профильной схеме. В итоге можно прийти к заключению, что зубья протяжки в данном случае срезают стружку по смешанной, или комбинированной, схеме.

На фиг. 6, *з*, *д* показано срезание припуска секционными протяжками, т. е. протяжками, имеющими несколько зубьев одинакового диаметра или высоты. Разные участки зубьев (фиг. 6, *д*) или разные зубья секции (фиг. 6, *з*) срезают с отдельных участков обрабатываемой поверхности стружку одинаковой толщины. Форма главных режущих кромок их подобна окончательной форме обрабатываемых поверхностей, а удаление всего слоя металла в пределах одной секции происходит подобно снятию слоя по генераторной схеме. Поэтому в данном случае схема резания является комбинированной. К протяжкам, работающим по комбинированной схеме, относятся протяжки различных конструкций — прогрессивные, переменного резания, шахматно-шлицевые, многогранные типа Рото-Кат и Дабл-Кат и др.

В заключение следует указать, что разные части большинства протяжек имеют зубья, работающие по генераторной, профильной и комбинированной схемам. Исключение составляют лишь обычные круглые и плоские протяжки, имеющие подъем на каждый зуб. Эти протяжки работают по четко выраженной профильной схеме резания.



ГЛАВА II

ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ И РАЦИОНАЛЬНАЯ ФОРМА СТРУЖЕЧНОЙ КАНАВКИ

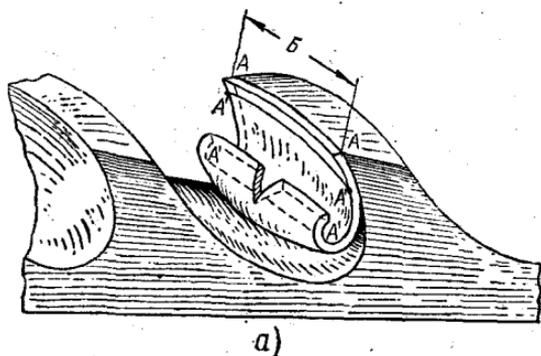
1. ПРОЦЕСС СВЕРТЫВАНИЯ СТРУЖКИ

Попытки работать цилиндрическими протяжками, черновые зубья которых не имеют каких-либо устройств (канавок или вырезанных секторов) для разделения периметра стружки на отдельные участки, а срезают замкнутые кольца стружки, неизменно заканчивались поломкой протяжек. Единственной причиной этих поломок являлось плохое свертывание стружки, разрыв ее в отдельных, наиболее напряженных местах и приобретение вследствие этого такой формы, при которой нормальное размещение стружки во впадине становится невозможным.

На фиг. 7, а показана часть зуба круглой протяжки со сходящей стружкой. Режущая кромка AA является частью окружности. Некоторая условно обозначенная на стружке линия $A' - A'$ стремится сохранить свою форму, т. е. при свертывании стружки в спираль все точки, расположенные на этой линии, стремятся пройти один и тот же путь. Но выпуклая форма линии вынуждает крайние точки витка проходить меньшие расстояния, чем проходят точки, лежащие в середине витка. Поэтому средняя часть витка стружки испытывает значительные напряжения разрыва. Когда начальная кромка стружки, т. е. та, которая первой отделилась от детали, проходит примерно три четверти пути, напряжения разрыва достигают максимальной величины, и стружка разрывается на две части (фиг. 7, а, б). Крайние точки стружки получают возможность двигаться по траектории большего радиуса кривизны. Придя в верхнее положение и коснувшись обрабатываемой поверхности, крайние точки под давлением новых слоев металла расходятся в разные стороны (фиг. 7, в). Разрыв в середине витка резко увеличивается, и с этого момента две части витка стружки стремятся разойтись почти под прямым углом.

На фиг. 7, *г* показан этап образования сплющенного витка. Внутренние края окончательно разорвавшейся стружки упираются в основную массу ее, а наружные стремятся свернуться под давлением новых слоев металла. Происходит разрыв стружки в поперечном направлении. Теперь от основной массы стружки отрываются обе отделившиеся части ее, одинаково надламываясь вдоль у места отделения ее от передней грани зуба. Стружка становится совершенно сплющенной, почти плоской, и поэтому дальнейшее свертывание ее невозможно. Стружка заклинивается в стружечной канавке, общее усилие протягивания скачкообразно возрастает, и протяжка либо застревает в детали из-за остановки станка, либо разрывается, если она недостаточно прочна.

С целью свободного образования витка стружки ее периметр разделяют на



Фиг. 7. Образование витка стружки при криволинейной форме режущих кромок (лезвий):
а — схема образования витка; *б* — начальная стадия разрыва витка; *в* — конечная стадия разрыва витка; *г* — сплющенный виток.

отдельные участки сравнительно небольшой ширины. Способ разделения периметра стружки определяет конструкцию круглых и многошлицевых протяжек, их достоинства и недостатки. Независимо от способа разделения периметра стружки ширина витка должна быть такой, чтобы исключить деформацию витка, вызывающую разрыв его. Рациональная ширина витка стружки зависит от диаметра зуба протяжки. Опыты показывают, что витки стружки даже довольно большой толщины имеют нормальный вид, если ширина их выбрана правильно.

На основании опытов, проведенных в лаборатории резания металлов ЧТЗ, длину режущей кромки, или ширину режущего сектора *Б* (фиг. 7, *а*), рекомендуется выбирать по формуле

$$B = (1,0 \div 1,3) \sqrt{D} \text{ мм.} \quad (3)$$

Эта формула справедлива для протяжек с диаметром калибрующих зубьев $D_k \leq 100$ мм. Если $D_k > 100$ мм, то длина режущей кромки не должна превышать 10—12 мм.

Несколько иначе происходит образование замкнутого кольца стружки при срезании ее с небольшой толщиной. Тонкая стружка, срезанная без разделения на отдельные участки, обычно не вызывает поломки протяжки или остановки станка, если обрабатываемая деталь не слишком длинная, но качество обработанной поверхности при этом резко ухудшается. Свообразные наплывы и рванины портят поверхность, в то время как при правильном разделении периметра стружки может быть получена поверхность, соответствующая седьмому и восьмому классам чистоты. Кроме того, при срезании замкнутых колец стружки возрастает усилие протягивания и затрудняется удаление кольца стружки из впадины между зубьями. Даже при очень малой толщине стружка сильно гофрируется по всей длине, претерпевая значительные пластические деформации, становится весьма жесткой, твердой, и удаление ее из впадины связано с большими трудностями. Применяемые в этих случаях для освобождения протяжки от стружки стальные крючки часто приводят к повреждению режущих лезвий.

2. ФОРМА СТРУЖЕЧНОЙ КАНАВКИ

При протягивании бронзы, чугуна и других хрупких металлов, образующих сыпучую стружку надлома, форма канавки большой роли не играет. В этом случае важны лишь ее размеры. При протягивании деталей из пластичных металлов, образующих сливную стружку, форма стружечной канавки оказывает большое влияние на работу протяжки.

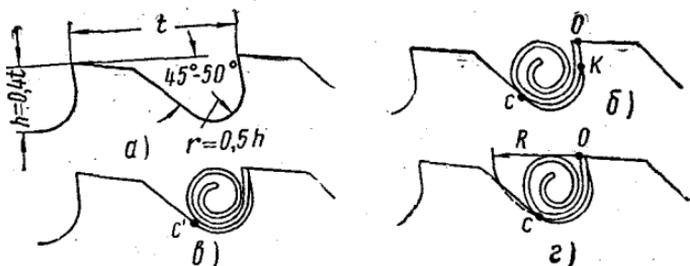
Виток стальной стружки в продольном сечении представляет собой спираль. Витки в зависимости от физико-механических свойств стали, толщины среза и переднего угла более или менее плотно примыкают друг к другу или, наоборот, имеют значительные зазоры между собой. Чем тоньше стружка, тем плотнее закручиваются ее витки, меньше их диаметр и, наоборот, чем толще стружка, тем больше диаметр ее витков.

Виток стружки должен свободно помещаться во впадине перед зубом. Поэтому глубина впадины должна быть равна или немного меньше диаметра витка. Под диаметром витка понимается наибольший размер между двумя противоположными точками наружной поверхности витка в свободном состоянии, т. е. вместе со всеми зазорами между отдельными частями витка.

Процесс протягивания протекает нормально, если при выходе зуба протяжки из детали диаметр витка стружки равен глубине впадины. Если между отдельными витками имеется достаточный зазор, то диаметр витка может быть несколько больше глубины впадины. В этом случае виток стружки упруго сожмется, а при выходе зуба протяжки из детали разожмется и выпадет из впадины.

В настоящее время часто применяют стружечные канавки с профилем неправильной формы. Из-за этого стружки остаются в канавках после выхода протяжки из детали, и на удаление их затрачивается много времени. Канавки с профилем неправильной формы, показанным на фиг. 8, а, распространены и в настоящее время благодаря простоте изготовления резцов и фрез для их обработки. Основным недостатком таких канавок является наличие прямолинейной спинки зуба.

Наблюдения за процессом образования и размещения витка стружки во впадине, проведенные в лаборатории резания металлов ЧТЗ, показывают, что при протягивании стали происходит следующее. Виток стружки, после того как он примет относительно



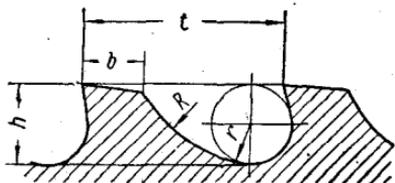
Фиг. 8. Схемы расположения стружки в канавке:

а — профиль стружечной канавки с прямолинейной спинкой зуба; б — расположение стружки в канавке при касании в двух точках; в — расположение стружки в канавке при касании только с передней гранью у режущей кромки; e — траектория движения точки витка, имеющей наибольший радиус.

большие размеры, в определенный момент времени касается спинки зуба в точке С (фиг. 8, б). Если виток в это время касается и обрабатываемой поверхности, то он теряет округлую форму — сплющивается. Это способствует заклиниванию его в канавке. Но даже если он и не заклинивается, то сплюснутая форма резко уменьшает упругость его, и он также остается в канавке.

Особенно сильно недостаток прямолинейной спинки проявляется при относительно большой толщине стружки. Касание витком поверхности спинки зуба является одной из причин того, что стружки остаются в канавке. Когда зуб подходит к месту выхода из детали, диаметр витка становится равным глубине впадины. Он своей верхней точкой касается обрабатываемой поверхности и слегка упруго сжимается. Чаще всего это происходит в тех случаях, когда диаметр витка становится равным глубине впадины раньше, чем зуб выйдет из детали. В тот момент, когда зуб выйдет из работы, виток разожметсЯ и, кроме этого, слегка задрожит, стремясь покачнуться вокруг точки О или К. Дрожанию витка способствуют удары или вибрации, которыми всегда сопровождается протягивание вследствие вступления в работу или выхода из детали очередных зубьев.

Если бы виток по выходе из детали при своем распрямлении не касался спинки зуба, то он отделился бы от передней грани и соскользнул по смазанной сульфифрезолом поверхности канавки. Но прикосновение, даже легкое, притормаживает поворот витка, и он не отделяется от передней грани, с которой связан силами сцепления. Иногда виток стружки остается в канавке даже тогда, когда он удерживается лишь сцеплением с передней гранью (фиг. 8, в). Это бывает в тех случаях, если, приподнявшись вверх, виток все же касается спинки зуба в точке С.



Фиг. 9. Профиль двухрадиусной стружечной канавки.

Испытания протяжек показывают, что если прямолинейную спинку заменить спинкой, очерченной по дуге окружности несколько большего радиуса, чем радиус траектории движения точки С витка стружки (фиг. 8, з), то стружка свободно выпадет из канавок. Профиль такой канавки показан на фиг. 9. Соотношение отдельных элементов профиля, обеспечивающих свободное размещение витка стружки во впадине, следующее: ширина задней грани

$$b = (0,3 \div 0,35)t \text{ мм}; \quad (4)$$

глубина впадины (высота зуба)

$$h = (0,3 \div 0,4)t \text{ мм}; \quad (5)$$

радиус спинки зуба

$$R = (0,65 \div 0,7)t \text{ мм}; \quad (6)$$

радиус сопряжения передней грани с дном впадины

$$r = (0,15 \div 0,2)t \text{ мм}. \quad (7)$$

Для протяжек небольшого диаметра часто применяют профиль с уменьшенной глубиной впадины; чтобы несколько усилить тело протяжки в наиболее слабом месте.

Кроме рационального соотношения отдельных элементов профиля, важно, чтобы общие размеры его соответствовали двум требованиям.

Во-первых, шаг профиля, величина которого непосредственно влияет на длину всей режущей части, должен быть как можно меньше.

Во-вторых, стружка должна хорошо размещаться во впадине, не будучи при этом слишком стесненной. Все это зависит от правильного выбора величины коэффициента помещаемости.

В результате опытов, проведенных лабораторией резания ЧТЗ, и наблюдений за протяжками в эксплуатации были установлены практически приемлемые величины коэффициентов помещаемости. Исследования показывают, что учитывать ширину стружки и в соответствии с этим отношение объемов стружечной канавки и стружки не требуется. Для нормальной работы протяжки вполне достаточно правильно выбрать коэффициент помещаемости, принятый как отношение площадей в плоском сечении [1].

Величина коэффициентов помещаемости во многом зависит от формы поперечного сечения стружки. Если ширина стружки невелика, а толщина ее одинакова по всему сечению, то диаметр витка меньше, чем в тех случаях, когда ширина стружки не соответствует диаметру протяжки или когда стружка имеет местные утолщения.

В большинстве случаев диаметр витка тем больше, чем толще стружка. Однако принимать меньшие значения коэффициента помещаемости для случая срезания относительно тонких стружек нецелесообразно. Во-первых, потому, что зубья, срезающие тонкие стружки, допустим, чистовые, постепенно, по мере переточек, становятся переходными и начинают срезать более толстые стружки. Во-вторых, выбор малых коэффициентов помещаемости, соответствующих тонким стружкам чистовых зубьев, приводит к очень малым значениям площади стружечных канавок и в первую очередь к малым значениям глубины впадины. Активная часть площади стружечной канавки, в соответствии с расчетными формулами, пропорциональна квадрату глубины впадины. Для того чтобы обеспечить хорошее размещение витка сливной стружки во впадине, глубина впадины должна быть больше или равна диаметру витка наиболее толстой стружки, срезаемой данной частью протяжки.

Нежелательно применять стружечные канавки малой глубины и с малым шагом между зубьями в связи с тем, что даже небольшие отклонения от заданных размеров, неизбежные при изготовлении протяжек, могут отрицательно сказаться на размещении витка стружки во впадине. Кроме того, при малых значениях глубины впадины трудно получить достаточно большой передний угол, необходимый для срезания тонких стружек.

Ниже приведены применяемые в настоящее время на ЧТЗ значения коэффициентов помещаемости k для разных групп стали (приложение 1) и других металлов:

Обрабатываемый материал	Сталь I, II и III группы	Сталь IV и V группы	Алюминий и медь	Чугун, бронза и латунь
Рекомендуемые значения коэффициента k	3,0	2,5	3,0	2,5
Используемая площадь канавки	Активная	Активная	Активная	Полная

Коэффициент помещаемости зависит не только от формы и размеров канавки. Большое значение имеют чистота поверхности канавки и высокая точность (плавность) сопряжения дна канавки с передней гранью зуба. При тщательном исполнении стружечных канавок коэффициенты помещаемости иногда уменьшают до 2.

В отдельных случаях свойства обрабатываемого материала, например большая вязкость, могут приводить к плохому свертыванию витка стружки. В таких случаях должны применяться большие значения коэффициента k , указанные в приложении 11.

СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

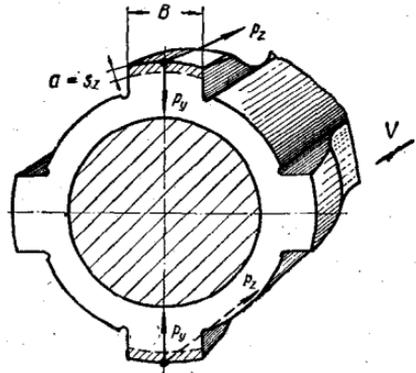
1. СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

К каждому режущему зубу протяжки приложены две силы, p_z и p_y (фиг. 10). Сила p_z действует вдоль оси протяжки в направлении, противоположном движению протяжки. Сила p_y отжимает протяжку от поверхности резания.

Общая сила резания P и общая радиальная сила P_p , действующие на протяжку, складываются из сил, приложенных ко всем зубьям, одновременно участвующим в резании, т. е.

$$P_z = \sum p_z; \quad P_p = \sum p_y.$$

Сила резания — результат пластической и упругой деформации срезаемого слоя металла, результат трения стружки о переднюю грань зуба, поверхности резания о главную заднюю грань. Кроме того, значительные силы трения возникают на вспомогательных задних (боковых) гранях зубьев. Сила резания, действуя в направлении, противоположном движению протяжки, определяет потребляемую мощность и вызывает напряжения разрыва в теле протяжки. По величине силы резания P рассчитывается прочность протяжек. Силы P_y , действующие в диаметрально противоположных точках, обычно взаимно уравниваются, вызывая напряжения в теле протяжки и обрабатываемой детали. Поэтому на протяжку в целом радиальная сила обычно не действует, и только в тех случаях, когда часть зубьев, расположенных на одной полуокружности, по какой-либо причине изнашивается больше, чем часть зубьев, распо-



Фиг. 10. Схема сил, действующих на зуб протяжки.

ложенных на другой полуокружности, равновесие сил нарушается, и происходит увод протяжки от оси отверстия. Объясняется это тем, что со стороны, получившей больший износ, действует большая сила.

На величину сил, действующих на протяжку, оказывают влияние физико-механические свойства обрабатываемого материала, толщина и ширина срезаемых стружек, величина переднего угла, смазывающе-охлаждающие жидкости, способ разделения периметра стружки и другие факторы.

Влияние способа разделения стружки отражается на изменении сил трения, являющихся составной частью силы резания P . При работе протяжками, имеющими подъем на каждый зуб, и прогрессивными протяжками силы трения значительно больше, чем при работе протяжками переменного резания. Увеличение сил трения при работе протяжками первых двух типов объясняется наличием большого количества вспомогательных задних граней с нулевым задним углом (боковые поверхности узких стружкоделительных канавок и режущих секторов). Ребра жесткости на стружках, присущие протяжкам с подъемом на каждый зуб и прогрессивным протяжкам, увеличивают трение между стружкой и передней гранью.

2. СИЛОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

Силовые зависимости при протягивании относятся к области ограниченных значений толщины среза.

Обычно толщина среза при протягивании изменяется от 0,01 до 0,4 мм.

Силовые зависимости при протягивании за последние годы претерпели изменения. До 1952—1955 гг. в промышленности широко использовалась зависимость, в основе которой лежала удельная сила резания. В 1957 г. она была возрождена НИИТАвтопром в режимах резания для автомобильной промышленности [2].

Предложенная исследователями фирмы «Ойлгир» зависимость для определения силы резания при протягивании имела вид

$$P = avz_p \text{ кг}, \quad (8)$$

где a — толщина среза, мм;

z_p — число зубьев, одновременно участвующих в работе;

v — длина активной части режущей кромки, или ширина среза, мм;

p — удельная сила резания, кг/мм².

Все металлы, для которых предлагалась зависимость (8), подразделялись на четыре группы: легированные стали, машиностроительные, серые и ковкие чугуны. При этом не учитывалось ни состояние, ни твердость обрабатываемого металла, ни геометрия зубьев.

Длительное время зависимость удельной силы резания при протягивании от толщины среза, показанная графически кривой 1 на фиг. 11, приводила исследователей и конструкторов по инструменту к ошибочному представлению о величине сил, действующих на режущее лезвие при срезании тонких стружек. Формально правильные математические вычисления приводили к получению чрезвычайно большой величины удельной силы резания. Так, для случая протягивания легированной стали с толщиной среза 0,01 мм удельная сила резания получалась равной 750 кг/мм². Отсюда суждения отдельных авторов о «тяжелом термодинамическом режиме» режущих лезвий, срезающих тонкую стружку.

В 1942 г. комиссией по резанию металлов была принята для нормативов [3] следующая зависимость, полученная на базе работ, выполненных отечественными исследователями в период 1934—1940 гг. [4, 5, 6, 7]:

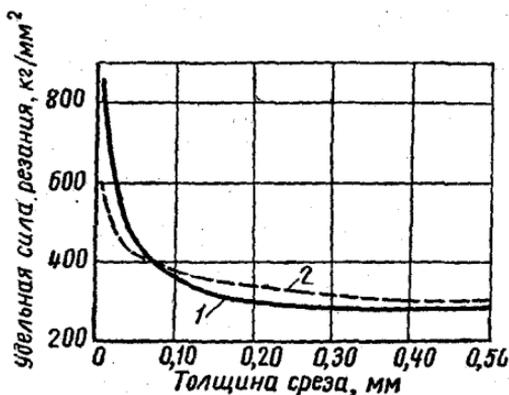
$$P = c_p s_z^x \beta z_p \text{ кг,} \quad (9)$$

где c_p — коэффициент, зависящий от типа протяжки, твердости обрабатываемого материала и геометрии зуба;

β — ширина среза, или периметр активной части режущих кромок зуба, мм;

s_z — подача на зуб, или толщина среза, мм.

Формула (9) была дополнена поправочными коэффициентами, которые давали возможность подсчитать величину силы резания для конкретных производственных условий. В 1950 г. эта же зависимость вошла в нормативы по режимам резания [7]. Однако эта зависимость имеет два недостатка. Один из них заключается в неудобстве вычислений для конструктора. Другой недостаток становится понятным из анализа графиков, приведенных на фиг. 11. Как видно из взаимного расположения кривых 1 и 2, удельные силы при срезании стружек толщиной свыше 0,07 мм при использовании данных БТН получаются больше. Следовательно, при подсчете усилий для случаев протягивания с подачей на зуб $s_z > 0,07$ мм конструктору выгоднее пользоваться кривой 1. Это обстоятельство, по-видимому, и побудило НИИТАвтопром принять для нормативов по режимам резания данные фирмы «Ойлгир». Однако такое положение является неправильным. Данные фирмы «Ойлгир» не дают возможности учесть влияние состояния и твер-



Фиг. 11. Зависимость удельной силы резания от толщины среза:

1 — кривая фирмы Ойлгир для легированных сталей; 2 — данные БТН для легированных сталей средней твердости ($H_B = 180 \div 230$).

дости обрабатываемого материала, равно как и геометрии режущих лезвий. Главным же недостатком, исключаяющим возможность применения этих данных, является, как уже указывалось выше, их формальный, чисто математический характер, не отражающий действительной картины состояния режущего лезвия.

Неправильность определения усилий, возникающих на режущих лезвиях, по величине удельных сил, приходящихся на один квадратный миллиметр площади поперечного сечения среза, впервые была вскрыта Г. И. Грановским [8]. Он предложил оценивать динамическую нагруженность лезвий величиной усилия, приходящегося на единицу длины режущей кромки [9,10]. В его работах, а также в работе [11], выполненной под его руководством, показано следующее:

а) сила резания, приходящаяся на единицу длины режущей кромки, q_0 кг/мм, в отличие от удельной силы p кг/мм², отражает реальное воздействие обрабатываемого металла на лезвие;

б) усилие q_0 изменяется под влиянием подачи, но не уменьшается по мере увеличения последней, как это наблюдается для удельного давления, а увеличивается;

в) в связи с фактическим характером изменения усилий, действующих при протягивании, можно отказаться от степенной зависимости для сил, определяемых по формуле (9), и применить линейную зависимость их, отражающую влияние различных факторов на усилие q_0 ; этому положению способствует то обстоятельство, что подачи, применяемые при протягивании, изменяются в сравнительно небольших пределах.

Так, для протягивания стали марки 45 были предложены уравнения следующего вида:

$$q_0 = 5,904 + 265,3 s_z - 0,187 \gamma - 0,075 \alpha; \quad (10)$$

$$q_p = 6,87 + 120 s_z - 0,32 \gamma - 0,09 \alpha. \quad (11)$$

где q_0 и q_p — осевое и радиальное усилия, приходящиеся на один погонный миллиметр длины режущего лезвия, кг/мм.

При определенных значениях γ и α формулы (10) и (11) просты и удобны для пользования. К сожалению, в работе [11] в качестве испытуемых материалов применялись только стали, условно обозначенные первым и вторым вариантами. В работе [12], выполненной в 1958 г., также признается целесообразность выражения силовых зависимостей через величину силы резания, приходящейся на единицу длины режущей кромки. Однако для количественного определения ее вместо алгебраической суммы предлагается уравнение смешанного вида. Так, для стали марки 45 эта зависимость для силы резания имеет следующий вид:

$$q_0 = (132 - 2,5 \gamma) a^{0,8} \text{ кг/мм}, \quad (12)$$

где a — толщина среза, мм.

Сравнение уравнений (10) и (12) показывает, что более удобным для практики является первое.

В работе [13] для срезания тонких стружек ($s_z \leq 0,06$ мм на зуб) снова предлагается зависимость с использованием удельного давления p , кг/мм².

В исследовании, выполненном по жаропрочным и титановым сплавам [14], подтверждается линейная зависимость силы, приходящейся на единицу режущего лезвия, от подачи.

Из рассмотрения силовых зависимостей можно прийти к заключению, что зависимости в форме алгебраической суммы, выраженные через усилия, действующие на один погонный миллиметр режущей кромки, являются наиболее удобными для пользования. Однако отсутствие данных для распространенных марок сталей, подвергающихся различным операциям термической обработки, для алюминиевых сплавов, бронзы и латуни не дает возможности широко использовать указанные зависимости. Поэтому автором было проведено исследование сил, действующих при внутреннем и наружном протягивании при обработке сталей различных марок в разных состояниях и с разной твердостью, а также чугуна, алюминия, бронзы и латуни.

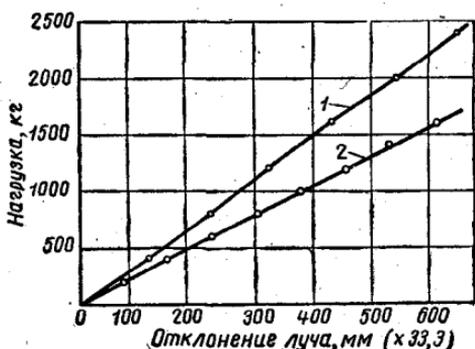
Протягивались втулки с наружным диаметром 80 мм длиной 60 мм; часть втулок имела длину 35 и 80 мм. Внутреннее отверстие подготавливалось под окончательное протягивание с помощью восьмишлицевой секторной протяжки, которая обеспечивала параллельность боковых поверхностей внутренних прямобоковых выступов с точностью до 0,04 мм при толщине выступа 6 мм. Стали протягивались в горячекатаном, отожженном, нормализованном ($d_{отп} = 3,40 \div 5,2$ мм) и закаленном на четыре ступени твердости состояниях ($d_{отп} = 3,0 \div 3,2$; $d_{отп} = 3,3 \div 3,5$; $d_{отп} = 3,6 \div 3,8$. $d_{отп} = 3,9 \div 4,2$ мм).

Для определения величины радиальных сил применялись образцы прямоугольного сечения $10 \times 30 \times 250$ мм и другой формы, чтобы можно было сопоставить результаты измерения сил при использовании резца и многозубой протяжки. Усилия измерялись с помощью двухкомпонентного динамометра на проволочных датчиках сопротивления. Динамометр позволял измерять силы, возникающие на протяжке при работе нескольких зубьев одновременно и на специальном резце. Кроме того, была предусмотрена возможность изоляции образца (или резца) для одновременного измерения температуры по методу естественной термопары. Тарировочные графики на упругие элементы для осевого и радиального усилий представлены на фиг. 12.

Вопрос о виде режущего инструмента, с помощью которого должны выполняться исследования сил при протягивании, является спорным. По мнению некоторых авторов [11, 12], такого рода исследования должны проводиться лишь однозубым инструментом, т. е. резцом. Основанием для такой точки зрения является

соображение о невозможности обеспечить точно заданный подъем зубьев протяжки и требуемую перпендикулярность торцов образца к оси отверстия, из-за чего, по мнению этих исследователей, будет возникать усилие, изгибающее протяжку. С такой точкой зрения нельзя согласиться. С помощью доводки задних граней зубьев протяжек легко выдерживается допуск на диаметр, равный 5 мк. Образцы же могут быть изготовлены с заданной точностью.

Измерение сил, возникающих при внутреннем протягивании, целесообразно проводить многозубыми протяжками. При этом процесс не моделируется, как это происходит при исследованиях с однозубыми протяжками, а воспроизводится непосредственно. При этом должен быть обеспечен достаточно жесткий допуск на диаметр зубьев.



Фиг. 12. Тарировочный график динамометра для упругого звена:

1 — измеряющего осевое усилие от 0 до 2000 кг; 2 — измеряющего радиальное усилие от 0 до 1500 кг.

Для исследования применялись цилиндрические многозубые протяжки, изготовленные из быстрорежущей стали марки P18. Протяжки проходили обычную термическую обработку (закалку, трехступенчатый отпуск) и имели твердость режущей части $R_c = 62-64$. Комплект состоял из четырех протяжек. Каждая протяжка имела одну подготовительную секцию из трех зубьев и три рабочих секции из пяти зубьев каждая. Для удобства расшифровки фотопленок между секциями помещались цилиндрические направляющие.

Зубья рабочих секций имели шаг, равный 19 мм. Для получения наибольшей точности результатов все пять зубьев каждой рабочей секции имели одинаковый подъем.

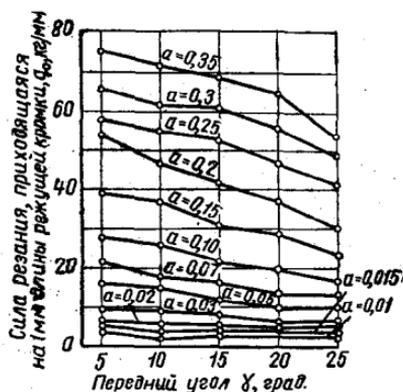
Это позволяло многократно измерять величину силы при одной и той же подаче за один проход инструмента. Задние грани зубьев доводились. Допуск на диаметр составлял 5 мк на всех зубьях. Подъем на диаметр зубьев комплекта протяжек был равен 0,02—0,7 мм. Зубья протяжек не имели устройств для разделения стружки по ширине, так как разделение стружки обеспечивалось самой формой многошлицевого отверстия, подготовленного под протягивание. Влияние способов разделения стружки на силы резания исследовалось на специально подготовленных резцах. Для исследования применялись острые и нормально затупленные протяжки. Наружное протягивание проводилось резцом с прямой режущей кромкой и протяжками с криволинейными кромками.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ

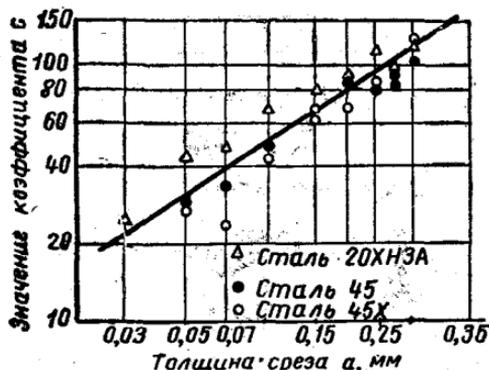
Влияние переднего угла на силу резания q_0

Передний угол γ изменялся от 5 до 25° при допуске, равном $\pm 1^\circ$. Влияние угла γ на силу резания изучалось при различной толщине среза, изменявшейся от 0,01 до 0,35 мм. Результаты опытов, приведенные на фиг. 13, показывают, что влияние угла γ на силу q_0 неодинаково при разной толщине среза. Уменьшение толщины среза сопровождается увеличением влияния угла γ на силу q_0 . Аналитическая зависимость удельной силы резания, приходящейся на 1 мм длины режущего лезвия, q_0 от переднего угла.

$$q_0 = \frac{C}{\gamma^x} \text{ кг/мм.} \quad (13)$$



Фиг. 13. Влияние переднего угла γ на силу резания, приходящуюся на 1 мм длины режущей кромки q_0 при разных подачах для стали 45 ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм; $v = 3$ м/мин; $\alpha = 3^\circ$; охлаждение — сульфозрезол).



Фиг. 14. Зависимость коэффициента C от подачи для стали 45 ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм); для стали 20ХНЗА ($d_{отп} = 4,2 \div 4,4$ мм) и стали 45Х ($d_{отп} = 3,9 \div 4,0$ мм); $v = 3$ м/мин; $\alpha = 3^\circ$; охлаждение — сульфозрезол.

Как x , так и C являются переменными величинами, зависящими от свойств обрабатываемого металла и толщины среза. Зависимость показателя степени x от толщины среза a , полученная в результате математической обработки средних данных для стали марок 20ХНЗА, 45 и 45Х, имеет вид

$$x = \frac{0,12}{a^{0,4}} \quad (14)$$

На фиг. 14 показано изменение коэффициента C в зависимости от толщины среза. Аналитическое выражение этой зависимости

$$C = 229 a^{0,7} \quad (15)$$

После подстановки значений C и x в выражение (13) получим

$$q_0 = 229 a^{0.7} \gamma \left(\frac{-0.12}{a^{0.4}} \right) \text{ кг/мм.} \quad (16)$$

Некоторые исследователи считают, что степень влияния переднего угла на силу резания не зависит от толщины среза. Такой взгляд установился в связи с тем, что большинство исследований зависимости силы резания от переднего угла при протягивании проводилось при $a = \text{const}$. Особенно четко показано изменение степени влияния переднего угла при разной толщине среза в работе Н. Н. Зорева [15].

Исследование с применением многозубых протяжек, выполненное в широком диапазоне изменения толщины среза, позволило выявить наличие указанного влияния при протягивании. Однако следует заметить, что при очень тонкой стружке ($a \leq 0,02$ мм) наблюдается довольно большой разброс значений силы резания. Это не является результатом неточностей при измерении сил или погрешности аппаратуры. Как показывают исследования (см. стр. 34), при срезании тонкой стружки в связи с явлениями наростообразования в широких пределах изменяется величина фактического угла резания (от 55 до 165°). Поэтому и происходит большой разброс опытных данных.

Так как явление защемления не наблюдалось, то зависимость, полученная в результате математической обработки для подач $0,03 - 0,35$ мм, была распространена и на очень узкий интервал малых подач.

Влияние толщины среза на силу резания q_0

Толщина среза является одним из главных факторов, влияющих на силу резания при протягивании (фиг. 15, 16, 17, 18, 19, 20). Чтобы сопоставить результаты разных исследований, показанных на фиг. 15, все данные приводились к одинаковым условиям протягивания, за исключением данных ВНИИ [11], в которых не указывается твердость стали марки 45, взятой для проведения опытов, а также данных фирмы «Ойлгир».

Зависимость силы резания q_0 от толщины среза a при обработке стали марки 45 в результате математического анализа опытных данных автора имеет вид

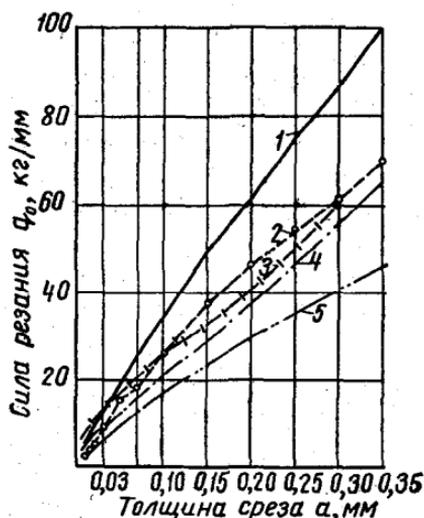
$$q_0 = 1,8 + 197a \text{ кг/мм.} \quad (17)$$

Формула (17) справедлива для переднего угла $\gamma = 15^\circ$ при охлаждении сульфифрезолом. Значения силы q_0 для различных величин переднего угла приведены в приложении 7. В связи с этим поправочный коэффициент на величину переднего угла в общую формулу не вводится.

Значения удельной силы резания q_0 , полученные при протягивании сталей, находящихся в различном состоянии, при $\gamma=15^\circ$, $\alpha=3^\circ$; $v=3$ м/мин и охлаждении сульфифрезолом

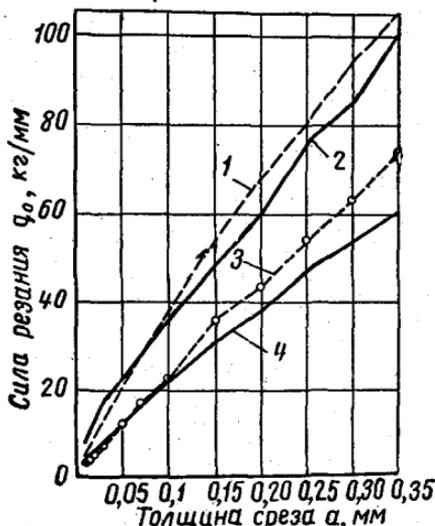
Марка стали	Состояние	Диаметр отпечатка по Бригнеллю $d_{отп}$, мм	Значения q_0 в кг/мм при a в мм						
			0,03	0,05	0,07	0,1	0,15	0,2	0,3
45X	Горячий прокат	4,0—4,2	8	11,5	16	21,5	31	41,5	60,5
	Отжиг	4,4—4,5	7,0	11,4	17,2	22,2	32,5	41,3	60,5
	Нормализация	4,0—4,2	8,5	11,5	16,5	23,1	30,3	42,3	62,5
30XГН	Горячий прокат	3,3—3,4	8,1	11,5	15,5	21,5	31,5	42,5	61,2
	Отжиг	4,0—4,2	8,7	13,40	16,2	21,6	30,5	40,1	60,1
	Нормализация	3,8—3,9	7,5	11,5	15,5	22,4	32,1	40,5	61,5
20Г	Горячий прокат	5,0—5,1	8,3	12,1	17,7	21,5	31,4	42,4	62,3
	Нормализация	5,0—5,1	8,3	11,0	16,4	23,2	30,2	42,4	62,3
18XНВА	Горячий прокат	3,4—3,5	8,1	11,45	16,4	21,5	30,5	41,5	60,5
	Нормализация	3,8—3,9	9,2	11,0	16,1	21,6	31,4	42,1	61,8

В табл. 1 приведены данные, полученные при протягивании сталей, находящихся в горячекатаном, отожженном и нормализованном состоянии, с твердостью $H_B=137 \div 321$. Данные табл. 1 показывают, что твердость сталей, находящихся в указанных со-



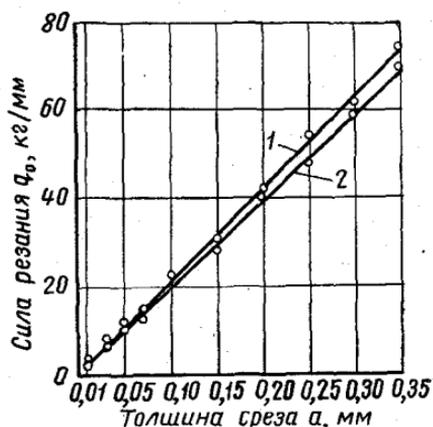
Фиг. 15. Влияние толщины среза на силу резания q_0 для стали 45 ($d_{отп}=4,2 \div 4,3$ мм; $v=3$ м/мин; $\gamma=10^\circ$; $\alpha=3^\circ$; охлаждение — сульфифрезолом) по данным:

1 — БТН [7]; 2 — автора; 3 — фирмы Ойлгир; 4 — ВНИИ [11]; 5 — А. В. Пахомова [12].



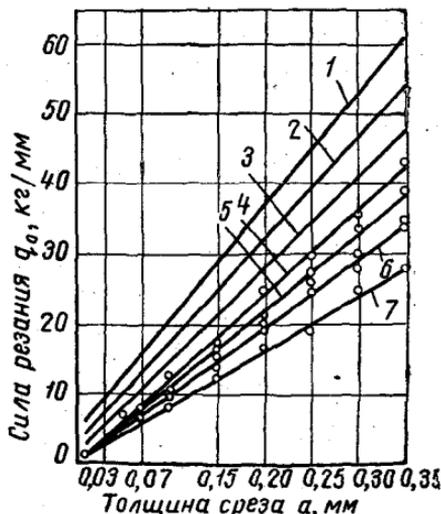
Фиг. 16. Влияние a на q_0 для стали 45X при $\gamma=10^\circ$ по данным:

1 — БТН [7]; 2 — фирмы Ойлгир; 3 — автора; 4 — А. В. Пахомова [12].



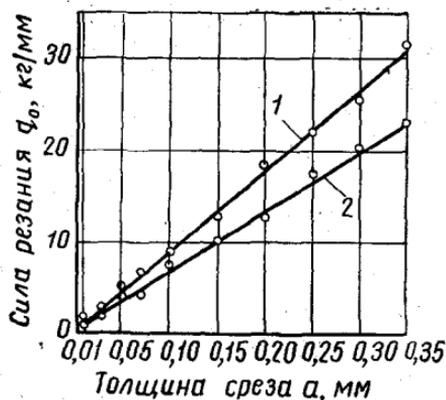
Фиг. 17 Влияние a на q_0 для литых сталей:

1 — сталь 30Л; 2 — сталь 50Л.



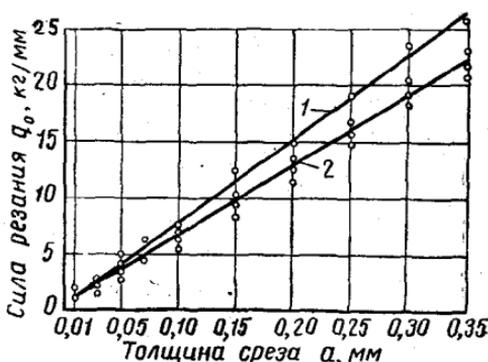
Фиг. 18 Влияние толщины среза a на силу резания q_0 при протягивании чугуна по данным:

1 — фирмы Ойлгир; 2 — БГН для серого чугуна с твердостью $H_B = 190 \div 215$ [7]; 3 — то же, $H_B = 160 \div 180$ [7]; 4 — автор для антифрикционного чугуна с $H_B = 364 \div 387$; 5 — то же для специального чугуна с $H_B = 217 \div 228$; 6 — то же для серого чугуна марки СЧ 18 — 36 с $H_B = 207 \div 217$ и СЧ 21 — 40 с $H_B = 217 \div 229$; 7 — то же для специального чугуна с $H_B = 170 \div 179$.



Фиг. 19. Влияние a на q_0 при протягивании бронзы и латуни:

1 — бронза Бр. АЖ9—4 ($H_B = 107 \div 116$); 2 — латунь ЛС59—1 ($H_B = 72 \div 78$).



Фиг. 20. Влияние a на q_0 при протягивании сплавов алюминия:

1 — дюралюминия Д1 ($d_{отп} = 3,9 \div 4,0$ мм при $P = 1000$ кг); 2 — алюминия АЛ9; АК4 и АК6 ($d_{отп} = 3,5 \div 4,5$ при $P = 1000$ кг).

стояниях, не оказывает практически заметного влияния на изменение величины силы резания. Аналогичные результаты были получены и при протягивании сталей других марок.

Влияние переднего угла на радиальную силу q_p при наружном протягивании

Влияние угла γ на радиальную силу, приходящуюся на 1 мм длины режущей кромки, q_p (фиг. 21), изучалось при $v=3$ м/мин. При этом толщина среза изменялась от 0,03 до 0,3 мм. Влияние γ на q_p зависит от толщины среза и может быть выражено формулой

$$q_p = \frac{A'}{\gamma^\omega} \text{ кг/мм}, \quad (18)$$

где ω и A' — переменные величины, зависящие от величины a

$$(\omega = 1,26 a^{0,17}; \quad A' = 1345 a^{1,19}).$$

После подстановки значений A' и ω в выражение для радиальной силы, приходящейся на 1 мм длины режущей кромки, получим

$$q_p = \frac{1345 a^{1,19}}{\gamma^{1,26} a^{0,17}}. \quad (19)$$

Влияние скорости резания на силу q_p при наружном протягивании

Опыты показывают, что скорость резания практически не влияет на осевую силу резания как при внутреннем (фиг. 22), так и при наружном протягивании. Заметное влияние скорость резания оказывает на величину радиальной силы. Это влияние изучалось при наружном протягивании. С повышением скорости резания радиальная сила уменьшается (фиг. 23), особенно в диапазоне $v=1-2,5$ м/мин. Интенсивность влияния v на q_p изменяется с изменением толщины среза. Аналитическая зависимость радиальной силы от скорости резания $v=1-2,5$ м/мин имеет вид

$$q_p = \frac{k}{v^y} \text{ кг/мм},$$

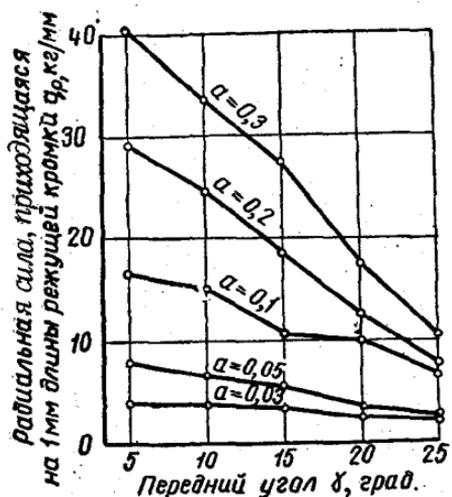
где y и k — переменные величины, зависящие от толщины среза.

Математическая обработка опытных данных показывает, что

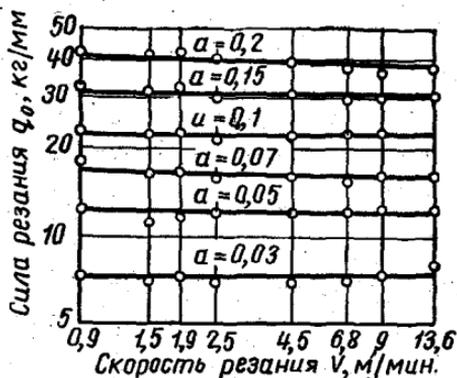
$$y = 0,6 a^{0,22}; \quad k = 92 a^{0,7}$$

После подстановки значений y и k в выражение для радиальной силы, приходящейся на 1 мм длины режущей кромки, получим

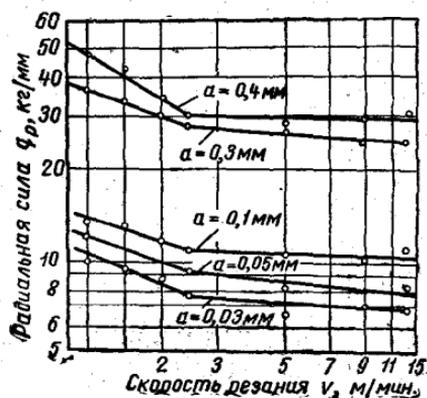
$$q_p = \frac{92 a^{0,7}}{v^{0,6 a^{0,22}}} \text{ кг/мм}$$



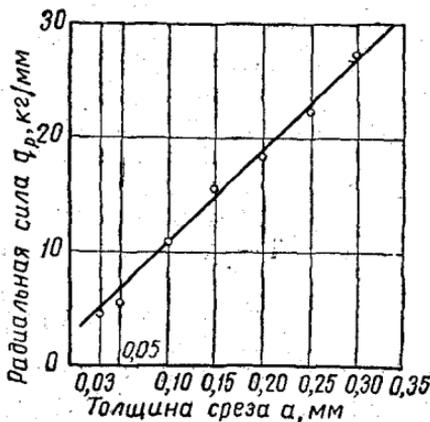
Фиг. 21. Влияние переднего угла γ на радиальную силу q_r , приходящуюся на 1 мм длины режущей кромки, при разных подачах для стали 45X ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм; $v = 3$ м/мин; $\alpha = 3^\circ$; охлаждение — сульфифрезол).



Фиг. 22. Влияние скорости резания v на осевую силу, приходящуюся на 1 мм длины, q_o для стали 45 ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм; $v = 3$ м/мин; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 3^\circ$; охлаждение — сульфифрезол).



Фиг. 23. Влияние роста резания на радиальную силу, приходящуюся на 1 мм длины режущей кромки, q_r для стали 45X ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 3^\circ$; охлаждение — сульфифрезол).



Фиг. 24. Влияние толщины среза на радиальную силу q_r , приходящуюся на 1 мм длины режущей кромки для стали 45X ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм; $v = 3$ м/мин; охлаждение — сульфифрезол).

Эта формула справедлива при $v=1 \div 2,5$ м/мин. В диапазоне скоростей резания от 2,5 до 12 м/мин радиальная сила изменяется под влиянием скорости резания незначительно, и на практике этим изменением можно пренебречь. Поправочные коэффициенты на радиальную силу в зависимости от скорости резания и толщины среза приведены в приложении 7.

Влияние толщины среза на радиальную силу q_p при наружном протягивании

С увеличением толщины среза радиальная сила возрастает (фиг. 24). Математическая обработка опытных данных показывает, что

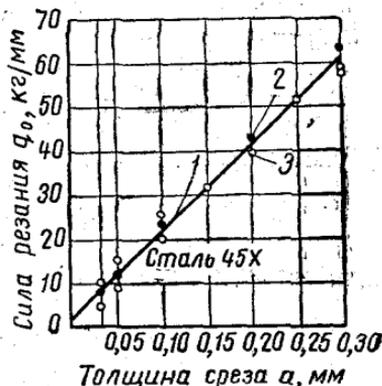
$$q_p = 3,0 + 80 a \text{ кг/мм.} \quad (20)$$

В приложении 7 приведены значения силы q_p для различных значений толщины среза и передних углов. В связи с этим отпадает надобность в поправочном коэффициенте на величину переднего угла в формуле общей зависимости для радиальной силы, приходящейся на 1 мм длины режущей кромки.

Зависимость осевой силы резания от толщины среза при наружном протягивании аналогична зависимости (17) при внутреннем протягивании. Опытные точки отклоняются от этой зависимости не более чем на 5%.

Влияние ширины среза и других факторов

Кроме определения зависимости сил q_o и q_p от γ , v и a , автором исследовалось влияние на них и других факторов: ширины среза, заднего угла, величины износа протяжки, числа зубьев, одновременно участвующих в работе, и криволинейности режущей кромки* (фиг. 25), смазочно-охлаждающей жидкости и способа разделения стружки. Из перечисленных факторов два последних оказывают наиболее заметное влияние на силу резания q_o , как при внутреннем, так и при наружном протягивании. При расчете сил влияние этих факторов учитывается путем введе-



Фиг. 25. Зависимость осевой силы резания q_o от толщины среза:

1 — для круглого внутреннего протягивания по формуле (10) при $z_p = 3-4$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 3^\circ$; охлаждение — сульфорезол; 2 — для наружного протягивания с прямолинейной режущей кромкой при $z_p = 1$; 3 — для наружного протягивания с криволинейной кромкой при $z_p = 5-6$.

* Результаты опытов, приведенных на фиг. 25, подтверждают результаты исследований Л. А. Михеевой [11].

ния в расчетную формулу соответствующих поправочных коэффициентов.

Исследование влияния износа на силу резания q_0 проводилось с измерением износа по задней грани и радиуса округления режущего лезвия с помощью метода светового сечения. Результаты опытов показали, что при нормальном износе (износ по задней грани $\Delta < 0,1$ мм, радиус округления режущей кромки равен $0,02-0,03$ мм) величина q_0 практически не отличается от величины силы на острой протяжке. На радиальную силу q_p износ влияет в большей степени.

Общая зависимость для силы резания P и радиальной силы P_p

Общая зависимость для осевой силы резания P имеет вид

$$P = q_0 l_p k_{mo} k_{охл} k_{po} \text{ кг}, \quad (21)$$

где P — общая осевая сила резания, действующая на протяжку, кг;

q_0 — осевая сила, приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки, кг/мм;

l_p — суммарная длина всех режущих кромок, одновременно участвующих в работе;

k_{mo} — поправочный коэффициент на обрабатываемый материал;

$k_{охл}$ — поправочный коэффициент на смазочно-охлаждающую жидкость;

k_{po} — поправочный коэффициент на способ разделения стружки.

Применительно к разным видам протяжек формула (21) приобретает выражение: для цилиндрических протяжек

$$P = q_0 \pi D \frac{z_p}{z_c} k_{mo} k_{охл} k_{po} \text{ кг}; \quad (22)$$

для многошлицевых протяжек

$$P = q_0 B_m n \frac{z_p}{z_c} k_{mo} k_{охл} k_{po} \text{ кг}; \quad (23)$$

для шпоночных протяжек

$$P = q_0 B_m \frac{z_p}{z_c} k_{mo} k_{охл} k_{po} \text{ кг} \quad (24)$$

Общая зависимость для радиальной силы имеет вид

$$P_p = q_p l_p k_{mp} k_{охл} k_{увн} k_{vp} k_{pp} \text{ кг} \quad (25)$$

При протягивании шпоночными и плоскими протяжками сила P подсчитывается по формуле (24), а сила P_p по формуле

$$P_p = q_p B \frac{z_p}{z_c} k_{mp} k_{охл} k_{увн} k_{vp} k_{pp} \text{ кг}, \quad (26)$$

где B — ширина среза, мм;

k_{mp} — поправочный коэффициент на обрабатываемый материал, его состояние и твердость для радиальной силы;

- $K_{охл\ p}$ — поправочный коэффициент на смазочно-охлаждающую жид-
кость для радиальной силы;
- $K_{рр}$ — поправочный коэффициент на способ разделения стружки
для радиальной силы;
- $K_{ивн\ p}$ — поправочный коэффициент на радиальную силу в зависи-
мости от износа зубьев протяжки;
- $K_{вр}$ — поправочный коэффициент на радиальную силу в зависи-
мости от скорости резания.
-

ГЛАВА IV

СТОЙКОСТЬ ПРОТЯЖЕК И НОВАЯ МЕТОДИКА ВЫБОРА ТОЛЩИНЫ СРЕЗА

4. ИЗНОС РЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЙ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК И СТОЙКОСТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

Задача правильного выбора толщины среза — одна из самых актуальных в области протягивания и особенно внутреннего протягивания. Эта задача является особо важной применительно к протягиванию термически обработанных легированных сталей, часто закаленных на высокую твердость. Для черновой режущей части протяжек толщина среза должна выбираться в зависимости от ограничивающих ее величину факторов — усилия резания, условия размещения стружки и стойкости протяжки. При назначении толщины среза для чистовых зубьев главными лимитирующими факторами являются заданная чистота протягиваемой поверхности и стойкость протяжки. Несмотря на острую необходимость в методике определения толщины среза в связи со стойкостью протяжки, она до настоящего времени не создана. Более того, возникли разногласия по вопросу о самом характере влияния толщины среза на стойкость протяжки.

Стойкостные зависимости при протягивании обычно базировались на данных, характеризующих износ задних граней зубьев протяжек. Однако разные исследователи при использовании этого вида износа приходили к противоположным результатам. Так, на базе довоенных исследований в нормативах БТН 1942 г. [3] и 1950 г. [7] была принята зависимость

$$v = \frac{C}{T^m a^y} \text{ м/мин.} \quad (27)$$

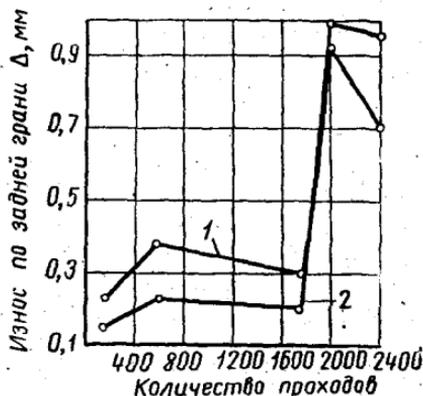
Послевоенные исследования, проведенные во ВНИИ под руководством Г. И. Грановского [11], подтвердили, что с увеличением толщины среза и скорости резания износ задней грани зубьев протяжки увеличивается, а стойкость уменьшается. В работе [11]

были получены стойкостные зависимости такого же вида, как и зависимость (27).

М. С. Берлинер отрицает существование зависимости (27). В подготовленном им технологическом справочнике [16] говорится, что существование этой зависимости «никак не подтверждается практикой завода...», «...что увеличение скорости резания мало влияет на изменение количества деталей, обрабатываемых ими до затупления». Стойкостные зависимости в справочнике отсутствуют. В справочнике указывается, что при испытании круглых протяжек, имеющих зубья с подъемом от 5 мк до 0,4 мм, было установлено, что «почти все время работы протяжки износ является одинаковым при различных подъемах на зуб». Анализ графиков износа, приведенных в справочнике, показывает, что величина износа задней грани по мере работы протяжки то увеличивается, то уменьшается (фиг. 26). Это явление нуждается в объяснении, но такого объяснения в справочнике нет.

В работе [17] также отрицается существование зависимости (27). В ней говорится, что «сопоставление графиков стойкости и подачи на зуб указывает на отсутствие обратной зависимости», т. е. зависимости типа (27), и в то же время говорится, что «...нет оснований считать, что между стойкостью протяжки и толщиной среза существует прямая зависимость. При увеличении подачи от 0,02—0,04 до 0,08—0,1 мм стойкость протяжек увеличивается в 2—2,5 раза. При увеличении подачи от 0,02—0,04 до 0,16—0,25 мм стойкость протяжек также увеличивается в 2—2,5 раза». В итоге, по утверждению автора работы [17], с увеличением подачи от 0,02 до 0,25 мм стойкость увеличивается в 2—2,5 раза. Эти же утверждения положены в основу подготовленных НИИТАвтопромом общемашиностроительных нормативов режимов резания на протяжные работы [18] и руководящих материалов по проектированию протяжек [19]. В них говорится, что величина лимитирующей подачи «ограничивается тремя факторами: размещаемостью стружки, силами резания и условиями надежного разделения стружки выкружками».

Увеличение стойкости с увеличением подачи объясняется тем, что «при больших подачах удельные силы резания и нагрев зубьев, а отсюда и износ зубьев уменьшаются».



Фиг. 26. Зависимость износа по задней грани зубьев от времени работы протяжки (от количества проходов) при внутреннем протягивании стали 45 по данным ЗИЛв обработке автора ($d_{\text{донн}} = 3,9 \div 4,2$ мм; $\alpha = 2^\circ 30'$):
1 — при $\alpha = 0,05$ мм; 2 — при $\alpha = 0,03$ мм.

Это объяснение является неправильным, противоречащим физической сущности явлений при резании вообще и при протягивании в частности. Известно, что интенсивность износа участков задних граней зубьев протяжки, находящихся против стружкоделительных канавок предыдущих зубьев, значительно выше. Здесь толщина среза получается удвоенной, что и приводит к ускорению износа на этих участках задних граней. Одного упоминания об этом общеизвестном явлении достаточно, чтобы доказать несостоятельность всех утверждений о том, что с увеличением толщины среза стойкость протяжки увеличивается.

В работах Г. И. Грановского [9], Л. А. Михеевой [11], А. В. Пахомова [12] и автора [34] показано, что с увеличением толщины среза усилие, приходящееся на единицу длины режущего лезвия, увеличивается. Температура режущих лезвий зубьев с увеличением толщины среза также возрастает, что подтверждается результатами измерений температуры при протягивании, проведенных автором по методу естественной термопары и описанных ниже. Все это и приводит к ускорению износа по мере увеличения толщины среза.

Но дело не в том, что неправильным является только объяснение, которое дается якобы подтвержденному факту. Главное состоит в том, что такого явления, как повышение стойкости зубьев протяжек при увеличении подачи, вообще не существует.

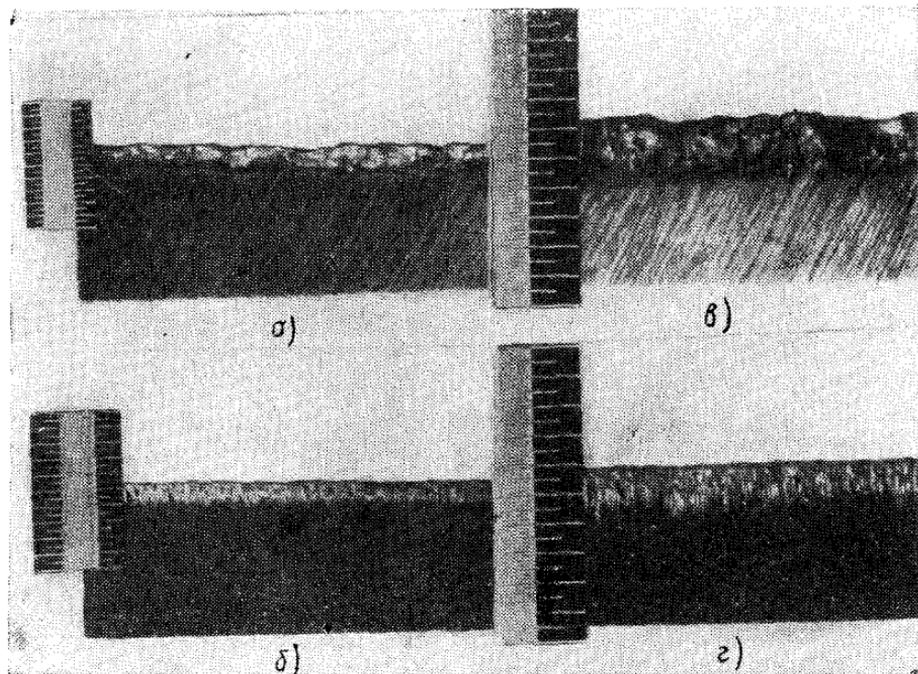
Многолетние наблюдения за работой протяжек и исследования лаборатории резания металлов ЧТЗ [20] показывают, что при сохранении неизменными режущих и конструктивных элементов протяжек стойкость их с увеличением подачи уменьшается. В практике протягивания наблюдается другое явление. Сущность его состоит в следующем. При работе протяжек различных конструкций в одних и тех же условиях стойкость до полного износа оказывается больше у той из них, у которой элементы черновой, чистовой и калибрующей частей в совокупности (схема резания, геометрия зубьев, число переходных и чистовых зубьев, величина подачи на чистовых зубьях и др.) являются более выгодными. И эта стойкость оказывается выше даже в том случае, если подача на черновых зубьях этой протяжки в несколько раз больше, чем у протяжек других конструкций. Для получения правильного представления о том, почему стойкость той или иной протяжки выше, чем другой, следует отдельно анализировать различные элементы ее — геометрические и конструктивные.

Для выявления характера влияния толщины среза на износ и стойкость зубьев нужно рассматривать явление в чистом виде, т. е. исследовать искомое влияние на отдельных группах одинаковых зубьев, а не на протяжке в целом. При этом должен использоваться надежный критерий затупления. Иначе очень легко впасть в ошибку и отнести влияние одного фактора на счет другого.

Проводя исследования влияния толщины среза на суммарную

стойкость без необходимой тщательности и не выделив влияния уменьшенных подач на чистовых зубьях, работники НИИТАвтомпрома пришли к неправильному выводу о прямом влиянии толщины среза на стойкость протяжек.

Кроме того, ошибка НИИТАвтомпрома в большой мере связана с тем, что износ по задней грани зубьев протяжек принят в качестве критерия затупления. При измерении этого вида износа в цеховых условиях с использованием луп к приборам Бринелля, без тщательного осмотра режущих лезвий с большим увеличением, т. е. без учета возможного наличия нароста, размазывания его по задней



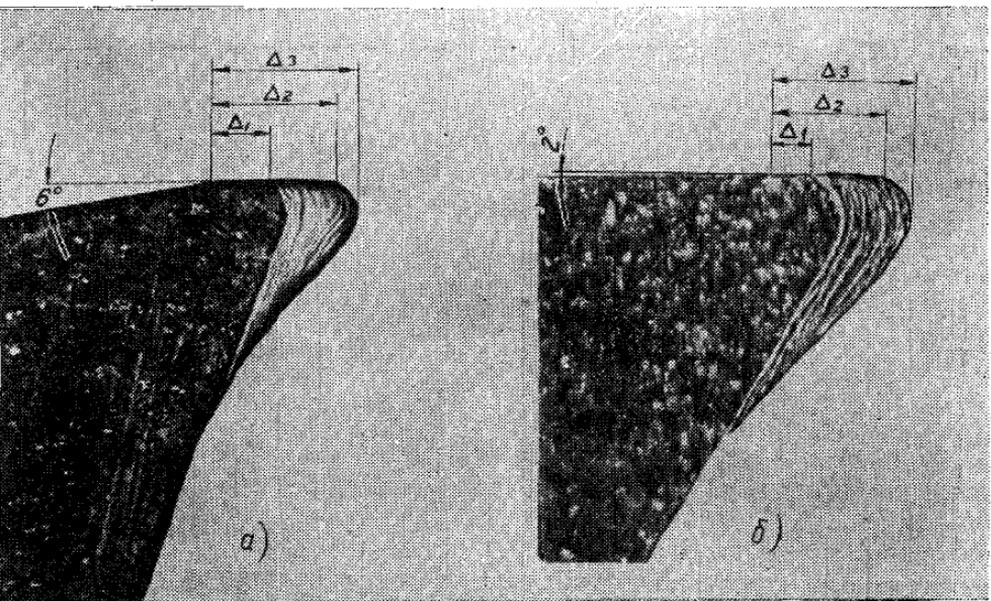
Фиг. 27. Вид на заднюю грань зуба протяжки, работающей по стали 20ХГНР при $s_z=0,3$ мм и охлаждении сульфореолом.

грани и освобождения от него зубьев, — ошибки неизбежны и результаты измерений могут доходить до $\pm 300\%$. Нужно отметить, что, как показывают исследования, выполненные в лаборатории резания металлов ЧТЗ, износ по задней грани в большинстве случаев нарастает во времени неравномерно.

Исследования износа и стойкости зубьев протяжек, выполненные в лабораторных условиях, и осмотр под микроскопом с 54—500-кратным увеличением большого числа протяжек показали, что за очень редким исключением на лезвиях всех зубьев имеется

либо нарост, либо его остатки, размазанные на задней грани. При рассмотрении нароста через лупу Бринелля с 20—24-кратным увеличением нарост очень мало отличается от штрихов износа, так как располагается полосой довольно равномерной ширины вдоль лезвия. После удаления его и осмотра задней грани уже с 54-кратным увеличением удастся установить, что ширина собственно штрихов износа фактически составляет лишь небольшую часть от видимой в лупу полосы металла, кажущейся износом.

На фиг. 27 приведены фотографии задней грани одного и того же участка зуба протяжки. Фиг. 27, а, б даны с увеличением



Фиг. 28. Влияние нароста на ошибки при измерении износа задних граней зубьев протяжки:

а — нарост на зубе наружной протяжки ($\times 128$) при обработке стали 50Г;
 $d_{отп} = 3,6 \div 3,8$ мм; б — нарост при протягивании стали 20ХГНР ($\times 320$);
 $d_{отп} = 4,6 \div 4,7$ мм.

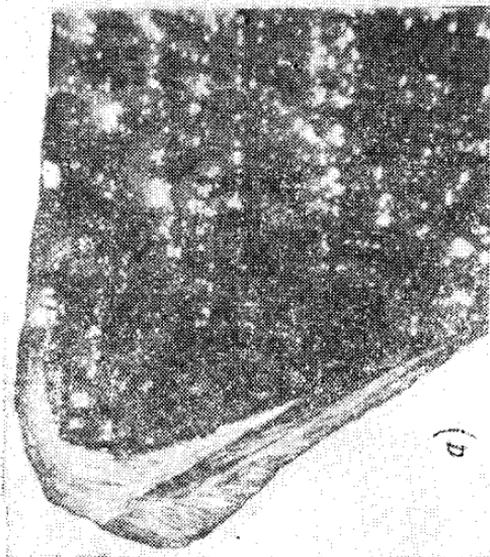
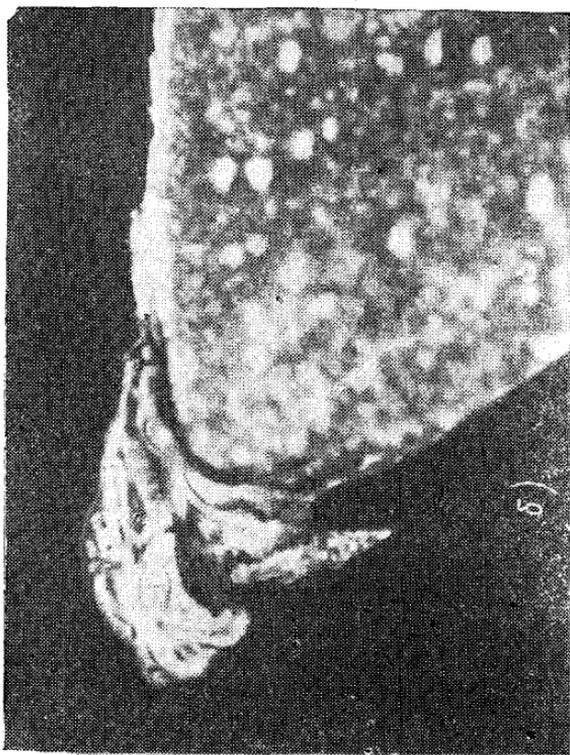
в 22,5 раза, что соответствует видимому изображению при осмотре задней грани зуба и при измерении износа с помощью лупы от прибора Бринелля. Фиг. 27, в, г даны с увеличением в 54 раза. Слева у каждого изображения помещены шкалы объектмикрометра с соответствующим увеличением. Вид на заднюю грань непосредственно после работы протяжки, до очистки ее лезвия медными пластинами, приведен на фиг 27, а, в. Ширина размазанного нароста, кажущегося износом, больше 0,2 мм. Тот же участок задней грани зуба после очистки его показан на фиг 27, б, г. Большую часть размазанного по задней поверхности нароста (а также и с передней

грани) удается снять. После этого измерение износа дает уже значительно меньшие значения. Фактический износ задней грани немного превышает 0,1 мм. Хотя абсолютные размеры нароста невелики и он почти незаметен при визуальном осмотре зубьев и без ошупывания, однако он значительно увеличивает действительные размеры износа задней грани. Это хорошо видно на микрошлифах осевых сечений зубьев (фиг. 28).

Часто нарост находится не только на передней грани, но и переходит далеко на заднюю грань. Зуб с таким именно расположением нароста показан на фиг. 29, а. Но даже если нарост и не переходит на задние поверхности, то его наличие приводит к двух-трехкратному завышению фактической величины износа задней грани (см. фиг. 28, а, б). Будет ли при измерении с помощью лупы от прибора Бринелля получен размер Δ_2 или Δ_3 вместо фактического Δ_1 , зависит лишь от того, какую форму (пологую или крутую) имеет носик нароста. Именно этим явлением, вероятно, и объясняется совершенно не объяснимое иначе уменьшение величины износа задней грани зубьев по мере работы протяжек, полученное в исследованиях лаборатории резания металлов автозавода им. Лихачева [16].

Если учесть, что нарост не только выступает далеко впереди режущей кромки, но и уходит на заднюю грань, то можно увидеть, как велико его влияние на ошибки измерений величины износа. Особенно далеко распространяются по задней грани размазанные остатки нароста, который периодически разрушается в процессе резания. На фиг. 29, б показан момент разрушения нароста, зафиксированный при проведении исследований в лаборатории резания ЧТЗ. Остатки его размазываются по задней грани, покрывая ее на ширину 0,2—0,3 мм, а часто и гораздо более. Такие участки задней грани зубьев широко известны на производстве под названием «обналёченных». Чем меньше задние углы зубьев, тем в большей степени проявляется явление размазывания нароста и тем большую часть поверхности задней грани он занимает.

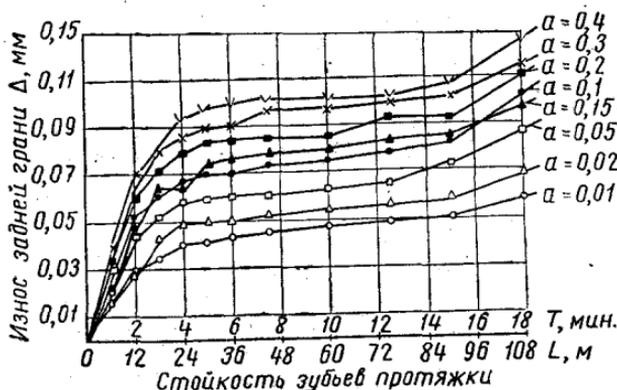
С целью исключения влияния нароста на ошибки измерения износа задней грани в лаборатории резания металлов ЧТЗ проводились стойкостные исследования с тщательной очисткой зубьев протяжек перед измерением износа. Эти исследования показали, что интенсивность нарастания износа во времени неравномерна. Если первоначальный сравнительно небольшой период характеризуется интенсивным ростом износа, то затем в течение продолжительного периода времени величина износа практически не изменяется. Было установлено, что абсолютная величина износа значительно меньше, чем это указывалось в других исследованиях. После протягивания большого количества деталей, общая длина которых составляла 100 м, износ часто не превышал 0,1 мм. Поэтому пока для измерения износа применялись лупы Бринелля с 20—24-кратным увеличением и ценой деления, равной 0,1 мм,



Фиг. 29. Нарост под микроскопом при увеличении в 500 раз.

было трудно правильно измерить величину износа и установить влияние толщины среза на последний, и вначале сложилось мнение, что влияние толщины среза на износ задней грани не закономерно. После того как измерение износа стало проводиться на микроскопе с увеличением в 54 раза (и со значительно лучшей видимостью), было установлено действительное влияние толщины среза на износ (фиг. 30).

Необходимо отметить, что отсутствие достаточной интенсивности нарастания износа задней грани на протяжении длительного периода времени работы протяжки является причиной того, что в практике даже самых передовых заводов этот вид износа фактически не используется в качестве критерия затупления. На чисто-

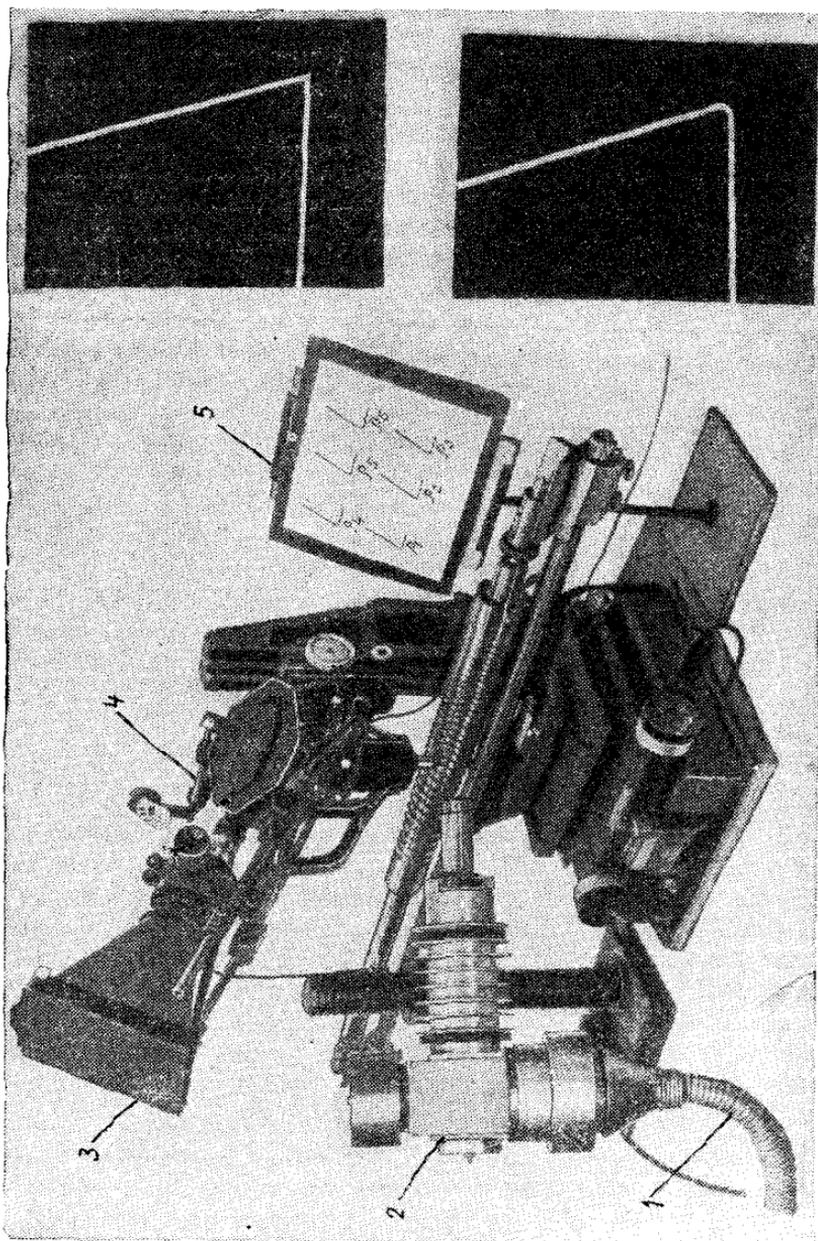


Фиг. 30. Влияние толщины среза на износ и стойкость зубьев протяжки из стали P18 при $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 3^\circ$ и охлаждении сульфидфрезолом; обрабатываемый материал сталь 45X; $v = 6$ м/мин.

вых операциях применяются, как правило, технологические критерии — момент ухудшения общей чистоты поверхности или появления отдельных продольных рисок, изменение размера протягиваемого отверстия и т. п. На остальных операциях работа прекращается при сильном нагревании протяжек или протягиваемых деталей, при плохом сходе стружек или приваривании их к передним граням зубьев. Иногда критерием служит появление вибраций системы станок — деталь — инструмент из-за чрезмерной затупленности инструмента. Величину износа на зубьях протяжек производственный персонал, как правило, не измеряет.

2. ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ПРОТЯЖКИ И ТОЛЩИНЫ СРЕЗА

Износ режущих лезвий зубьев протяжек, кроме истирания, микро- и макроразрушений задней грани проявляется в виде округления лезвия. Закономерности изменения радиуса округления



Фиг. 31. Микроскоп, оснащенный рисовальным аппаратом, мощной световой установкой со щелью и принадлежностями для фотографирования светового сечения:

1 — воздухопровод; 2 — световая установка; 3 — микрофотоасадка МФН-1; 4 — рисовальный аппарат с зеркалом РА-4; 5 — экран со сменной сеткой шаблонов. Справа показаны контуры острого и загупленного зуба, $r \approx 30 \text{ мк}$ ($\times 60$).

во времени и под влиянием различных факторов исследованы до настоящего времени недостаточно. Главными причинами этого являлись большая трудоемкость измерения радиуса и несовершенство применяемых технических средств. Метод светового сечения, предложенный Научно-исследовательским институтом авиационной технологии (НИАТ) для изучения износа режущего инструмента, предусматривает выполнение зарисовок контура изношенных поверхностей и кромки с помощью световой щели от двойного микроскопа Линника и рисовального аппарата с зеркалом, отражающим на экран исследуемый контур. Этот метод имеет недостатки. Дело в том, что зарисовки контура производятся в ряде близлежащих световых сечений и требуют значительных затрат времени. При зарисовках возможны субъективные ошибки исследователя, измеряющего величину износа, которые хотя и компенсируются большим увеличением, однако могут в какой-то степени исказить картину. Особенно нежелательными являются искажения очертаний округленной части лезвия, а между тем именно в этом месте они больше всего и возможны.

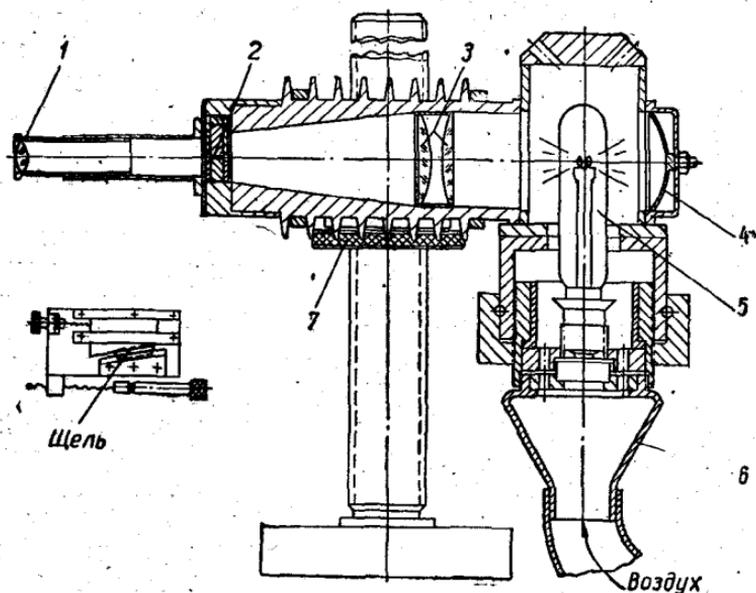
Этот недостаток можно устранить путем замены рисования контура фотографированием его при сохранении остальных условий. Однако первые же попытки применения фотографии показали, что затраты времени оказываются также очень большими из-за недостаточной освещенности объекта: изображение контура получается бледным и недостаточно четким. Это устраняют, пользуясь достаточно мощным источником света с применением специальной установки. Использование ее позволяет свести выдержку для получения четкого изображения к одной-двум минутам. При этом исключаются субъективные ошибки, неизбежные при зарисовках.

На фиг. 31 показан общий вид аппаратуры, применяемой в опытах автора, а принципиальная схема световой установки со щелью дана на фиг. 32. Для охлаждения мощной электрической лампы применен воздухопровод. При отсутствии вентиляции лампа, находящаяся в закрытом корпусе, может выйти из строя. Воздух подается обычным настольным вентилятором, установленным в стороне (на фиг. 32 не показан). Световая установка рассчитана на проведение исследования износа зубьев наружных и внутренних протяжек. Получение ряда последовательных световых сечений вдоль режущего лезвия достигается поворотом протяжки на установочных призмах или в центрах (фиг. 31). При исследованиях износа зубьев плоских наружных протяжек перемещение щели осуществляется с помощью гаек подъемного механизма (см. фиг. 32).

Для быстрого определения радиуса округления режущей кромки без фотографирования используется устанавливаемая на экране у микроскопа сменная сетка шаблонов, на которой нанесены в 100-кратном увеличении контуры окружностей, сопряженных с прямыми. Для точного определения радиуса округления негатив, полученный при фотографировании, устанавливается в эпидиас-

копе и измерения производятся на большом экране с увеличением в 900 раз. Особое значение имеет возможность получения на данной установке исследуемого контура и определения радиусов округления режущих кромок на круглых протяжках. Можно видеть и фотографировать полный профиль осевого сечения любых зубьев, в том числе зубьев с непрерывными режущими кромками (без канавок или выкружек для разделения стружки).

Для определения степени искажения угла заострения круглого целого зуба с наибольшим возможным поднутрением (передний угол $\gamma = 25^\circ$) был изготовлен большой эталон зуба с внутренним



Фиг. 32. Установка для получения светового сечения:

1 — однолинзовый объектив четырехкратного увеличения; 2 — регулируемая щель; 3 — двухлинзовый конденсор; 4 — рефлектор; 5 — электрическая лампа 500 вт, 110 в; 6 — воздуховод; 7 — механизм регулировки уровня щели.

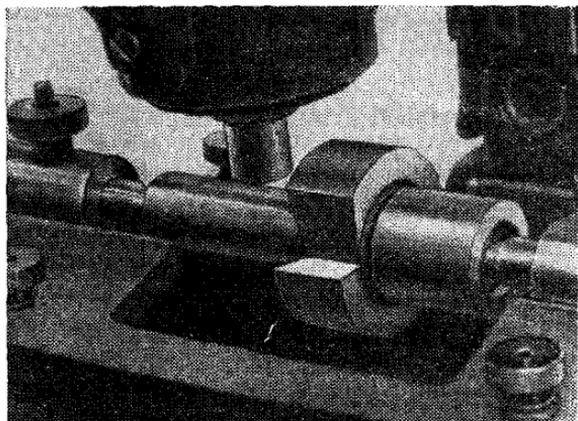
конусом, угол которого был равен переднему углу такой величины. Часть контура его была вырезана, и образовалось глубокое сечение в осевой плоскости. На фиг. 33 показана установка эталона в микроскопе в положении, когда осевая плоскость сечения открыта для измерения и расположена горизонтально. На фиг. 34 представлен снимок открытой поверхности сечения эталона, полученный в указанном положении его. Затем эталон был повернут в центрах таким образом, что непрерывная кромка его, соответствующая лезвию целого круглого зуба, закрыла внутренний конус (фиг. 35). При достаточной освещенности внутренней поверхности (световым сечением) контур ее отражался в непокрытой части объектива. По этой нерассеченной части эталона давался световое сечение

с помощью щели (тубус с объективом щели виден слева на фиг. 35), и производилось фотографирование контура (фиг. 36). Контур, показанные на фиг. 34 и 36, при наложении совпадали. Этим доказывалась возможность применения метода светового сечения для криволинейных режущих лезвий, в том числе для целых зубьев круглых протяжек.

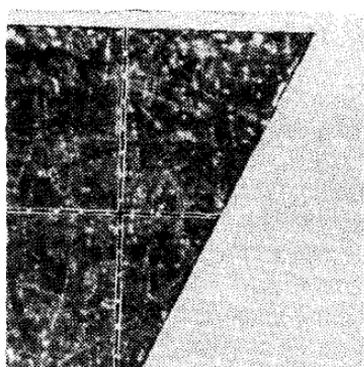
Для исследования износа задней грани и изменения радиуса округления лезвий в процессе работы протяжек применялись круглые протяжки с наружным диаметром 52 мм из стали марок Р18, Р9 и ХВГ. Протяжки подвергались стандартной термической обработке, тщательно контролировались на твердость и микроструктуру. Каждый три зуба имели одинаковые подъемы на зуб на сторону, равные 0,01; 0,02; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,3 и 0,4 мм. Задние грани зубьев, как и у всех протяжек, применяемых на ЧТЗ, доводились. Допуск на диаметр зубьев с подъемами до 0,05 мм включительно составлял 5 мк, на всех остальных зубьях 0,01 мм. Передние и задние углы в пределах одной серии опытов были постоянными; допуск на передние углы был равен $\pm 1^\circ$, на задние $\pm 15'$.

На протяжках было сделано пять открытых продольных пазов, разделявших периметр каждого зуба на такое же число отдельных секторов с наименьшей длиной режущей кромки, равной 15 мм. Каждый из секторов использовался при работе с определенной скоростью резания и при протягивании заготовок из стали разных марок с определенной твердостью. Ширина выступа (среза) протягиваемых образцов была равна 10 мм, длина протягивания 30 мм. Никаких устройств для разделения стружки на режущих кромках зубьев не наносилось, и, таким образом, исключалось их влияние на износ и стойкость зубьев. Благодаря этому было выявлено более четко влияние толщины среза, скорости резания и других факторов на стойкость. По существу, происходил процесс свободного резания, характерный для всех последних зубьев секций (зачищающих) круглых протяжек переменного резания. Полученные при такой методике исследования результаты полностью распространяются и на прорезные зубья этих протяжек, несмотря на то, что на них происходит процесс несвободного резания. Справедливость этого положения доказывается результатами измерений износа большого числа протяжек переменного резания на разных заводах — ЧТЗ, ГАЗ, МЗМА и др.

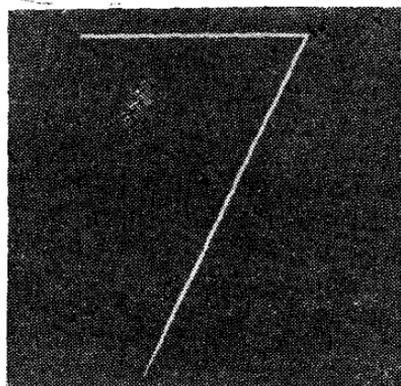
Радиус округления режущих кромок измерялся в 8—10 точках активной части лезвия, т. е. на длине 10 мм; затем для всех зубьев, имеющих одинаковую подачу, определялось среднеарифметическое значение его. Перед началом работы каждой протяжки режущие лезвия всех зубьев осматривались через микроскоп и устанавливалась первоначальная величина радиуса округления. Она, как правило, не превышала 3—4 мк, а на многих зубьях была еще меньше. Чтобы сравнить ее с величиной радиуса округления лезвий зубьев протяжек, заточенных в цехах, было обмерено 60 про-



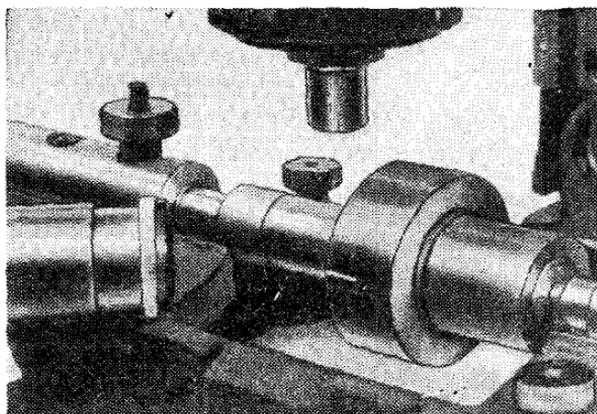
Фиг. 33. Установка эталона, при которой осевая плоскость его горизонтальна и открыта объективу.



Фиг. 34. Вид осевой плоскости эталона ($\times 60$).



Фиг. 36. Фотография светового сечения по целой части эталона ($\times 60$).



Фиг. 35. На целой части эталона производится световое сечение.

тяжек. Результаты показали, что при обычном качестве заточки радиус округления у 91% зубьев не превышает 6 мк, не принимая во внимание мест с повреждениями, оставшимися не выведенными при переточке.

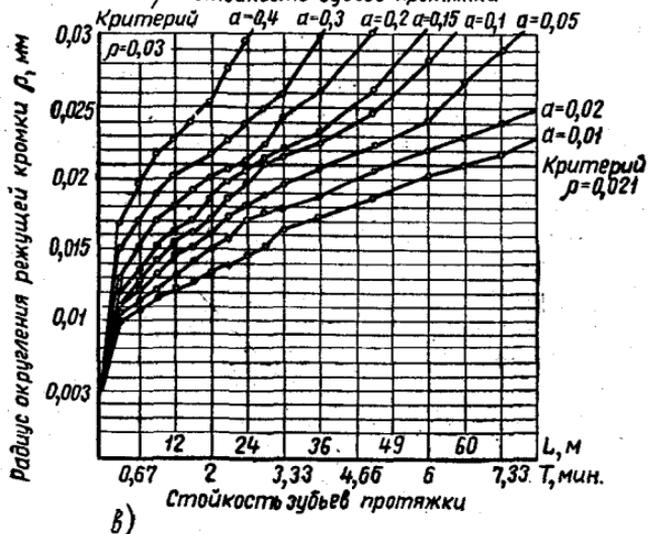
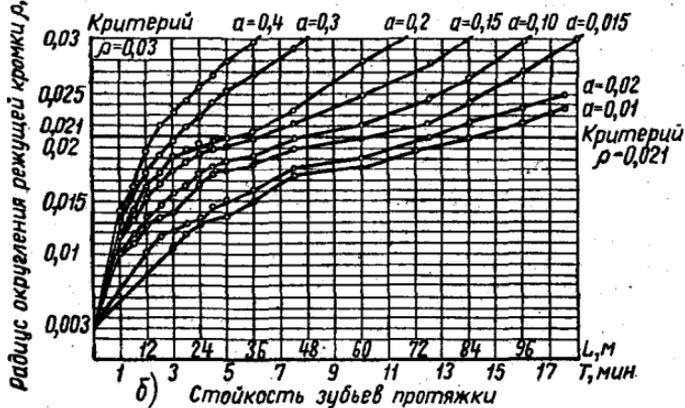
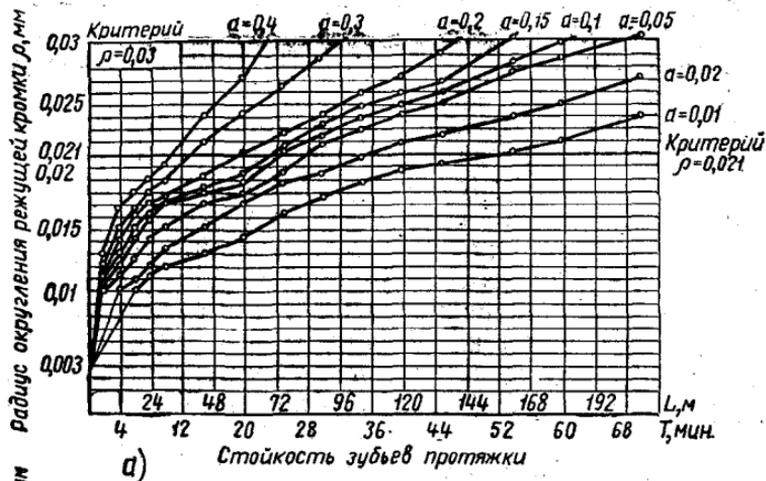
Перед обмерами режущие лезвия тщательно осматривались через микроскоп. Если обнаруживался нарост, то он удалялся. Для этого выполнялся один или несколько проходов со скоростью резания около 0,4 м/мин. При работе с такой скоростью нарост хотя и образуется, но при остановке протяжки, когда зубья ее еще находятся в работе, он остается у корня стружки, освобождая режущее лезвие. Если обнаруживались остатки размазанного по задней грани нароста, они также удалялись с помощью медных пластин. В тех случаях, когда отдельные частицы нароста, или налипания, удалить не удавалось, их обходили, выполняя обмер на близлежащих участках лезвия.

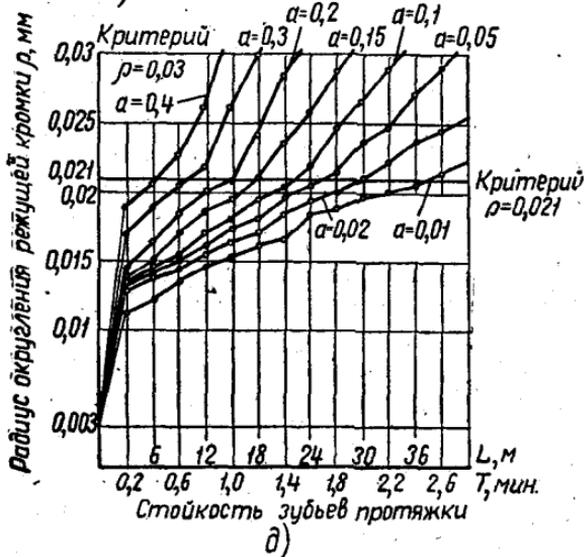
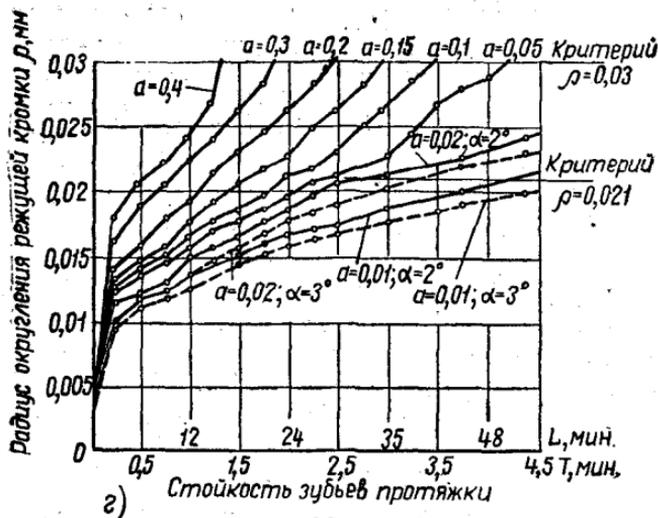
На фиг. 37, а, б, в, г, д приведены кривые износа, проявляющегося в увеличении радиуса округления режущего лезвия во времени. Кривые построены по результатам опытов. Опыты проводились при скорости резания 3; 6; 9; 12 и 15 м/мин. Задний угол на зубьях, имеющих подачу $s_z = 0,02$ и 0,01 мм, был равен 2° (обычно применяется на чистовых зубьях). Для выяснения влияния на стойкость увеличения заднего угла до 3° проведены опыты при скорости резания $v = 12$ м/мин, результаты которых нанесены штрихами на фиг. 37, г.

Анализ графиков показывает, что в отличие от износа задней грани, радиус округления режущей кромки равномерно увеличивается на протяжении всего периода работы протяжки. Здесь нет участков кривых, параллельных оси времени, которые всегда имеются на кривых износа задней грани. Из графиков хорошо видно также, что с увеличением подачи износ зубьев увеличивается, а стойкость уменьшается. Характер зависимости сохраняется при изменении скорости резания в указанных пределах.

Таким образом, закономерность изменения радиуса округления режущей кромки позволяет принять его в качестве критерия затупления. Выбор абсолютных значений радиуса основывался на следующих положениях. Подавляющее большинство кривых идет плавно, без характерных перегибов, являющихся местами резкой интенсификации процесса износа или началом катастрофического износа. Изменение величины усилий протягивания и температуры резания при нарастании величины радиуса округления происходит в малой степени (за исключением тех случаев, когда затупление чрезмерно велико), поэтому ориентироваться на эти показатели затруднительно. Определение рациональной величины радиуса округления, как критерия затупления, базировалось на других признаках, выявившихся в процессе исследования.

Опытами было установлено, что когда радиус округления становится несколько больше 0,02 мм, зубья, имеющие подъем s_z ,





Фиг. 37. Изменение радиуса округления режущей кромки в зависимости от времени работы протяжки и толщины среза; протяжка из стали Р18 при $\gamma=15^\circ$; $\alpha=3^\circ$; $s_z=0,4 \div 0,05$ мм и при $\alpha=2^\circ$; $s_z=0,02 \div 0,01$ мм; охлаждение — сульфифрезол; обрабатываемый материал сталь 45 ($d_{отп}=4,0 \div 4,2$ мм): а — при $v=3$ м/мин; б — при $v=6$ м/мин; в — при $v=9$ м/мин; г — при $v=12$ м/мин; д — при $v=15$ м/мин.

равный 0,02 и 0,01 мм на сторону, начинают работать хуже. Это проявлялось в заметном пластическом деформировании подповерхностного слоя — в появлении характерного рисунка на обработанной поверхности. Однако это четко видимое невооруженным глазом явление длительное время не сказывалось на показаниях профилометров КВ4 и ПЧ2 и двойного микроскопа Линника, с помощью которых определялась шероховатость поверхности. При достижении радиуса округления 0,025 мм на протянутой поверхности начинали появляться и отдельные узкие продольные риски. Так как зубья с такими подачами являются чистовыми, то и была принята для них в качестве критерия затупления величина радиуса округления, равная 21—22 мк.

Зубья с подъемом от 0,05 до 0,4 мм на сторону являются черновыми, и для них следует принимать другой критерий затупления. Опыты показывают, что если радиус округления больше 0,035 мм, то на режущих кромках появляются микроразрушения, стружка часто приваривается к передней грани, и протяжка заметно нагревается.

Следует указать также, что после достижения этой или несколько большей величины радиуса округления дальнейшая работа протяжки нередко сопровождается потерей лезвием правильной геометрической формы. Появляется характерная выработка на передней грани — пологое углубление. Возникают завалы режущей кромки, так как последняя несколько опускается. Задний угол на небольшом расстоянии от режущей кромки становится отрицательным. Особенно заметно это проявляется при протягивании твердых легированных сталей. Из-за этих деформаций иногда считают невозможным использовать радиус ρ округления режущего лезвия в качестве критерия затупления. Так, за последнее время к такому мнению пришел М. С. Берлинер, который в ранее выполненных исследованиях установил, что радиус ρ достаточно закономерно увеличивается во времени и под влиянием скорости резания и толщины среза. Им была, в частности, получена следующая зависимость для стали марки 1045:

$$\rho = cK^{0,69} v^{0,7} a^{0,42} \text{ мм,}$$

где K — длина протянутой поверхности, м.

Эта зависимость показывает, что с увеличением скорости резания и толщины среза растет и износ (радиус округления) [21]. Однако позднее, установив, что после достижения радиусом округления определенной величины режущее лезвие теряет правильную округлую форму, Берлинер отказался от ρ как критерия затупления. Приняв впоследствии в качестве критерия затупления износ задней грани, он, как указывалось выше, пришел к неправильным выводам о влиянии скорости резания и толщины среза на стойкость.

Причину отказа от использования ρ в качестве критерия за-

тупления нельзя считать основательной, так как деформирование режущего лезвия начинается при таком затуплении протяжки, при котором продолжение работы ею без заточки становится экономически нецелесообразным. Исключения составляют лишь сравнительно редкие случаи, когда восстановление режущих свойств протяжки производится путем шлифовки по задней грани. При внутреннем протягивании такие случаи наблюдаются на операциях, где допускаются большие отклонения размеров отверстий.

Целесообразность использования ρ в качестве критерия затупления подтверждается НИИТАвтопромом. В работе [17] указывается, что «основным фактором, предопределяющим необходимость переточки протяжек, является значительное округление режущего лезвия, удаление которого при заточке восстанавливает режущие свойства зуба». Поэтому в указанной работе рекомендуется при износе задней грани на 0,2—0,3 мм стачивать с передней поверхности половину этой величины, т. е. слой толщиной 0,1—0,15 мм.

Если учесть ошибки НИИТАвтопрома при измерениях износа задней грани, выражающиеся в преувеличении размеров последнего из-за наростов и налетов, то окажется, что рекомендуемая к стачиванию с передней грани толщина слоя является правильной и достаточной для удаления фактически изношенной части задней грани (см. например, графики фактического износа задней грани на фиг. 30).

Наблюдения за работой протяжек в цехах Челябинского тракторного завода показывают, что если протяжку для обработки отверстий, имеющую нормальный износ черновых режущих зубьев, т. е. когда радиус округления режущих кромок равен 30—35 мк, не переточить, то суммарная стойкость ее резко снижается. Режущие свойства ее после нескольких переточек при такой неправильной эксплуатации значительно уступают свойствам новой протяжки. Особенно заметно это проявляется на протяжках из стали ХВГ. Но и протяжки из быстрорежущей стали Р18 и Р9 в случае недостаточно качественной термической обработки могут терять режущие свойства. Применяв систему принудительной заточки протяжек, не допускающей продолжения работы после достижения нормального износа режущими кромками черновых зубьев, обеспечивают большее число переточек. Число протянутых деталей между двумя переточками у протяжки, близкой к окончательному износу, при правильной эксплуатации такое же, как и у новой. Общая стойкость протяжек повышается. Это служит основанием для выбора в качестве критерия затупления на черновых зубьях внутренних протяжек радиуса округления режущей кромки, равного 0,03 мм.

Выбор двух разных критериев затупления $\rho = 0,02$ мм и $\rho = 0,03$ мм для одной и той же протяжки является вполне правильным, так как протяжка состоит из двух частей — черновой и

чистой, — имеющих разное назначение. При эксплуатации протяжек с критерием затупления дело обстоит именно так. При заточке с черновых зубьев, имеющих радиус округления больше, чем чистовые, снимается и больший слой металла.

3. СТОЙКОСТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА ПО МЕТОДУ ВЫРАВНИВАНИЯ СТОЙКОСТЕЙ ЧЕРНОВОЙ И ЧИСТОВОЙ ЧАСТЕЙ ПРОТЯЖКИ

Исследование стойкостных зависимостей проводилось на базе принятого за критерий затупления радиуса округления режущих кромок с использованием описанной выше аппаратуры и методики определения величины его. Применялись те же протяжки. Работа велась на двух горизонтально-протяжных станках модели 7А520 Минского станкозавода и модели 2Н фирмы «Шютте». Для охлаждения применялся сульфохрезол. Протягивались образцы из стали различных марок в состоянии термической обработки и с твердостью, приведенной в табл. 2. Все основные серии опытов проводились на стали 45Х, а для получения данных в более широком диапазоне ставились серии опытов на двух скоростях по протягиванию стали других марок.

Результаты отдельных серий опытов приведены ниже. При обработке опытных данных в графической и аналитической форме использовались разные критерии затупления — для черновых (обдирочных) зубьев с подъемом 0,05—0,4 мм выбирался $r = 0,03$ мм, для чистовых зубьев с подъемом 0,01 и 0,02 мм $r = 0,021$ мм. Кроме того, кривые износа для зубьев с подъемами $s_2 = 0,01$ мм и $s_2 = 0,02$ мм строились для зубьев с задним углом $\alpha = 2^\circ$; для черновых зубьев кривые строились по данным для зубьев с задним углом $\alpha = 3^\circ$. Такой порядок построения учитывает реальную геометрию, присущую определенным зубьям протяжек в зависимости от их назначения. Так, у круглых и многошлицевых протяжек последние чистовые зубья выполняются с $\alpha = 2^\circ$, а не 3° , несмотря на то, что при этом происходит некоторая потеря стойкости между переточками. Из-за потери диаметра при заточке этих зубьев приходится отказываться от применения на них задних углов $\alpha = 3^\circ$.

Как уже отмечалось, стойкость протяжек по мере увеличения толщины среза уменьшается. Однако степень влияния толщины среза различна. Толщина среза $a \leq 0,16 \div 0,17$ мм меньше влияет на изменение стойкости, чем $a > 0,17$ мм (фиг. 38, а). В области малых подач, применяемых на чистовых зубьях, наблюдается та же направленность влияния подачи на стойкость, т. е. с увеличением подачи стойкость уменьшается (фиг. 38, б).

При протягивании с увеличением скорости резания в исследуемом интервале скоростей стойкость уменьшается (фиг. 39). Такие же результаты были получены и во всех остальных опытах при

Микроструктура и механические свойства сталей, примененных в исследованиях

Марка стали	Состояние или вид термообработки	Микроструктура	$d_{отп}$, мм	σ , кг/мм ²	ψ , %	δ , %	a_k , км/см ²
45X	Нормализация	Перлит и феррит Перлит и феррит по разорванной сетке Сорбит по всему сечению То же »	4,0—4,2	70—80	60—66	8,35—19,5	6,5—7,0
	Состояние поставки		4,0—4,2	74—80	31—36	14—17	2—2,7
	Закалка и отпуск		3,7—4,0	80—95	64—71	16—24	15—18
	То же		3,5—3,7	95—105	58—64	14—20	9—15
	»		3,1—3,55	134—105	51—58	10—14	4—9
20XНЗА	Отжиг	Зерна перлита и феррита То же » Сорбит по всему сечению; сорбит с ориентировкой по мартенситу Низкоуглеродистый мартенсит и едва заметные участки феррита	4,4—4,6	60—61	66—70	26—27,3	16,2—17,7
	Состояние поставки		4,2—4,4	64—68	53	20	9,5
	Нормализация		4,0—4,1	68—70	70—71	21—24	17
	Закалка и отпуск		3,6—3,9	93—82	66—74	16—18,3	15—18,5
	То же		3,2—3,5	132—102	58—66	13,3	8,9—14,5
38XCA	Отжиг	Перлит и феррит по всему сечению То же » Сорбит по всему сечению То же » Сорбит, внутренняя поверхность, обезуглерожена на глубину, равную 1 мм	4,2—4,4	80—72	55,5	20—21	5,0—4,7
	Нормализация		4,2	76	58	27	6,3
	Состояние поставки		4,2—4,4	67—72,5	45,7	20—23	4,2—4,8
	Закалка и отпуск		4,0—4,2	74,3—77,8	73,5	23,7—25	18,7
	То же		3,4—3,8	108—89	55,5—68	14—22	4—12,5
			3,1	148	47	6,6	3,8

Таблица 2 (продолжение)

Марка стали	Состояние или вид термообработки	Микроструктура	$d_{отп}$, мм	σ , кг/мм ²	ψ , %	δ , %	a_k , км/с.м ²
18ХНВА	Нормализация	Сорбит по всему сечению . То же Сорбит с ориентировкой по мартенситу	3,8—3,9	87—86,3	73,3—75	20,7—20	13,2—14
	Поставка		3,4—3,5	116—81	55,5	16,5	12
	Закалка и отпуск		3,5—3,9	106—85	73—75	16,5—20	14,5—18
ШХ15	Поставка	Зернистый перлит + мелкие карбиды + разорванная карбидная сетка Сорбитообразный перлит + первичные и вторичные карбиды, вытянутые в виде отдельных зерен и строчек вдоль направления прокатки; балл карбидной неоднородности равен 4 То же, балл карбидной неоднородности равен 5	4,2—4,3	77	32	21	1,2
	То же						
Р9	Поставка	Зернистый перлит + мелкие карбиды + разорванная карбидная сетка Сорбитообразный перлит + первичные и вторичные карбиды, вытянутые в виде отдельных зерен и строчек вдоль направления прокатки; балл карбидной неоднородности равен 4 То же, балл карбидной неоднородности равен 5	4,0—4,2	82	28	15	22
	То же						
Р18	Поставка	Зернистый перлит + мелкие карбиды + разорванная карбидная сетка Сорбитообразный перлит + первичные и вторичные карбиды, вытянутые в виде отдельных зерен и строчек вдоль направления прокатки; балл карбидной неоднородности равен 4 То же, балл карбидной неоднородности равен 5	4,0—4,2	81	24,5	10,5	1,1
	То же						
30ХГТ	Нормализация	Зерна феррита и перлита Перлит и феррит в виде зерен Троостомартенсит и феррит в виде ступцов и зерен Сорбит и небольшое количество феррита по разорванной сетке и отдельными участками	4,4	67	73	23	17
	Поставка		4,6	63	67	27	7,5
	Закалка и отпуск		3,4—3,6	113—98	39—41	13,7—17	5,7—7
	То же		4,6—4,2	73,5	75	23—24,7	18,7

Таблица 2 (окончание)

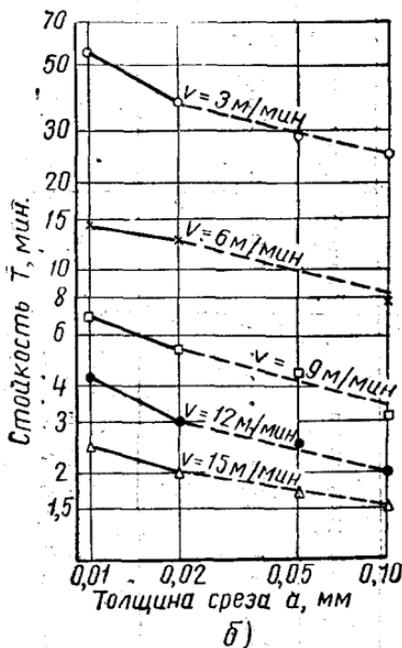
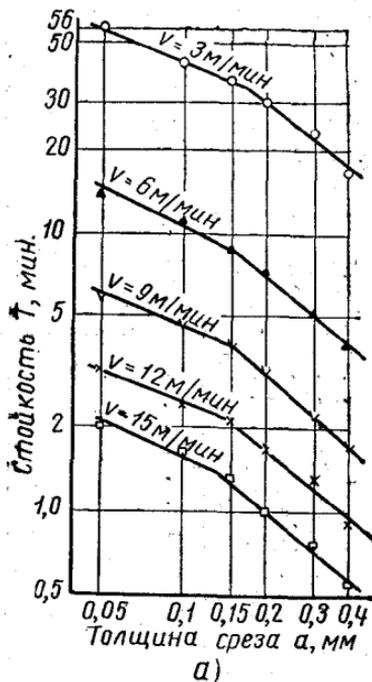
Марка стали	Состояние или вид термообработки	Микроструктура	$d_{отп. мм}$	$\sigma, кг/мм^2$	$\psi, \%$	$\delta, \%$	$\sigma_s, кг/см^2$
20ХГНР	Отжиг	Феррит и перлит	4,6	61,5	70,5	24	10,5
20Г	Нормализация	Феррит и участки тонкопластинчатого перлита	5,0	53	69,8	32,5	18,7
	Поставка	Перлит и феррит	5,0	52,5	63	32,5	11
45	Отжиг	Перлит и феррит	4,5	66,5	51	25	4,5
	Нормализация Состояние поставки Закалка и отпуск	То же » По наружной поверхности сорбит, по внутренней поверхности сорбит и феррит по разорванной сетке и гребешкам	4,4 4,4	65 68	43,5 36	24 15	5,8 3,5
			3,4—4,0	113—80	54—66	14—21,5	8,8—18,4

протягивании других сталей (см. табл. 2). Аналитическая зависимость скорости резания от стойкости и толщины среза, полученная путем математической обработки результатов всех опытов, имеет вид: при критерии затупления $\rho = 0,03$ мм и толщине среза $a = 0,03 \div 0,15$ мм

$$v = \frac{15,5}{T^{0,48} a^{0,15}} \text{ м/мин};$$

при $\rho = 0,03$ мм и $a = 0,16 \div 0,4$ мм

$$v = \frac{10,4}{T^{0,42} a^{0,37}} \text{ м/мин};$$



Фиг. 38 Влияние подачи на стойкость протяжки из стали Р18 при охлаждении сульфозреолом:

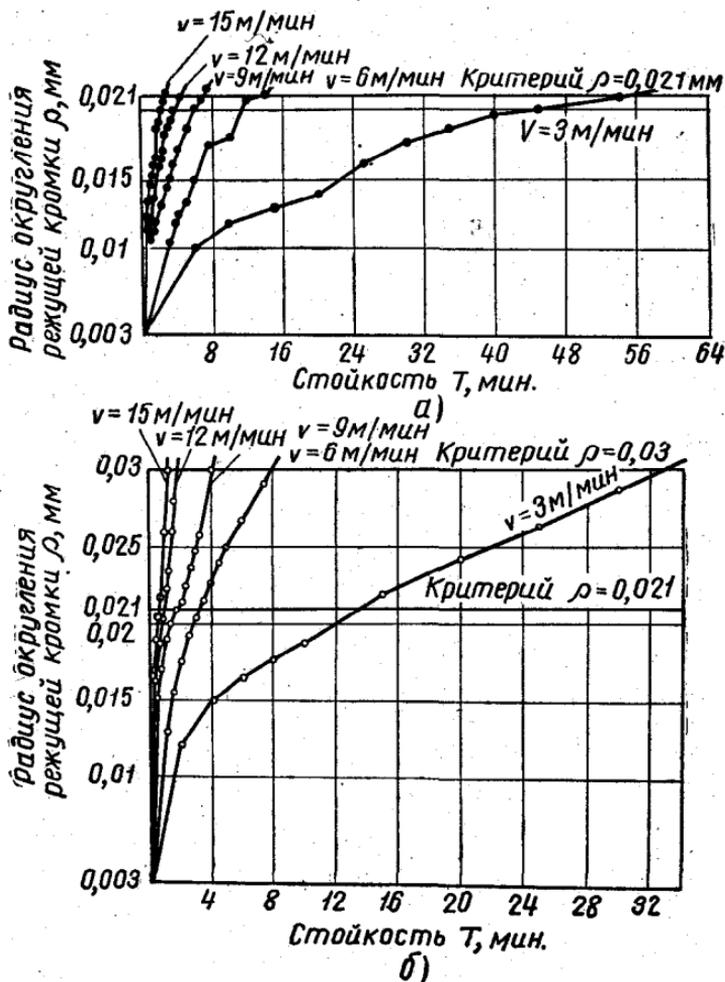
а — критерий затупления $\rho = 0,03$ мм; обрабатываемый материал сталь 45X ($d_{отп} = 3,7 \div 4,0$ мм); $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 3^\circ$; б — критерий затупления $\rho = 0,021$ мм; обрабатываемый материал сталь 45X ($d_{отп} = 4,0 \div 4,2$ мм); $\alpha = 2^\circ$ при $s_2 = 0,01 \div 0,02$ мм; $\alpha = 3^\circ$ при $s_2 = 0,05 \div 0,1$ мм.

при $\rho = 0,021$ мм и $a = 0,01 \div 0,02$ мм

$$v = \frac{9,53}{T^{0,53} a^{0,21}} \text{ м/мин.}$$

Данные формулы справедливы для стали следующих марок: 45X при $H_B = 207 \div 228$; 20X при $H_B = 170 \div 255$; 45 при $H_B = 170 \div 179$; 50Г при $H_B = 196 \div 228$ и 30XГТ при $H_B = 170 \div 270$.

Исследованиями установлено, что стали разных марок и состояний можно объединить в группы по одинаковой обрабатываемости, найденной также опытным путем (приложение 1). Стойкостные зависимости для них, а также для серого чугуна даны в приложении 6.



Фиг. 39. Влияние скорости резания на стойкость зубьев протяжки из стали P18 при обработке стали 45X ($d_{отп} = 4,0 \pm 0,2$ мм; $\gamma = 15^\circ$; охлаждение — сульфозрезол):
 а — при $s_2 = 0,01$ мм и $\alpha = 2^\circ$; б — при $s_2 = 0,3$ мм и $\alpha = 3^\circ$.

Выбор периода стойкости протяжки является сложной и важной задачей, не имеющей удовлетворительного решения до настоящего времени. Больше того, за последнее время эта задача даже в нормативах по режимам резания решена неправильно. В нормативах по режимам резания металлов инструментами из

быстрорежущей стали 1950 г. [7] периоды стойкости для внутренних протяжек были приняты равными 90—1300 мин. в зависимости от их диаметра и обрабатываемого металла. Такие нормативы практически не могли быть использованы при решении вопроса о величине подъема на зуб. Серьезным недостатком этих нормативов было, кроме того, большое завышение самих периодов стойкости. Этот вопрос решен неудовлетворительно и в общемашиностроительных нормативах 1959 г., подготовленных НИИТАвтопромом [18].

В этих нормативах полностью повторяются рассмотренные выше ошибочные утверждения о росте стойкости по мере повышения подачи. Стойкость, как показатель режущих свойств протяжек, по существу не учитывается. Составители нормативов объясняют это тем, что «... решающими ограничениями при назначении скорости резания являются требования к точности и чистоте обработанной поверхности...», поэтому «... для определения скорости резания ограничения ее по стойкости не применяются».

В связи с такой принципиальной установкой в нормативах не приводится никаких функциональных зависимостей, которые связывали бы скорость резания и стойкость протяжек. Поэтому приведенные в нормативах справочные данные о средних значениях стойкости не пригодны для определения скорости резания в зависимости от режущих свойств протяжек. Такие нормативы лишены логически стройной системы, связывающей между собой различные факторы процесса резания, и поэтому они не могут являться надежной базой для конструирования протяжного инструмента. При точном выполнении рекомендаций руководящих материалов НИИТАвтопрома по проектированию протяжек и указанных нормативов на черновых режущих зубьях могут быть назначены настолько большие подачи, что стойкость протяжек будет очень низкой.

Обычные стойкостные зависимости, выраженные математической формулой или в виде таблиц, являются неудобными, а часто неприемлемыми для конструирования протяжек.

Скорость резания, рассчитанная по величине заданной стойкости и принятой подачи, может оказаться такой, что не будут обеспечены требуемая чистота поверхности и условия хорошего отделения стружки от передней грани зубьев. Поэтому выбор режима резания для проектируемой протяжки должен начинаться с определения скорости резания, толщины среза на чистовых зубьях и геометрии этих зубьев протяжки, которые обеспечат заданную чистоту. Затем определяется стойкость для чистовой части протяжки при выбранных скорости резания и толщине среза, обеспечивающих получение заданной чистоты поверхности. После этого определяется толщина среза для черновой части протяжки, которая при выбранной скорости резания дает стойкость, равную стойкости чистовой части, и поэтому считается оптимальной толщиной среза для черновой части.

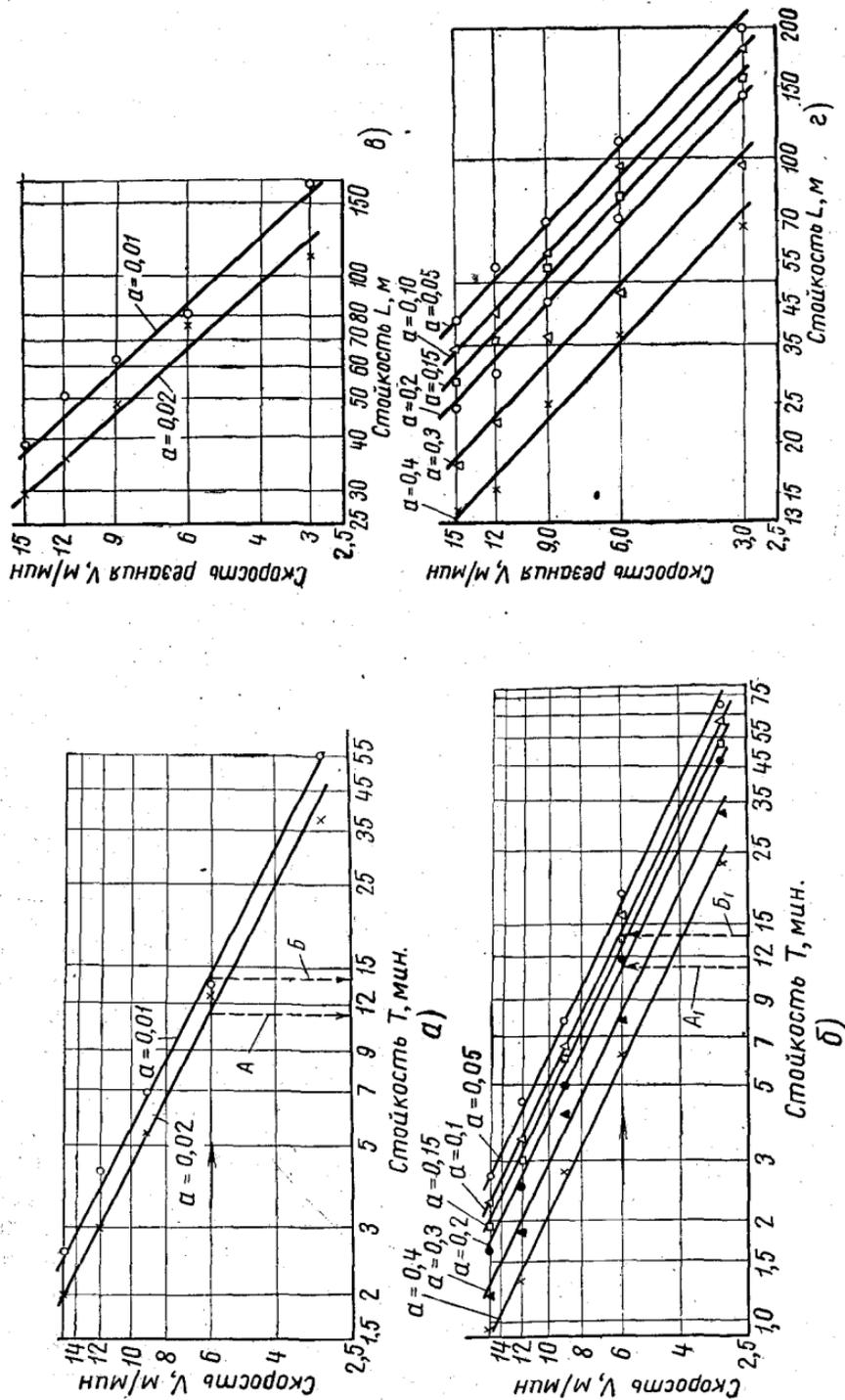
Такая методика, предложенная автором [20, 34, 35], применяется на Челябинском тракторном заводе. В основу ее положено использование номограмм «стойкость — скорость» для назначения толщины среза, обеспечивающей равную стойкость обеих частей протяжки — черновой режущей и чистовой.

На фиг. 40, а, в представлена зависимость $T - v$, полученная в результате опытов, описанных выше. Построенные прямые соответствуют толщине среза 0,02 и 0,01 мм, назначаемой на чистовые зубья. В зависимости от назначения этих зубьев за критерий затупления их принят радиус округления режущих кромок $\rho = 0,021$ мм. На фиг. 40, б, г дана та же зависимость для толщины среза $a = 0,05 \div 0,4$ мм, назначаемой на черновые режущие зубья. Критерий затупления для этих зубьев $\rho = 0,03$ мм также обеспечивает достаточно высокие режущие свойства их.

Определение оптимальной подачи для черновых зубьев по способу выравнивания стойкостей начинают с выбора подачи для чистовых зубьев. Допустим, что заданная деталь из стали 45Х имеет твердость $H_B = 207 \div 228$ и что чистота обработанной поверхности должна соответствовать $\nabla 6$. Принимаем, что чистовая часть протяжки имеет подъем на сторону 0,01 мм на каждый зуб. Следовательно, толщина среза будет 0,02 мм (см. фиг. 94, а). По приложению 5 находим, что для заданных условий скорость резания $v = 6$ м/мин. При $v = 6$ м/мин и $a = 0,02$ мм, согласно фиг. 40, а (стрелка А), стойкость чистовой части протяжки 11,2 мин. По графику на фиг. 40, б (стрелка А₁) находим, что при той же скорости резания и стойкости $T = 11,2$ мин. толщина среза для черновой части должна быть принята равной 0,2 мм. Если для чистовой части принять толщину среза 0,01 мм, то стойкость чистовых зубьев будет равна 14 мин. (фиг. 40, а, стрелка Б), и для получения равной стойкости толщина среза на черновых зубьях должна быть равна 0,13 мм (фиг. 40, б, стрелка Б₁).

Необходимо подчеркнуть, что время, откладываемое по оси стойкостей, представляет собой «чистое» время резания одним зубом, а не машинное время T_m , необходимое для обработки детали всей протяжкой. Машинное время одного только рабочего хода протяжки будет во много раз больше «чистого» времени резания одним зубом. Чтобы лучше уяснить это, следует обратиться к длине протянутой поверхности, которая будет обработана за период стойкости, взятый из номограмм. Так, для $T = 11,2$ мин. и $v = 6$ м/мин она составит $11,2 \times 6 = 67,2$ пог. м. Если бы длина детали составляла, например, 67 мм, то, значит, такой протяжкой до переточки было бы протянуто 1000 деталей. Машинное же время с учетом рабочего и обратного ходов протяжки длиной, допустим, 1200 мм составило бы 340 мин.

Областью наиболее широкого применения метода равных стойкостей для определения толщины среза при протягивании является массовое производство, где используется больше всего протяжек.



Фиг. 40. Зависимость скорости резания от стойкости протяжки из стали Р18 при $\gamma = 15^\circ$ и охлаждения сульфидрезолом: а, в — для чистовых зубьев; $\alpha = 2^\circ$; критерий заупругления $\rho = 0,021$ мм; б, г — для черновых зубьев; $\alpha = 3^\circ$; критерий заупругления $\rho = 0,03$ мм, обрабатываемый материал — сталь 45Х (дотл $\approx 4,0 \div 4,2$ мм).

Этот метод может быть применен при проектировании протяжек для автоматических линий и автоматизированных протяжных станков, где задача обеспечения высокой стойкости инструмента имеет особенно большое значение. Кроме того, на автоматических линиях и на автоматизированных протяжных станках существенное значение имеет использование такого критерия затупления на чистовых зубьях, который сближает момент ухудшения режущих свойств с технологическими критериями.

Для использования предлагаемого критерия затупления на производстве необходимо, чтобы, наряду с другими расчетными параметрами — усилием протягивания, коэффициентами помещаемости, — на чертеже протяжки был указан рассчитанный конструктором период стойкости, выраженный через длину протянутой поверхности или число деталей, подлежащих протягиванию между двумя переточками (это принято в настоящее время на ЧТЗ). После обработки такого количества деталей протяжка в принудительном порядке должна проходить заточку. Для выдерживания расчетной стойкости на чертеже протяжки и в карте технологического процесса указывается принятая конструктором скорость резания, на которой должна эксплуатироваться протяжка.

Определение толщины среза, обеспечивающей заранее заданную стойкость, с помощью рассматриваемых номограмм, по нашему мнению, значительно облегчает расчет протяжки и позволяет более рационально и экономно использовать дорогую быстрорежущую инструментальную сталь, чем это было до сих пор. Случаями, когда не нужно будет добиваться обеспечения равной стойкости, явятся, например, операции обработки очень крупных деталей в тяжелом машиностроении. На заводах этой отрасли промышленности подавляющее большинство машин изготавливается малыми партиями, а иногда и единицами.

Протяжки в соответствии с размерами деталей имеют большие габариты и значительный вес, достигающий до 1000 кг. Часто в комплект входят две, а иногда и три протяжки. Суммарная стойкость их до полного износа (потенциальная) очень велика. Прочность таких протяжек и помещаемость стружки в канавках обычно не ограничивают толщину среза. Поэтому гораздо выгоднее назначать большую толщину среза на черновой части и благодаря этому резко сокращать общую длину протяжек или уменьшать число их в комплекте, чем применять меньшую подачу на черновых зубьях, увеличивая их стойкость, которая в данном случае останется неиспользованной. В то же время не нужно выбирать и чрезмерно большую толщину среза, так как при этом могут возникать неполадки в процессе протягивания или стойкость протяжек будет катастрофически низкой. Следовательно, зная общую длину протягивания (по размерам и количеству изготавливаемых деталей), можно с помощью номограммы для черновых режущих зубьев определить такую максимальную толщину среза, которая обеспечит и требуе-

мую стойкость, и наименьшую длину протяжки. В данном случае определение стойкости на чистовых зубьях будет производиться уже во вторую очередь, в качестве проверочного расчета.

В отдельных случаях толщина среза на обдирочных зубьях ограничивается не стойкостью, а помещаемостью стружки в канавках или прочностью протяжки. В этих случаях принятая толщина среза будет меньше найденной по методу выравнивания стойкостей. При этом стойкость черновых зубьев окажется больше стойкости чистовых, что не снизит общую стойкость протяжки, так как это будет наблюдаться в том случае, если толщина среза на черновых зубьях, найденная из условия равной стойкости, будет увеличена.

4. НАРОСТЫ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ

Практика эксплуатации протяжек переменного резания показала, что наиболее высокую чистоту поверхности и наиболее высокую размерную стойкость обеспечивают протяжки, на чистовых зубьях которых толщина среза не превышает 5 мк. В стружечных канавках зубьев с подъемом на сторону даже около 2 мк, появляющимся при переточках, постоянно имеются валики стружки. Форма таких стружечных валиков — ровные, тугие завитки, почти без видимого зазора между отдельными витками. Постоянное наличие такой стружки в канавках даже затупленных зубьев показывает, что процесс резания идет устойчиво и при обработке весьма твердой стали и чугуна. Для стабильности процесса резания при такой тонкой стружке требуется хорошая отделка передней и задней граней, а скорость резания должна быть не более 5 м/мин.

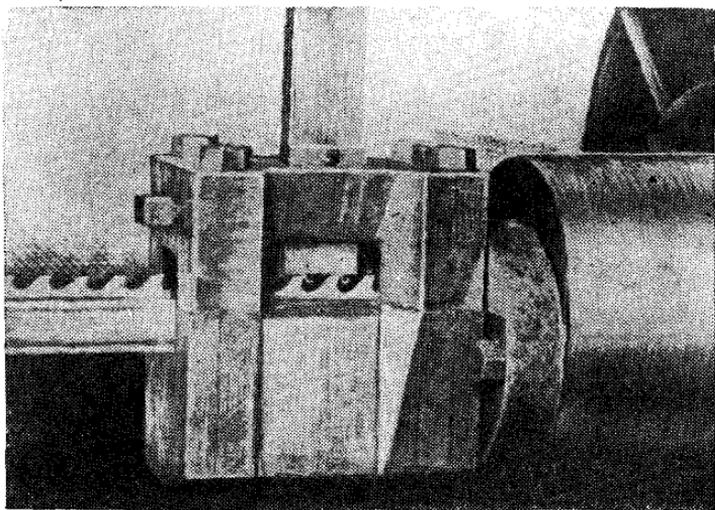
Часто встречаются рекомендации, призывающие не применять при конструировании протяжек малые величины подъема на зуб. Основанием для этого являются соображения о трудностях, сопровождающих процесс резания при очень тонкой стружке. При больших радиусах округления режущих лезвий, превосходящих в несколько раз толщину среза, создаются большие отрицательные передние углы. Из-за этого, по мнению сторонников таких взглядов, зуб должен не резать, а сминать металл, вдавливать его за линию среза, создавая наклеп, затрудняющий резание для следующего зуба. Считают, что проскальзывание режущих кромок должно повторяться до тех пор, пока на одном из последующих зубьев не получится более благоприятное соотношение между радиусом округления режущего лезвия и толщиной среза. Но на этот зуб придется уже слой значительно толще того, который был бы при условии, если бы все предыдущие зубья работали нормально. Кроме того, должны были увеличиться радиальные силы под влиянием возросшей пластической и упругой деформации подповерхностного слоя. Поэтому начавший работать зуб срежет слой значи-

тельно толще номинального слоя, из-за чего ухудшится и качество поверхности.

Такое разъяснение, будучи довольно логичным, в течение длительного времени принималось в качестве аксиомы. Экспериментальным путем оно, по-видимому, ни разу не проверялось.

Для установления явлений, сопровождающих процесс протягивания с толщиной среза до 10 мк , автором было выполнено исследование, сопровождавшееся кино- и фотосъемкой процесса свободного резания плоской протяжкой.

Исследование проводилось на образцах прямоугольного сечения $10 \times 30 \times 250 \text{ мм}$, шлифованных со всех сторон. Образцы

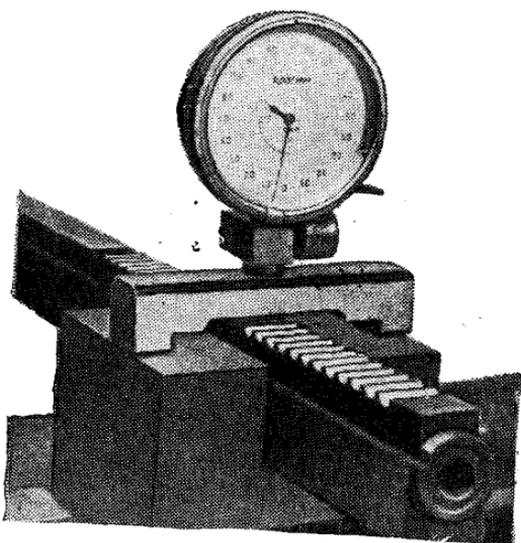


Фиг. 41. Установка для протягивания образца плоской протяжкой.

устанавливались в приспособлении со сквозным поперечным отверстием, через которое производилась съемка процесса (фиг. 41). Образцы изготовлялись из стали марок 45Х, 45, 20, 18ХНВА; часть из них проходила термическую обработку на различную твердость. Протягивание производилось без охлаждения на разных, в основном малых, скоростях резания ($v = 0,56 \text{ м/мин}$).

Применяемые в опытах протяжки изготовлялись из быстрорежущей стали Р18, проходили стандартную термическую обработку и имели твердость $R_C = 62 \div 63$. После предварительной шлифовки и заточки протяжки подвергались искусственному старению, чтобы при чистовых шлифовальных и заточных операциях деформации отсутствовали. Такая мера диктовалась необходимостью получить хорошую базу для точного измерения подъема зубьев и хорошую опорную поверхность протяжки. Опорная поверхность

после шлифования доводилась с высокой степенью плоскостности. Протяжки тщательно затачивались мелкозернистым (зерно 80) абразивным кругом, доводились по задней грани, имели $\gamma = 15 \pm 1^\circ$ и $\alpha = 3^\circ \pm 15'$. Длина режущего лезвия (ширина рабочей части протяжки) была равна 15 мм. Подъем зубьев составлял 3; 5; 7 и 10 мк с допуском —1 мк. Подъем проверялся контрольной индикаторной головкой высокого класса точности с ценой деления 1 мк. Вся шкала головки была проверена. Для определения подъема на зуб протяжка устанавливалась в приспособлении, показанном на фиг. 42. Опорные плоскости приспособления под протяжку и под



Фиг. 42. Контроль подъема зубьев опытной протяжки с помощью одномикронного индикатора.

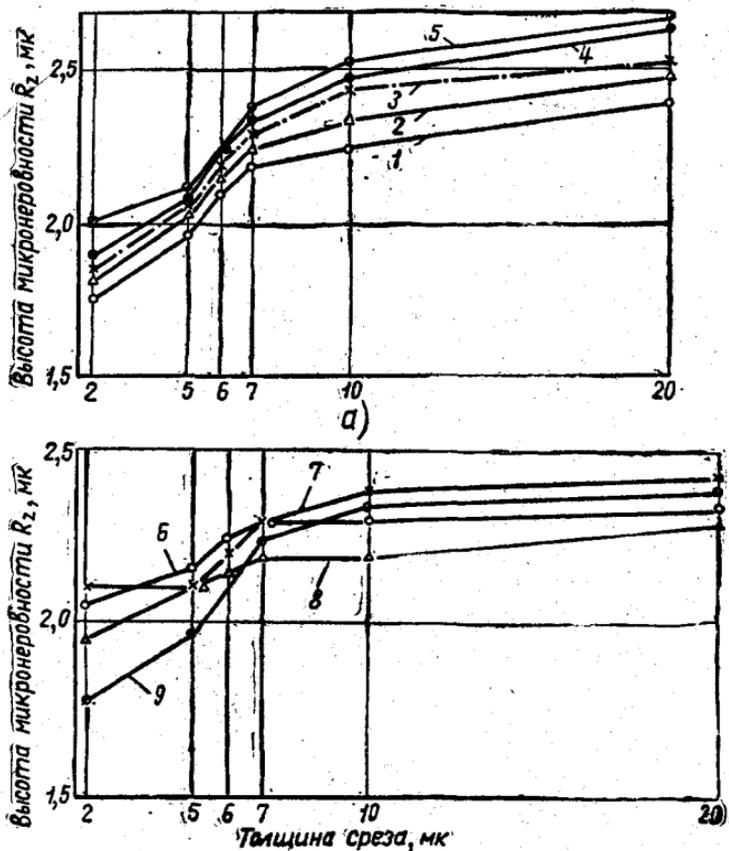
соответствующие плоскости держателя головки доводились по первому классу точности. Корпус приспособления и держатель головки после термической обработки и предварительной шлифовки также подвергались искусственному старению. В результате на протяжке имелись группы из 2—4 зубьев с одинаковыми подъемами, равными 2—10 мк. Перед этими зубьями были зубья с подъемом 15 и 20 мк.

Чистота поверхности измерялась с помощью двойного микроскопа Линника. Измерения выполнялись на поверхности, обработанной непосредственно зубом с определенной величиной подачи.

Для этой цели протяжка устанавливалась до выхода данного зуба из работы и образец вынимался из приспособления.

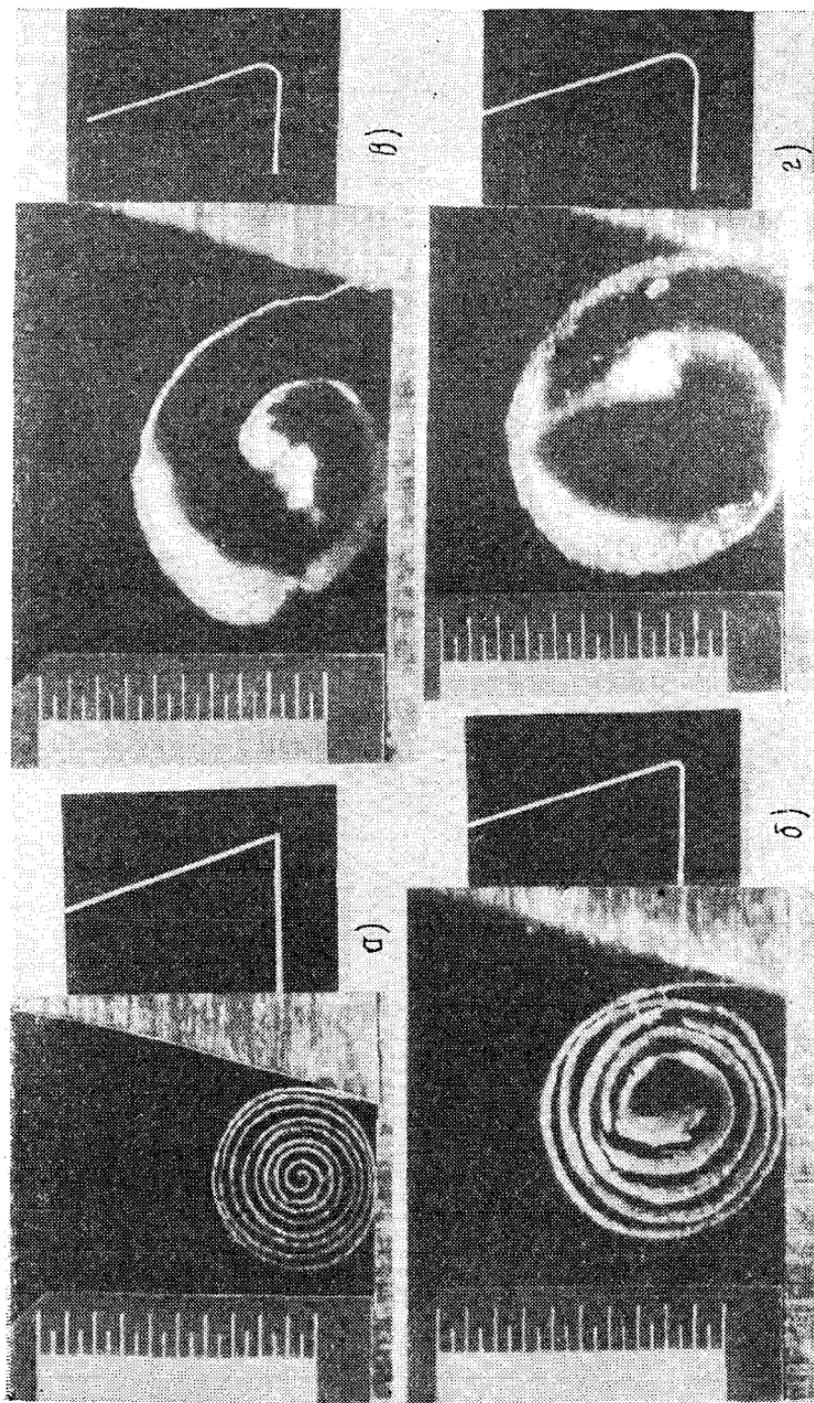
На фиг. 43 приведены результаты измерений (средние из 8—15 обмеров чистоты поверхности, образованной зубом с определенной подачей). Зубья протяжки были острыми, радиусы округления практически не превышали 3—4 мк. Как видно из графиков, с уменьшением толщины среза высота микронеровностей заметно убывает.

Для изучения процесса образования стружки при микроподачах и изменений его, происходящих по мере затупления зубьев, было выполнено исследование с искусственным округлением чугуном притиром режущих кромок с различным радиусом округления. Процесс образования витка стружки фотографировался с помощью микрофотонасадки, устанавливаемой на один из окуля-

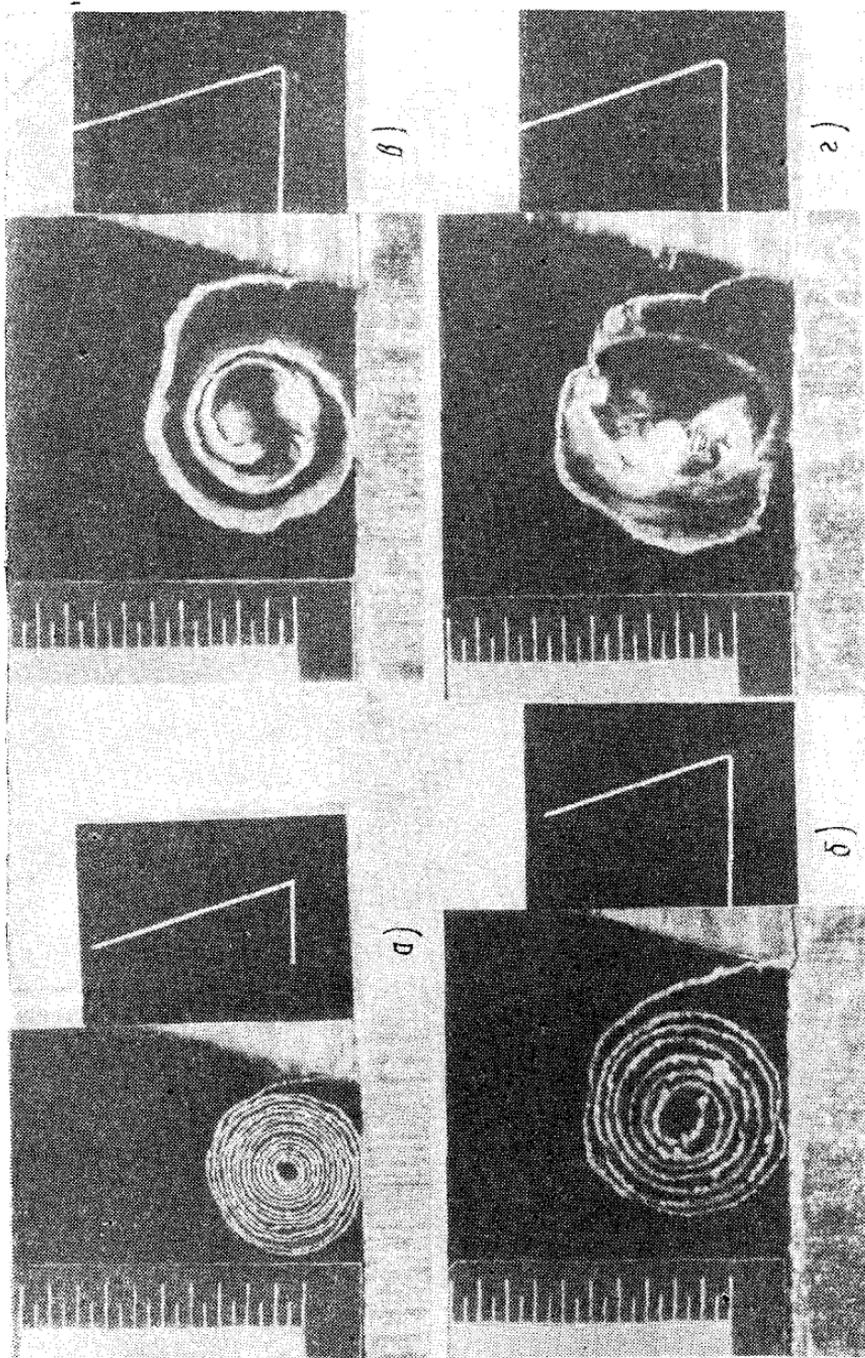


Фиг. 43. Влияние подачи на величину микронеровности поверхности:

а — при протягивании стали 45X; $v = 0,56$ м/мин; б — при протягивании стали марок 20, 45 и 18XНВА: 1 — $d_{отп} = 3,3 \div 3,4$ мм; 2 — $d_{отп} = 3,6 \div 3,7$ мм; 3 — $d_{отп} = 3,9 \div 4,0$ мм; 4 — $d_{отп} = 4,2 \div 4,25$ мм; 5 — $d_{отп} = 4,4 \div 4,5$ мм; 6 — сталь 45; $d_{отп} = 4,5 \div 4,7$ мм; 7 — сталь 20; $d_{отп} = 4,8 \div 5,0$ мм; 8 — сталь 18XНВА; $d_{отп} = 3,35 \div 3,4$ мм; 9 — алюминий марки АЛ9.



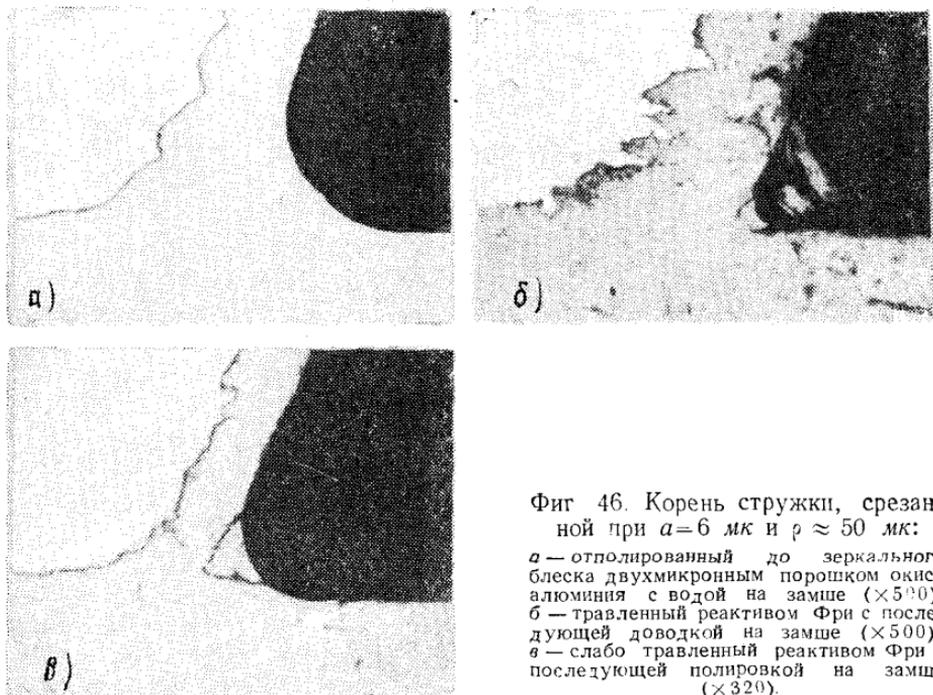
Фиг. 44. Образование вихря стружки при $a = 0,006$ мм и разных радиусах округления режущей кромки ρ (слева — шкала объективомикрометра; справа — световое сечение зуба:
 а — острый зуб; б — при $\rho = 0,027$ мм; в — при $\rho = 0,06$ мм; г — при $\rho = 0,08$ мм (увеличено в 56 раз).



Фиг. 45. Образование витка стружки при $a = 0,002$ мм (слева шкала объектомикромметра; справа — световое сечение зуба):
 a — острый зуб; $б$ — при $r = 0,010$ мм; $в$ — при $r = 0,020$ мм; $г$ — при $r = 0,030$ мм.

ров бинокулярного микроскопа. Протягивалась сталь 45X ($d_{\text{отп}} = 3,8 \div 4,0$) при $v = 0,56$ м/мин, без охлаждения.

На фиг. 44 и 45 можно видеть последовательное ухудшение процесса образования витка стружки по мере увеличения радиуса округления режущей кромки. Размеры витка резко увеличиваются как за счет увеличения расстояния между отдельными спиралями, так и вследствие ухудшения формы; стружка сильно деформирована. Но процесс резания идет (происходит именно срезание стружки-



Фиг. 46. Корень стружки, срезанной при $a=6$ мк и $\rho \approx 50$ мк:

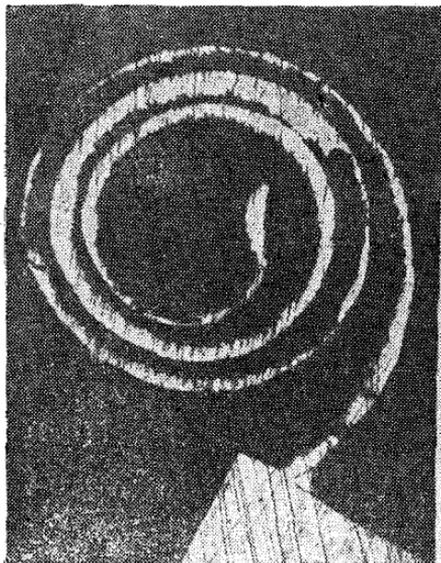
a — отполированный до зеркального блеска двухмикронным порошком оксид алюминия с водой на замше ($\times 500$);
б — травленный реактивом Фри с последующей доводкой на замше ($\times 500$);
в — слабо травленный реактивом Фри с последующей полировкой на замше ($\times 320$).

ки) несмотря на то, что радиус округления в несколько раз превышает толщину срезаемого слоя. С целью физического объяснения этого явления был проведен металлографический анализ корней стружек, полученных с зубьев с большим радиусом округления (в 4—8 раз и более превышающим толщину среза) и с острых зубьев, имеющих весьма малый радиус округления. Протягивалась сталь 45X ($H_B=179 \div 196$) при скорости резания 0,56 м/мин. Работа велась без охлаждения той же протяжкой из быстрорежущей стали Р18.

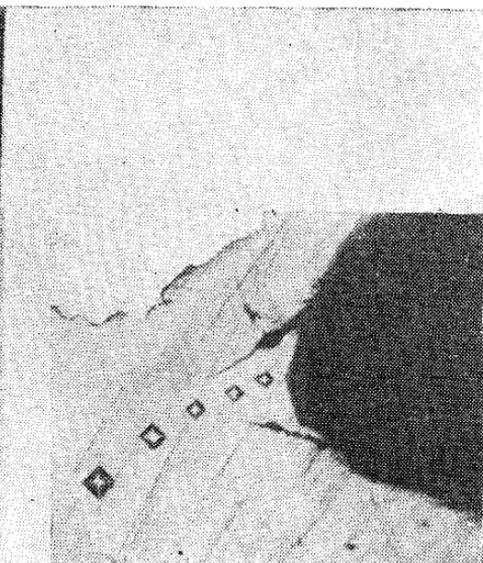
На фиг. 46, *a* показан корень стружки, полученной с зуба, радиус округления режущей кромки которого в 8 раз превышал толщину среза. Процесс резания шел стабильно, несмотря на сильную деформацию стружки и предрезцового слоя. На снимке хорошо видно выпучивание металла в пределах всего поля зрения. Оно

наблюдается на протяжении еще 0,2—0,3 мм (не показанных на снимке). Травление этого корня стружки выявило характерную текстуру нароста впереди лезвия резца (фиг. 46, б). Высокая твердость нароста и весьма малый радиус округления его носика, играющего роль режущего лезвия, и объясняет возможность процесса резания при столь неблагоприятном соотношении величины радиуса округления режущей кромки зуба и толщины среза.

На фиг. 46, в представлен микршлиф еще одного сечения корня стружки, слабо програвленного тем же реактивом и отполированного. Несколько меньшее увеличение позволяет еще более на-



Фиг. 47. Виток стружки, срезанной при $a=6$ мк и $\rho \approx 50$ мк; доводка пастой карбида бора 7 мк ($\times 83$).



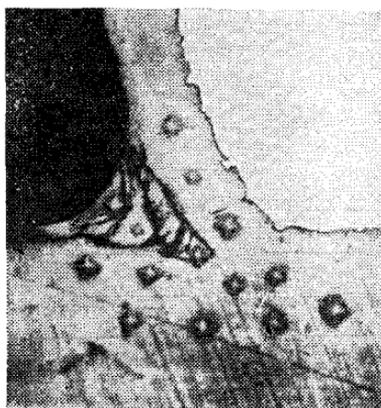
Фиг. 48. Следы уколов на основном металле и наросте, полученных с помощью прибора ПМТ-3; нагрузка на алмазную пирамиду равна 20 г ($\times 500$).

глядно оценить форму нароста, получающегося при микроподачах. Острый носик нароста имеет ничтожно малый радиус округления. Особого внимания заслуживает тот факт, что нарост, образующийся при микроподачах и малых скоростях резания, имеет очень слабую связь с зубом. Ни в одном случае не удалось обнаружить его на режущих лезвиях зубьев после выхода их из работы. По-видимому, здесь образуется заторможенный слой, переходящий затем в нарост. Нарост в процессе резания разрушается и время от времени уносится стружкой; иногда носик его теряет острую форму, и тогда условия образования стружки ухудшаются, толщина ее значительно изменяется (фиг. 47). Изменение толщины

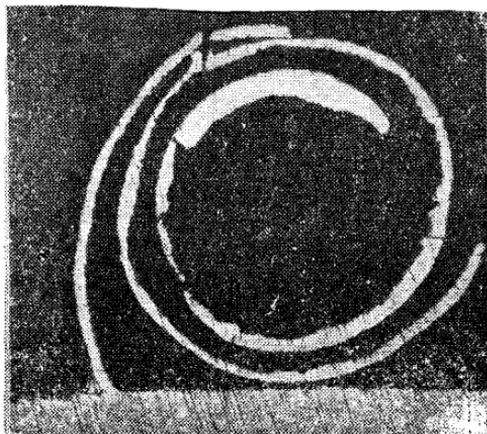
наблюдается при срезании разной стружки, полученной с одного и того же зуба, и даже в пределах одного витка.

Измерения микротвердости нароста на приборе Хрушова — Берковича свидетельствуют о высокой твердости, обеспечивающей его способность легко резать обрабатываемый материал (фиг. 48).

Значительный интерес представляет вопрос о наличии нароста при протягивании с микроподачами более твердой стали. Ниже представлены микрошлифы корней стружки, полученной с того же самого зуба, корень стружки которого был показан на фиг. 46, а, при протягивании образца из стали той же марки, но термообра-



Фиг. 49. Микрошлиф зоны резания при протягивании твердой стали при $a=6$ мк и $\rho=50$ мк ($\times 500$); отчетливо виден острый нарост и следы уколов, полученных с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке 20 г.



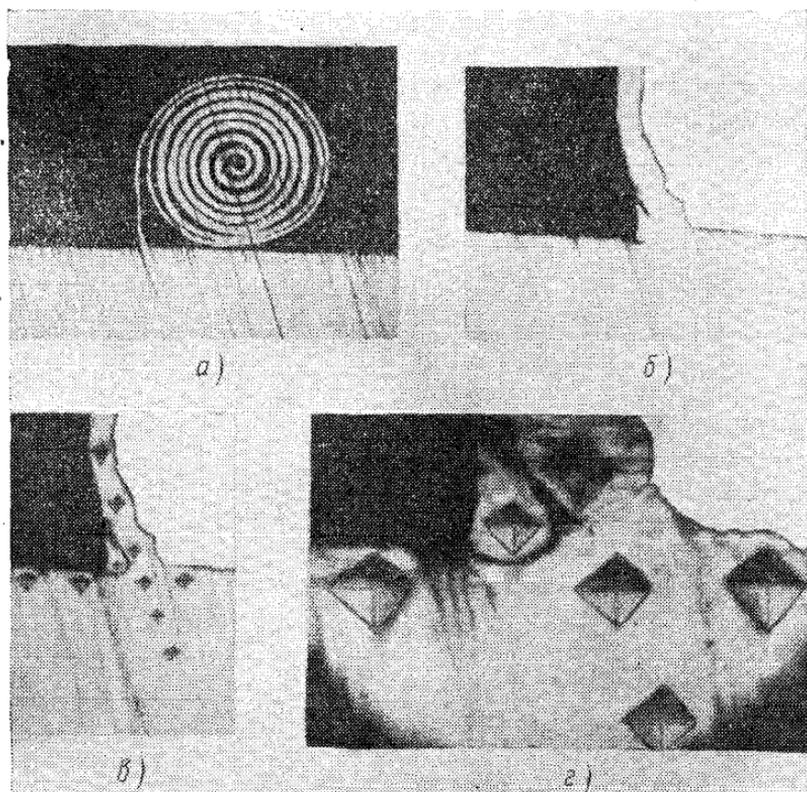
Фиг. 50. Виток стружки, срезанной при $a=6$ мк и $\rho=50$ мк; твердость обрабатываемой стали $H_V=321 \div 351$ ($\times 83$)

ботанного на твердость $H_V=321 \div 351$. Нетрудно видеть, что и при резании твердых сталей возникает нарост (фиг. 49). И в этом случае стружка имеет разную толщину, свидетельствующую об изменении условий резания при разрушении или затуплении носика нароста (фиг. 50).

Нарост образуется и при резании острыми зубьями протяжки. Однако в этом случае он неустойчив, абсолютная величина его меньше, чем на скругленном лезвии затупленного зуба, что сказывается на процессе стружкообразования. Форма витка более симметрична, отдельные спирали витка имеют незначительный зазор между собой. Но толщина отдельных витков также бывает различной, что говорит об изменениях размеров и формы нароста в процессе резания. На фиг. 51 представлены микрошлифы, полу-

ченные при резании практически острым зубом (радиус округления $\rho \approx 2$ мк; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 2^\circ$; скорость резания та же, что и при работе затупленным зубом: $v = 0,56$ м/мин).

Радиус округления носика нароста, образующегося на остром зубе, очень мал; обработанная поверхность чистая. Показанный на фиг. 51, г нарост имеет радиус округления, равный примерно



Фиг. 51. Стружка, срезанная острым зубом протяжки при $a=6$ мк, и нарост: а — виток стружки ($\times 83$); б — корень стружки со слегка проявившимися при доводке очертаниями нароста ($\times 500$); в — тот же корень стружки после замеров микротвердости; нарост сдвинулся под давлением алмазной пирамиды ($\times 500$); г — тот же нарост при большем увеличении ($\times 1000$).

4 мк. При резании острым зубом нарост, как и в предыдущей серии опытов, обнаруживался лишь на корне стружки, оставляя лезвие чистым. Дать обоснованное объяснение этому явлению трудно. Возможно, что это происходит из-за низкой температуры в зоне резания, наблюдающейся при микроподъемах. Этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании. Оставляя пока в стороне вопрос о подлинной природе этого вида нароста, возникающего при весьма малой толщине среза, его существованием можно

объяснить возможность срезания слоя металла острыми и затупленными зубьями протяжки, имеющими весьма малые подъемы.

Исследования показали, что размеры и форма нароста, возникающего при микроподъемах на хорошо заточенных и доведенных зубьях, изменяются сравнительно мало, а заострение его носика равномерно вдоль режущей кромки. Это также резко отличает этот вид нароста от нароста, возникающего при обычной толщине среза. В последнем случае нарост имеет самую различную форму (в продольном сечении). Чрезвычайное разнообразие формы, резко изменяющее условия резания (в частности, фактический передний угол), очевидно, и является причиной того, что исследователи процесса резания при протягивании получают значительные расхождения в величинах коэффициентов усадки стружки.

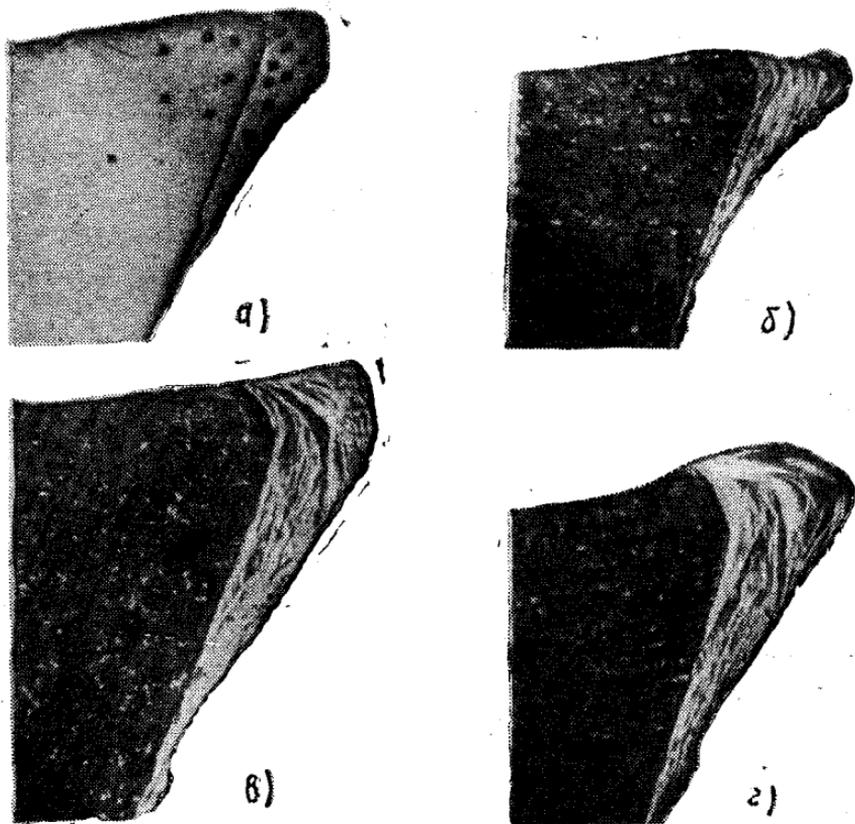
Разнообразие формы нароста при протягивании с обычной и большой толщиной среза можно видеть на фотографиях отдельных микрошлифов, полученных автором при исследовании. На фиг. 52,а показан шлиф зуба с наростом (отполирован, без травления), носик которого хотя и имеет небольшой радиус округления в зоне округленного режущего лезвия, однако не только не увеличивает фактический передний угол, но даже, наоборот, значительно уменьшает его. Форма нароста такова, что процесс резания идет с фактическим передним углом, близким к 0° на лобовом участке нароста, который примерно равен толщине среза. Размеры отпечатков алмазной пирамиды прибора ПМТ-3 на наросте и на зубе очень близки между собой, что указывает на высокую степень твердости нароста, почти равную твердости закаленной быстрорежущей стали.

На фиг. 52, б представлен случай, когда наличие и форма нароста дают большое увеличение переднего угла. Если учесть, что радиусы округления режущего лезвия зуба протяжки и носика нароста практически равны между собой, то фактический передний угол примерно вдвое больше угла заточки. Травление выявляет на этом зубе двойное наростообразование. Четко виден первый нарост, небольшой по размерам и имеющий радиус округления носика меньше, чем радиус округления режущей кромки зуба. На фиг. 52, в представлен нарост, образующий небольшой отрицательный передний угол.

На фиг. 52, г показан зуб, у которого в результате пластической деформации режущее лезвие отогнулось вверх с образованием большого отрицательного переднего угла. Отгиб режущей кромки вверх характерен для протягивания с большими подачами ($s_z > 0,15$ мм) затупленными протяжками ($p \geq 0,04$ мм). Форма нароста в данном случае, по-видимому, несколько облегчает процесс резания.

Радиусы округления носика нароста на зубьях с микроподъемами, как показывают приведенные микрошлифы корней стружки, всегда меньше радиусов округления самих режущих лезвий. На-

сколько можно судить по микроанализу большого количества зубьев, наросты на этих зубьях также всегда образуют увеличенный фактический передний угол. Исследования процесса протягивания чугуна, выполненные при тех же условиях, показали, что и в этом случае образуется нарост.



Фиг. 52. Различные формы нароста:

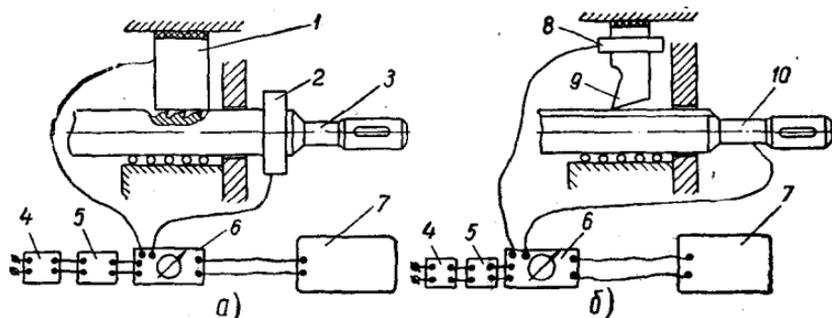
a — нарост, образующий нулевой передний угол; обрабатываемый материал — сталь 38ХСА; $\gamma = 20^\circ$; $a = 0,08$ мм; $v = 6$ м/мин ($\times 232$); *б* — нарост, образующий большой фактический передний угол; обрабатываемый материал — сталь 45Х; $a = 0,17$ мм; $v = 4$ м/мин ($\times 232$); *в* — нарост, образующий небольшой отрицательный передний угол; обрабатываемый материал — сталь 20ХГНР ($H_B = 170 + 183$); $a = 0,25$ мм; $v = 6$ м/мин ($\times 320$); *г* — нарост, облегчающий работу затупленного зуба с пластически деформированной и отогнутой режущей кромкой; обрабатываемый материал — сталь 38ХСА; $a = 0,20$ мм ($\times 320$).

5. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ СТАЛИ

Для большей части процессов резания характерно более или менее близкое совпадение показателей степени в стойкостных зависимостях, полученных на базе зависимостей износа или стойкостных опытов, с соответствующими показателями в температур-

ных зависимостях. В ряде случаев между значениями показателей степени в стойкостных и температурных зависимостях имеются расхождения. Но и при наличии этих расхождений характер влияния различных факторов на скорость резания, установленный при разных способах исследования, совпадает.

Температурные зависимости отражают физическую сущность явлений, сопровождающих процесс резания. Поэтому на них не сказываются ошибки, связанные с выбором недостаточно надежных или неверно определенных критериев затупления, значение которых для обычных стойкостных зависимостей очень велико. Отсут-



Фиг. 53. Схема измерения температуры при работе:

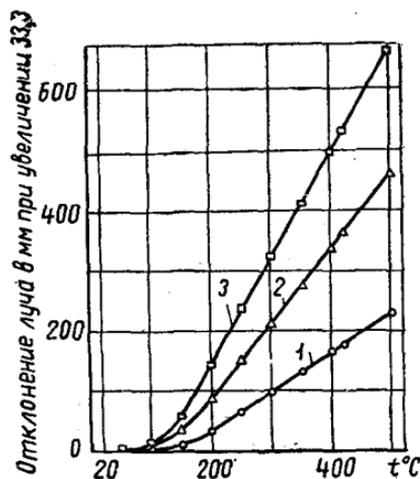
а — протяжкой; б — резцом; 1 — протягиваемый образец; 2 — токосъемник; 3 — протяжка; 4 — стабилизатор напряжения; 5 — выпрямитель; 6 — усилитель; 7 — осциллограф; 8 — токосъемник; 9 — резец; 10 — протягиваемый образец.

ствии данных по температурным зависимостям при протягивании конструкционных сталей общего назначения, по-видимому, и послужило одной из причин появления противоположных взглядов в вопросе о характере влияния толщины среза и скорости резания на стойкость протяжек.

Автором выполнено исследование температуры резания при протягивании стали, чугуна и других металлов. Ниже приводятся результаты некоторых серий опытов, относящиеся к протягиванию стали 45X. Исследование проводилось на тех же станках, что и стойкостные опыты. Для закрепления образцов было спроектировано и изготовлено приспособление, позволяющее работать с помощью многолезвийного инструмента — протяжки — и однолезвийного — резца. Оба инструмента были изготовлены цельными и из одного куска быстрорежущей стали. Резец и протяжка подвергались обычной термической обработке и контролю по твердости и микроструктуре. Твердость режущей части была равна $R_c = 62 \div 63$. Протяжка имела группы зубьев с одинаковым подъемом и с минусовым допуском на диаметр 5 мк.

Измерение температуры проводилось по методу естественной термопары (фиг. 53). Фиксация температуры велась на осцилло-

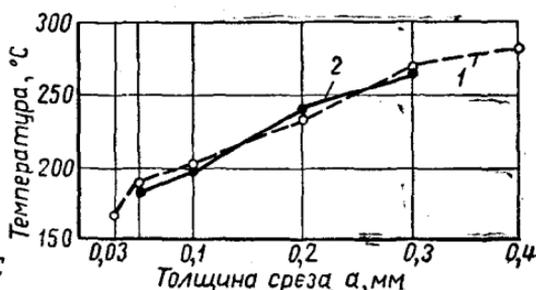
графе МПО-2 с помощью трехкаскадного усилителя переменного тока. При работе протяжкой обрабатываемый образец был изолирован, при работе резцом изолировался резец. Токосъемники изготовлялись из одной штанги с протягиваемыми образцами и проходили совместно с последними термическую обработку. Тарирование проводилось при постоянной (с точностью до $\pm 1^\circ$) температуре холодного спая, равной 20° , которая поддерживалась с помощью специальной системы подачи струи сжатого воздуха. На фиг. 54 представлены градуировочные кривые, полученные при разной степени усиления. Для установления однозначности или



Фиг. 54. Градуировочные кривые естественной термопары из стали P18 и 45X: твердость стали P18 равна $R_C = 62 \div 63$; стали 45X равна $H_B = 201 \div 210$:

1 — первое усиление; 2 — второе усиление, 3 — третье усиление.

степени расхождения температуры, регистрируемой при работе резцом и протяжкой (на группе зубьев с одинаковым подъемом), проводились специальные серии опытов, результаты которых приведены на фиг. 55.



Фиг. 55. Температура на режущих лезвиях при одновременной работе одного зубца (кривая 1) и двух-трех зубьев (кривая 2); обрабатываемый материал — сталь 45X; $d_{отл} = 4,2 \div 4,3$ мм; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 3^\circ$; $v = 3$ м/мин; охлаждение — сульфозрезол.

Измерение температуры при разных толщине среза и скорости резания показало, что с увеличением толщины среза (фиг. 56, а) и скорости резания (фиг. 56, б) температура возрастает. Степень влияния подачи на температуру при разных скоростях различна, и чем больше скорость резания, тем степень влияния больше. Математическая обработка опытных данных получила следующее аналитическое выражение для этой зависимости:

$$t^\circ = (184v^{0,51}) a^{0,12v^{0,32}}; \quad (28)$$

осредняя влияние скорости резания, получаем

$$t^\circ = C_1 a^{0,2}. \quad (29)$$

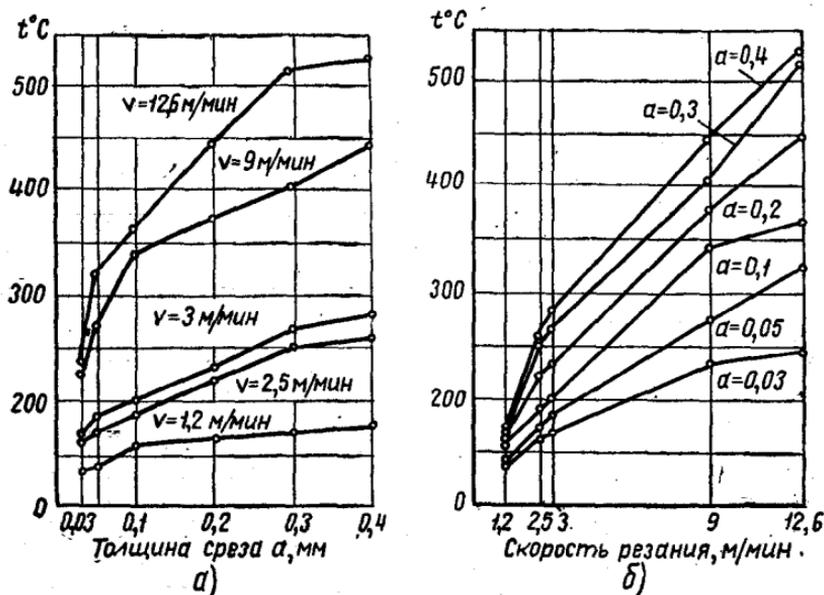
Как и в предыдущем случае, степень влияния скорости резания неодинакова при различных подачах, и чем больше толщина среза, тем больше степень влияния скорости. Аналитическое выражение этой зависимости имеет вид

$$t^{\circ} = (184a^{0,12})v^{0,53a^{0,16}}, \quad (30)$$

или, усредняя влияние толщины среза, имеем

$$t^{\circ} = C_2 v^{0,39}. \quad (31)$$

Исследование влияния рода охлаждающей жидкости на температуру резания проводилось на двух широко применяемых при



Фиг. 56. Зависимость температуры резания от подачи (а) и скорости резания (б) при обработке стали 45Х: ($d_{отп} = 4,2 \div 4,3$ мм); $\gamma = 15^{\circ}$; $\alpha = 3^{\circ}$ и охлаждения сульфозреолом.

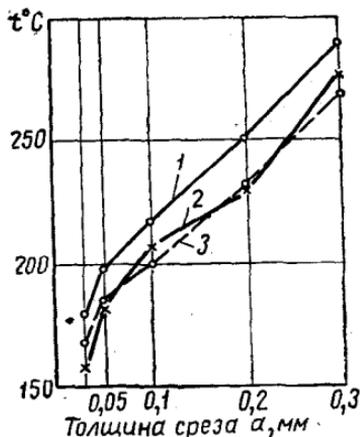
протягивании жидкостях — пятипроцентной эмульсии и сульфозреоле. Из фиг. 57 видно, что при данных условиях влияние их практически одинаково.

На фиг. 58 представлены графики, отражающие влияние пути, пройденного зубом протяжки, на температуру резания. Здесь проявляется влияние состояния режущих лезвий на процесс резания.

Результаты исследования показывают, что с увеличением скорости резания, как и толщины среза, температура на режущих лезвиях увеличивается. Это говорит о том, что с увеличением данных параметров режима резания термодинамическая нагруженность лезвий также увеличивается, что, естественно, не может не привести к падению стойкости. Таким образом, физические показатели

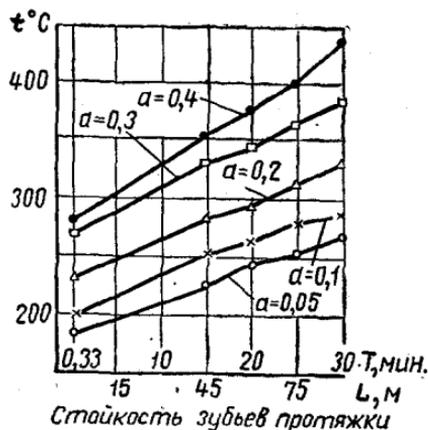
процесса подтверждают правильность характера зависимостей, полученных при стойкостных исследованиях. Необходимо указать, что абсолютные значения показателей степени в формулах скорости, полученных на базе температурных и стойкостных зависимостей, не такие близкие, как это наблюдается при других процессах резания, например при сверлении и точении. Так, общая температурная зависимость, полученная в результате математической обработки всех серий опытов, для работы с охлаждением имеет вид

$$t^{\circ} \approx \frac{9,6v^{0,39}a^{0,2}H_{\text{В}}^{0,62}T^{0,11}}{\gamma^{0,08}\alpha^{0,05}} \quad (32)$$



Фиг. 57. Влияние вида охлаждающе-смазочной жидкости на температуру при протягивании стали 45X ($d_{\text{отп}} = 4,2 \div 4,3 \text{ мм}$); $v = 3 \text{ м/мин}$; $\gamma = 15^{\circ}$; $\alpha = 3^{\circ}$; резец из стали P18:

1 — без охлаждения; 2 — с охлаждением пятипроцентной эмульсией; 3 — с охлаждением сульфореолом.



Фиг. 58. Влияние пути (времени) протягивания на температуру резания стали 45X ($d_{\text{отп}} = 4,2 \div 4,3 \text{ мм}$) протяжкой из стали P18 при $v = 3 \text{ м/мин}$; $\gamma = 15^{\circ}$; $\alpha = 3^{\circ}$.

Выведенная из нее формула скорости при $\gamma = 15^{\circ}$, $\alpha = 3^{\circ}$, $H_{\text{В}} = 201 \div 210$ имеет выражение

$$v_t = \frac{C(t^{\circ})^{2,56}}{T^{0,23} a^{0,51}} \text{ м/мин.} \quad (33)$$

Сравнивая значения показателей степени с соответствующими величинами в стойкостных зависимостях для такой же твердости обрабатываемого материала и геометрии зубьев, получаем довольно большие расхождения. Причины такого расхождения не ясны. Возможно, что они являются следствием неточностей, допущенных при проведении температурных опытов, или отражают влияние трудноуловимых факторов на результаты показаний усилитель-

ной и регистрирующей аппаратуры. Но возможно и иное. Специфика протягивания состоит в применении низких скоростей резания. Износ режущих лезвий при этом процессе также имеет свои особенности, отличающие его от того процесса, который происходит при сверлении или фрезеровании. Так, при фрезеровании цилиндрическими фрезами из быстрорежущей стали износ их в виде округления режущих кромок существует лишь в течение неуправляемо короткого отрезка времени. Почти мгновенно появляется износ в виде площадки с нулевым задним углом по задней грани, который изменяется во времени более закономерно, чем при протягивании.

В исследованиях А. М. Даниеляна [22] также отмечается наличие больших расхождений в абсолютных значениях показателей степени при стойкости и подаче в температурных и стойкостных формулах, полученных им для процесса строгания. Стругание — процесс, наиболее близкий к протягиванию. И хотя А. М. Даниелян считает возможной причиной расхождения показателей, полученных в его опытах, влияние указанных выше обстоятельств, аналогия расхождения показателей степени в опытах автора приводит к заключению о вероятной закономерности такого положения.

Однако общий характер влияния скорости и подачи на температуру режущих лезвий, а следовательно, и на стойкость не вызывает сомнений. Они влияют в том же направлении, что и при других процессах, — с увеличением обоих факторов стойкость уменьшается.

ВЫВОДЫ

1. Износ задней грани зубьев протяжек при протягивании стали нарастает во времени неравномерно: вначале очень быстро, потом очень медленно, затем снова быстро. Поэтому он не пригоден для использования в качестве критерия затупления.

2. Наросты на передней грани зубьев и переходящие на заднюю грань остатки их, размазанные на задней грани, сильно искажают результаты измерений износа. Поэтому результаты исследований, при которых измерение износа производилось в производственных условиях, не могут служить основой для правильных выводов о стойкостных зависимостях при протягивании.

3. Радиус округления режущих кромок протяжек при протягивании стали равномерно нарастает на протяжении всего экономически целесообразного периода работы протяжки. Поэтому его величина при внутреннем протягивании может приниматься в качестве более надежного критерия затупления, чем износ задней грани.

4. Исследование влияния толщины среза на стойкость протяжек, выполненное с использованием радиуса округления режущих кромок как критерия затупления, показывает, что с увеличением

толщины среза износ зубьев увеличивается, а стойкость уменьшается.

5. По мере увеличения толщины среза и скорости резания температура режущих кромок протяжки возрастает. Поэтому стойкость протяжек уменьшается с увеличением скорости резания и толщины среза.

6. Стойкостная зависимость при протягивании со скоростями до 15 м/мин выражается уравнением следующего вида:

$$v = \frac{C}{T^{m_a y}} \text{ м/мин.}$$

7. Действительная степень влияния толщины среза и скорости резания на стойкость протяжек меньше, чем в стойкостных зависимостях, полученных при использовании в качестве критерия затупления износа задней грани и принятых в нормативах 1950 г. по режимам резания инструментами из быстрорежущей стали.

8. Расхождения показателей степени в формулах скорости резания, полученных в результате обработки стойкостных и температурных зависимостей, показывают, что при низких скоростях резания ($v < 15$ м/мин) характер износа режущего инструмента отличается от характера износа его при обычных скоростях резания. Возможно, что здесь сильнее проявляется пластическое деформирование материала инструмента. Этот вопрос нуждается в дальнейших исследованиях.

9. Абсолютные значения температуры, возникающей при протягивании даже мягкой стали ($H_B = 207 \div 228$) со скоростью резания свыше 3 м/мин и с подачей свыше 0,1—0,12 мм/зуб, превышают значение температуры отпуска стали ХВГ (см. фиг. 56, б). В связи с этим нецелесообразно изготовлять протяжки из стали ХВГ.

10. Для определения оптимальной толщины среза при протягивании наиболее удобным является графический метод — применение номограмм $T-v$, построенных для различных значений толщины среза. Выбор в качестве критерия затупления для обдирочной и чистовой частей протяжек, в соответствии с их назначением, различных радиусов округления режущих кромок позволяет определить оптимальную толщину среза путем расчета ее по методу выравнивания стойкостей черновых и чистовых режущих зубьев.

11. Метод выравнивания стойкостей разных частей протяжки дает возможность сблизить технологический критерий затупления, применяемый обычно на чистовых операциях, с критерием затупления, характеризующим режущие свойства обдирочной части протяжки.

12. Процесс резания при протягивании идет стабильно даже при $a = 2 \div 6$ мк как при остром лезвии ($\rho \approx 2 \div 3$ мк), так и при затупленном, когда радиус округления в 10 и более раз превышает толщину среза.

13. При очень тонкой стружке процесс резания обеспечивается наличием заторможенной зоны, переходящей в нарост. Специфической особенностью нароста при резании с весьма тонкой стружкой является очень малая величина радиуса округления его носика.

14. Толщина стружки в пределах одного витка сильно колеблется. По-видимому, этим и можно объяснить большой разброс опытных точек при исследовании силы резания, когда толщина среза при протягивании не превышает 0,03 мм.

15. При разрушении и новом образовании нароста в процессе резания в больших пределах изменяется фактический передний угол. Особенно значительны изменения этого угла при работе зуба с затупленным лезвием, когда он может колебаться от + 25 до — 75°.

ГЛАВА V

КОНСТРУКЦИИ КРУГЛЫХ ПРОТЯЖЕК

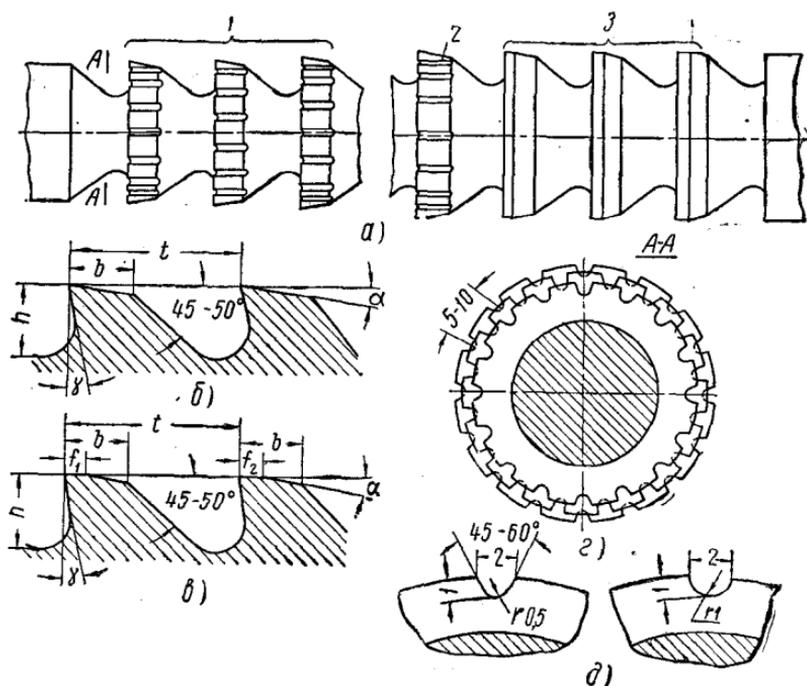
1. ПРОТЯЖКИ С ПОДЪЕМОМ НА КАЖДЫЙ ЗУБ

Для протягивания круглых и многошлицевых отверстий применяются протяжки, имеющие подъем на каждый зуб. Часто их называют обыкновенными протяжками. Это название не отражает особенностей конструкции, и поэтому в дальнейшем изложении будем называть их протяжками с подъемом на каждый зуб.

Характерными особенностями протяжек с подъемом на каждый зуб (фиг. 59) являются следующие: а) увеличение диаметра каждого последующего зуба; б) профильная схема резания (слои металла срезаются всем периметром режущего лезвия каждого зуба); в) разделение фронта срезаемого слоя — ширины стружки — на отдельные участки узкими стружкоделительными канавками; г) малая величина подъема на зуб — толщина стружки, срезаемой этими протяжками при обработке стали, очень редко превышает 0,03—0,04 мм; д) прямолинейная форма спинки зуба (однорядная стружечная канавка); е) постоянный шаг на чистовых зубьях. Характерной особенностью конструкции зубьев протяжек с подъемом на каждый зуб является также большое количество поверхностей, имеющих нулевые задние углы. К таким поверхностям относятся цилиндрические фаски на задних гранях калибрующих зубьев, боковые поверхности стружкоделительных канавок, большая часть боковых поверхностей шлицевых зубьев.

Основной недостаток протяжек рассматриваемой конструкции — большое количество режущих зубьев, что обуславливает значительную общую длину режущей части. Как правило, протяжки с подъемом на каждый зуб имеют в комплекте две (а иногда и более) протяжки, что приводит к большому расходу быстрорежущей и легированной стали, а также значительно снижает производительность труда на протяжных операциях. Другим недостатком этой конструкции является пониженная стойкость протяжек. И, наконец, третий недостаток — невысокая чистота поверхности и особенно низкая точность геометрической формы

отверстия. На поверхности отверстий появляются продольные риски (следы движения зубьев протяжки) и волнистость — кольцевые углубления, которые расположены на некотором расстоянии друг от друга, примерно равном шагу зубьев. Поэтому при обработке точных и чистых отверстий часто приходилось отказываться от применения протягивания в качестве окончательной операции и заменять его развертыванием или шлифованием.



Фиг. 59. Режущая часть протяжки с подъемом на каждый зуб:

a — общий вид; *б* — продольный профиль черновых и чистовых зубьев; *в* — продольный профиль калибрующих зубьев; *г* — поперечный профиль черновых зубьев; *д* — варианты выполнения канавок для разделения стружек: 1 — черновые зубья; 2 — чистовые зубья; 3 — калибрующие зубья.

В тех случаях, когда протягивание — окончательная операция, критерием затупления инструмента в цеховых условиях служит ухудшение качества поверхности или появление отдельных продольных рисок. Продольные риски возникают вследствие износа уголков стружкоделительных канавок. Дело в том, что если на большей части задней грани вдоль режущей кромки появляется самое незначительное затупление, равное нескольким сотым долям миллиметра, небольшие участки кромки, лежащие в непосредственной близости к стружкоделительным канавкам, уже получают износ, равный нескольким десятым долям миллиметра. Там, где протягивание применяется в качестве предварительной операции, это не имеет особого значения. При окончательной же

обработке деталей износ уголков стружкоделительных канавок влечет за собой появление продольных рисок, количество которых растет с ростом числа стружкоделительных канавок, особенно при протягивании деталей из легких сплавов — алюминия, бронзы.

Многошлицевые протяжки с подъемом на каждый зуб также дают обработанную поверхность низкого качества: боковые поверхности шлицевых пазов получаются рваными, с многочисленными глубокими рисками. Особенно плохое качество поверхности наблюдается в местах выхода зубьев. Здесь часто даже искажается форма пазов. Для повышения качества обработки протяжки изготавливаются с малыми подъемами на зуб — от 0,02 до 0,03 мм, что приводит к еще большему увеличению длины протяжек. Однако качество поверхности стенок пазов от этого улучшается незначительно.

Многошлицевые протяжки, как правило, применяются в комплекте из двух или из трех протяжек. И несмотря на это, разбивка пазов по ширине, отклонения от размеров по расположению шлицев, конусность и овальность являются наиболее частыми причинами брака деталей. Работа такими протяжками требует значительных затрат времени (часто в несколько раз превышающих время обработки детали) на очистку протяжек от стружки.

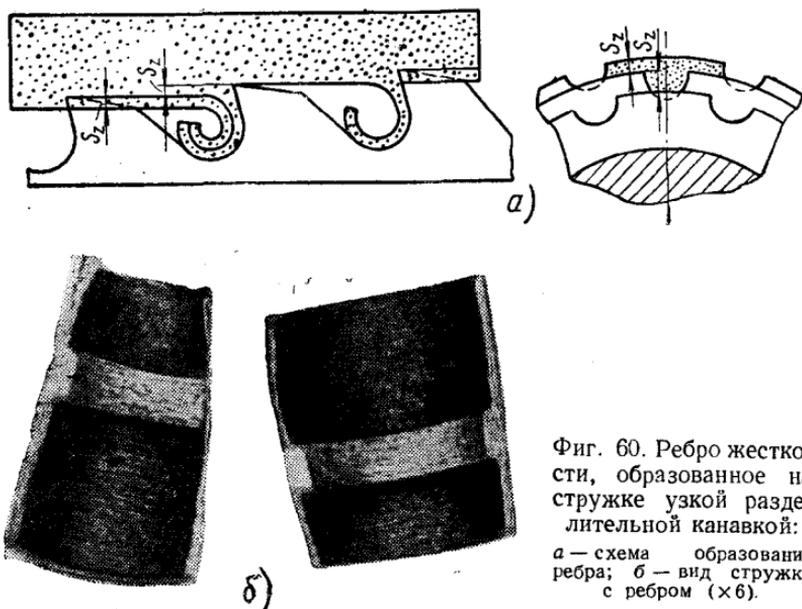
Серьезным недостатком рассматриваемых круглых и многошлицевых протяжек является налет на вспомогательных задних гранях. Обладая высокой твердостью, он служит причиной появления глубоких продольных рисок и задиров на протянутой поверхности. Налет располагается так, что удалить его полностью часто не представляется возможным. После удаления, спустя короткое время, налет появляется вновь. Поэтому большое количество шлицевых протяжек приходится списывать до наступления полного естественного износа.

Ребро жесткости на стружке

Стружкоделительная канавка на зубе протяжки оставляет несрезанным узкий слой металла. Из-за этого на стружке, срезаемой последующим зубом, появляется местное утолщение, ширина которого равна ширине канавки. Такое утолщение образует своеобразное ребро жесткости (фиг. 60). Если у двух соседних зубьев подъемы на зуб равны, то высота ребра жесткости оказывается несколько больше толщины стружки. Происходит это потому, что слой металла, образующий ребро жесткости, не может увеличиваться по ширине, так как он ограничен с обеих сторон боковыми поверхностями канавки. В связи с этим ребро жесткости утолщается больше, чем остальные участки стружки. Как показывают замеры стружек, высота ребра жесткости увеличивается за счет деформации при свертывании стружки.

Металл ребра жесткости более наклепан и имеет более высокую твердость по сравнению с металлом остальных участков стружки.

Обладая большей толщиной по сравнению со стружкой и будучи более твердым, чем остальная масса, ребро жесткости сильно препятствует свертыванию стружки в компактный виток. Затрудненное свертывание такой стружки определяет значительную величину диаметра ее витка. Большой габаритный размер витка, в свою очередь, вызывает необходимость выполнения канавок между зубьями гораздо большего размера, что ослабляет тело протяжки и увеличивает ее длину.



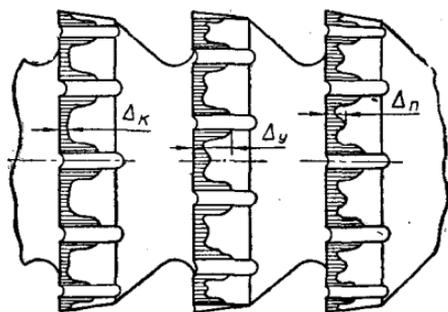
Фиг. 60. Ребро жесткости, образованное на стружке узкой разделительной канавкой:
 а — схема образования ребра; б — вид стружки с ребром (x6).

Именно из-за этого коэффициенты помещаемости k стружек, рекомендуемые некоторыми авторами, имеют слишком большое значение. Так, по данным работы [23], при протягивании стали принимают $k = 6$. Увеличение коэффициента помещаемости вызывалось также стремлением конструкторов обеспечить надежное выпадение стружки из канавки после выхода зуба протяжки из протягиваемой детали. Но так как увеличение глубины впадины приводит к ослаблению тела протяжки (что во многих случаях, особенно при протягивании отверстий небольшого диаметра, недопустимо), то для достижения нужного коэффициента помещаемости приходится уменьшать подъем на зуб. А это приводит к удлинению протяжки.

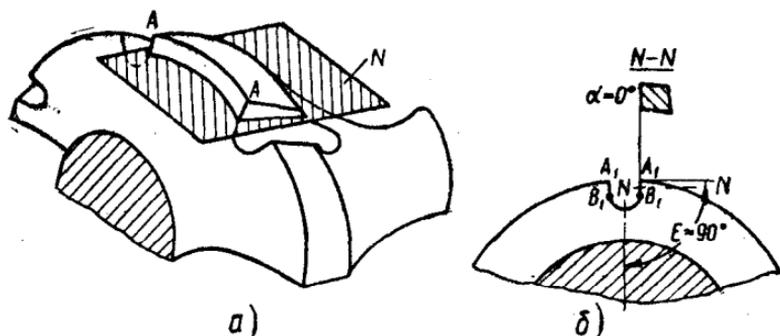
Интенсивный износ уголков зуба

Для рассматриваемых протяжек характерен значительный износ задней грани у самых уголков зуба, по краям стружкоделительных канавок (фиг. 61). Причина усиленного износа на этих участ-

ках задней грани объясняется тем, что на кромке A_1B_1 , играющей роль вспомогательной, задний вспомогательный угол α_1 равен нулю (фиг. 62). За счет значительного трения металла протягиваемых деталей о вспомогательные задние грани, лишенные задних



Фиг. 61. Схема типичного расположения штрихов износа задней грани режущих кромок зубьев протяжки с узкими стружкоделительными канавками.



Фиг. 62. Геометрия зуба с узкими стружкоделительными канавками протяжки с подъемом на каждый зуб:

a — положение вспомогательной секущей плоскости *N*; *б* — проекция зуба на основную плоскость и сечение вспомогательной секущей плоскостью.

углов, возникает большое количество тепла, вызывающее повышенный износ.

Трение и износ поверхностей, не имеющих задних углов, о поверхность металла создает благоприятные условия для образования налета.

Стойкость протяжек, имеющих подъем на каждый зуб, до полного износа

Для такого многолезвийного инструмента, как протяжка, у которой подъем зубьев в процессе эксплуатации должен сохраняться неизменным до полного износа, первостепенное значение имеет равномерность износа во всех точках режущей кромки.

При различной величине износа при перетсчке с передней грани срезаются слои различной толщины. Это приводит к нарушению расчетной величины подъема зубьев и коэффициента помещаемости стружки, вызывает резкое снижение стойкости протяжек и даже их поломку.

Износ зубьев протяжек, имеющих подъем на каждый зуб, характеризуется еще и тем, что ширина штрихов износа на различных участках режущей кромки одного и того же зуба различна (см. фиг. 61). Значение износа Δ_k , как правило, невелико. Нарастание величины износа уголков режущих кромок Δ_u происходит весьма неравномерно как на одних и тех же зубьях, так и на разных. Иногда на некоторых зубьях износ уголков сразу достигает 1,5—2 мм, на других он доходит до этой величины после протягивания значительного количества деталей. Кроме того, имеются и другие участки, на которых нарастание ширины штрихов износа идет гораздо быстрее по сравнению с величиной Δ_k . Это те места режущих кромок последующего зуба, которые находятся непосредственно за узкими стружкоделительными канавками предыдущего зуба. Они срезают стружки удвоенной толщины, поэтому и износ задних граней Δ_n здесь резко возрастает.

Такой неравномерный износ задних граней на различных участках режущей кромки делает простую, по существу, задачу переточки затупившейся протяжки весьма сложной. Если удалять только следы основного износа, оставляя износ на уголках и против канавок, то протяжка почти никогда не обеспечит требуемой чистоты поверхности, будет быстро покрываться налетом и изнашиваться скорее, чем до заточки. Удалять же следы максимального износа на уголках нецелесообразно, так как после одной-двух таких переточек протяжка становится непригодной для работы. Выборочно удалять с передней грани слои неравной толщины, в соответствии с затуплением отдельных участков зубьев, — значит заведомо нарушать расчетную величину подъема на зуб, что может повести к поломке протяжки в процессе дальнейшей ее эксплуатации.

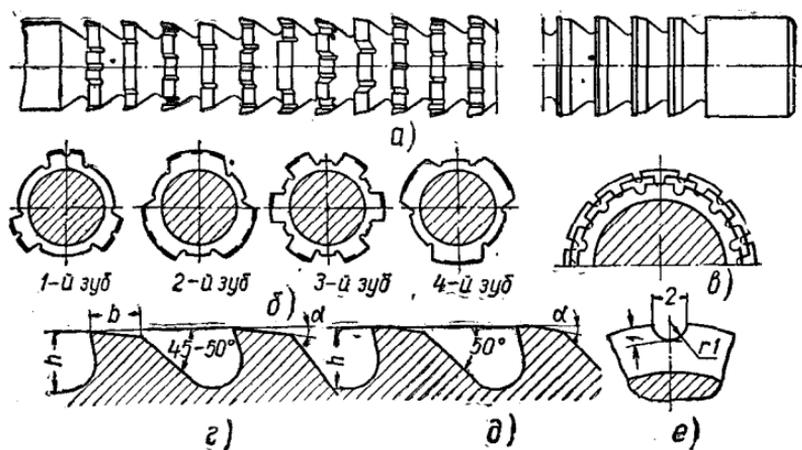
Обычно вопрос решается так: при заточке снимается лишь основной износ на всех зубьях, а также на отдельных зубьях снимается слой несколько больший, если это не связано с резким нарушением подъема. Окончательное решение о пригодности протяжки к работе принимается лишь после испытания ее путем протягивания одной-двух деталей. Если качество поверхности не соответствует требованиям чертежа, протяжка перетачивается вновь. Для того чтобы создать нормальные условия работы, протяжки часто переделываются на двух- и трехпроходные, хотя ни по величине возникающих усилий, ни по коэффициенту помещаемости стружки во впадине в этом нет никакой надобности. Увеличение же количества проходов, как было сказано выше, приводит к увеличению расхода инструментальной стали, к снижению произво-

длительности труда. В тех случаях, когда протягивание является окончательной операцией с высокими требованиями к чистоте поверхности, приходится при переточке удалять и следы максимального износа по уголкам. В связи с этим стойкость протяжек до полного износа очень резко снижается.

Таким образом, конструктивные особенности зубьев, имеющих стружкоделительные канавки и боковые поверхности, лишенные задних углов, создают невыгодные условия процесса резания и ограничивают срок службы протяжек. Кроме того, при выполнении канавок часто образуются отрицательные задние углы и повреждаются режущие кромки на соседних зубьях [32].

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ПРОТЯЖКИ

Значительно более производительными являются протяжки, получившие название прогрессивных. Они относятся к секционным протяжкам, т. е. к протяжкам, имеющим подъем не на каждый зуб,



Фиг. 63. Черновая режущая часть прогрессивной протяжки конструкции П. П. Юнкина:

a — общий вид режущей части; *b* — поперечный профиль зубьев одной черновой секции; *в* — поперечный профиль чистовых зубьев (с подъемом на каждый зуб); *г* — продольный профиль режущих зубьев; *д* — продольный профиль калибрующих зубьев; *е* — стружкоразделительная канавка.

а на секцию — группу зубьев с одинаковым диаметром. Автором этой конструкции протяжек является инж. П. П. Юнкин [24]. Прогрессивные протяжки (фиг. 63) начиная с 1940 г. нашли широкое применение на многих машиностроительных заводах. На ЧТЗ они применялись с 1941 по 1943 год.

Чистовая и калибрующая части прогрессивных протяжек точно такие же, как и у протяжек с подъемом на каждый зуб. Основное отличие протяжек этих двух конструкций заключается в устройстве черновой режущей части. Срезание слоя металла

(припуски) при работе прогрессивной протяжкой осуществляется следующим образом. Весь припуск, приходящийся на черновые зубья, распределяется на несколько равных долей. Каждая из них срезается одной секцией зубьев. Все зубья, входящие в секцию, у протяжек конструкции П. П. Юнкينا имеют одинаковый диаметр в пределах допуска на изготовление. Зубья режут не всем периметром, а лишь частью его, для чего на каждом зубе вырезаются широкие канавки, расположенные относительно друг друга так, чтобы за последним зубом данной секции не оставалось несрезанного металла.

Режущие кромки зубьев подобны кромкам зубьев шлицевой протяжки, у которой шлиц каждого последующего зуба шире шлица предыдущего. Длина режущей кромки такого шлица называется длиной режущего сектора. Часть сектора последующего зуба, находящаяся непосредственно сзади режущего сектора предыдущего зуба, с целью уменьшения трения иногда вырезается.

Прогрессивные протяжки бывают разных видов. У некоторых из них режущие секторы расположены в шахматном порядке; другие имеют группы зубьев, подобные группам зубьев обычных шлицевых протяжек с подъемом на каждый зуб, а за ними — группы зубьев, повернутые на некоторый угол, или круглые для срезания оставшегося слоя. Наибольшее распространение получили протяжки, показанные на фиг. 63. На режущих секторах, длина активной части режущих кромок которых превышает 10—12 мм, для дополнительного разделения фронта стружки иногда наносятся узкие стружкоделительные канавки. Эти канавки располагаются в шахматном порядке. В отличие от протяжек с подъемом на каждый зуб, прогрессивные протяжки срезают толстую стружку и имеют подъемы на зуб (на секции) до 0,4 мм.

Характерные особенности прогрессивных протяжек следующие:

а) каждый черновой режущий зуб срезает стружку не всем периметром, а лишь частью его;

б) весь припуск срезается секциями из нескольких зубьев одинакового диаметра, но с расширяющимися или сдвинутыми режущими секторами на каждом зубе;

в) чистовые зубья имеют подъем на каждый зуб и снабжены узкими стружкоделительными канавками;

г) черновые режущие зубья иногда также имеют узкие стружкоделительные канавки;

д) форма спинки зуба прямолинейная (стружечная канавка однорядиусная);

е) шаг на чистовых зубьях постоянный;

ж) как и у протяжек с подъемом на каждый зуб, имеется большое количество поверхностей с задними углами, равными нулю; к таким поверхностям относятся цилиндрические фаски на задних гранях калибрующих зубьев, боковые поверхности стружкоделительных канавок и режущих секторов;

з) по схеме резания прогрессивные протяжки относятся к комбинированным.

Преимущества протяжек прогрессивного резания по сравнению с протяжками с подъемом на каждый зуб:

1. Меньшее количество зубьев как следствие применения больших подъемов на зуб. Такие протяжки на 40% короче протяжек с подъемом на каждый зуб.

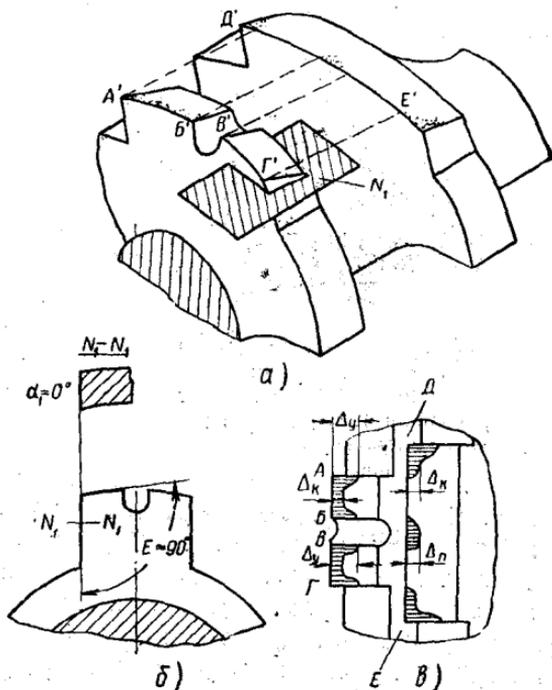
2. Лучшая устойчивость протяжки в работе, чему способствует резание отдельными секторами, имеющими форму шлицев, предохраняющих протяжку от увода в сторону.

3. Большие подъемы зубьев обеспечивают при работе по литью быстрое проникновение зубьев под корку. Поэтому режущие кромки зуба прогрессивной протяжки работают по незагрязненному металлу, и стойкость их повышается.

Однако многие элементы протяжек с подъемом на каждый зуб были перенесены на прогрессивные протяжки, а с ними и те серьезные недостатки, которые значительно снижают их стойкость, ухудшают качество поверхности. Причем эти недостатки на прогрессивных протяжках проявляются более резко. Наибольшее отрицательное значение имеет наличие узких стружкоделительных канавок и отсутствие задних углов на вспомогательных режущих кромках (фиг. 64).

Точки режущей кромки, лежащие на вершине уголков, образуемых собственно режущей кромкой и боковыми поверхностями стружкоделительных канавок, являются наименее теплостойкими. Еще более слабым местом является уголок, заканчивающий режущую кромку сектора зуба прогрессивной протяжки. На этих уголках износ появляется гораздо раньше, чем в других точках режущей кромки, и достигает очень большой величины.

Прогрессивные протяжки не обеспечивают высокого качества

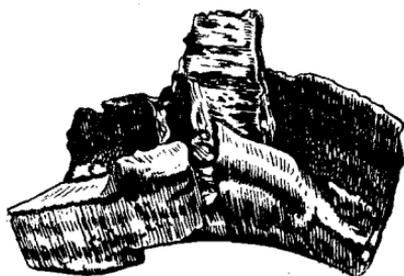


Фиг. 64. Геометрия и износ зуба прогрессивной протяжки:

а — режущие секторы двух первых зубьев из одной секции прогрессивной протяжки; б — геометрия режущего сектора в плане (проекция на основную плоскость) и сечение по вспомогательной секущей плоскости; в — схема расположения износа на зубьях прогрессивной протяжки.

обработанной поверхности. Вследствие этого при обработке отверстий они применялись, например на ЧТЗ, лишь на предварительных и промежуточных операциях, а для окончательной обработки приходилось применять развертывание или шлифование. Естественно, что терялся эффект в производительности труда, достигаемый протягиванием.

Плохое свертывание стружки — недостаток, свойственный протяжкам с подъемом на каждый зуб, — наблюдается в еще большей степени при работе прогрессивными протяжками, так как они срезают стружки гораздо более толстые.



Фиг. 65. Ребро жесткости на стружке, срезаемой зубом прогрессивной протяжки (зуб имеет узкую стружкоделительную канавку).

На черновых режущих зубьях прогрессивных протяжек узкие стружкоделительные канавки применяются в тех случаях, когда длина режущего сектора превышает 10—12 мм, и поэтому появляется необходимость разделения стружки в пределах самого режущего сектора. На фиг. 65 показана такая стружка, полученная при протягивании стали 45X. Толщина основной части стружки 0,15 мм, ширина ребра жесткости около 2 мм, причем оно более сильно деформировано, чем остальные части стружки, и, кроме того, более сильно упрочнено. Сопротивление свертыванию ребра жесткости и остальной части стружки различно, поэтому стружка разрывается, ребро сдвигается относительно более тонкой части ее и, оторвавшись, несколько распрямляется. Это приводит к увеличению радиуса витка и к прилипанию металла стружки к поверхности впадины и служит причиной появления глубокой продольной царапины на протягиваемой поверхности. Местонахождение этой царапины соответствует месту отделения ребра жесткости от основного металла стружки.

Царапина на поверхности, с которой срывается стружка, часто бывает настолько глубокой, что даже после снятия всего припуска ее не удается удалить, особенно при обработке деталей из вязких сталей.

Несмотря на то, что все зубья, входящие в одну режущую секцию, должны иметь один и тот же диаметр, они почти всегда имеют разные диаметры. Это объясняется различным выполнением диаметра в пределах поля допуска. В процессе же эксплуатации зубья протяжек приобретают различные размеры (в пределах секции), потому что при переточках с передней грани снимается слой различной толщины. Различный диаметр зубьев, входящих в одну секцию, приводит к появлению ребер жесткости. В таких случаях особенно велико несоответствие толщины всей стружки высоте

ребра жесткости. Из-за этого стружка неправильно укладывается во впадине между зубьями, а иногда застревает в ней. Чтобы удалить стружку, протяжку приходится передавать в заточное отделение.

3. КРУГЛЫЕ ПРОТЯЖКИ ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ *

Протяжки переменного резания, как и прогрессивные, срезают припуск группами зубьев — режущими секциями, т. е. относятся к секционным протяжкам. Основное отличие их от прогрессивных:

1. Диаметры зубьев, входящих в одну секцию, не равны между собой. Диаметр последнего зуба секции меньше диаметра предыдущих, причем режущая кромка (г) сплошная.

2. Разделение стружки производится выполненными по дуге окружности широкими выкружками, имеющими задний угол по всему профилю.

3. Спинки зубьев криволинейные, т. е. выполнены по дуге окружности. Стружечная канавка двухрадиусная, что обеспечивает свободное выпадение стружки.

4. Калибрующие зубья не имеют цилиндрических фасок, снижающих стойкость. Сохранение размера протяжки обеспечивается тем, что калибрующие зубья затачиваются не при каждой переточке и не все одновременно, а поочередно, по мере надобности.

5. Чистовые и калибрующие зубья имеют переменный шаг, что устраняет волнистость обработанной поверхности.

6. Все участки режущих лезвий, как главные, так и вспомогательные, имеют задние углы больше 0° .

Протяжки переменного резания, как и прогрессивные, имеют комбинированную схему резания. Изготовление их гораздо проще изготовления прогрессивных.

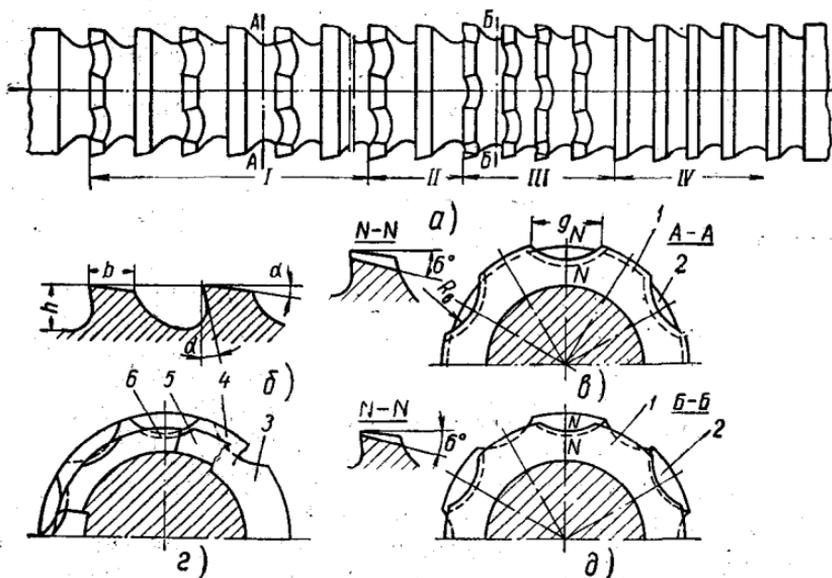
Черновые, или обдирочные, зубья

На фиг. 66 приведен общий вид режущей части круглой протяжки переменного резания с двухзубой секцией. Первый зуб черновой и переходной секций называется прорезным, второй — зачищающим. При принятом способе разделения стружки каждый из них срезает слой металла одинаковой ширины. Ширина выкружки, определяющая ширину стружки, рассчитывается так, чтобы ширина стружки была не более определенной величины, обеспечивающей хорошие условия для свертывания ее в виток. При таком разделении стружка не имеет ребра жесткости (фиг. 67). Толщина ее одинакова по всему сечению и лишь у самых краев может несколько уменьшаться. Это не влияет на свертывание.

* Конструкция разработана автором совместно с инж. А. А. Залесовым и инж. С. А. Плехановым в результате исследования процесса протягивания [25, 26, 27, 28].

Благодаря отсутствию ребра жесткости отдельные витки стружки теснее прижимаются друг к другу, между ними остаются очень малые зазоры. Для своего размещения в канавке они требуют гораздо меньше места, что и дает возможность применять малые коэффициенты помещаемости.

При одинаковой ширине стружка, срезаемая прорезным и зачищающим зубьями одной первой секции, по толщине несколько отличается. Это объясняется тем, что диаметр зачищающего зуба



Фиг. 66. Режущая часть протяжки переменного резания:

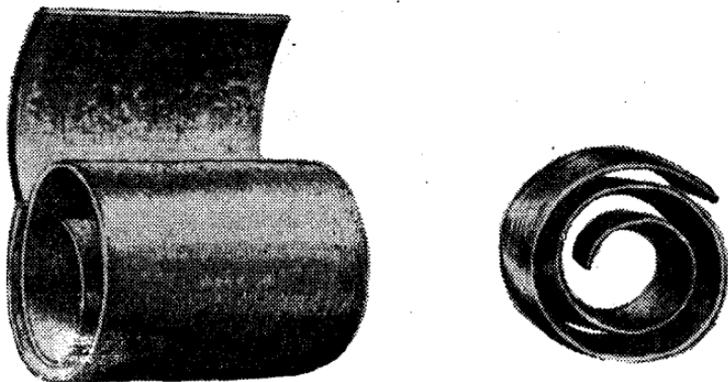
a — общий вид режущей части (*I* — черновые зубья; *II* — переходные зубья; *III* — чистовые зубья; *IV* — калибрующие зубья); *б* — продольный профиль зубьев; *в* — поперечный профиль черновых и переходных зубьев; (*1* — прорезной зуб; *2* — зачищающий зуб); *г* — поперечный профиль чистовых секционных зубьев; *д* — поперечный профиль чистовых зубьев, имеющих подъем на каждый зуб, с выкружками, нанесенными в шахматном порядке (*3* — второй зуб второй секции; *4* — первый зуб второй секции; *5* — второй зуб первой секции; *6* — первый зуб первой секции).

на 0,03—0,04 мм меньше диаметра прорезного (фиг. 68, *a*). Необходимость такого построения секции вызвана следующими обстоятельствами. При заточке протяжки с передней грани зубьев снимают слой различной толщины из-за неточности выполнения данной операции и разного износа зубьев. В связи с этим диаметры прорезного и зачищающего зубьев могут уменьшаться на разную величину. Если бы они были одинакового размера, как зубья одной секции прогрессивных протяжек, то могло быть два различных случая работы протяжек.

Первый случай, когда диаметр зачищающего зуба уменьшается больше, чем прорезного, а рабочие участки зачищающего зуба срезают слой металла немного тоньше, чем они должны были снять.

Следовательно, зачищающим зубьям последующих секций приходится срезать несколько больший слой, что вполне допустимо.

Второй случай, когда при переточке прорезной зуб становится меньше зачищающего, а зачищающий зуб срезает замкнутое кольцо стружки лишь с отдельными утоненными участками. Процесс резания резко ухудшается, так как свертывание такой стружки затрудняется. Кольцо стружки может разорваться, но чаще будет оставаться во впадине между зубьями, и его после обработки каждой детали приходится удалять металлическим крючком, что необходимо для устранения поломки протяжки при протягивании следующей детали.



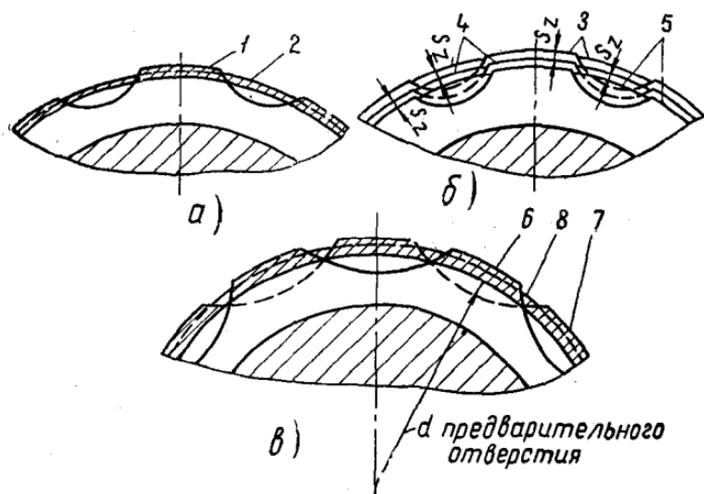
Фиг. 67. Стружка без ребра жесткости, срезанная режущим сектором зуба протяжки переменного резания.

Уменьшение диаметра зачищающего зуба по сравнению с диаметром прорезного дает разницу в толщине срезаемой стружки только у первой секции. На последующих секциях эта разница выравнивается, потому что перепад между всеми зачищающими зубьями становится одинаковым и равным перепаду на прорезных зубьях (фиг. 68, б).

Протяжки переменного резания состоят из двух-, трех-, четырех- и пятизубых секций.

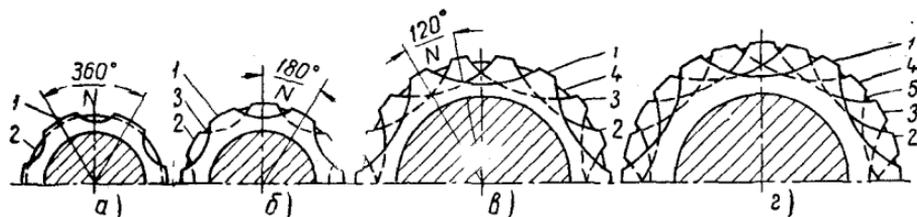
Применять двухзубую секцию не всегда возможно и выгодно. Многозубые секции применяются при протягивании деталей большой длины, тонкостенных деталей, деталей с переменной толщиной стенки и в тех случаях, когда при сравнительно больших длине и диаметре отверстия детали обработку приходится производить на станках с небольшим тяговым усилием. И, наконец, многозубые секции применяются в тех случаях, когда глубина выкружки на прорезном зубе из двухзубой секции настолько мала, что начинает ограничивать толщину срезаемой стружки. Если в секции больше двух зубьев, глубина выкружки практически никогда не ограничивает толщину стружки. Это видно из схемы протяжки с тремя

зубьями в секции (фиг. 68, б). В данном случае имеются два прорезных зуба с равными диаметрами и один зачищающий. Диаметр зачищающего зуба, как и двухзубой секции, делается на несколько сотых долей миллиметра меньше диаметра прорезных. Требование равенства диаметров прорезных зубов в данном случае не обяза-



Фиг. 68. Схема срезания стружки зубьями протяжек переменного резания:

a — слой, срезаемый первой двухзубой секцией (1 — первым — прорезным зубом; 2 — вторым — зачищающим зубом); *б* — подъем (подача на зуб) на последовательно расположенных двухзубых секциях (3 — третья секция; 4 — вторая секция; 5 — первая секция); *в* — слой стружки, срезаемый первой трехзубой секцией (6 — первым прорезным зубом; 7 — вторым прорезным зубом; 8 — зачищающим зубом).



Фиг. 69. Схема расположения зубьев в секциях:

a — секция из двух зубьев; *б* — секция из трех зубьев; *в* — секция из четырех зубьев; *г* — секция из пяти зубьев; в каждой секции зуб последнего номера — зачищающий; 1—5 номера зубьев.

тельно. Если диаметры прорезных зубов будут даже значительно отличаться друг от друга, то на работе протяжки это существенно не отразится при условии, что каждый из них будет больше диаметра зачищающего зуба.

Секции из четырех и пяти зубьев построены аналогично трехзубой (фиг. 69). Первые черновые секции чаще всего бывают двухзубыми, но применяются секции и из трех зубьев (фиг. 70).

Геометрия прорезного зуба протяжек переменного резания приведена на фиг. 71. Точки A' и B' (фиг. 71, а) находятся в значительно лучших условиях по сравнению с аналогичными точками режущих кромок зубьев протяжек с подъемом на каждый зуб и

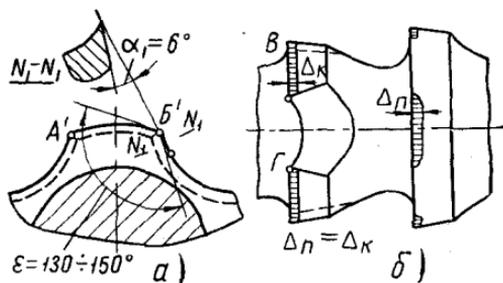


Фиг. 70. Черновая часть протяжки переменного резания с первой обдирочной секцией из трех и с последующими из четырех зубьев.

прогрессивных протяжек. Угол при вершине ϵ гораздо больше 90° , на двухзубых секциях $\epsilon \geq 150^\circ$, а на многозубых ϵ в среднем не меньше 120° . Такая большая величина в значениях угла при вершине на крайних точках режущих секторов зубьев протяжек переменного резания обеспечивает хорошую теплоотдачу от тех именно участков режущих кромок, которые находятся в самых тяжелых условиях и поэтому скорее всего изнашиваются у прогрессивных протяжек и у протяжек с подъемом на каждый зуб.

Большое значение имеет наличие вспомогательного заднего угла α_1 . Этот угол резко уменьшает трение вспомогательных задних граней о поверхность резания. Вследствие этого уменьшается количество тепла, выделяющегося в этом месте, что также способствует повышению стойкости зубьев протяжек.

Наблюдения за работой протяжек переменного резания в производственных условиях показали, что на них налет образуется гораздо реже, чем на других протяжках. Это объясняется наличием увеличенных главных и вспомогательных задних углов.



Фиг. 71. Прорезной зуб круглой протяжки переменного резания:

а — углы в плане и во вспомогательной секущей плоскости; б — характер износа и схема расположения его на задних гранях зубьев.

Износ зубьев протяжек переменного резания характеризуется большой равномерностью. В отличие от износа протяжек с подъемом на каждый зуб и прогрессивных протяжек, штрихи износа располагаются здесь ровной полосой, без каких-либо скачков в районе угловых переходов в точках *B* и *Г* (фиг. 71, б). Так же выглядит износ и на активной части режущих кромок зачищающих зубьев (зона Δ_n). Величина штрихов износа на задних гранях протяжек переменного резания гораздо меньше, чем у прогрессивных протяжек и протяжек с подъемом на каждый зуб.

Переходные зубья

За черновыми зубьями протяжек переменного резания располагаются переходные зубья. Они имеют двойное назначение.

Во-первых, переходные зубья служат для предварительной зачистки поверхности после обработки ее черновыми зубьями. В связи с этим они срезают стружку хотя и более толстую, чем чистовые, но тоньше той, которая срезается черновыми.

Во-вторых, переходные зубья с их уменьшенными подъемами дают возможность избежать резкого падения силы резания в то время, когда черновые зубья выходят из детали и начинают работу чистовые зубья. При протягивании протяжкой, у которой нет переходных зубьев, в этот момент обычно значительно уменьшается усилие, вследствие чего протяжка получает один или даже несколько резких толчков. Скорость продвижения протяжки становится неравномерной. Это отрицательно сказывается на работе станка и чистоте протянутой поверхности. Такие толчки могут служить одной из причин образования на поверхности волнистости. Особенно резко проявляется указанное явление при работе на маломощных или изношенных станках.

Таким образом, наличие переходных зубьев обеспечивает плавное уменьшение усилия. Переходные зубья образуют несколько двухзубых секций. Геометрия, шаг и размеры профиля переходных зубьев такие же, как у черновых зубьев.

Последняя переходная секция состоит из двух зубьев одинакового диаметра с выкружками, нанесенными на каждом зубе в шахматном порядке. Такое же устройство имеет переходная секция в том случае, когда она одна на протяжке. Это делается для того, чтобы выравнять припуск под чистовые зубья.

Чистовые зубья

При изготовлении протяжек к чистовым зубьям предъявляются особенно высокие требования, даже более высокие, чем к калибрующим. Это объясняется той ролью, которую они играют в получении поверхности высокого качества. Исследованием было установлено, что именно чистовые зубья определяют качество протянутой поверхности.

Чистовые зубья выполняются секционными и с подъемом на каждый зуб. Секция чистовых зубьев состоит из двух зубьев одинакового диаметра. Выкружки наносятся на каждом зубе и располагаются в шахматном порядке. Характерной особенностью таких зубьев является работа с весьма малой толщиной среза, одинаковой на обоих зубьях. Ее абсолютная величина равна половине подъема по диаметру, указанного на чертеже, и часто составляет 5 мк. Секционное построение чистовых зубьев дает возможность получить более чистые поверхности, но удлиняет протяжку. Поэтому секционные зубья помещаются в конце чистовой части, а большую долю припуска, предназначенного на всю чистовую часть, срезают чистовые зубья с подъемом на каждый зуб.

На чистовых зубьях с подъемом на каждый зуб также наносятся выкружки в шахматном порядке, поэтому толщина среза на этих зубьях равна разности диаметров двух соседних зубьев, т. е. $a = 2s_z$. Ширина выкружек назначается такой, чтобы режущий сектор последующего зуба несколько перекрывал ее.

Для получения высокой чистоты поверхности и точности обработки следует срезать очень тонкую стружку. Как показали исследования, результаты которых были приведены выше, и эксплуатация протяжек переменного резания, поверхности такого качества, которое достигается при срезании тонкой стружки, не удастся получить никакими другими режущими инструментами за исключением абразивных. Однако для этого требуется высокое качество поверхности задней и передней граней зубьев протяжки, большие передние углы и высокая точность диаметра чистовых зубьев.

Высокая чистота поверхности задних граней ($\nabla 10$) достигается доводкой. На этой же операции без особых трудностей и при сравнительно невысокой квалификации рабочих-доводчиков выдерживаются диаметры зубьев чистовой группы с допуском 0,005 мм.

Калибрующие зубья

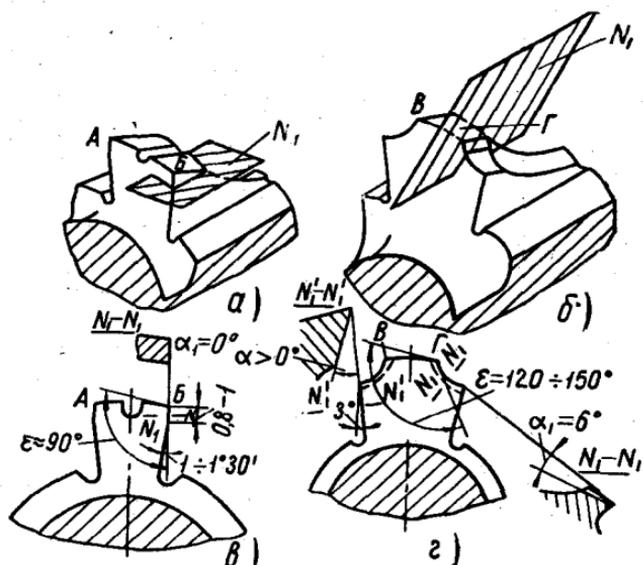
Особенность калибрующих зубьев протяжек переменного резания состоит в отсутствии на них цилиндрических фасок. Благодаря этому на них почти не образуется налет и они не снижают высокого качества поверхности, полученного после обработки чистовыми зубьями.

Для сохранения размера протяжек переточка калибрующих зубьев производится лишь по мере надобности, по одному через несколько переточек. В связи с тем, что калибрующие зубья постепенно переходят в чистовые, шаг их так же, как и у чистовых зубьев, переменный.

Стойкость до полного износа протяжек переменного резания в среднем в 2,5 раза выше в сравнении с протяжками с подъемом на каждый зуб и прогрессивными протяжками.

1. МНОГОШЛИЦЕВЫЕ ПРОТЯЖКИ ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ

У протяжек с подъемом на каждый зуб шлицевые зубья имеют форму, показанную на фиг. 72, а и в. Протяжки с подъемом на каждый зуб выполняют прорезание шлицевого паза двумя способами. Первый способ заключается в изготовлении полной ширины паза за один проход. Зуб протяжки в этом случае имеет ширину, равную ширине паза с учетом некоторой величины на разбивку. По другому способу паз полной ширины получается после работы двух протяжек. Протяжка первого прохода делает паз несколько меньшей ширины, за второй проход паз выполняется в размер. Оба способа в равной мере приняты на заводах.



Фиг. 72. Шлицевые зубья протяжек.

При работе в два прохода чистота боковых поверхностей шлицевого паза значительно выше. Это объясняется тем, что протяжки второго прохода срезают уголками узкие стружки, которые могут расширяться в сторону свободного пространства, образовавшегося между ними, и сдвигаться к середине паза по передней грани. Благодаря тому, что стружка отходит в сторону от стенок шлицевого паза, качество обработанной поверхности заметно улучшается. Однако это не всегда так. В ряде случаев зубья протяжки первого прохода дают такие глубокие задиры, что протяжка второго прохода не может их вывести. В целях борьбы с этим оставляют большой припуск на ширину паза для срезания его протяжкой второго прохода. Вместо обычно применяемого припуска 0,2—0,3 мм на сторону оставляется припуск 1,2—1,6 мм на сторону. Это позволяет вывести задиры любой глубины, оставшиеся от протяжки пер-

вого прохода, но общее качество поверхности боковой стороны паза становится заметно хуже, чем при срезании припуска малой величины.

При работе протяжкой в один проход можно получить поверхности сторон шлицевого паза хорошего качества, применяя тот же способ построения зубьев шлицевой протяжки, что и на круглых протяжках переменного резания. Для этого два соседних зуба шлицевой протяжки — предыдущий и последующий — объединяются в одну режущую секцию. Диаметр последнего зуба каждой секции на 0,02—0,04 мм меньше диаметра предыдущего зуба. На каждом первом зубе секции шлифовальным кругом снимают с обеих сторон фаски, выполненные по дуге окружности. Иначе говоря, на первом зубе наносятся такие же выкружки, как и на первом зубе секции круглых протяжек. Но так как кольцо шлицевого зуба разделено пазами, то часть выкружки попадает в паз между двумя шлицами по окружности. Вследствие этого первый шлицевый зуб превращается как бы в фасочный зуб, только фаски его не прямые, а имеют форму дуги окружности. По аналогии с другими протяжками первый зуб секции, снабженный фасками, назван прорезным, второй зуб, имеющий меньший диаметр, зачищающим.

Условия резания прорезного шлицевого зуба не отличаются от условий резания режущего сектора прорезного зуба круглой протяжки. Стружка, срезаемая шлицевым зубом, свертывается даже лучше, особенно при небольшой ширине зуба, когда после снятия фасок ширина режущего сектора не превышает 3—4 мм. А как было показано выше, стружка меньшей ширины, срезанная зубом с криволинейным режущим лезвием, свертывается легче. Кроме того, стружка, будучи намного уже прорезаемого паза, не касается его сторон при продвижении внутри канавки, поэтому чистота боковых сторон паза резко повышается.

Такая форма прорезных зубьев протяжек переменного резания, по сравнению с обычной, обеспечивает большую стойкость (фиг. 72, б и г). Теплоотвод из точек А и Б зуба, снабженного фасками, гораздо лучше, чем у зубьев обычных, и в то же время процесс резания протекает значительно легче.

Слой металла, срезаемый зачищающим зубом, свертывается не в виток, находящийся в одной плоскости, а в виток конусообразной формы (фиг. 73). Вершина такой конусообразной стружки направлена внутрь шлицевого паза, т. е. в сторону от его боковой поверхности. Это значительно облегчает условия работы уголка зачищающего зуба. Благодаря этому зачищающий зуб легко срезает у боковой поверхности шлица стружку значительной толщины. Чистота боковых поверхностей шлицевого паза резко повышается даже при значительных подачах на зуб.

На фиг. 74 изображена деталь, в которой была остановлена протяжка во время работы. Витки стружки, срезаемые прорезными зубьями, находятся посередине шлицевого паза, а на зачи-

щающих зубьях они находятся у боковых сторон паза. На фиг. 74 виден большой запас пространства для расширения центральных стружек и отход в сторону от боковых поверхностей конусообразных стружек, срезанных зачищающими зубьями.

Объединение двух зубьев шлицевой протяжки в режущую секцию дало возможность значительно увеличить подъем на зуб. Так как основную нагрузку несет на себе прорезной зуб, а он в данном случае работает в особенно благоприятных условиях, и вместо углов при вершине, равных 90° , имеет значительно большие углы, то толщина стружек вместо обычных 0,05—0,06 мм может достигать 0,3 мм. Фаски на прорезных зубьях получаются так же, как и выкружки. Благодаря этому вспомогательные режущие кромки имеют задний угол.

Объединение зубьев в секции дает возможность перевести подавляющее большинство многопроходных протяжек на однопро-



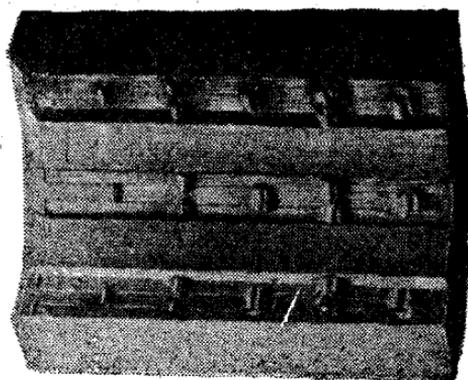
Фиг. 73. Образование конусообразных витков стружек на зачищающем зубе шлицевой протяжки переменного резания.

ходные и обрабатывать этой же протяжкой цилиндрические отверстия. В тех, относительно редких, случаях, когда не удастся вести протягивание шлицевых пазов в один проход, применяются протяжки второго прохода. Протяжка второго прохода имеет шлицевую переднюю направляющую часть, а также дополнительные цилиндрические пояски, расположенные между зубьями. Назначение поясков — осуществлять хорошее направление по внутреннему диаметру. Шлифование их производится одновременно со шлифованием наружного диаметра зубьев, чем и достигается их соосность.

Конструктивные особенности шлицевой протяжки зависят от технологии изготовления детали. Лучшее качество шлицевого отверстия по всем элементам — размеры шлицев и расположение их относительно оси, концентричность наружного и внутреннего диаметров, отсутствие заусенцев на боковых поверхностях шлицевых пазов и на внутренней поверхности отверстия — удается получить в том случае, если одновременно протягиваются шлицевые пазы и отверстие.

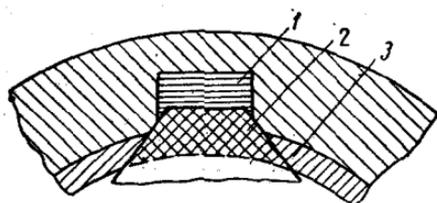
Чтобы обеспечить указанные качественные показатели, протяжка строится следующим образом. В начале режущей части рас-

полагаются фасочные зубья, за ними круглые, затем шлицевые. При таком расположении зубьев если и образуется заусенец от круглых и шлицевых зубьев, то он завертывается на нерабочую поверхность — на фаску. Фаску нужно снимать во всех случаях, даже и тогда, когда это чертежом детали не предусматривается. Размер фаски в этом случае может быть небольшим (0,2—0,3 мм). Если фасочные зубья находятся перед круглыми и шлицевыми, они совершают дополнительную работу. Фасочные зубья используются для протягивания внутренней поверхности и выполняют функции первых зубьев секции круглой части. Кроме того, срезая металл для образования фаски



Фиг. 74. Отход конусообразных витков стружек от боковых сторон шлицевого паза при работе протяжкой переменного резания.

(фиг. 75), они уменьшают припуск на шлицевые зубья. Поэтому число шлицевых зубьев уменьшается. Никогда не следует размещать фасочные зубья



Фиг. 75. Припуск, срезаемый шлицевой протяжкой:

1 — шлицевыми зубьями; 2 — фасочными зубьями; 3 — круглыми зубьями.

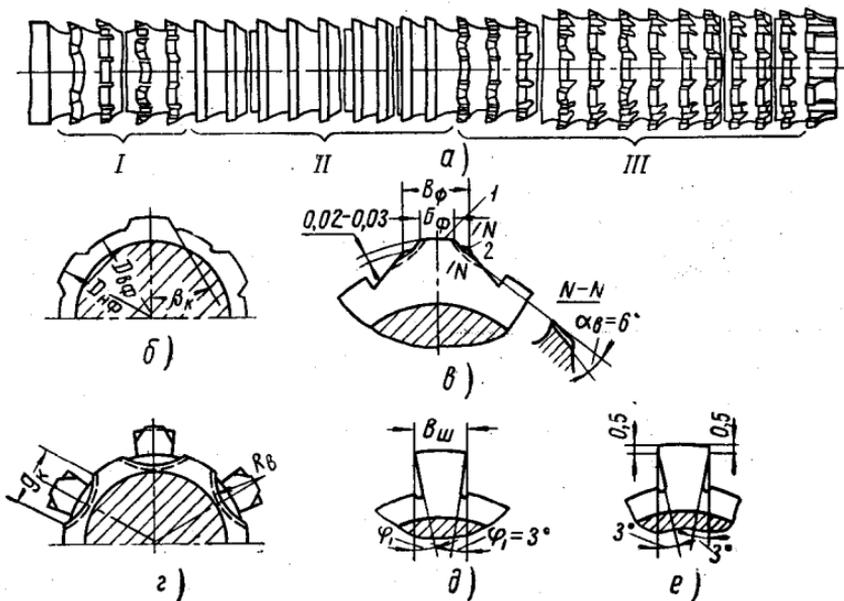
позади шлицевых, так как при этом протяжка удлиняется и образующийся от них заусенец завертывается на боковые поверхности пазов и на поверхность отверстия.

Если заготовка имеет большой припуск на обработку отверстия, то круглая часть протяжки будет иметь сравнительно большую длину. В этом случае в начале режущей части протяжки помещаются круглые зубья, а за ними фасочные. Это приходится делать для того, чтобы исключить возможность поворота детали при прохождении круглых зубьев. Вследствие поворота пазы, прорезанные фасочными зубьями, могут сместиться относительно шлицевых зубьев. При таком расположении зубьев заусенец от фасочных зубьев загибается в сторону внутренней поверхности отверстия, и их приходится зачищать. Во избежание этого можно помещать фасочные зубья между круглыми (между переходными и чистовыми).

По другому варианту технологии для отверстия детали не требуется обработка на операции протягивания шлицев (например, отверстие шлифовано после термической обработки). Про-

тяжка в этом случае не имеет круглых зубьев, и фасочные зубья располагаются в начале режущей части, перед шлицевыми. Если технические требования к детали по соосности расположения шлицевых пазов и отверстия высокие, то между каждыми 3, 5 и 10 зубьями размещаются направляющие пояски.

На фиг. 76, а, б приведены режущая часть комбинированной шлицевой протяжки переменного резания, объединяющей обработку цилиндрической поверхности по внутреннему диаметру и шлицевых пазов, и поперечные сечения различных групп ее зубьев. Режущая часть протяжки состоит из зубьев трех групп: фасочных, круглых и шлицевых. Круглые и шлицевые зубья, как и у круглых



Фиг. 76. Шлицевая комбинированная протяжка переменного резания:

а — режущая часть (I — фасочные зубья; II — круглые зубья; III — шлицевые зубья); б — сечение перед последним фасочным зубом; в — сечения из двух фасочных зубьев (I — прорезной зуб; 2 — зачищающий зуб); г — расположение выкружек на круглых и шлицевых зубьях комбинированной шлицевой протяжки при секционном построении; д — профиль шлицев го зуба без ленточек; е — профиль шлицевого зуба с ленточками по боковым поверхностям.

протяжек, в свою очередь, подразделяются на обдирочные, переходные, чистовые и калибрующие.

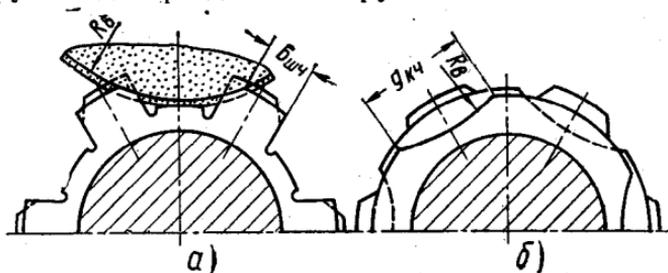
Фасочная часть всегда состоит только из черновых зубьев. Фасочные зубья, предназначенные для снятия фасок на шлицевых выступях, иногда с целью разделения стружки объединяются в секции из двух зубьев (фиг. 76, в). Прорезной зуб, подобно шлицевому, имеет несколько бóльший диаметр и снабжен такими же выкружками, имеющими задний угол α_{θ} по всему профилю

По конструкции круглая часть шлицевой протяжки отличается

от круглых протяжек только тем, что круглыми зубьями срезается стружка не по всему периметру отверстия, а лишь на участках, пропущенных фасочными зубьями. В связи с этим зубья круглой части могут иметь подъем на каждый зуб или объединяются в секции по два зуба, разделяя между собой срезаемую стружку по ширине. В этом случае применяется такое расположение выкружек на круглых черновых зубьях, как показано на фиг. 76, г.

Шлицевые зубья до последнего времени выполнялись с ленточками на боковых поверхностях (фиг. 76, е). На фиг. 76, д приведен профиль зуба без ленточек, применяющийся в настоящее время на ЧТЗ.*

Чистовые шлицевые и круглые зубья имеют подъем на каждый зуб. Выкружки для разделения стружки наносятся на них в тех



Фиг. 77. Расположение выкружек на чистовых зубьях шлицевой протяжки:

а — на шлицевых зубьях; б — на круглых зубьях.

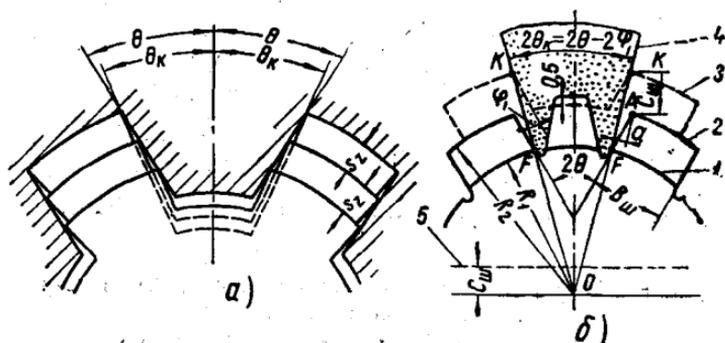
случаях, когда ширина среза препятствует хорошему стружкообразованию. Они наносятся в шахматном порядке через зуб (фиг. 77).

Основным недостатком шлицевых протяжек обычных конструкций (для прямобочных, эвольвентных и треугольных шлицевых отверстий) является наличие большого количества поверхностей с нулевыми задними углами. На Челябинском тракторном заводе шлицевые протяжки изготавливаются таким образом, что все режущие кромки — главные и вспомогательные — имеют вспомогательные задние углы и вспомогательные углы в плане больше 0° . Это достигается шлифованием профиля с поднятием заднего хвостовика протяжки по отношению к переднему. Искажение профиля зубьев корректируется расчетным путем. Некоторое усложнение расчета протяжки вполне окупается, так как снижается трудоемкость изготовления протяжек, а главное, значительно повышается их стойкость. Качество протянутых такими протяжками деталей значительно улучшается.

Шлифование протяжек с поднятым задним хвостовиком не является новым. Принципиально новым элементом в расчете про-

* Автор конструкции В. М. Голованов.

филя протяжек, применяемых на ЧТЗ, является то, что величина подъема заднего хвостовика рассчитывается в зависимости от заранее назначенной величины вспомогательного угла в плане. Получающиеся при этом значения подъема заднего хвостовика на многого превышают обычно принятые. Если подъем на длине режущей части составляет 0,03—0,06 мм, а при шлифовании фасочных зубьев доходит до 2,0—2,5 мм. Схема формирования профиля шлицевого паза зубьями протяжки, имеющими вспомогательный угол в плане, показана на фиг. 78, а. Величина этого угла на зубьях, образующих прямобочный профиль, находится в пределах $\varphi_1 = 2 \div 3^\circ$. Ширина шлицевых зубьев (на вершинах) на всей длине черновой части постоянна.



Фиг. 78. Схемы (а) формирования профиля прямобочного шлицевого паза зубьями протяжки с вспомогательным углом в плане φ_1 ; (б) схема корректирования профиля круга:

1 — первый шлицевый черновой зуб; 2 — последний шлицевый черновой зуб до поднятия заднего хвостовика в первом положении; 3 — последний шлицевый черновой зуб после поднятия заднего хвостовика — во втором положении; 4 — шлифовальный круг; 5 — положение оси последнего чернового шлицевого зуба после поднятия заднего хвостовика; R_1 — радиус первого чернового шлицевого зуба; R_2 — радиус последнего чернового шлицевого зуба.

Колебание диаметров и шага зубьев при изготовлении и эксплуатации на ширине вершин зубьев практически не сказывается.

На чистовых зубьях вследствие изменения подъема и на калибрующих зубьях в связи с отсутствием его ширина вершины зубьев уменьшается на несколько микрон. Это не имеет значения потому, что там, где работают эти зубья (у самой вершины шлицевого паза), ГОСТ предусматривает радиус закругления, равный 0,2—1,2 мм.

Высота микронеровностей, образуемых при таком формировании профиля боковой поверхности шлицев, как это показывают расчеты, находится в пределах 6—8 класса чистоты при самых больших значениях φ_1 и s_2 . Измерения фактической чистоты боковых поверхностей шлицевых пазов, протянутых такими протяжками, показали, что она на один класс выше, чем у деталей, протянутых протяжкой, имеющей ленточки на боковых сторонах

зубьев. Это объясняется тем, что уголки зубьев по виду в плане всегда имеют некоторое округление.

Принципиальная схема получения профиля зубьев с вспомогательным углом в плане приведена на фиг. 78, б. На схеме показаны два положения первого и последнего обдирочных зубьев при шлифовании протяжки, а также скорректированный профиль шлифовального круга. В первом положении ось протяжки горизонтальна (параллельна ходу стола), шлифовальный круг с откорректированным профилем может обеспечить размер $V_{ш}$ только у первого зуба. Размер по вершинам последнего зуба получился бы больше на величину $2a$.

Для получения размера $V_{ш}$ на последнем зубе этот зуб необходимо переместить вверх так, чтобы точка A коснулась круга в сечении $K-K$, в котором толщина круга больше, чем в сечении $F-F$ на величину $2a$ (приблизленно). Практически это и осуществляется поднятием оси последнего черного зуба относительно первого на величину $S_{ш}$. При этом на боковых сторонах профиля будет получен вспомогательный угол в плане φ_1 . Угол профиля шлифовального круга

$$2Q_k = 2\Theta - 2\varphi_1,$$

где Θ — половина угла профиля шлицевых выступов детали.

Так как при поднятии заднего хвостовика шлифовальный круг может срезать поверхность впадин, по периферии его делается выборка глубиной $S_{ш} + 0,5$ мм, образующая по краям два усика.

Этот способ шлифования позволяет ликвидировать операцию поднутрения боковых сторон шлицевых зубьев, требующую большого внимания и напряжения зрения шлифовщика. Указанный способ применяется также при проектировании и изготовлении шлицевых протяжек с эвольвентным и треугольным профилем и при шлифовании фасочных зубьев.

Расчетные формулы, необходимые для корректирования профиля, приведены в главе VII.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТЯЖЕК ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ

1. ДОВОДКА ЗАДНЕЙ ГРАНИ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК

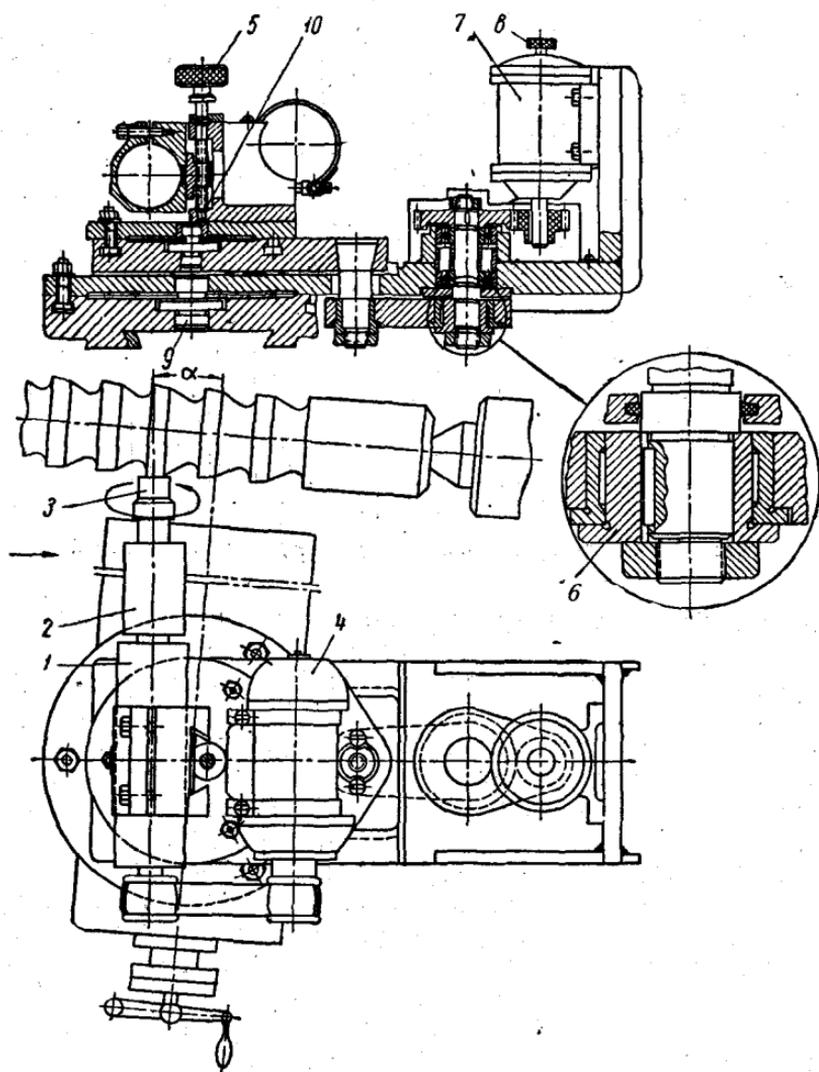
Качество поверхности задней грани зубьев оказывает значительное влияние на стойкость протяжек. На ЧТЗ применяется доводка задней грани, что способствует достижению высокой чистоты поверхности и точных размеров протяжек. Доводка производится на токарном станке при помощи чугуных и деревянных притиров чашечной формы и специального приспособления. Приспособление для доводки устанавливается на суппорте станка под углом α и приводится в действие двумя электродвигателями (фиг. 79).

Электродвигатель 4 приводит во вращение шпиндель 1 со скоростью 2000 об/мин. На конце шпинделя укреплен пружинный патрон 2, в который вставлен притир 3. Расположение оси шпинделя по высоте можно регулировать при помощи вертикального винта 5. При этом головка со шпинделем перемещается по салазкам. Помимо вращательного движения, притир совершает осциллирующие движения вдоль образующей задней грани зуба. Осциллирующие движения притир получает от электродвигателя 7 через пару шестерен и эксцентрик 6. Число осциллирующих движений в минуту равно 400—600. За счет изготовления эксцентриков с разной величиной эксцентриситета (от 0,25 до 2,5 мм) можно изменять амплитуду колебаний от 0,5 до 5 мм.

Установка головки в крайнее положение производится вручную при помощи маховика 8. Головка вместе с кронштейном может поворачиваться вокруг оси 10 на угол 210° . Кроме того, доводочная головка может быть повернута вокруг оси 9 на угол 360° .

Устройство пружинного патрона показано на фиг. 80. Притир 1 плотно входит в гильзу 2. Пружина 3 сообщает притиру давление на зуб протяжки во время работы. Процесс доводки осуществляется следующим образом. Протяжка, установленная в центрах станка, вращается с постоянной скоростью, равной 3—7 м/мин.

Для круглых протяжек применяются большие скорости, для шлицевых — меньшие. При установке плоскость торца притира должна составлять с осью протяжки угол, равный по величине заднему углу протяжки, т. е. плоскость торца притира должна быть параллельна задней грани зуба протяжки.

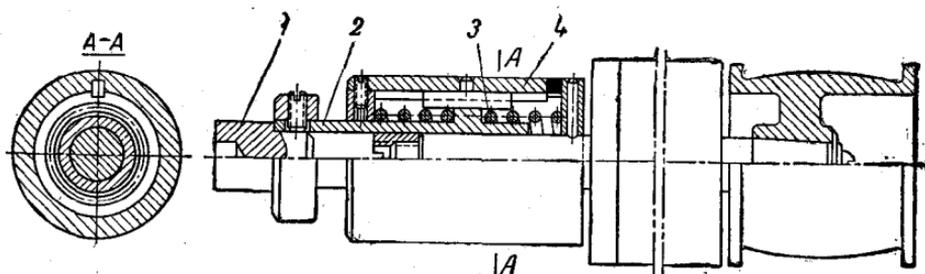


Фиг. 79. Схема приспособления для доводки задних граней.

Процесс доводки разделяется на черновую доводку (в размер) и чистовую доводку (для чистоты). Черновая доводка производится чугуном притиром с помощью пасты карбида бора зернистостью 320. При подводе притира к зубьям протяжки ему сооб-

щается небольшой натяг. Торец притира должен быть хорошо заправлен абразивным бруском. По высоте притир устанавливается так, чтобы ось вращения его была ниже линии центров станка на половину диаметра отверстия притира. Припуск на доводку равен 0,015—0,03 мм. При черновой доводке протяжек следует учитывать, что при последующей чистовой доводке может быть снято еще дополнительно 0,002—0,003 мм (на диаметр).

Чистовая доводка производится деревянным притиром с пастой окиси хрома М7. Торец притира заправляется напильником и абразивным бруском. Притир устанавливается так же, как и для черновой доводки. Наиболее чистая поверхность может быть получена в том случае, когда перед окончанием доводки на до-



Фиг. 80. Схема пружинного патрона — держателя притира.

водимую поверхность не добавляют свежей пасты и доводка завершается уже приработанной пастой. При помощи доводки легко выдерживают размер зубьев с точностью более 0,005 мм. Это имеет большое значение для калибрующих зубьев протяжек переменного резания, не имеющих цилиндрических ленточек.

Во время доводки следует периодически заправлять торцовую поверхность притира. В процессе работы эта поверхность значительно изнашивается (вырабатывается), в результате чего задняя грань получает два дефекта — завал и бочковидную форму. Оба дефекта вредно отражаются на работе протяжек, поэтому нужно своевременно устранять люфты суппорта и править притир.

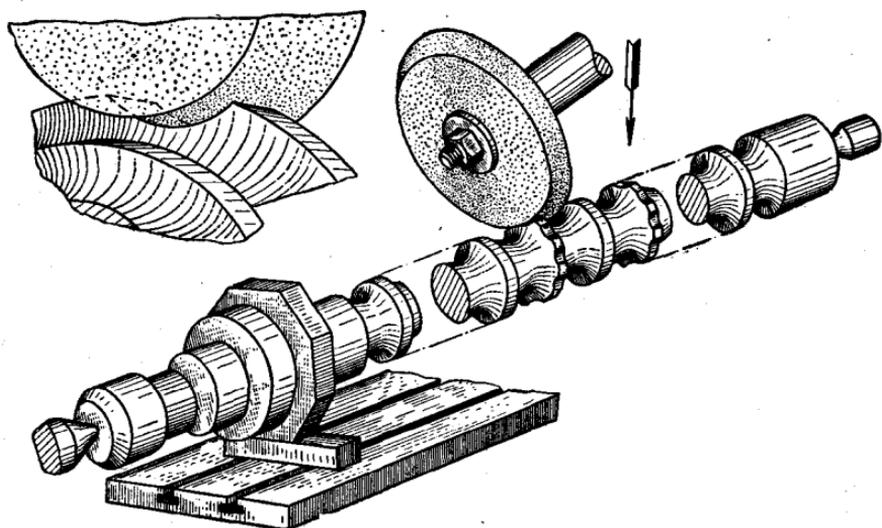
Черновая и чистовая доводка нетрудоемка. Так, на черновую доводку круглой протяжки диаметром 50 мм с сорока четырьмя зубьями затрачивается 1,5 час., на чистовую доводку шести чистовых и пяти калибровочных зубьев ее — 35 мин.

Внедрение доводки значительно упростило операцию окончательного шлифования протяжек — отпала надобность в соблюдении жесткого допуска. В настоящее время все зубья круглых и шлицевых протяжек шлифуются с припуском под доводку 0,02—0,03 мм. Это облегчает труд шлифовщиков, дает возможность высвободить часть из них и использовать на операции шлифования менее квалифицированных рабочих, чем это было раньше.

Очень важно, что доводке могут подвергаться протяжки, имеющие относительно большое биение на центрах (до 0,1—0,2 мм). При этом сохраняется правильная цилиндрическая форма зуба и обеспечивается требуемый размер. Доводка может применяться и для уменьшения размера протяжек в тех случаях, когда они по каким-либо причинам разбивают отверстие.

2. ОБРАБОТКА ВЫКРУЖЕК НА ЗУБЬЯХ КРУГЛЫХ ПРОТЯЖЕК

Выкружки на зубьях шлифуются на заточных станках после окончательного шлифования и доводки зубьев по диаметру, но перед их окончательной заточкой по передней грани. Для нанесения выкружек пользуются делительной головкой или многогранником.



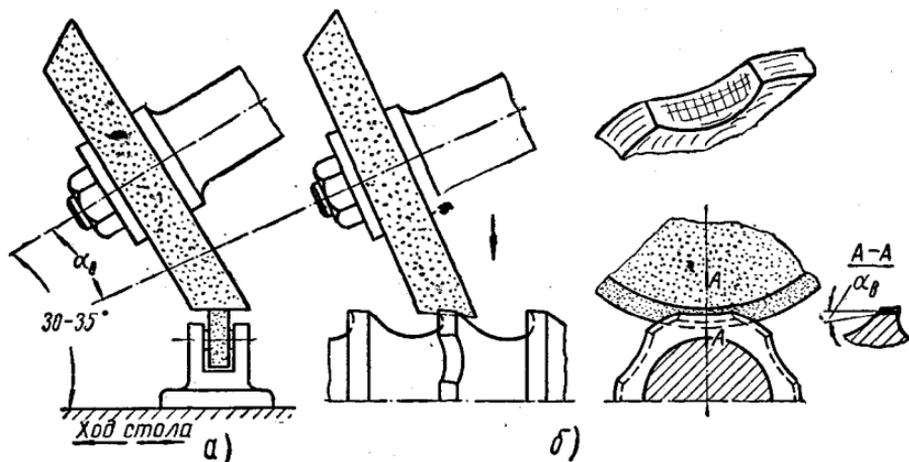
Фиг. 81. Применение многогранника для обработки выкружек на универсально-заточном станке.

Схема установки для шлифования выкружки на универсально-заточном станке с помощью многогранника показана на фиг. 81. Схема шлифования выкружек на круглой протяжке с двумя зубьями в секции показана на фиг. 82.

Шлифование выкружек и образование на них заднего угла для двухзубой секции круглой протяжки производится шлифовальным кругом за один проход без предварительной обработки выкружек. Во избежание отпуска закаленной стали (прижогов) работа ведется с небольшой подачей пористыми кругами из белого электрокорунда твердостью СМ1—СМ2, зернистостью 46—60, на керамической связке.

Новатор-шлифовщик инструментального цеха Н. В. Глазычев добился высокой производительности на операции шлифования

выкружек, применив круги с прорезанными на них канавками (фиг. 83). Как показывает опыт работы Н. В. Глазычева и других шлифовщиков, такие круги достаточно прочны при эксплуатации и позволяют значительно увеличить подачу без опасности прижечь, т. е. отпустить режущие лезвия зубьев. Диаметр абразивного круга выбирается в зависимости от требуемой глубины и ширины выкружки, для чего на чертеже протяжки должен быть указан радиус выкружки и ее ширина. Обработка выкружки кругом, радиус которого значительно больше радиуса, указанного на чертеже, приведет к тому, что в процессе резания будет участвовать дно выкружки. Иными словами, глубина выкружки окажется меньше,



Фиг. 82. Схема шлифования выкружек с образованием вспомогательного заднего угла:

а — правка круга; б — шлифование выкружек.

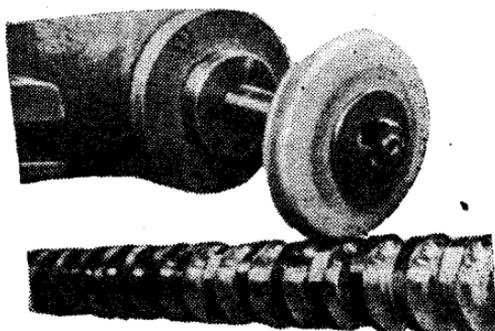
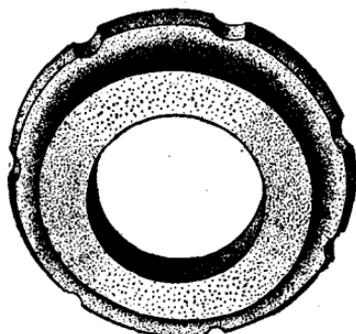
чем подъем на секцию, и при резании будет образовываться кольцевая стружка.

Шпиндель с абразивным кругом устанавливается в одной вертикальной плоскости с осью центров станка и поворачивается к ней под углом $30-35^\circ$ (см. фиг. 82). Правка абразивного круга производится шарошкой из черного карбида кремния. После правки положение шпинделя изменяется для получения на выкружке заднего угла.

Врезанием абразивного круга сверху (фиг. 84) наносятся выкружки на всех указанных на чертеже зубьях протяжки при неизменном положении самой протяжки. После нанесения ряда выкружек вдоль всей протяжки производится поворот протяжки на требуемый угол (деление), и наносится новый ряд выкружек. Ширина выкружек контролируется штангенциркулем; глубина ее обеспечивается технологически при работе кругом, радиус которого не больше радиуса, указанного на чертеже протяжки. Для протяжек с числом зубьев в секции больше двух, когда они имеют

слишком глубокие или широкие выкружки, применяют предварительную обработку выкружек, чтобы облегчить последующее их шлифование.

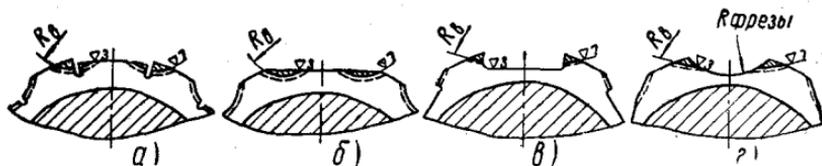
Для разделения стружки не требуется, чтобы выкружки имели форму, полностью соответствующую форме, показанной на фиг. 69, б, в, г. Также не требуется, чтобы весь профиль выкружки



Фиг. 83. Шлифовальный круг с прорезанными продольными канавками для шлифования выкружек.

Фиг. 84. Шлифование выкружек на заточном станке.

на всем протяжении ее был прошлифован. Нужно лишь, чтобы глубина выкружки была в несколько раз больше подъема на зуб и чтобы те небольшие участки профиля ее, которые сопрягаются с главными режущими кромками, были прошлифованы и снабжены задним углом. На фиг. 85 показаны применяющиеся на ЧТЗ формы исполнения широких выкружек, которые позволяют резко умень-



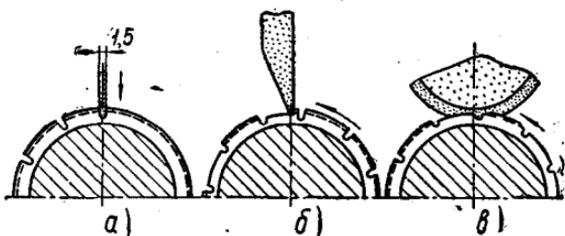
Фиг. 85. Схемы технологического уменьшения глубины выкружек.

шить слой, подлежащий снятию при шлифовании. Форма зуба, показанная на фиг. 85, б, применяется в случае протягивания с сравнительно небольшими подачами. До термической обработки пальцевой, дисковой или угловой фрезой на зубе образуются плоские лыски. После того как протяжка пройдет термическую обработку, заточку, шлифовку и доводку, на заточном станке на края лыски абразивным кругом наносятся такие же выкружки, как и на двухзубых секциях. Средняя часть лыски после фрезерования дополнительной обработке не подвергается.

Зубья с выкружками (фиг. 85, в, г) фрезеруются дисковой, фа-

сонной или угловой фрезами. Глубина канавок назначается несколько большей, чем она получилась бы при шлифовании кругом с радиусом R_0 . Окончательная шлифовка выкружек выполняется, как и в предыдущем случае, на заточном станке абразивными кругами возможно большего диаметра, так как при этом сошлифовывается минимальное количество металла по уголкам (на фиг. 85 заштрихованы).

На фиг. 85, а приведен пример такого оформления выкружки, которое позволяет производить предварительную обработку ее



Фиг. 86. Обработка мелких широких выкружек после термической обработки протяжек (при числе зубьев в секции больше двух).

до и после термической обработки. В последнем случае выкружка полностью обрабатывается на заточном станке за три перехода.

Первый переход — разметка и прорезка отрезным кругом канавок, разделяющих режущие секторы и выкружки (фиг. 86, а). На шпиндель станка устанавливается круг размером $150 \times 1,5 \times 32$ мм зернистостью 60, твердостью СТ1, на вулканитовой связке. С его помощью производится разметка границ выкружек. При этом оставляется небольшой запас по ширине, равный 2—3 мм на сторону выкружки. По этим меткам размечаются все одинаковые по расположению выкружек зубья протяжки. Подобным образом размечаются выкружки на остальных режущих зубьях секции.

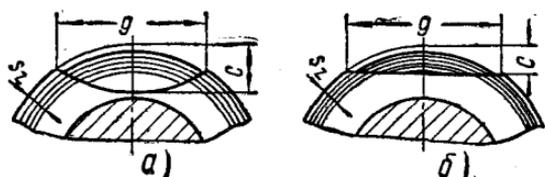
Второй переход — срезание металла в выкружке шлифовальным тарелочным кругом из электрокорунда белого зернистостью 46, твердостью СМ1—СМ2, на керамической связке. Круг врезанием вводится в одну из канавок, прорезанных отрезным кругом на глубину не менее 1 мм, и поворотом вокруг оси протяжки, установленной в центрах станка, выбирается слой металла до выхода круга в следующую канавку (фиг. 86, б). Прорезка канавок и снятие металла производится интенсивно на большой подаче, так как зоны отпуска (прижога), которые могут при этом возникнуть, расположены далеко от режущей кромки.

Третий переход — окончательная обработка выкружек под задний угол. Эта операция выполняется плоским кругом, заправленным и установленным так, как это показано на фиг. 82. Круг врезанием вводится в середину выкружки, не доходя до дна ее на 0,1—0,3 мм. После этого, покачивая рукой протяжку вокруг ее оси до соприкосновения углов режущих секторов и абразивного круга, шлифуют выкружки до получения ширины, требуемой по чертежу (фиг. 86, в). Обработка ведется мягкими кругами на режимах, исключая возникновение прижогов.

Возможны и другие схемы обработки выкружек. Способ обработки выкружек следует выбирать в каждом отдельном случае, учитывая характер производства, наличие необходимого оборудования, инструмента и т. д.

Схема обработки выкружек на прямоугольных и эвольвентных шлицевых зубьях протяжек аналогична обработке их на зубьях круглых протяжек и до-

полнительных пояснений не требует. Трудоемкость шлифования выкружек шлицевых протяжек значительно ниже трудоемкости шлифования их на круглых протяжках в связи с небольшим съемом металла



Фиг. 87. Замена выкружки лыской на протяжке с многогранной схемой резания.

только по уголкам шлицевых зубьев. Придание выкружкам технологически легко исполнимой формы позволило инструментальному цеху ЧТЗ добиться высокой производительности труда на этих операциях. Сравнение трудоемкости выполнения этих операций на заводах ГАЗ, ЗИЛ и ЧТЗ показывает, что при одинаковом качестве выполнения на ЧТЗ затрачивается времени в 2—3 раза меньше.

НИИТАвтопром сделал попытку создать новую схему резания, которая описана в литературе под названием многогранной [17]. Протяжки с многогранной схемой резания представляют собой протяжки переменного резания (фиг. 87, а), на черновых зубьях которых выкружки заменены плоскими лысками (фиг. 87, б). Многогранная схема предлагается ее авторами для применения на круглых протяжках только с большим числом зубьев в секции — четырьмя и пятью и на шлицевых только с числом шлицев (по окружности) $n = 4$ и при диаметре отверстий свыше 30 мм для $n = 6$. Такая узкая область применения многогранной схемы объясняется тем, что при малой ширине лысок (размер g) не обеспечивается нормальное разделение стружек. При замене выкружек лысками резко уменьшается величина просвета C , которая ограничивает допустимую толщину стружки (подачу).

Предложение применять лыски вместо выкружек имело целью избавить протяжки от приписываемых выкружкам недостатков. Последние, по мнению автора работы [17], заключаются в том, что в одних случаях выкружки мелкие, в других случаях слишком глубоки и широки. На самом деле этих недостатков нет. Они появляются только при неправильном назначении размеров выкружек или при плохо разработанной технологии нанесения их. При использовании рекомендаций по определению размеров выкружек, приведенных в приложении 20, можно правильно выбрать требуемую глубину выкружек. Следует отметить, что если выкружка

окажется мелкой, то применение лыски здесь не только не исправит, но даже ухудшит положение.

В работе [17] указывается, что недостатком широких и глубоких выкружек является большая трудоемкость шлифования и необходимость предварительного фрезерования их для того, чтобы избежать прижогов. Предварительное фрезерование рассматривается как усложнение технологии изготовления протяжек. Как это видно из данных работы [17, см. табл. 30], ширина плоских лысок во многих случаях гораздо больше ширины выкружек. В связи с тем, что шлифование таких лысок не менее трудоемко, чем шлифование выкружек, и может сопровождаться прижогами, авторы многогранной схемы резания рекомендуют предварительно фрезеровать лыски. Таким образом, выполнение плоских лысок не имеет преимуществ перед выполнением выкружек.

Применение плоских лысок не ново. При разработке конструкций протяжек переменного резания на Челябинском тракторном заводе использовались протяжки с плоскими лысками, снабженные задним углом [28]. Они применяются и до сих пор в качестве переходного элемента для предварительной подготовки широких выкружек фрезерованием (см. фиг. 85, б). Так же обстоит дело и с предложением НИИТАвтопрома о замене выкружек лысками на шлицевых протяжках. Неправильными являются указания в работе [17] о том, что при большом числе шлицев невозможно выполнять выкружку с глубиной, достаточной для разделения стружки при больших подачах. На Уральском автомобильном заводе на протяжке диаметром 38 мм с числом шлицев $n = 16$ наносятся выкружки абразивным кругом, имеющим диаметр 26 мм. При этом глубина выкружки (в пределах шлицевого выступа зуба) больше чем вдвое превосходит величину подачи. В методике расчета шлицевых протяжек (см. стр. 168) даны формулы для определения радиусов выкружки и круга для нанесения выкружки на протяжках такого типа.

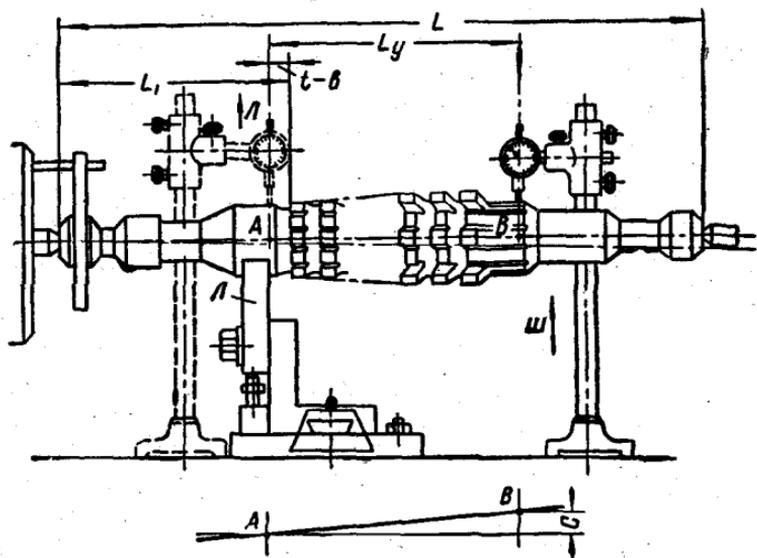
Протяжки с многогранной схемой резания, предложенные НИИТАвтопромом, должны иметь на черновых зубьях плоские лыски, а на переходных и чистовых — выкружки, так как эти зубья имеют два или один зуб в секции. Поэтому при их изготовлении вместо упрощения технологии, о котором говорится в работе [17], фактически наблюдается усложнение. Применять протяжки с многогранной схемой резания не рекомендуется.

8. ШЛИФОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ШЛИЦЕВЫХ И ФАСОЧНЫХ ЗУБЬЕВ С ПОДЪЕМОМ ЗАДНЕГО ХВОСТОВИКА ПРОТЯЖКИ

Перед шлифованием профиля протяжки должны быть предварительно заточены и прошлифованы по наружному диаметру. Протяжки с прямобочными шлицами шлифуются по наружным диаметрам зубьев с припуском под доводку (0,01—0,02 мм) и по всем эле-

ментам хвостовиков и направляющих в окончательный размер. Эвольвентные и елочные протяжки предварительно шлифуются по наружным диаметрам зубьев, чистовое шлифование производится после шлифования профиля.

Одной из особенностей операции шлифования профиля является установка протяжки на шлицшлифовальном станке. Перед установкой измеряются диаметры передней $D_{\text{пн}}$ и задней $D_{\text{зн}}$ направляющих и определяется разница этих диаметров. Затем производится подъем центра задней бабки. Подъем задней направляющей относительно передней на расстояние L определяется с помощью индикаторной головки на стойке (фиг. 88). Величина подъема указывается на чертеже. Так как измерение его производится



Фиг. 88. Схема установки протяжки с подъемом заднего хвостовика на шлицшлифовальном станке.

от поверхностей направляющих, размеры которых могут быть разными, фактическая величина подъема будет

$$П = C + \frac{D_{\text{зн}} - D_{\text{пн}}}{2} \text{ мм,}$$

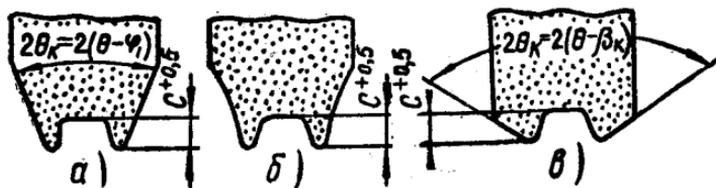
где C — подъем, указанный на чертеже.

Чтобы протяжка не провисала, при установке ее специально деформируют, образуя небольшой прогиб ее вверх. Это достигается с помощью поджима люнетом L на 0,1—0,2 мм в направлении, показанном стрелкой L . Для компенсации этого прогиба задняя направляющая поднимается по стрелке $Ш$ не на рассчитанную величину $П$, а на величину больше ее на 0,1—0,2 мм.

Каждая часть протяжки — фасочная и шлицевая — шлифуется отдельно, со своим подъемом хвостовика.

Шлифование профиля шлицевых зубьев фасонным кругом

Для шлифования профиля шлицевых зубьев круг заправляется с помощью специальных приспособлений симметрично с обеих сторон: на конус — для прямобочных шлицев и по дугам окружности — для эвольвентных. По периферии у круга делается выборка (фиг. 89), глубина которой назначается так, чтобы круг не срезал



Фиг. 89. Профили шлифовальных кругов для обработки зубьев шлицевых протяжек с подъемом заднего хвостовика:
а — прямобочных; б — эвольвентных; в — фасочных.

поверхности впадин. Последняя шлифуется отдельно, после шлифования боковых сторон профиля. Глубина выборки и размеры усиков даются на чертеже (или указываются технологом). Контроль размеров шлицевых зубьев по ширине производится так же, как и на протяжках с ленточками, — микрометром.

Шлифование профиля фасочных зубьев

Шлифование профиля фасочных зубьев производится после обработки шлицевых зубьев и может выполняться двумя способами — периферией шлифовального круга, отдельно по каждой стороне профиля, и с помощью фасонного круга (фиг. 90). При вто-



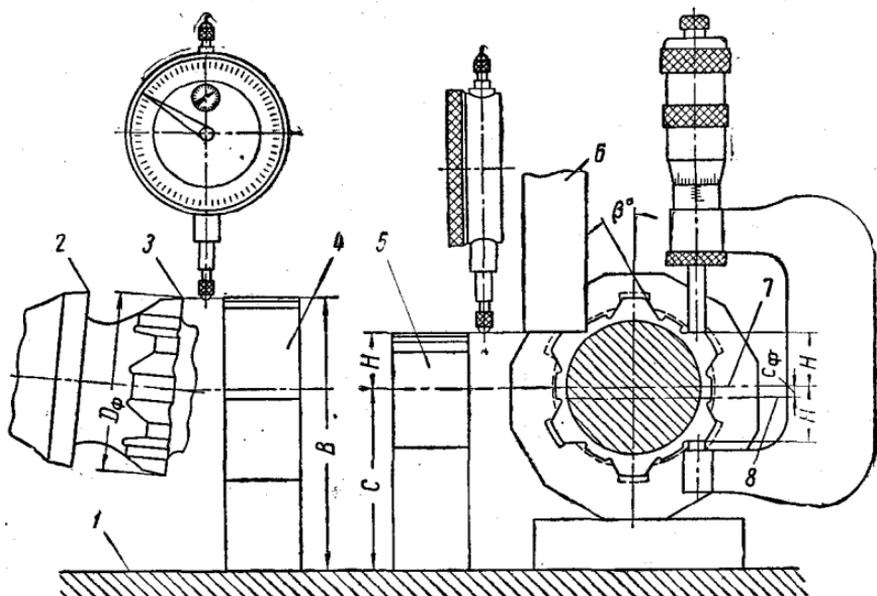
Фиг. 90. Шлифование боковых сторон фасочных зубьев:

а — периферией круга; б — фасонным кругом;
 H — размер на последнем фасочном зубе.

(фиг. 91). Измерение микрометром значительно удобнее и производительнее. Для этого измерения угол β_k наклона боковой стороны профиля фасочного зуба к оси симметрии выполняется независимо от величины угла фаски на детали:

Число шлицев n	4—8—16	5—10—20	6—12—24
Угол β_k	45°	36°	30°

Чтобы обеспечить заданный чертежом угол фасок на детали, при шлифовании профиля поднимается задний хвостовик (см. стр. 171—172). Шлифование боковых сторон фасочных зубьев выполняется после подъема заднего хвостовика и установки положения шлицев. Установка производится с выверкой по индикатору на параллельность двух диаметрально противоположных шлицев плоскости стола с точностью до 0,01 мм. Такая установка протяжки обеспечивает симметричность расположения фасочных зубьев относительно шлицевых.



Фиг. 91. Схема контроля размеров фасочных зубьев:

1 — стол станка; 2 — первый круглый зуб; 3 — последний фасочный зуб; 4, 5 — наборы мерных плиток; 6 — шлифовальный круг; 7 и 8 — оси последнего и первого фасочных зубьев.

Контроль размеров фасочных зубьев

Измерение размера $2H$ фасочных зубьев при шлифовании профилированным кругом удобнее производить микрометром. При шлифовании периферией круга сначала размер H контролируется с помощью индикатора и набора мерных плиток (см. фиг. 91).

Установка индикатора для проверки размера H при шлифовании боковых сторон фасочных зубьев шлицевых протяжек производится следующим образом. Определяется фактическая высота от стола до оси последнего фасочного зуба (размер C), для чего измеряется фактический диаметр последнего фасочного зуба D_{ϕ} и размер B , т. е. расстояние от верхней точки зуба до плоскости стола. Измерение размера B осуществляется при помощи индикатора и набора плиток, после чего определяется размер C . Шлифо-

вание выполняется периферией круга на проход при продольной подаче стола до размера $C + H$. Установка на размер $C + H$ на первой стороне фасочного зуба производится с помощью индикатора и набора плиток.

Когда одна сторона всех фасочных зубьев шлифована в размер по индикатору, круг переводится на другую сторону протяжки, и шлифуется вторая сторона зубьев на размер $2H$, который можно проверять микрометром (фиг. 91, справа).

4. ЗАТОЧКА ПРОТЯЖЕК

От точного выполнения переднего угла в значительной мере зависит качество работы протяжек. Требуемая величина переднего угла определяется подбором диаметра шлифовального круга, правильной заправкой круга и его положением на станке — углом β наклона оси шпинделя к оси центров станка.

Диаметр шлифовального круга подбирается таким образом, чтобы в точке A круга с наибольшим диаметром радиус кривизны передней поверхности был больше радиуса круга в этой же точке. Это обеспечит получение требуемого переднего угла без врезания в переднюю грань протяжки при входе и выходе шлифовального круга.

Пользуясь формулой И. Г. Пархиловского [29], выведенной для схемы заточки, показанной на фиг. 92, Б. Ф. Еремин разработал таблицы для определения диаметра шлифовального круга для заточки круглых и шлицевых протяжек в зависимости от величины переднего угла, диаметра затачиваемой протяжки и угла установки шпинделя заточного станка

$$D_a = \frac{D_{np} \cdot 0,85 \sin(\beta_s - \gamma)}{\sin \gamma},$$

где D_a — диаметр шлифовального круга, мм;

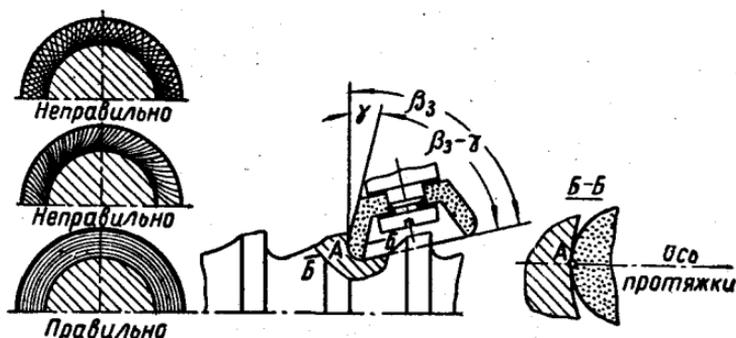
D_{np} — диаметр первого зуба протяжки, мм;

β_s — угол установки шпинделя, т. е. угол между осью затачиваемой протяжки и осью шпинделя заточного станка.

В приложении 8 приведены диаметры шлифовальных кругов, подсчитанные по этой формуле. На практике установка на шпиндель станка шлифовальных кругов диаметром меньше 30 мм затруднительна, поэтому в приложении 8 диаметры менее 30 мм отделены от больших. Для протяжек малого диаметра, когда диаметр шлифовального круга обычно оказывается меньше 30 мм, подбор его в каждом конкретном случае следует решать отдельно. В формуле (34) величина $D_{np} \cdot 0,85$ соответствует внутреннему диаметру протяжки, поэтому для уточненного расчета в случае малых диаметров протяжек и больших значений переднего угла эту величину следует заменять внутренним диаметром конкретной затачиваемой протяжки.

Применение чашечных шлифовальных кругов позволяет увеличить угол установки шпинделя β_3 , а значит, и допустимый диаметр шлифовального круга.

При конструировании протяжек следует учитывать возможность практического получения требуемых передних углов. Практикой эксплуатации протяжек установлено, что причиной большого количества поломок являются неправильно назначенные и неправильно выполненные передние углы. Окончательная заточка передних граней производится мелкозернистым кругом и имеет своей целью получение острой, ровной (без зазубрин) режущей кромки и высокой чистоты поверхности передней грани для облегчения стружкообразования. Самое высокое качество протянутой поверх-



Фиг. 92. Заточка переднего угла.

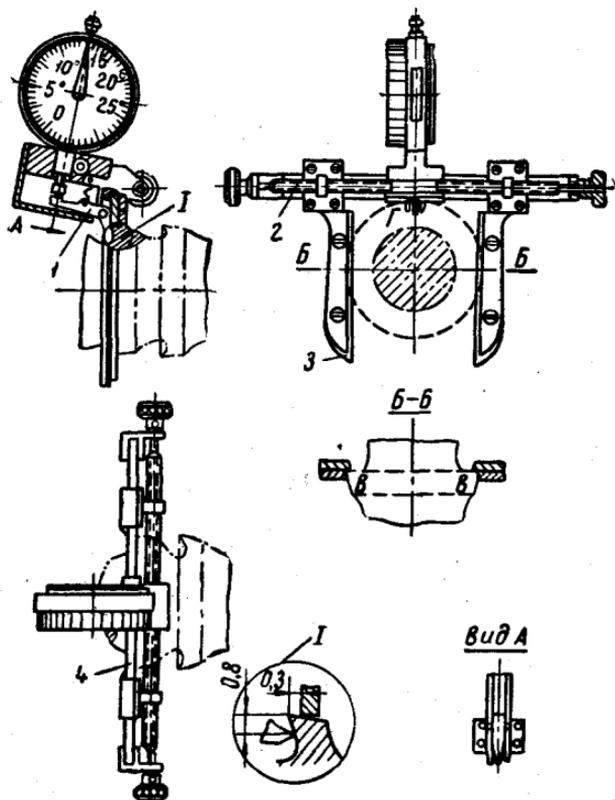
ности может обеспечить только такая протяжка, у которой рёжки от шлифовального круга на передней грани располагаются концентрично и не пересекаются с режущей кромкой. Это условие соблюдается, если применять круги, максимальный диаметр которых несколько меньше диаметра, подсчитанного по формуле И. Г. Пархиловского. Это же условие необходимо соблюдать при последующих переточках протяжек. При окончательной заточке следует снимать шлифовальным кругом тонкий слой по передней грани, т. е. производить зачистку ее во избежание получения ступеней. На фиг. 92 показано неправильное и правильное расположение рисок от шлифовального круга на передней грани зуба

5. КОНТРОЛЬ ПЕРЕДНЕГО УГЛА

Одним из условий надежной работы протяжек является соответствие фактически полученной при заточке величины переднего угла величине, заданной чертежом. Проверка переднего угла с помощью универсального угломера или различных специальных угломеров, замер которыми выполняется на просвет, не дает надежных результатов. Передняя грань представляет собой конусную

поверхность, переходящую в криволинейную, поэтому измерять передний угол приходится на очень коротком участке, у самой режущей кромки. Из-за этого ошибка при измерении может быть значительной.

Более удобны в работе рычажно-индикаторные приборы. Однако большинством из них измерение переднего угла можно производить после установки протяжки в центрах. Использовать их для измерения величины γ на протяжках, находящихся в эксплу-



Фиг. 93. Схема прибора для измерения переднего угла.

атации непосредственно у протяжного станка, не представляется возможным.

А. И. Репьевым и З. И. Поляковым сконструирован малогабаритный рычажно-индикаторный прибор, который при измерениях базируется непосредственно на главных режущих кромках одного зуба и поэтому не нуждается в каких-либо опорных стойках. В связи с этим нет надобности устанавливать протяжку в центрах. Замеры можно выполнять в любых условиях, в том числе и у протяжек, находящихся на вертикальных стеллажах-козлах, на ко-

торых они хранятся. В настоящее время прибор выпускается Челябинским инструментальным заводом.

Схема прибора приведена на фиг. 93. По линейке 4 с помощью винта 2 перемещаются губки 3. Базовые поверхности В губок находятся в одной плоскости с упорными концами 1 корпуса. Для измерения величины переднего угла прибор базовыми поверхностями губок В и плоскостями Г упорных концов накладывается на зуб со стороны передней грани. Линейка 4 накладывается на заднюю грань зуба на расстоянии 0,3—0,4 мм от режущей кромки. Это расстояние выбрано таким, чтобы образующийся в процессе заточки заусенец не мог упереться в нижнюю плоскость линейки и тем самым исказить размер. Рычаг 1, нижний упорный конец которого касается передней грани на расстоянии, равном 0,8 мм от главной режущей кромки, заставляет вращаться вокруг оси стрелку показывающего прибора — индикаторных часов. Винт 2 служит для симметричного сдвига обеих губок при установке прибора на зубе протяжки.

Тарирование (градуировка) производится с помощью кольцевых эталонов, имеющих геометрию зубьев протяжки. Передняя грань эталонов шлифована на внутренний конус, т. е. образует передний угол. Эталоны имеют значения переднего угла через пять градусов: 0; 5; 10; 20; 25°. Задняя грань, в которую упирается линейка, также имеет конус, равный 2°. Это среднее, наиболее часто встречающееся на внутренних протяжках значение заднего угла. Так как задний угол у круглых и многошлицевых протяжек лежит в пределах от 1 до 4°, то ошибка, вносимая таким образом, составляет от 6 до 24', что для определения переднего угла ничтожно мало.

ГЛАВА VII

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КРУГЛЫХ ПРОТЯЖЕК ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Приступая к расчету, конструктор должен иметь четкое представление о том, каким требованиям должна удовлетворять проектируемая протяжка. В зависимости от конкретных производственных условий требования бывают различными. В одних случаях требуется, чтобы протяжка имела возможно большую стойкость, в других, — чтобы она обеспечила наивысшую чистоту и точность, в третьих — нужно, чтобы протяжка имела наименьшую длину (иногда даже заранее ограниченную конкретным размером). Особенно большое значение имеет надежность работы протяжки на автоматической линии или на станках, настроенных на автоматический цикл. Протяжки, удовлетворяющие одним из этих требований, могут не удовлетворять другим. Например, протяжки для обработки особо чистых и точных отверстий должны иметь большое число чистовых зубьев с малыми и очень малыми подачами. Часто чистовая часть протяжки в этом случае оказывается длиннее черновой. Поэтому такие протяжки не могут быть короткими.

При использовании излагаемой ниже методики можно проектировать протяжки, удовлетворяющие различным требованиям. Однако в зависимости от конкретных производственных условий и требований, предъявляемых к детали, конструктор, используя рекомендации методики, может дополнять или изменять исходные величины, приведенные в таблицах. Так, в случае особо высоких требований к чистоте поверхности детали (например, 9 класс чистоты при протягивании стали) конструктор должен увеличить число чистовых зубьев по сравнению с числом зубьев, приведенным в соответствующей таблице, и не допускать больших подач на черновых зубьях, выбирая из просчитанных вариантов такой, в котором подачи на них будут наименьшими.

При проектировании протяжки для работы «по-черному» конструктор может отступить от условий равной стойкости, назначив

большие подачи на черновых зубьях, чтобы они скорее проникли под корку. Проектируя протяжки для автоматической линии, конструктор может с целью наиболее полного самовысвобождения стружки из канавок применять коэффициенты помещаемости больше рекомендуемых.

Исходными данными для проектирования протяжки являются: материал и твердость детали, размеры отверстия до и после протягивания, длина протягивания, классы точности и чистоты, а также другие технические требования к детали; характеристика станка (тип, модель, тяговое усилие и мощность привода, диапазон скоростей, длина хода штока, состояние, тип патрона); характер производства; степень автоматизации и механизации процесса.

1. Выбор материала протяжки. Проектирование протяжки начинается с выбора материала ее с учетом свойств обрабатываемого материала, вида протяжки, характера производства, точности и чистоты поверхности детали (приложение 2). Для стали, руководствуясь приложением 1, предварительно устанавливают, к какой группе обрабатываемости относится сталь заданной марки. Если стали заданной марки в приложении 1 нет, то она относится к той группе обрабатываемости, в которой находится марка стали, наиболее близкая к ней по химическому составу и твердости.

2. Выбор способа соединения тела протяжки и хвостовика (протяжка цельная, сварная или сборная с свертышем) и определение материала, типа и диаметра хвостовика. Все протяжки из стали ХВГ изготавливаются цельными, независимо от их диаметра. Протяжки же из быстрорежущей стали марок P9 и P18 должны изготавливаться цельными, когда их диаметр $D \leq 15$ мм; сварными с хвостовиком из стали 45X, если $D = 15-40$ мм; сварными или с свертышем из стали 45X, если $D > 40$ мм. Сварка хвостовика со стержнем протяжки производится по шейке на расстоянии 15—25 мм от начала переходного конуса.

Тип хвостовика выбирается в зависимости от вида патрона, имеющегося на протяжном станке. Размеры хвостовиков различных типов и допустимые ими усилия протягивания приведены в приложениях 13, 14, 15, 16, размеры свертышей — в приложении 17, центровых отверстий — в приложении 18.

Широкое применение быстросменных (быстродействующих) патронов упрощает изготовление хвостовиков протяжек и резко уменьшает вспомогательное время на закрепление и раскрепление протяжки в патроне.

Для того чтобы хвостовик свободно проходил через отверстие, предварительно подготовленное в детали, и чтобы он в то же время был достаточно прочным, диаметр его выбирают по таблицам ближайшим меньшим к диаметру отверстия детали до протягивания. Если выбранному диаметру хвостовика соответствует усилие протягивания, допустимое по условию его прочности, значительно большее, чем тяговое усилие станка Q , то диаметр хвостовика $D_{\text{хв}}$

можно уменьшать по конструктивным соображениям. В этом случае хвостовику принятого диаметра должно соответствовать $P_{\text{зо}}$ несколько большее, чем Q . В случаях протягивания отверстий малых диаметров, когда допустимое усилие протягивания $P_{\text{макс}}$ ограничивается прочностью хвостовика, рекомендуется изготавливать протяжки со специальным хвостовиком (не нормализованного диаметра). Величина его может быть в таких случаях всего лишь на несколько сотых миллиметра меньше диаметра переднего направления.

3. Выбор переднего и заднего углов. Передний угол γ (приложение 3) назначается в зависимости от обрабатываемого материала и вида зубьев (черновые и переходные, чистовые и калибрующие). При этом следует учитывать возможность практического получения требуемой величины переднего угла. В приложении 8 указаны наибольшие диаметры шлифовальных кругов, которыми может быть выполнен выбранный передний угол. Установка на шпиндель станка шлифовальных кругов диаметром меньше 30 мм затруднительна. Поэтому в приложении 8 такие диаметры отделены ступенчатой линией от больших значений.

Для протяжек малого диаметра, когда по расчету диаметр шлифовального круга получается меньше 30 мм, подбор его нужно вести в каждом конкретном случае с учетом следующего:

а) диаметр круга подсчитывают по формуле (34), заменив величину $D_{\text{пр}} \cdot 0,85$ значением диаметра протяжки по впадине перед первым зубом;

б) применив чашечный круг, можно увеличить угол установки шпинделя β_s , что даст возможность увеличить допустимый диаметр круга.

Если указанный в приложении 3 передний угол не удается выдержать при заточке, то величину его нужно уменьшить до практически выполнимой и в дальнейшем принимать для расчета усилия протягивания.

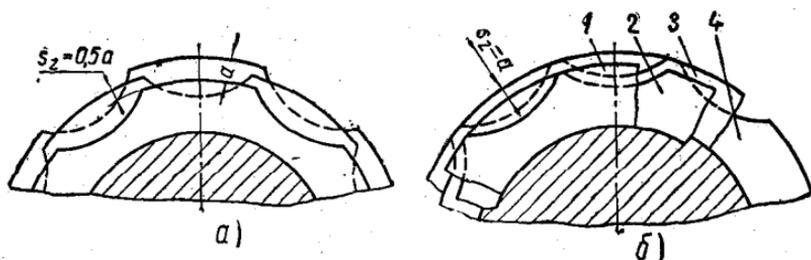
Для протяжек диаметром больше 50 мм проверку возможности выполнения принятого переднего угла заточкой обычно не производят.

Величина задних углов зубьев протяжки определяется по приложению 3 в зависимости от типа протяжки, класса точности обрабатываемой детали и вида зубьев.

4. Определение подъема s_{zc} на черновых зубьях по стойкости протяжки. Стойкость протяжки определяется стойкостью ее чистой части; стойкость черновой части должна быть равна или несколько больше, но ни в коем случае не меньше стойкости чистой части.

Обычно подъемы на зубьях чистой части составляют 0,01—0,02 мм на диаметр. Меньшие значения подъемов применяются редко из-за трудностей их выполнения и контроля. В связи с тем, что чистовая часть протяжек переменного резания имеет два типа

зубьев: первый — с подъемом на каждый зуб (фиг. 94, а) и второй — (фиг. 94, б) с подъемом на секцию из двух зубьев, при одном и том же подъеме на диаметр толщина среза получается разной. При подъеме на каждый зуб толщина среза равна удвоенной величине подъема на сторону, т. е. $a = 2s_z$. При секционном же построении зубьев она равна подъему, т. е. $a = s_z$. Таким образом, при подъеме на диаметр 0,01—0,02 мм на зубьях первого типа толщина среза, или фактическая подача, будет равна 0,01 и 0,02 мм, а на зубьях второго типа она будет 0,005 и 0,01 мм. Так как у зубьев с большим значением толщины среза стойкость меньше, то на них и нужно ориентироваться при определении стойкости протяжки. Поддачи, рекомендуемые для чистовых зубьев, указаны в приложении 4.



Фиг. 94. Толщина среза чистовой частью протяжки переменного резания:

а — на зубьях I типа, имеющих подъем на каждый зуб; б — на зубьях II типа, имеющих подъем на секцию зубьев; 1 — первый зуб секции; 2 — второй зуб секции; 3 — первый зуб следующей секции; 4 — второй зуб следующей секции.

Скорости резания в зависимости от свойств обрабатываемого металла, чистоты и точности обработки указаны в приложении 5. Возможность работы при данных скоростях резания должна быть проверена по характеристике станка. Если станок не имеет требуемой скорости, то для расчета принимают ближайшую меньшую имеющуюся в приложении 5 скорость резания. После этого по номограммам а приложения 6 определяется стойкость чистовой части протяжки. Если для конкретных условий эта стойкость окажется недостаточной, ее можно увеличить, снизив ранее выбранную скорость резания; в дальнейшем при определении подъема для черновых зубьев следует принимать эту, уменьшенную, скорость резания. Затем по стойкости, найденной для чистовых зубьев, и принятой скорости резания, руководствуясь номограммами б приложения 6, находят толщину среза черновых зубьев s_{zc} . В ряде случаев толщина среза на черновых зубьях, найденная по условию равной стойкости черновой и чистовой частей, оказывается больше толщины среза, допустимой другими ограничивающими факторами — тяговым усилием станка, помещаемостью стружки, прочностью протяжки, склонностью материала к образованию вырывов и рва-

нин. В этих случаях ее приходится снижать до наименьшей величины, допустимой этими факторами. При этом условие равной стойкости нарушается. Уменьшение толщины среза, найденной по стойкости черновых зубьев, приведет к увеличению их стойкости по сравнению со стойкостью чистовых зубьев. Так как стойкость последних при этом не изменяется, то стойкость протяжки также не изменится.

Во избежание глубоких рванин, почти неизбежных при протягивании мягких вязких сталей, не следует назначать на черновых зубьях больших подъемов, хотя последние и допускаются стойкостью. Поэтому полученная из условий равной стойкости толщина среза должна быть уменьшена в соответствии с рекомендациями для первой группы сталей приложения 6 (см. примечание к номограмме 1 б).

У протяжек, предназначенных для черновых операций, чистовые зубья иногда отсутствуют или могут срезать стружки толщиной больше чем 0,02 мм (см. номограммы а приложения 6). В таких случаях толщина среза для черновых зубьев принимается по номограммам б приложения 6. При этом задаются стойкостью, исходя из производственных соображений, а скорость резания принимают из приложения 5.

5. Определение глубины стружечной канавки, необходимой для размещения стружки при подаче s_{zc} , принятой по стойкости. При определении глубины стружечной канавки, достаточной для свободного размещения стружки, необходимо принимать коэффициенты помещаемости, приведенные в приложении 11. Если проектируется протяжка для материалов, дающих сливную стружку, надо пользоваться номограммой а, при проектировании же протяжки для материалов, дающих стружку надлома, — номограммой б. Так как в номограммах б связь между s_z , l , k и h основана на заполнении стружкой всей площади канавки, пользоваться этой номограммой можно только при назначении нормализованных профилей стружечных канавок, приведенных в приложении 10. По этому приложению выбирается профиль стружечной канавки, имеющей глубину, равную или ближайшую большую по сравнению с величинами, приведенными в приложении 11.

Для обеспечения достаточной жесткости протяжек, имеющих диаметр сечения по дну стружечной канавки меньше 40 мм, необходимо, чтобы глубина стружечной канавки не превышала величины

$$h \leq (0,2 \div 0,23)D_0. \quad (35)$$

Меньшее значение коэффициента в формуле (35) выбирается при $D_0 \leq 20$ мм.

Если глубина профиля окажется больше, чем это допускается формулой (35), ее нужно уменьшить до величины, удовлетворяющей условию формулы, и по приложению 10 подобрать профиль

с равной или ближайшей меньшей величиной h . В связи с этим следует проверить, не снизился ли коэффициент помещаемости до значений, меньших, чем рекомендуется в приложении 11. Если коэффициент снизился, то приходится уменьшать толщину среза, найденную в зависимости от стойкости, корректируя ее по приложению 11, но при новом значении глубины и по принятому коэффициенту помещаемости.

6. Определение шага t_0 и числа одновременно участвующих в работе черновых зубьев z_p . Шаг черновых зубьев выбирается по приложению 10 в зависимости от принятого профиля (см. предыдущий пункт). Так как одному профилю соответствует несколько значений шага, то берется меньший из них. Число одновременно участвующих в работе зубьев определяется по формуле (1).

При получении дробного числа оно округляется до ближайшего большего целого. Не рекомендуется проектировать протяжки с z_p меньше трех. Только в исключительных случаях (при очень малой длине протягивания и невозможности устанавливать детали пакетами) можно допускать $z_p = 2$.

Если по формуле (1) после округления z_p получится число меньше трех, то принимается $z_p = 3$, и определяется новое значение шага по формуле

$$t_0 \geq \frac{l_{\max}}{z_p} + 0,4 \text{ мм.} \quad (36)$$

Затем по приложению 10 принимается профиль с равным или ближайшим большим к найденному шагом. Для этого профиля находится наибольшая толщина среза, допустимая по помещаемости (см. приложение 11).

7. Определение максимально допустимой силы резания. Сила резания ограничивается тяговым усилием станка $P_{ст}$ или прочностью протяжки в опасных сечениях — по хвостовику $P_{хв}$ и по впадине перед первым зубом $P_{оп}$. Наименьшее из этих усилий должно приниматься в качестве максимально допустимой силы резания P_{\max} .

Значения $P_{ст}$, $P_{хв}$ и $P_{оп}$ определяются следующим образом. У протяжных станков в процессе эксплуатации уменьшается коэффициент полезного действия, поэтому паспортное тяговое усилие Q при расчетах приходится несколько уменьшать в зависимости от состояния станка. Расчетное тяговое усилие станка $P_{ст}$, учитывающее его состояние, обычно принимается $P_{ст} = (0,8 \div 0,9)Q$. Сила резания, допускаемая прочностью хвостовика на разрыв в сечении $A-A$ (см. приложения 13—16), определяется по формуле

$$P_{хв} = F_{хв} [\sigma]_p \text{ кг,}$$

где $F_{хв}$ — площадь опасного сечения, мм^2 .

Значения $[\sigma]_p$ в зависимости от материала хвостовика, $F_{хв}$ для хвостовиков нормализованных размеров и величины, допустимые

прочностью хвостовика на разрыв, максимальной силы резания даны в приложениях 13—17.

Сила резания, допустимая прочностью опасного сечения режущей части $P_{он}$, определяется из выражения

$$P_{он} = \frac{\pi D_{он}^3}{4} [\sigma]_p \text{ кг}, \quad (37)$$

где $D_{он}$ — диаметр опасного сечения, определяется по формуле

$$D_{он} = D_0 - 2h \text{ мм}. \quad (38)$$

Для ускорения расчета следует пользоваться приложением 12, с помощью которого по диаметру опасного сечения и принятому допускаемому напряжению $[\sigma]_p$ находят величину допустимого усилия $P_{он}$.

Для протяжек из стали, у которых диаметр опасного сечения превышает 40 мм, нет необходимости определять $P_{он}$. (Имеются в виду протяжки, работающие на станках с тяговым усилием не более 40 т). Для протяжек из стали Р9 и Р18 диаметром до 15 мм рекомендуется $[\sigma]_p = 40 \div 50 \text{ кг/мм}^2$, диаметром свыше 15 мм, $[\sigma]_p = 35 \div 40 \text{ кг/мм}^2$; для протяжек из стали ХВГ (все диаметры) $[\sigma]_p = 25 \text{ кг/мм}^2$.

В дальнейших расчетах принимается значение $P_{макс}$, наименьшее из трех найденных.

Проверка элементов хвостовиков на смятие производится лишь в отдельных случаях. Допускаемые напряжения при этом принимаются следующими:

Материал хвостовика	Р9 и Р18	ХВГ	40Х и 45Х
$[\sigma]_{см}, \text{ кг/мм}^2$	70	50	40

8. Определение числа зубьев в секции z_c и возможное корректирование толщины среза и числа одновременно участвующих в работе зубьев z_p по максимально допустимой силе резания. Число зубьев в секции z_c может изменяться от 2 до 5. Для определения такого z_c , при котором удовлетворяется требование $P_0 \leq P_{макс}$, решаем уравнение (22) относительно z_c , заменив силу P_0 силой $P_{макс}$,

$$z_c = \frac{\pi D q_0 z_p k_{мо} k_{рo} k_{охл}}{P_{макс}}, \quad (39)$$

где $q_0, k_{мо}, k_{рo}, k_{охл}$ — величины, указанные в приложении 7.

Охлаждение выбираем по приложению 5. Если $z_c < 2$, то дальнейшие расчеты ведутся по $z_c = 2$. Если z_c будет целым числом в пределах от 2 до 5, то оно и принимается для расчета. Если же z_c — дробное число больше 2, то принимаются два целых значения z_c — ближайшее большее $z_{с макс}$ и ближайшее меньшее $z_{с мин}$. При $z_{с макс}$ толщина среза и число одновременно участвующих в работе зубьев z_p при дальнейших расчетах остаются без изменения,

так как усилие протягивания не может превышать P_{\max} . При $z_{c \text{ мин}}$ нарушается условие $P_o \leq P_{\max}$. Поэтому нужно уменьшить толщину среза или число зубьев, одновременно участвующих в работе. Для этого выполняют два расчета — один с уменьшенной толщиной среза, другой с уменьшенным z_p . Уменьшенную толщину среза находят по приложению 7 в зависимости от величины q_o , определяемой из формулы

$$q_o' = \frac{P_{\max} z_{c \text{ мин}}}{\pi D z_p k_{mo} k_{po} k_{охл}} \text{ кг/мм}, \quad (40)$$

где z_p — берется без изменений из п. 6 методики.

Уменьшенное число зубьев, одновременно участвующих в работе, определяют по формуле

$$z_p' = \frac{P_{\max} z_{c \text{ мин}}}{\pi D q_o k_{mo} k_{po} k_{охл}}, \quad (41)$$

где q_o — соответствует подаче s_z , принятой в п. 6 (т. е. неизменной);

z_p' — измененное число одновременно работающих зубьев.

Если z_p' — целое число, то оно и принимается при расчете. Если же z_p' — число дробное, то оно округляется до ближайшего меньшего целого числа. Для этого значения z_p' находится новое значение шага и все соответствующие ему элементы профиля. Если новому значению шага будет соответствовать глубина стружечной канавки, превышающая найденную в п. 5, то она уменьшается до найденной в п. 5 величины h , и профиль канавки выполняется удлиненным.

В случаях, когда при определении z_c по формуле (39) значение z_c принимается равным или округляется до большей величины, значения s_z и z_p по формулам (40) и (41) не корректируются, так как в этом случае удовлетворяется условие $P_o \leq P_{\max}$.

Таким образом, при определении z_c возможны один или три варианта конструкции. Один вариант будет тогда, когда z_c , найденное по формуле (39), получается дробным числом меньше двух или целым числом в пределах от 2 до 5; три варианта, когда z_c , определенное по формуле (39), — дробное число больше 2

Каждому варианту соответствуют свои значения z_c , s_z и z_p . Все последующие элементы определяются для каждого варианта.

9. Проверка принятой скорости резания по усилию протягивания и мощности привода станка. В тех случаях, когда $P_{\max} = P_{ст}$, необходимо проверить, допускает ли мощность привода возможность работы с принятой в п. 4 скоростью резания v . Для этого нужно для каждого варианта определить силу резания P по формуле (22).

Если потребная мощность окажется больше мощности привода станка, то по приложению 9 выбирается меньшая скорость. Тол-

шина среза в этом случае может не измениться — повысится лишь стойкость протяжки.

На большинстве современных отечественных протяжных станков применяются электродвигатели, мощность которых обеспечивает возможность работы на максимальной скорости при наибольшем тяговом усилии. Поэтому при использовании этих станков проверку можно не производить. Исключение составляют станки моделей 7А520, 7Б720 и 7720В, для которых проверка возможности работы должна выполняться для скоростей свыше 10 м/мин.

10. Распределение припуска между зубьями протяжки. Полный припуск на диаметр A распределяется между черновыми, переходными и чистовыми зубьями. Он подсчитывается по формуле

$$A = D_{\text{макс}} - D_{\text{о мин}} \text{ мм}; \quad (42)$$

припуск на черновые зубья A_o определяется по формуле

$$A_o = A - (A_n + A_{\text{ч}}) \text{ мм}, \quad (43)$$

где A_n — припуск на переходные зубья (см. приложение 4);

$A_{\text{ч}}$ — припуск на чистовые зубья (см. приложение 4).

11. Число секций черновых зубьев, остаточный припуск и распределение его. Число секций черновых зубьев i_o предварительно определяется по формуле

$$i_o = \frac{A_o}{2s_{zo}}. \quad (44)$$

Если при вычислении i_o получается дробным числом, то оно округляется до ближайшего меньшего целого числа. При этом остается часть припуска, которую называют остаточным припуском $A_{\text{ост}}$ и определяют по формуле

$$A_{\text{ост}} = A_o - 2s_{zo}i_o \text{ мм}, \quad (45)$$

где i_o — принятое число секций.

В зависимости от величины остаточный припуск может быть отнесен к черновой, переходной или чистовой части. Если половина остаточного припуска превышает величину подъема зубьев на сторону первой переходной секции, то для срезания ее назначается одна дополнительная секция черновых зубьев. Подъем зубьев на переходной части выбирается из приложения 4.

Если половина остаточного припуска $A_{\text{ост}}$ меньше величины подъема на сторону первой переходной секции, но не меньше 0,02—0,03 мм, то остаточный припуск добавляется к припуску на переходную часть. Если же половина $A_{\text{ост}}$ меньше 0,02—0,03 мм, то остаточный припуск передается на чистовые зубья, число которых соответственно увеличивается. Микронная часть остаточного припуска переносится на последние чистовые зубья.

12. Общее число зубьев протяжки. Число черновых зубьев

$$z_o = i_o z_{co}, \quad (46)$$

где i_o — принятое число секций черновых зубьев.

Числа переходных, чистовых и калибрующих зубьев выбирают из приложения 4 и корректируют в зависимости от распределения остаточного припуска. Общее число всех зубьев протяжки

$$z = z_o + z_n + z_v + z_k.$$

13. Подъем переходных и чистовых зубьев определяется по приложению 4.

14. Длина режущей части протяжки, шаг и профиль чистовых зубьев. Длина режущей части

$$L_p = l_o + l_n + l_v + l_k = t_o(z_o + z_n) + \Sigma t_v + \Sigma t_k \text{ мм}, \quad (47)$$

где Σt_v и Σt_k — сумма переменных шагов чистовых и калибрующих зубьев.

Шаги чистовых и калибрующих зубьев имеют равные средние значения и выбираются по приложению 19. Средние значений шага чистовых и калибрующих зубьев определяются из условия

$$t_v = t_k = (0,6 \div 0,8) t_o \text{ мм}.$$

Первый шаг на чистовой части (между первым и вторым зубьями) имеет большее значение. Переменность шагов переходит с чистовой на калибрующую часть в любой последовательности.

Профили чистовых зубьев принимаются из приложения 10 по меньшему шагу, т. е. три разных шага будут иметь одинаковые h и b и будут выполняться одним и тем же резцом при продольном перемещении его (в разгон).

В тех случаях, когда при назначении переменных значений шагов по приложению 19 будет получаться нежелательно малая ширина спинки, снижающая число переточек, ее следует увеличить путем увеличения шага без изменения профиля стружечной канавки. При этом придется соответственно увеличить и шаги остальных зубьев в диапазоне переменности или даже несколько изменить его.

15. Определение элементов режущей части протяжки в дополнительных вариантах. После определения длины режущей части можно оценить, какой из вариантов ее конструкции является более выгодным по длине режущей части и ширине спинки зубьев, определяющей суммарную стойкость протяжки. Однако рассмотрением одного или трех вариантов не исчерпываются все возможные сочетания s_z , z_c и z_p , при которых получается наивыгоднейший вариант конструкции протяжки.

Для получения дополнительных вариантов конструкции принимаются последовательно значения чисел зубьев, одновременно уча-

ствующих в работе, равные z_p+1 ; z_p+2 и т. д., где z_p берется из п. 6.

Так как при увеличении z_p уменьшается шаг, то для каждого из дополнительных вариантов определяется его значение по формуле (36). Затем из приложения 10 принимается профиль с ближайшим большим (или равным) шагом. По найденному профилю определяется новое значение подъема s_z из условий помещаемости по номограммам, приведенным в приложении 11. По установленному z_p и найденному s_z (для каждого варианта изменения z_p) по формулам (39), (40), (41) определяется z_c и скорректированные подъем и число одновременно работающих зубьев. Если по формуле (39) значение z_c получится меньше 2, то принимается $z_c=2$ и корректировка подъема и числа одновременно работающих зубьев не производится. При получении дробного числа больше 2 поступают так, как было указано в п. 8.

Для каждого нового варианта последовательно определяются все элементы режущей части протяжки (с п. 5 по п. 14) так же, как и в первом варианте. Результаты расчетов сводятся в таблицу.

Установление оптимального варианта производится в общем случае после определения длины режущей части протяжки (после п. 14). Часто дополнительные варианты отбрасываются в ходе расчета по разным признакам (малая глубина канавки, малая ширина спинки зуба, из-за чего общее число переточек будет снижаться, возрастание усилий и т. д.), и расчет прекращается.

Обычно бывает достаточно рассчитать два-три варианта, в отдельных случаях — при большой длине протягивания — больше. Необходимость рассчитывать следующий вариант или, наоборот, бессцельность дальнейших расчетов будут видны конструктору по тенденции к увеличению длины режущей части в сравнении с предыдущими вариантами и к получению малой ширины спинки зуба.

Признаки оптимального варианта: относительно небольшая длина протяжки, относительно большая ширина спинки зуба, подъем черновых зубьев, обеспечивающий равную стойкость черновой и чистовой частей или стойкость, близкую к ней.

Следует иметь в виду, что метод равной стойкости черновых и чистовых зубьев, дающий в большинстве случаев оптимальный вариант протяжки, не должен использоваться формально. Во многих случаях метод избавляет конструктора от дополнительных расчетов. Предварительное определение подъема по методу равной стойкости исключает те варианты, где в связи с уменьшением z_p будут получены слишком большие подъемы, которые снижают стойкость протяжки. В некоторых случаях в качестве оптимального варианта может быть принят такой, в котором стойкость черновых зубьев будет несколько больше стойкости чистовых, длина рабочей части короче, чем в других вариантах, и ширина спинки зуба будет достаточно большой. Работа чистовых зубьев и протяж-

ки в целом зависит от величины подачи черновых зубьев. Чем больше подача, тем больше износ черновых зубьев и тем больше случайная убыль протяжек (т. е. преждевременный выход из строя протяжек по разным причинам: пестрая твердость деталей, неправильно выполненная заточка и т. п.). Преждевременный и чрезмерно большой износ черновых зубьев отрицательно сказываются на работе чистовых зубьев, снижают стойкость их. Поэтому при выборе оптимального варианта следует отдавать предпочтение варианту, при котором подача черновых зубьев будет наименьшей.

После выбора оптимального варианта режущей части определяют остальные элементы протяжки.

16. Диаметр калибрующих зубьев. Диаметр калибрующих зубьев D_k , как и диаметр последнего чистового зуба, можно принимать равным максимальному диаметру отверстия

$$D_k = D_{\text{макс}} \quad (48)$$

где $D_{\text{макс}}$ — наибольший диаметр отверстия в пределах допуска, мм.

В отдельных случаях D_k устанавливается в результате обмера деталей после протягивания (тонкостенные детали, детали сложной конфигурации, высокой или, наоборот, очень низкой твердости и др.).

С помощью доводки зубьев по задней грани можно уменьшить диаметр до любого желаемого размера. Допуск на изготовление калибрующих зубьев принимается минусовым и в зависимости от класса точности отверстия равен 0,005—0,01 мм на диаметр: нижнее значение для отверстий второго, иногда третьего класса точности, верхнее — для более низких классов.

Допуски на диаметр режущих зубьев назначаются обычно следующими: на обдирочные зубья от —0,01 до —0,02 мм; на переходные и чистовые — такие же, как и на калибрующие.

17. Расчет числа выкружек N , ширины их g , радиуса R_0 и радиуса шлифовального круга R_k для черновых зубьев. Весь периметр стружки, срезаемый одной секцией, разделяется на равные части между зубьями секции (см. фиг. 69). На каждый зуб секции приходится, таким образом, часть периметра, равная

$$l_z = \frac{\pi D}{z_c} \text{ мм.} \quad (49)$$

Стружка, срезаемая каждым зубом, равномерно распределяется между несколькими режущими секторами его, расположенными на равном расстоянии друг от друга по периметру зуба и разделенными между собой выкружками.

Число режущих секторов, а значит, и выкружек определяется по формуле

$$N = \frac{l_z}{B}. \quad (50)$$

где B — ширина режущего сектора, которую рекомендуется принимать по формуле (3) для протяжек с диаметром меньше 100 мм и 10—12 мм для протяжек с диаметром больше 100 мм.

Подставив в формулу (50) значения B и l_z , получим: для протяжек с диаметром меньше 100 мм

$$N = \frac{(2,4-3,1)\sqrt{D}}{z_c}; \quad (51)$$

для протяжек диаметром больше 100 мм

$$N = \frac{(0,25-0,3)D}{z_c}. \quad (52)$$

На основании этих формул составлена таблица приложения 20 для определения N в зависимости от диаметра протяжки и z_c . Значения N округлены до ближайших больших четных чисел.

Ширина выкружек определяется по формуле

$$g = \frac{\pi D}{N} \cdot \frac{z_c - 1}{z_c} \text{ мм.} \quad (53)$$

В приложении 20 даны формулы для каждого значения z_c .

Радиус выкружек R_g назначается в зависимости от ширины выкружки и диаметра протяжки (см. приложение 20). Выкружки типа II шириной более 20 мм выполняются абразивными кругами диаметром 50—150 мм.

Диаметры шлифовальных кругов, приведенные в приложении 20, широко применяются на ЧТЗ. Радиусы выкружек для данных диаметров являются наибольшими допустимыми. Они обеспечивают свободное прохождение стружки в нижней части профиля выкружки. Размер C (см. фиг. 87) соответствует условию $C \geq 3s_z$. Применение шлифовального круга большего диаметра допускается лишь при условии, если глубина выкружек C будет не меньше $3s_z$ соответствующих зубьев. На чертеже протяжек, кроме радиусов выкружек, можно проставлять также радиусы шлифовальных кругов.

18. Расчет числа выкружек, их ширины и радиуса и радиусов шлифовальных кругов на переходных и чистовых зубьях. Число выкружек на переходных и чистовых зубьях определяется по приложению 20 для $z_c = 2$. Кроме того, число выкружек для чистовых зубьев можно рассчитать по следующей формуле (с округлением полученных результатов до ближайшего четного числа):

$$N_q = 1,45 \sqrt{D}, \quad (54)$$

где D — диаметр в мм.

Ширина выкружек на зубьях переходных секций, кроме последней, определяется в соответствии с приложением 20 для $z_c = 2$. На последней переходной секции и на всех чистовых зубьях для

обеспечения перекрытия выкружек режущими секторами последующих зубьев ширина выкружек принимается на 2—3 мм меньше, чем на первых секциях переходных зубьев, т. е.

$$g_4 = g_n - (2 + 3) \text{ мм.}$$

При секционном построении чистовых зубьев диаметры их (внутри одной секции) выбираются одинаковыми. Это же относится и к последней секции переходных зубьев. Выкружки на чистовых зубьях и на последней секции переходных зубьев наносятся на каждом зубе и располагаются в шахматном порядке относительно предыдущего зуба.

Если в приложении 4 рекомендуется одна переходная секция, то она строится как последняя переходная.

Радиус выкружек на переходных и чистовых зубьях определяется по приложению 20.

19. Диаметр и длина передней направляющей. Диаметр передней направляющей принимается равным наименьшему предельному диаметру отверстия до протягивания с легкоходовой посадкой второго класса точности. В тех случаях, когда отверстие под протягивание подготовлено плохо, с большими отклонениями от цилиндрической формы, или отверстие без предварительной обработки после штамповки и отливки «по-черному», передняя направляющая снабжается тремя широкими лысками, расположенными под углом 120° друг к другу с таким расчетом, чтобы ширина оставшихся цилиндрических поверхностей была равна 10—12 мм (для протяжек диаметром 50 мм и более). На протяжках меньших диаметров этот размер назначается в зависимости от диаметра предварительно подготовленного отверстия.

Длина передней направляющей $l_{пн}$ выбирается в зависимости от отношения длины протягивания l к диаметру протяжки D : если $\frac{l}{D} > 1,5$, то $l_{пн} = 0,75l$; если $\frac{l}{D} < 1,5$, то $l_{пн} = l$.

20. Длина переходного конуса выбирается по приложению 23.

21. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба для станков отечественных и иностранных моделей приведено в приложении 22. Этот размер рекомендуется проверять непосредственно на станке.

22. Диаметр и длина задней направляющей. Диаметр задней направляющей $D_{зн}$ выбирается равным наименьшему предельному диаметру протянутого отверстия с ходовой посадкой второго класса точности, а в некоторых случаях — третьего.

Рекомендуемая длина задней направляющей приведена в приложении 23. Тяжелые или длинные протяжки изготавливаются с задними хвостовиками, которые могут быть такими, как и передние хвостовики для станков Минского станкозавода (крепление под быстродействующий патрон, см. приложение 14), и гладкими — для станков других заводов (см. приложение 23).

23. Общая длина протяжки. Вся длина протяжки равна сумме длины передней части (от переднего торца до первого зуба), режущей части, задней направляющей и заднего хвостовика, т. е.

$$L = L_1 + L_p + l_{zn} + l_{xв} \text{ мм.} \quad (56)$$

Общая длина протяжки не должна превышать величины хода штока станка. В приложении 22 приведены значения максимального хода штока для отечественных и иностранных станков. Если длина протяжки окажется больше, чем величина максимального хода станка, придется разделить протяжку на две — первого и второго прохода.

2. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА КРУГЛОЙ ПРОТЯЖКИ

Пример первый

Исходные данные: материал детали — сталь 40X; твердость на операции протягивания $H_B = 255 \div 286$ ($d_{омн} = 3,6 \div 3,8$ мм); диаметр отверстия до протягивания $D_o = 38,5^{+0,17}$ мм; диаметр отверстия после протягивания $D = 40^{+0,05}$ мм; требуемая чистота протягиваемой поверхности $\nabla 6$; длина протягивания $l = 120_{-1,0}$ мм; детали протягиваются на станке модели 7A520; тяговое усилие станка (по паспорту) $Q = 20$ т; мощность привода $N_n = 20$ квт; диапазон скоростей рабочего хода $v = 1,5 \div 11$ м/мин; максимальный ход ползуна $L_{макс} = 1600$ мм; состояние станка удовлетворительное; протяжка закрепляется в быстросменном автоматическом патроне; характер производства массовый.

1. Определение материала протяжки. Предварительно по приложению 1 устанавливаем, к какой группе обрабатываемости относится сталь 40X при $d_{омн} = 3,6 \div 3,8$ мм. В приложении 1 эта сталь отсутствует. Наиболее близкой к ней по химическому составу и физико-механическим свойствам является сталь 45X. При заданной твердости сталь 40X относится к III группе обрабатываемости. Согласно приложению 2 выбираем материал протяжки — сталь P18.

2. Выбор способа соединения тела протяжки и хвостовика, материал, тип и диаметр хвостовика. Принимаем сварную конструкцию; материал хвостовика — сталь 45X; тип хвостовика — под быстросменный патрон; диаметр хвостовика выбираем по приложению 13: $D_{xв} = 36$ мм. Исполнительные размеры хвостовика и допуски на них выбираем из приложения 13.

3. Определение задних и передних углов зубьев α и γ . Согласно приложению 3 устанавливаем: задние углы для черновых и переходных зубьев $\alpha = 3^\circ$, для чистовых $\alpha = 2^\circ$ и для калибрующих $\alpha = 1^\circ$; передние углы для черновых и переходных зубьев $\gamma = 15^\circ$, для чистовых и калибрующих $\gamma = 18^\circ$. Выполнение принятых передних углов возможно при использовании шлифоваль-

ного круга $D_k \leq 41$ мм и угле установки шпинделя $\beta_s = 40^\circ$ (см. приложение 8).

4. Определение подъема черновых зубьев по стойкости s_{zc} . Согласно приложению 4, наибольшая толщина среза на чистовых зубьях $a = 0,02$ мм. В приложении 5 находим скорость резания $v = 7$ м/мин. Такая скорость резания станком обеспечивается. С помощью номограммы IIIa приложения 6 определяем стойкость чистовых зубьев $T = 5,8$ мин. или 350 деталей до переточки. Это удовлетворяет требованиям производства.

По номограмме IIIб приложения 6 находим, что при $v = 7$ м/мин и $T = 5,8$ мин. подъем на черновых зубьях $s_{zc} = 0,1$ мм.

5. Определение глубины стружечной канавки, необходимой для размещения стружки при $s_{zc} = 0,1$ мм. Для заданной длины протягивания, коэффициента помещаемости $k = 3$ и $s_{zc} = 0,1$ мм глубина стружечной канавки $h = 7$ мм (см. приложение 11, номограмма а). Согласно приложению 10, этой глубине стружечной канавки соответствует профиль № 10. Проверяем, не превышает ли величина $h = 7$ мм значения, допустимого формулой (35), т. е. $h \leq 0,23 \cdot 38,5 = 8,85$ мм. Таким образом, требуемое условие удовлетворяется. Подъем $s_{zc} = 0,1$ мм, принятый из условий равной стойкости, может быть принят и по коэффициенту помещаемости.

6. Определение шага t_o и числа одновременно участвующих в работе черновых зубьев z_p . Профилю стружечной канавки № 10 соответствуют два значения шага. Выбираем наименьший из них $t_o = 16$ мм; z_p определяем по формуле (1), т. е.

$$z_p = \frac{120}{16 - 0,4} = 7,7; \text{ принимаем } z_p = 8.$$

7. Определение максимально допустимой силы резания. Вначале находим $P_{ст}$, $P_{хв}$ и $P_{оп}$ и меньшее из них принимаем за $P_{макс}$. Для станка, находящегося в удовлетворительном состоянии, $P_{ст} = 0,8 Q = 0,8 \cdot 20000 = 16000$ кг.

Для хвостовика, выбранного по приложению 13, $P_{хв} = 19800$ кг.

Для определения $P_{оп}$ находим диаметр опасного сечения по формуле (38)

$$D_{оп} = D_o - 2h = 38,5 - 2 \cdot 7 = 24,5 \text{ мм.}$$

Этому диаметру при $[\sigma]_p = 40$ кг/мм² соответствует $P_{оп} = 18000$ кг (приложение 12). Таким образом,

$$P_{макс} = P_{ст} = 16000 \text{ кг.}$$

8. Определение числа зубьев в секции z_c и корректирование подъема по максимально допустимой силе резания. Из приложения 7 узнаем, что при $\gamma = 15^\circ$ и $s_z = 0,1$ мм, $q_o = 21,5$ кг/мм, поправочные коэффициенты $k_{mo} = 1,15$; $k_{po} = 1$; $k_{охл} = 1$. По формуле (39)

$$z_c = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 21,5 \cdot 8 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1}{16000} = 1,55.$$

Округляем полученную величину до $z_c=2$. Корректирование подъема не производим, так как полученное расчетом z_c округляется в сторону увеличения.

9. Проверку возможности работы с принятой скоростью резания, согласно примечанию к пункту 9 методики, не производим.

10. Распределение припуска между черновой, переходной и чистовой частями протяжки. Полный припуск по формуле (42) $A=40,05-38,5=1,55$ мм. Припуски на переходную и чистовую части протяжки, согласно приложению 4: $A_n=0,16$ мм; $A_q=0,1$ мм. Припуск на черновую часть определяем по формуле (43)

$$A_o=1,55-(0,16+0,1)=1,29 \text{ мм.}$$

11. Определение числа секций черновых зубьев, остаточного припуска и распределение его между разными зубьями. Число секций черновых зубьев определяем по формуле (44), т. е. $i_o = \frac{1,29}{2 \cdot 0,1} \approx 6,4$. Предварительно принимаем $i_o=6$. При $i_o=6$ по формуле (45) $A_{ост}=1,29-2 \cdot 0,1 \cdot 6=0,09$ мм. В соответствии с указаниями к пункту 11 методики $A_{ост}$ добавляем к A_n .

В связи с этим предварительно принятое число секций черновых зубьев $i_o=6$ остается без изменения.

12. Общее число зубьев протяжки. Число черновых зубьев z_o определяем по формуле (46): $z_o=6 \cdot 2=12$. Число переходных зубьев определяем по приложению 4 и в связи с добавлением остаточного припуска добавляем одну переходную секцию из двух зубьев. Таким образом, $z_n=4+2=6$. Согласно приложению 4, число чистовых зубьев $z_q=10$; число калибрующих зубьев $z_k=5$. Следовательно, общее число зубьев

$$z=z_o+z_n+z_q+z_k=12+6+10+5=33.$$

13. Определение подъема переходных и чистовых зубьев. Подъем переходных зубьев определяем по табл. 3 приложения 4: на дополнительной переходной секции берем половину $A_{ост}$; на I секции $s_{zn}=0,05$ мм, на II секции $s_{zn}=0,045$ мм и на III секции $s_{zn}=0,03$ мм. Подъем чистовых зубьев определяем по табл. 1 приложения 4: на зубьях I типа $s_{zq}=0,01$ мм на двух зубьях и 0,005 мм на четырех зубьях; на зубьях II типа $s_{zq}=0,005$ мм на двух секциях.

14. Определение длины режущей части протяжки, шагов и профиля чистовых и калибрующих зубьев. Согласно приложению 19, при $t_o=16$ мм шаги чистовых зубьев составляют 11; 12; 13 мм. Диапазон переменности шага для чистовых и калибрующих зубьев одинаковый. Глубину стружечной канавки и ширину спинки зуба выбираем из приложения 10 для наименьшего шага: $h=4$ мм; $b=4$ мм. Для остальных шагов элементы профиля принимаем такими же, а увеличение шагов будет обеспечено путем удлинения стружечных канавок.

Длину режущей части протяжки определяем по формуле (47):
 $L = 16(12+6) + 13 + 12 + 11 + 12 + 13 + 12 + 11 + 13 + 12 + 11 + 13 +$
 $+ 12 + 11 + 12 + 11 = 467 \text{ мм.}$

15. Определение элементов режущей части протяжки в дополнительных вариантах. В результате проведенных выше расчетов был получен первый вариант протяжки. Для второго варианта протяжки принимаем $z_{p2} = z_p + 1 = 8 + 1 = 9$. Тогда по формуле (36) определяем, что $t_o \geq \frac{120}{9} + 0,4 = 13,7 \text{ мм}$, и округляем до ближайшего большего значения, указанного в приложении 10: $t_o = 14 \text{ мм}$. Подъем черновых зубьев по номограмме *a* приложения 11 для $k=3$ и $h=6 \text{ мм}$ равен $s_{zo} = 0,075 \text{ мм}$. Остальные параметры режущей части протяжки второго варианта получаем, выполнив расчет с п 8 по п. 14. Для третьего варианта принимаем $z_{p3} = z_p + 2 = 8 + 2 = 10$ и т. д. В табл. 3 приведены результаты расчетов по трем вариантам. Расчет был прекращен на третьем варианте, так как в нем уже проявилась тенденция к увеличению длины режущей части и, кроме того, начала уменьшаться ширина спинки чистовых зубьев.

Для того чтобы из полученных трех вариантов выбрать один в качестве оптимального, сравниваем между собой главные показатели. Оптимальным вариантом считаем первый, так как протяжка при наименьшей длине имеет наибольшую ширину спинки чистовых зубьев. Определение остальных элементов конструкции протяжки (фиг. 95) производим только для этого варианта.

16. Диаметр калибрующих зубьев определяем согласно п. 16 методики расчета:

$$D_k = D_{\text{макс}} = 40,05_{-0,005} \text{ мм.}$$

17 и 18 Определение числа, ширины и радиуса выкружек на обдирочных, переходных и чистовых зубьях. При $z_c = 2$ число выкружек для всех видов зубьев, согласно приложению 20, равно $V_n = N_n = N_c = 8$.

Ширину выкружек на черновых и переходных зубьях, кроме последней переходной секции, определяем по формуле, приведенной в приложении 20. Для двухзубой секции

$$g_o = g_n = 1,57 \frac{D}{N_o} \approx 8 \text{ мм.}$$

На последней переходной секции оба зуба имеют одинаковый диаметр: выкружки на них имеют такую же ширину, как и на чистовых зубьях, т. е.

$$g'_n = g_c = g_n - (2 \div 3) = 8 - 2,5 = 5,5 \text{ мм.}$$

Выкружки на чистовых зубьях и на последней переходной секции располагаются в шахматном порядке.

№ зубьев	Диаметр зубьев, мм.	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр зубьев, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр зубьев, мм	Допуск, мм	Задний угол α
1	38,70	-0,01	3°	12	39,67	-0,01	3°	23	40,02	-0,005	2°
2	38,67			13	39,80			24	40,03		
3	38,90			14	39,77			25	40,04		
4	38,87			15	39,89			26	40,04		
5	39,10			16	39,86			27	40,05		
6	39,07			17	39,95			28	40,05		
7	39,30			18	39,95			29	40,05		
8	39,27			19	39,97			30	40,05		
9	39,50	21	39,99	31	40,05	1°					
10	39,47	21	40,00	32	40,05						
11	39,70	22	40,01	33	40,05						

Фиг. 95. Круглая протяжка переменного резания с диаметром $D=40$ мм:

a — общая выд протяжки; b — профиль черновых и переходных зубьев (кроме последней секции); на зубьях № 1, 2, 5, 7, 9, 11, 13 и 16 нанесено восемь выкружек для разделения стружки; e — профиль чистовых зубьев 1 типа; на зубьях № 19—24 нанесено по восемь выкружек в шахматном порядке друг относительно друга и зуб № 18; z — профиль чистовых зубьев 11 типа и последней переходной секции; на зубьях № 25—28 нанесено по восемь выкружек в шахматном порядке друг относительно друга и зуба № 24; на зубьях 17 и 18 нанесено восемь выкружек в шахматном порядке друг относительно друга и зуба № 16; \varnothing — продольный профиль зубьев с шагом 16 мм; ϵ — продольный профиль зубьев с шагом 11, 12 и 13 мм; профиль с шагом 12 и 13 мм выполняется тем же резцом, что и профиль с шагом 11 мм, путем продольного перемещения его (в разгон); материал режущей и направляющих частей протяжки — сталь P18; хвостовой части — сталь 45X; твердость зубьев $RC=62-65$; твердость передней и задней направляющих частей протяжки увеличивается с $RC=45-60$ у торца до $RC=62-65$ у зубьев; твердость хвостовика $RC=35-45$.

Результаты расчета элементов в разных вариантах

Искомый элемент	Численные значения элементов для вариантов		
	первого	второго	третьего
z_p	8	9	10
t_o , мм	16	14	13
h_o , мм	7	6	5
b_o , мм	4	4	4
s_{zo} , мм	0,1	0,075	0,055
z_c	2	2	2
P , кг	12450	10780	9030
N_n , кВт	≈ 12	≈ 10	9
v , м/мин	7	7	7
A , мм	1,55	1,55	1,55
A_n , мм	0,16	0,14	0,06
A_u , мм	0,1	0,1	0,1
A_o , мм	1,29	1,31	1,39
i_o передв	6	8	12
A_o п. мм	0,09	0,11	0,07
l_o оконч	6	8+1=9	12
z_o	12	18	24
z_n	4+2=6	4	2+2=4
$z_ч$	10	10	10
$z_к$	5	5	5
z	33	37	43
s_{zn} , мм, на секциях	первой 0,05 второй 0,045 третьей 0,03	0,04 0,03	0,035 0,03
s_{zc} , мм, на зубьях типа	I II	0,01—2 зуба 0,005—4 зуба 0,005—2 секции	—
$l_ч$ и $l_к$, мм	11, 12, 13	10, 11, 12	9, 10, 11
$h_ч$, мм	4	4	3,5
$b_ч$, мм	4	3	3
l_o , мм	192	252	312
l_n , мм	96	56	52
$l_ч$, мм	120	110	100
$l_к$, мм	59	54	49
L_p , мм	467	472	513

Радиус выкружек и радиус круга для всех видов зубьев выбираем из приложения 20: $R_g \leq 30$ мм; $R_k \leq 25$ мм.

19 Диаметр и длину передней направляющей в соответствии с рекомендацией к п. 19 методики принимаем равными

$$D_{пн} = D_o \cdot \mu_{пн} \cdot l = 38,5 \begin{matrix} -0,050 \\ -0,085 \end{matrix} \text{ мм};$$

так как $\frac{l}{D} = \frac{120}{40} > 1,5$, то $l_{пн} = 0,75l = 0,75 \cdot 120 = 90$ мм.

20. Длина переходного конуса выбирается по приложению 23 равной $l_{пк} = 20$ мм.

21. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба, согласно приложению 22, равно $L_1 = 320$ мм.

22. Диаметр задней направляющей в соответствии с п. 22 методики принимаем равным

$$D_{зп} = DX = 40 \begin{matrix} -0,025 \\ -0,050 \end{matrix} \text{ мм.}$$

Длину задней направляющей выбираем из приложения 23: $l_{зп} = 60$ мм.

23. Общую длину протяжки определяем по формуле (56)

$$L = 320 + 467 + 60 = 847.$$

Полученный результат округляем до 850 мм.

Пример второй

Исходные данные: материал детали — сталь 20ХНЗА; твердость на операции протягивания $H_B = 207 \div 255$ ($d_{опн} = 3,84 \div 4,2$ мм); диаметр отверстия до протягивания $D_0 = 78,5^{+0,2}$ мм; диаметр отверстия после протягивания $D = 80^{+0,06}$ мм; длина протягивания $l = 80_{-0,0}$ мм; требуемая чистота поверхности $\nabla 6$; станок модели 7А520; тяговое усилие станка (по паспорту) $Q = 20$ т; мощность привода $N_n = 20$ квт, диапазон скоростей рабочего хода $v = 1,5 \div 11$ м/мин; максимальный ход ползуна $L_{макс} = 1600$ мм; состояние станка удовлетворительное; протяжка закрепляется в быстросменном автоматическом патроне; характер производства — массовый.

1. Определение материала протяжки. Руководствуясь приложением 1, устанавливаем, что сталь 20ХНЗА при заданной твердости относится ко II группе обрабатываемости. Материал протяжки, согласно приложению 2, — сталь Р9.

2. Выбор способа соединения хвостовика с телом протяжки, материал, тип и диаметр хвостовика. Пользуясь указаниями к п. 2 методики, принимаем сварную конструкцию. Материал хвостовика — сталь 45Х. Тип хвостовика, согласно заданию, принимаем под быстросменный патрон; для этого типа патрона $D_{хв} = 50$ мм (см. приложение 13). Исполнительные размеры хвостовика и допуски на них выбираем из приложения 13.

3. Определение задних и передних углов зубьев α и γ . Согласно приложению 3, на черновых и переходных зубьях задние углы $\alpha = 3^\circ$, на чистовых зубьях $\alpha = 2^\circ$ и на калибрующих $\alpha = 1^\circ$. На черновых и переходных зубьях передние углы $\gamma = 15^\circ$, на чистовых и калибрующих зубьях $\gamma = 18^\circ$. Проверку возможности получения при заточке принятых передних углов не производим, так как диаметр протяжки больше 50 мм (см. методику).

4. Определение подъема на черновых зубьях по стойкости. Согласно приложению 4, наибольшая толщина среза на чистовых зубьях $a=0,02$ мм. В приложении 5 находим, что скорость резания $v=6$ м/мин. Оставляем эту скорость, так как диапазоном скоростей станка она допускается. По номограмме *IIa*, приведенной в приложении 6, стойкость чистовых зубьев $T=9,2$ мин. По номограмме *IIб* подъем черновых зубьев, при котором они будут иметь такую же стойкость, как и чистовые зубья, $s_z=0,14$ мм.

5. Определение глубины стружечных канавок, необходимой для размещения стружки при $s_{zc}=0,14$ мм. Согласно приложению 11, для заданной длины протягивания $l=80$ мм, коэффициента помещаемости $k=3$ и $s_{zc}=0,14$ мм глубина стружечной канавки $h=6,8$ мм. В приложении 10 находим профиль стружечной канавки, имеющий ближайшую большую глубину, — профиль № 10 с глубиной $h=7$ мм. Проверку глубины стружечной канавки по условиям жесткости не производим, так как диаметр опасного сечения превышает 40 мм.

Подъем $s_{zc}=0,14$ мм, определенный по равной стойкости, условиями размещения стружки не лимитируется, поэтому он принимается для дальнейших расчетов.

Определение шага t_o и числа одновременно участвующих в работе черновых зубьев z_p . Профиль стружечных канавок № 10, принятый в предыдущем пункте, имеет два шага: $t_o=16$ и $t_o=17$ мм; выбираем меньший шаг $t_o=16$ мм (см. приложение 10). Число одновременно участвующих в работе зубьев определяем по формуле (1)

$$z_p = \frac{80}{16-0,4} = 5,1.$$

Полученный результат округляем до ближайшего большего целого числа, т. е. $z_p=6$.

7. Определение максимально допустимого усилия протягивания P_{\max} . Определяем P_{ct} , $P_{xв}$ и $P_{он}$ и меньшее из них принимаем за P_{\max} . Для станка, находящегося в удовлетворительном состоянии, согласно рекомендации к п. 7 методики, принимаем $P_{ct} = 0,8Q = 0,8 \cdot 20\,000 = 16\,000$ кг.

Из приложения 13 для принятого хвостовика находим $P_{xв} = 33\,990$ кг.

По принятой глубине стружечной канавки $h=7$ мм находим диаметр опасного сечения по дну канавки перед первым зубом

$$D_{он} = D_0 - 2h = 78,5 - 2 \cdot 7 = 64,5 \text{ мм.}$$

Так как диаметр опасного сечения превышает 40 мм, согласно указанию к п. 7 методики, усилие, допустимое прочностью этого сечения, $P_{он}$ не определяем.

Наименьшим является тяговое усилие станка. Таким образом,

$$P_{\max} = P_{ct} = 16\,000 \text{ кг}$$

8. Определение числа зубьев в секции z_c и корректирование подъема s_z и числа одновременно участвующих в работе зубьев z_p по максимально допустимой силе резания. Число зубьев в секции по максимально допустимой силе резания определяем по формуле (39). В приложении 7 находим, что при $\gamma=15^\circ$ и $s_z=0,14$ мм $q_o=29,38$ кг/мм. В том же приложении для заданных условий находим $k_{mo}=1,15$; $k_{po}=1$ и по приложению 5 принимаем охлаждение сульфозреолом, при этом $k_{охла}=1$. По формуле (39)

$$z_c = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 29,38 \cdot 6 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1}{16\,000} \approx 3,18.$$

Принимаем два значения z_c , округленные до ближайших большего и меньшего целых чисел: $z_{c \text{ макс}}=4$ и $z_{c \text{ мин}}=3$.

Чтобы при округлении расчетного значения z_c в сторону уменьшения не нарушилось условие $P \leq P_{\text{макс}}$, корректируем в одном случае s_z , а в другом случае z_p .

Скорректированный (уменьшенный) подъем s'_z (толщину среза) находим в приложении 7 с помощью величины q_o , определенной по формуле (40),

$$q'_o = \frac{16000 \cdot 3}{3,14 \cdot 80 \cdot 6 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1} = 27,69 \text{ кг/мм.}$$

Этому значению q_o при $\gamma=15^\circ$ соответствует толщина среза $a=0,13$ мм. Следовательно, уменьшенный подъем $s'_z=0,13$ мм.

Скорректированное число одновременно участвующих в работе зубьев z'_p определяем по формуле (41)

$$z'_p = \frac{16000 \cdot 3}{3,14 \cdot 80 \cdot 29,38 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1} = 5,6.$$

Округляем расчетное значение до ближайшего меньшего целого числа и принимаем $z'_o=5$.

Определяем величину шага при $z_p=5$ по формуле (36)

$$t_o > \frac{80}{5} + 0,4 = 16,4 \text{ мм.}$$

Округлив до ближайшего большего шага, имеющегося в приложении 10, получим $t_o=17$ мм. Этот шаг имеет профиль стружечной канавки № 10 с глубиной $h=7$ мм.

Таким образом, получаем три сочетания s_z , z_p , z_c и t_o , определяющих три варианта режущей части протяжки:

Варианты	I	II	III
s_z , мм	0,14	0,13	0,14
z_p	6	6	5
	4	3	3
t_o , мм	16	16	17
h_o , мм	7	7	7
b_o , мм	4	4	5

Для установления, какой из этих вариантов приведет к наиболее выгодной режущей части, определяем остальные ее элементы.

9. Проверку возможности работы с принятой скоростью резания не производим согласно примечанию к п. 9 методики.

10. Распределение припуска между зубьями протяжки. Полный припуск на протягивание определяем по формуле (42): $A=80,06 - -78,5=1,56$ мм. Распределяем этот припуск между зубьями протяжки: A_n и A_o определяем в соответствии с приложением 4, а величину A_c по формуле (43):

Варианты	I	II	III
A_n , мм	0,16	0,16	0,16
A_c , мм	0,10	0,10	0,10
A_o , мм	1,30	1,30	1,30

11. Определение числа секций черновых зубьев, остаточного припуска и его распределение. По формулам (44) и (45) определяем i_o и $A_{ост}$ для каждого варианта:

Варианты	I	II	III
i_o	4	5	4
$A_{ост}$, мм	0,18	—	0,18

Согласно указаниям п. 11 методики, в I и III вариантах для срезания остаточного припуска назначаем по одной дополнительной секции черновых зубьев и получаем окончательное значение i_o :

Вариант	I	II	III
i_o	5	5	5

12. Определение общего числа зубьев протяжки. Для каждого варианта определяем число черновых, переходных, чистовых и калибрующих зубьев и общее число зубьев протяжки в соответствии с п. 12 методики:

Варианты	I	II	III
z_o	20	15	15
z_n	4	4	4
z_q	10	10	10
z_k	6	6	6
z	40	35	35

13. Определение подъема переходных и чистовых зубьев. Переходная и чистовая части протяжки имеют во всех вариантах одинаковое число переходных и чистовых зубьев; припуск на эти зубья и подъемы во всех вариантах также одинаковы.

Подъем переходных зубьев, согласно приложению 4: на первой секции $s_{zn}=0,05$ мм; на второй секции $s_{zn}=0,03$ мм.

В соответствии с приложением 4 назначаем на чистовой части: два зуба I типа с подъемом $s_{zч}=0,01$ мм, четыре зуба I типа с подъемом $s_{zч}=0,005$ мм и две секции зубьев II типа с подъемом $s_{zч}=0,005$ мм.

14. Определение длины режущей части, шага и профиля чистовых и калибрующих зубьев. Шаги определяем в соответствии с указаниями к п. 14 методики; из приложения 10 находим ширину спинки на чистовых и калибрующих зубьях и сумму шагов:

Вариант	I	II	III
$t_{\text{ч}} = t_{\text{к}}, \text{ мм}$	11; 12; 13	11; 12; 13	12; 13; 14
$b_{\text{ч}}, \text{ мм}$	4	4	4
$\Sigma t_{\text{ч}} + \Sigma t_{\text{к}}, \text{ мм}$	13+12+11+12+11+13+ +11+13+12+13+12+11+ +12+11+13+11=191	191	14+13+12+13+ +12+14+12+ +14+13+11+ +13+12+13+ +12+14+12= =207

Общую длину режущей части определяем по формуле (47):

Вариант	I	II	III
$L_{\text{р}}, \text{ мм}$	575	495	530

Рассмотрев I, II и III варианты, устанавливаем, что наиболее выгодным является II вариант, так как в нем режущая часть протяжки меньше, чем в I и III вариантах, а ширина спинки на чистовых зубьях такая же, как и в этих вариантах. Уменьшенный подъем во II варианте, по сравнению с I и III вариантами, не является отрицательным признаком, так как стойкость протяжки из-за этого не уменьшается.

С целью нахождения варианта режущей части более выгодного, чем II, назначаем дополнительные варианты, увеличивая число одновременно участвующих в работе зубьев.

5. Определение элементов режущей части протяжки в дополнительных вариантах. Назначаем дополнительный IV вариант, приняв в нем число одновременно участвующих в работе зубьев больше на один зуб по сравнению с $z_{\text{р}}$, определенным в п. 6,

$$z_{\text{рIV}} = z_{\text{р}} + 1 = 6 + 1 = 7.$$

Пользуясь указаниями к п. 15 методики, определяем новое значение шага, подъема и числа зубьев в секции на черновой части протяжки.

При определении $z_{\text{с}}$ в IV варианте получается дробное число: $z_{\text{с}} = 2,4$. Так как это число больше двух, то производим дальнейшие расчеты с двумя значениями $z_{\text{с}}$: в IV варианте $z_{\text{с макс}} = 3$; в V и VI вариантах $z_{\text{с мин}} = 2$. Для того чтобы при уменьшении $z_{\text{с}}$ не нарушилось условие $P \leq P_{\text{макс}}$, в V варианте уменьшаем $s_{\text{з}}$, а в VI варианте уменьшаем $z_{\text{р}}$ и находим новое значение шага. Результаты расчетов сводим в табл 4

После определения элементов режущей части в IV и VI вариантах устанавливаем, что длина ее в V варианте самая меньшая (см. табл. 4). Подъем черновых зубьев в этом варианте также

Результаты расчета элементов в разных вариантах

Искомый параметр	Значение параметра в вариантах					
	I	II	III	IV	V	VI
z_p	6	6	5	7	7	6
t_0 , мм	16	16	17	12	12	14
h_0 , мм	7	7	7	5	5	6
b_0 , мм	4	4	5	4	4	4
s_{20} , мм	0,14	0,13	0,14	0,08	0,07	0,08
q_0 , кг/мм	29,38	27,69	29,38	17,56	15,82	17,56
z_c	4	3	3	2,4, принимаем 3	2	2
P , кг	12730	15836	14145	11836	15995	14541
v , м/мин	6	6	6	6	6	6
A_n , мм	0,16	0,16	0,16	0,14	0,14	0,14
$A_{ч}$, мм	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
A_0 , мм	1,30	1,30	1,30	1,32	1,32	1,32
l_0 , мм	4	5	4	8	9	8
$A_{ост}$, мм	0,18	—	0,18	0,04	0,06	0,04

Таблица 4 (окончание)

Искомый параметр	Значение параметра в вариантах					
	I	II	III	IV	V	VI
z_0	20	15	15	24	18	16
z_n	4	4	4	4	4+2=6	4
z_4	10	10	10	10+2=12	10	10+2=12
z_k	6	6	6	6	6	6
z	40	35	35	46	40	38
$s_{2л}, мм$	0,05—одна секция;					
	0,03—одна секция					
$s_{2ч}, мм$	0,01—два зуба I типа и две секции зубьев II типа					
	0,01—четыре зуба I типа; 0,005—четыре зуба I типа и две секции II типа					
$l_v = l_k, мм$	11; 12; 13	11; 12; 13	12; 13; 14	8; 9; 10	8; 9; 10	10; 11; 12
$b_v, мм$	4	4	4	3	3	3
$h_v, мм$	4	4	5	3	3	4
$l_0 + l_n, мм$	384	304	323	336	288	280
$l_v + l_k, мм$	191	191	207	160	143	199
$L_p, мм$	575	495	530	496	431	479

№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Сдвиг
1	78,64			11	79,34			21	79,90			31	80,05		
2	78,60			12	79,30			22	79,86			32	80,05		
3	78,78			13	79,48			23	79,96	-0,01	3°	33	80,06	-0,006	2°
4	78,74			14	79,44			24	79,92			34	80,06		
5	78,92	-0,01	3°	15	79,62			25	79,98			35	80,06		
6	78,88			16	79,58	-0,01		26	80,00			36	80,06		
7	79,06			17	79,76			27	80,01		2°	37	80,06		
8	79,02			18	79,72			28	80,02			38	80,06	-0,005	1°
9	79,20			19	79,84			29	80,03			39	80,06		
10	79,16			20	79,80			30	80,04			40	80,06		

Фиг. 96. Круглая протяжка переменного резания с $D=80$ мм:

a — общий вид протяжки; *b* — профиль черновых и переходных зубьев (кроме последней секции); на зубьях № 1, 3, 6, 7, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 21 нанесено по двенадцать выкружек для разделения стружки; *в* — профиль чистовых зубьев I типа; на зубьях № 26—30 нанесено по двенадцать выкружек в шахматном порядке друг относительно друга и зуба № 24; *г* — профиль чистовых зубьев II типа и последней переходной секции, на зубьях № 31—34 нанесено по двенадцать выкружек в шахматном порядке друг относительно друга и зуба № 30; на зубьях № 23 и 24 нанесено по двенадцать выкружек друг относительно друга и зуба № 21; *д* — продольный профиль с шагом 12 мм; *е* — продольный профиль с шагом 8,6; 9 и 10 мм; материал режущей части протяжки и направляющих частей сталь Р9; материал хвостовиков — сталь 45Х; твердость зубьев $R_C = 62 \pm 6$; твердость передней и задней направляющих частей соответственно $R_C = 45 \pm 50$ у торца до $R_C = 62 \pm 65$ у зубьев; твердость хвостовика $R_C = 35 \pm 45$.

самый меньший, почти вдвое меньше, чем во II варианте. Это уменьшает коэффициент случайной убыли, что является положительным, но ширина спинки чистовых зубьев на 1 мм меньше, чем во II варианте. Для увеличения ее в соответствии с п. 14 методики вместо шага 8 мм принимаем шаг, равный 8,5 мм, и получаем возможность выбрать $b=3,5$ мм. Принимаем эту ширину спинки и для остальных чистовых зубьев с переменным шагом, на которых стружечная канавка будет выполняться в разгон. В связи с тем, что $t=8,5$ мм, вместо 8 мм, незначительно (на 3 мм) увеличится длина режущей части.

На этом расчет других вариантов прекращаем, так как в них получалась бы еще меньшая ширина спинки. Принимаем V вариант и заканчиваем расчет остальных элементов протяжки (фиг. 96) лишь для него.

16. Диаметр калибрующих зубьев определяем по формуле (48)

$$D_c = 80,06 \text{ мм.}$$

17. Расчет числа выкружек N , ширины выкружек g , радиуса выкружек R_g и радиуса шлифовального круга R_k на черновых зубьях. Число выкружек для $D=80$ мм и $z_c=2$, согласно приложению 20, равно $N_g=12$.

Ширину выкружек определяем по формуле

$$g_g = 1,57 \frac{D}{N_g} = 1,57 \frac{80}{12} = 11 \text{ мм.}$$

Радиус выкружек и радиус шлифовального круга находим из приложения 20: $R_{g0}=36$ мм; $R_{k0}=30$ мм.

18. Расчет числа выкружек, их ширины и радиусов шлифовальных кругов на переходных и чистовых зубьях. На первой и второй секциях переходных зубьев число, ширина и радиус выкружек и радиус шлифовального круга такие же, как и на черновых зубьях: $N_n=12$; $g_n=11$ мм; $R_{gn}=36$ мм; $R_{kn}=30$ мм.

На третьей секции переходных зубьев и на чистовых зубьях в соответствии с указанием к п. 18 методики ширину выкружек принимаем

$$g_n = g_n - 2 = 11 - 2 = 9 \text{ мм.}$$

Число выкружек такое же, как и на черновых зубьях, $N_n=12$.

Радиусы выкружки и шлифовального круга выбираем из приложения 20: $R_{gn}=36$ мм; $R_{kn}=30$ мм.

На черновой части протяжки выкружки для разделения стружки делаются на зубьях № 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 и 21. На чистовых зубьях 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 и 34 выкружки располагаются в шахматном порядке относительно друг друга и зуба № 24. На зубьях № 23 и 24 стружкоразделительные выкружки должны быть нанесены в шахматном порядке относительно друг друга и зуба № 21.

19. Диаметр передней направляющей, согласно п. 19 методики, принимаем

$$D_{\text{пн}} = 78,5 \text{ Л}_{-0,105}^{0,065}$$

Длина передней направляющей равна $l_{\text{пн}} = l = 80 \text{ мм}$.

20. Длину переходного конуса находим из приложения 23: $l_{\text{пк}} = 30 \text{ мм}$.

21. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба принимаем в соответствии с приложением 22

$$L_1 = 200 + l = 200 + 80 = 280 \text{ мм}$$

22. Диаметр задней направляющей, согласно п. 22 методики, принимаем $D_{\text{зн}} = 80\text{X}_{-0,060}^{-0,030}$. Длину задней направляющей берем из приложения 22:

$$l_{\text{зн}} = 60 \text{ мм}$$

Так как протяжка имеет довольно большой вес, проектируем ее с задним хвостовиком — ввертышем. Захватную часть заднего хвостовика делаем такой же, как и переднего хвостовика, исполнительные размеры выбираем из приложения 13; размеры ввертыша заднего хвостовика — из приложения 17.

23. Общую длину протяжки определяем по формуле (56)

$$L = 280 + 434 + 60 + 90 = 864 \text{ мм}$$

За счет заднего направления принимаем округленное значение $L = 860 \text{ мм}$.

Размер центрального отверстия берем из приложения 18. Размеры отверстия под задний хвостовик выбираем из приложения 17.

ГЛАВА VIII

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ШЛИЦЕВЫХ ПРОТЯЖЕК ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Различают три типа шлицевых протяжек: тип А, тип Б и тип В. У протяжек типа А зубья располагаются в следующем порядке: фасочные, круглые, шлицевые; у протяжек типа Б: круглые, фасочные, шлицевые; у протяжек типа В: фасочные, шлицевые, круглые отсутствуют.

Для расчета протяжки задают: диаметр отверстия до протягивания D_0 , наружный диаметр шлицев D , внутренний диаметр шлицев d , число шлицев n , ширину шлицев B , размер m и угол β фаски у внутреннего диаметра шлицевых пазов (если чертежом не заданы, то конструктор назначает сам), характер производства, материал детали, твердость, длину протягивания l , требуемую чистоту поверхностей и другие технические требования, а также тип, модель и тяговое усилие Q станка, ход штока, мощность привода и тип патрона.

Последовательность расчета такая же, как и при проектировании круглых протяжек.

1—7. Порядок расчета по пп. 1—7 соответствует порядку расчета круглых протяжек с учетом соответствующих указаний. Найденные в этих пунктах величины являются исходными для расчета каждой из частей протяжки (круглой, фасочной, шлицевой). У протяжек типа Б расчет круглой части производится по методике расчета для круглых протяжек. Число чистовых зубьев и подъемы на них, число переходных зубьев и подъемы на них выбираются из приложения 4. Исключение составляет лишь длина круглой части l_k , величина которой определяется по приведенной ниже формуле (74).

8. Определение числа зубьев секции z_c , возможное корректирование подъема и числа одновременно участвующих в работе зубьев z_p по максимально допустимой силе резания. Число зубьев в секции на фасочной, круглой и шлицевой частях шлицевых про-

тяжек может быть неодинаковым. Число черновых зубьев в секции на шлицевой части $z_{сш}$ для обеспечения достаточно высокой чистоты поверхности боковых сторон пазов рекомендуется принимать не меньше двух. Число зубьев в секции всех типов с целью уменьшения длины рекомендуется принимать равным 1, если это допускается условиями нормального стружкообразования и усилением протягивания.

Для создания нормальных условий образования витка стружки длина режущих кромок V_{\max} не должна превышать значений, приведенных в приложении 21. Если V_{\max} получится больше, чем допускается, то необходимо разделение стружки выкружками, и z_c должно приниматься равным двум, а в отдельных случаях и больше.

Число зубьев в секции на любой части протяжки, допускаемое максимальным усилием резания, определяется по формуле

$$z_c = \frac{V_{\max} n q_0 z_{pk} r_{k0} k_{oxl}}{P_{\max}} \quad (57)$$

Для определения z_c на круглой, фасочной и шлицевой частях протяжки нужно подставлять в эту формулу соответствующие значения V_{\max} , т. е. $V_{к \max}$, $V_{ф \max}$ и $V_{ш \max}$.

Длина режущих кромок на фасочных зубьях $V_{ф \max}$ приближенно определяется по формулам: для протяжек типа А (фиг. 97)

$$V_{ф \max} = B + 2t + (d - D_0) \text{ мм}; \quad (58)$$

для протяжек типа Б и В

$$V_{ф \max} = B + 2t \text{ мм}. \quad (59)$$

Длина режущих кромок на круглых зубьях $V_{к \max}$ определяется только для протяжек типа А

$$V_{к \max} = \frac{\pi d}{n} - (B + 2t) \text{ мм}. \quad (60)$$

У протяжек типа Б круглая часть рассчитывается отдельно.

Длина режущих кромок шлицевых зубьев для протяжек всех типов принимается равной

$$V_{ш \max} = V_{\max} \text{ мм}. \quad (61)$$

В тех случаях, когда не допускаются заусенцы, выходящие на внутреннюю поверхность диаметра d , рекомендуется у протяжек типа Б и В на фасочных зубьях применять $z_c = 2$.

Если $V_{ф \max}$ и $V_{к \max}$ не превышают значений, приведенных в приложении 21 (т. е. допускается $z_c = 1$), а z_c , полученное в результате расчета по формуле (57), оказывается больше 1, то принимаются два значения: $z_{c \min} = 1$ и $z_{c \max} = 2$ и производится расчет вариантов, как и для круглых протяжек. При этом

формулы (40) и (41) соответственно изменению периметра режущих кромок несколько изменяются:

$$q'_0 = \frac{P_{\max} z_{c \min}}{V_{\max} n z_p k_{\text{мокр}} k_{\text{рo}} k_{\text{охла}}} \text{ кг/мм}; \quad (62)$$

$$z'_p = \frac{P_{\max} z_{c \min}}{V_{\max} n q_0 k_{\text{мокр}} k_{\text{рo}} k_{\text{охла}}}. \quad (63)$$

Как и при расчете круглых протяжек, в этом случае получим три варианта. Если z_c равно или меньше 1, то принимают $z_c = 1$ и s_z и z_p , найденные в пп. 4 и 6.

9. Проверка возможности применения принятой ранее скорости резания (см. п. 4) по мощности привода станка производится так

же, как и для круглых протяжек. Для каждого варианта определяют силу резания по формуле (23), в которую вместо $V_{ш}$ подставляют значение, соответствующее рассчитываемой части протяжки, т. е. $V_{\phi \max}$, или $V_{к \max}$, или $V_{ш \max}$.

10. Распределение припуска между разными частями и зубьями протяжки. Весь припуск на протягивание распределяется между отдельными частями протяжки — фасочной, круглой, шлицевой. На круглой и шлицевой частях имеются черновые, переходные и чистовые зубья, между которыми, в свою очередь, распределяется доля припуска, приходящаяся на данную часть. На фасочной части переходных и чистовых зубьев

Фиг. 97. Наибольшая длина режущих кромок (ширина среза) на различных зубьях.

нет, и поэтому весь припуск, приходящийся на нее, срезается черновыми зубьями.

Припуск на фасочную часть для протяжек типа А определяется по формуле

$$A_{\phi} = D_{\phi} - D_{o \min} \text{ мм}, \quad (64)$$

где D_{ϕ} — диаметр последнего фасочного зуба,

$$D_{\phi} = d + 2t + 0,4 \text{ мм}. \quad (65)$$

Формула (65) справедлива и для типов Б и В. Для протяжек типа Б и В припуск определяется по формуле

$$A_{\phi} = 2t + 0,4 \text{ мм}. \quad (66)$$

Припуск на круглую часть протяжек типа А определяется по формуле

$$A_k = d_{\max} - D_{o \min} \text{ мм}. \quad (67)$$

Припуск на черновые зубья круглой части $A_{ко}$ определяется по формуле

$$A_{ко} = A_k - (A_{кп} + A_{кч}) \text{ мм.} \quad (68)$$

где $A_{кп}$ — припуск на переходные круглые зубья, указывается в табл. 3 приложения 4;

$A_{кч}$ — припуск на чистовые круглые зубья (см. табл. 2 приложения 4).

Припуск на шлицевую часть для протяжек всех трех типов определяется по формуле

$$A_{ш} = D_{\text{макс}} - D_{ш1} \text{ мм,} \quad (69)$$

где $D_{ш1}$ — диаметр первого шлицевого зуба.

$$D_{ш1} = D_{\phi} - 0,1 \text{ мм.} \quad (70)$$

D_{ϕ} определяется по формуле (65).

Первый шлицевый зуб в секции не объединяется; выкружки на нем не делаются.

Распределение припуска между черновыми, переходными и чистовыми зубьями производится по формуле

$$A_{шо} = A_{ш} - (A_{шп} + A_{шч}) \text{ мм,} \quad (71)$$

где $A_{шп}$ и $A_{шч}$ выбираются из приложения 4.

11. Число секций черновых зубьев i_o , остаточный припуск $A_{ост}$ и распределение его. Число секций черновых зубьев i_o на всех частях протяжки (фасочной, круглой и шлицевой) предварительно определяется по формуле (44) с подстановкой в нее соответствующих значений A_o и s_{zo} , принятых для рассчитываемой части протяжки. Например, для шлицевой части формула (44) будет иметь вид

$$i_{шо} = \frac{A_{шо}}{2s_{z шо}}$$

Полученное дробное число секций черновых зубьев округляется до ближайшего меньшего целого числа. Остаточный припуск, получаемый при этом, определяется по формуле (45) и относится к черновым, переходным или чистовым зубьям, так же как и у круглых протяжек (см. стр. 138). После распределения $A_{ост}$ число секций черновых зубьев соответственно корректируется.

12. Число всех зубьев протяжки z . Общее число зубьев протяжки определяется по формуле $z = z_{\phi} + z_k + z_{ш}$. Фасочные зубья — только черновые.

Числа круглых z_k и шлицевых $z_{ш}$ зубьев являются суммами черновых, переходных, чистовых и калибрующих зубьев.

Число всех зубьев на фасочной части и черновых зубьев на круглой части протяжки определяется так же, как и на круглых протяжках; на шлицевой части — по формуле

$$z_{шо} = i_{шо} z_{сш} + 1. \quad (72)$$

Число черновых зубьев корректируется в зависимости от размещения остаточного припуска. Количество переходных, чистовых и калибрующих зубьев берется по приложению 4 и корректируется в зависимости от размещения остаточного припуска.

13. Подъем переходных и чистовых зубьев круглой и шлицевой части протяжки определяется по приложению 4.

14. Длина режущей части протяжки L_p , шаг и профиль чистовых зубьев. Для протяжек типа А длина режущей части

$$L_p = l_\phi + l_k + l_w \text{ мм}, \quad (73)$$

где $l_\phi = t_o z_\phi$ мм.

Длина круглой и шлицевой частей l_k и l_w определяется как сумма произведений соответствующих величин шагов на число зубьев:

$$l_k = t_o (z_{ko} + z_{kn}) + t_u (z_{ku} + z_{kn} - 1) \text{ мм}; \quad (74)$$

$$l_w = t_o (z_{wo} + z_{wn} + 1) + t_u (z_{wu} + z_{wn} - 1) \text{ мм}. \quad (75)$$

Для определения L_p протяжек типа Б используются те же формулы с небольшими изменениями. Так, при определении длины фасочной части должно учитываться увеличение ее на один шаг, т. е.

$$l_\phi = t_o (z_\phi + 1) \text{ мм}.$$

Длина шлицевой части уменьшится на один шаг, т. е.

$$l_w = t_o (z_{wo} + z_{wn}) + t_u (z_{wu} + z_{wn} - 1) \text{ мм}. \quad (75a)$$

Длина круглой части подсчитывается по формуле (74) без изменений.

Для определения L_p протяжек типа В необходимо определять лишь l_ϕ и l_w : l_ϕ определяется как и у протяжек типа А; l_w определяется по формуле (75a).

Когда требуется, чтобы на внутренних поверхностях шлицевых выступов не оставалось заусенцев, неизбежно образующихся при работе фасочных зубьев, последние помещаются между переходными и чистовыми круглыми зубьями. При этом длина фасочной и шлицевой частей таких протяжек подсчитывается по формулам, применяющимся для протяжек типа А.

С целью обеспечения выхода шлифовального круга при обработке боковых сторон зубьев фасочной и шлицевой частей между этими частями и примыкающими к ним другими частями протяжки нужно предусматривать достаточное расстояние (не менее 12—15 мм).

При выборе различных частей протяжки из разных вариантов расчета нужно следить за тем, чтобы шаг зубьев на стыке двух частей был не меньше шага, принятого для последующей части. В соответствии с этим в некоторых случаях длина протяжки будет увеличиваться на несколько миллиметров.

Шаг чистовых и калибрующих зубьев t_c берется из приложения 19. Профиль зубьев выбирается по приложению 10.

15. Определение элементов режущей части протяжки в дополнительных вариантах.

После определения длины режущих частей для исходного варианта производится расчет дополнительных вариантов. Последние рассчитываются по измененному в сторону увеличения числу одновременно работающих зубьев z_p+1 ; z_p+2 и т. д. Производится корректировка подачи по помещаемости и силам резания (см. п. 15 методики расчета круглых протяжек).

Как и для круглых протяжек, на этом заканчивается определение элементов, необходимых для выбора оптимального варианта. Остальные элементы определяются только для оптимального варианта. Выбор оптимального варианта производится для каждой части протяжки (фасочной, круглой и шлицевой) отдельно.

16. Диаметры калибрующих (круглых $D_{кк}$ и шлицевых $D_{кш}$) зубьев принимаются равными максимальному внутреннему и наружному диаметру шлицевого отверстия

$$D_{кк} = d_{\max} \text{ мм}; \quad (76)$$

$$D_{кш} = D_{\max} \text{ мм}. \quad (77)$$

Допуски на них, как и на калибрующих зубьях круглых протяжек, назначаются от $-0,005$ до $-0,01$ мм. Иногда, в зависимости от конфигурации деталей, диаметр калибрующих зубьев изменяют в ту или другую сторону после испытания новых протяжек.

17. Диаметр впадин фасочных зубьев $D_{вф}$ и шлицевых зубьев $D_{вш}$. На протяжках типа А эти зубья работают, начиная с диаметра отверстия до протягивания, поэтому $D_{вф}$ принимается равным $D_{о\min}$ с допуском по посадке X_4 .

Для протяжек типа Б и В диаметр $D_{вф}$ принимается равным внутреннему диаметру шлицевого отверстия d_{\min} .

Диаметр впадин на фасочной части $D_{вф}$ у протяжек типа Б, у которых фасочные зубья располагаются между переходными и чистовыми зубьями круглой части, принимается равным диаметру зачищающего переходного круглого зуба предпоследней секции. Допуск и посадка на $D_{вф}$ назначаются по X_3 или по X_4 (см. ниже).

Диаметр впадин на шлицевой части протяжек всех типов $D_{вш}$ принимается равным d_{\min} с допуском по X_3 или X_4 в зависимости от технических требований на расположение шлицевых пазов относительно оси отверстия. При повышенных требованиях к соосности отдельных элементов шлицевого отверстия можно применять допуск по Л. В этих случаях обязательно требуется притуплять места переходов поверхности впадины к стружечной канавке, иначе на внутренней поверхности шлицевого отверстия могут появиться задиры.

18. Расчет числа выкружек N , ширины режущих секторов B , ширины выкружек g , радиуса круга R_n , радиуса выкружек R_s на прорезных зубьях всех частей протяжек всех типов. Выкружки на фасочных зубьях наносятся только тогда, когда число зубьев в секции $z_{сф}=2$. Число выкружек на шлицевых протяжках равно числу впадин

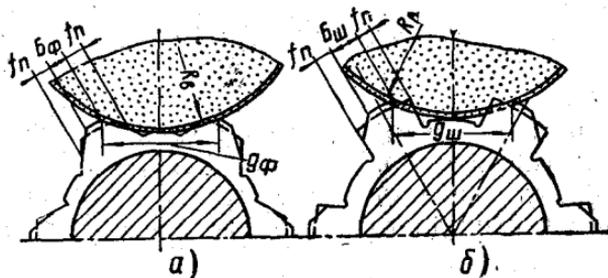
$$N_{\phi} = N_u = n.$$

При этом на каждом зубе образуется по две криволинейные фаски. Ширина режущих секторов B (фиг. 98) по технологическим соображениям на прорезных фасочных и шлицевых зубьях назначается одинаковой и определяется по формуле

$$B_{\phi} = B_u = B_u - 2f_n \text{ мм}, \quad (78)$$

где f_n — ширина фаски на шлицевом зубе по табл. 3 приложения 21.

Радиус шлифовального круга для нанесения выкружек определяется по приложению 20 в зависимости от ширины выкружки. Ширина выкружек на фасочных и шлицевых зубьях при принятой



Фиг. 98. Нанесение выкружек на прорезных зубьях: а — фасочных; б — шлицевых.

постоянной ширине режущих секторов является величиной переменной; для вычисления радиуса круга это не имеет значения, и поэтому ширина определяется приближенно по формуле

$$g_u = \frac{\pi d}{n} - B_u \text{ мм}. \quad (79)$$

При проектировании протяжек для нестандартных шлицевых соединений, имеющих малый окружной шаг между шлицами, радиус выкружек на фасочных и шлицевых зубьях определяется по формуле

$$R_s = \sqrt{\frac{x^2 + \frac{(x^2 - y^2 - z^2)^2}{4z^2}}{2}} \text{ мм}. \quad (80)$$

Значения x , y и z определяются из соотношений между размерами шлицевого соединения (фиг. 99) по формулам:

$$x = 0,5D_{\phi} \sin(\theta - \tau) \text{ мм}; \quad (80a)$$

$$y \doteq 0,5 (D_{\phi} - 4s_2) \sin(\Theta - \lambda) \text{ мм}; \quad (80б)$$

$$z = 0,5 [D_{\phi} \cos(\Theta - \tau) - (D_{\phi} - 4s_2) \cos(\Theta - \lambda)] \text{ мм}, \quad (80в)$$

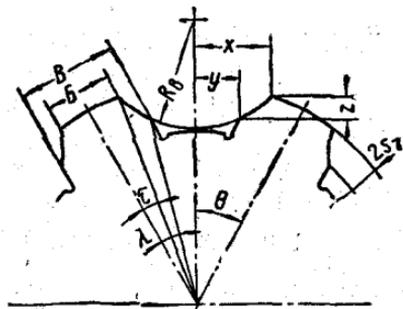
где $\Theta = \frac{180^\circ}{n}$; $\sin \tau = \frac{B_{ш}}{D_{\phi}}$; $\sin \lambda = \frac{B}{D_{\phi} - 4s_2}$.

Радиус шлифовального круга для нанесения выкружки определяется по формуле

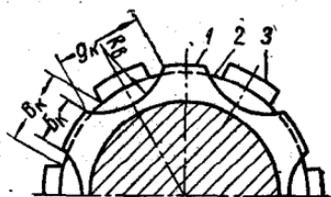
$$R_k = R_g \cos \beta \text{ мм}, \quad (81)$$

где β — угол наклона оси шпинделя шлифовального круга относительно оси протяжки (см. приложение 20).

Число зубьев в секции на круглой части протяжек типа А может быть равно 2 или 1. Если зубья имеют подъем на каждый зуб ($z_c = 1$), то круглые зубья выполняются без выкружек. При двух



Фиг. 99. Схема определения радиуса выкружки для нестандартных шлицевых соединений.



Фиг. 100. Схема расположения выкружек на круглых зубьях относительно шлицевых зубьев:

1 — круглый прорезной зуб; 2 — круглый зачистной зуб; 3 — шлицевый зуб.

зубьях в секции круглые прорезные зубья выполняются с выкружками, располагающимися симметрично относительно фасочных зубьев. Число выкружек на круглых черновых и переходных зубьях должно быть равно числу шлицев, т. е. $N_o = n$.

Ширина режущего сектора на прорезном зубе круглой части протяжки после снятия выкружки B_k принимается равной примерно половине B_k , найденной по формуле (60), т. е. (фиг. 100)

$$B_k \approx 0,5 B_k \text{ мм}. \quad (82)$$

Ширина выкружки на прорезных зубьях круглой части вычисляется по формуле, аналогичной формуле (79),

$$g_k = \frac{\pi d}{n} - B_k \text{ мм}. \quad (83)$$

Радиус выкружки при двухзубой секции выбирается из приложения 20.

Расположение выкружек на круглых зубьях шлицевой протяжки относительно шлицевых выступов показано на фиг. 100.

Определение элементов выкружек и их числа для круглой части протяжек типа Б связано с местонахождением фасочных зубьев. Если они располагаются после калибрующих круглых зубьев, то N , B , g и R_k рассчитываются так же, как и для круглых протяжек (см. стр. 142).

Если фасочные зубья помещаются между переходными и чистовыми круглыми зубьями, то элементы выкружек для черновых и переходных зубьев определяются так же, как и для круглых протяжек, а для чистовых зубьев — как для протяжек типа А. Исключение составляет ширина выкружек g_4 , величина которой определяется по формуле

$$g_4 = 0,6 \left(\frac{\pi d}{n} + B + 2m \right) \text{ мм.} \quad (84a)$$

Число и расположение выкружек на чистовых круглых (протяжки типа А) и шлицевых (все типы протяжек) зубьях. На чистовых зубьях шлицевых протяжек (на круглой и шлицевой частях) подъем дается на каждый зуб. В тех случаях, когда ширина режущего сектора превышает рекомендации приложения 21, для разделения стружки наносятся выкружки. Их число уменьшается вдвое по сравнению с числом шлицев (т. е. $N_4 = \frac{n}{2}$), и они располагаются через зуб по окружности и в шахматном порядке на соседних зубьях (см. фиг. 77). При высоких требованиях к чистоте поверхности чистовые зубья объединяются в секции, как и на круглых протяжках; радиус круга такой же, что и для прорезных черновых и переходных зубьев.

Ширина выкружки на круглых чистовых зубьях выполняется несколько больше, чем на черновых зубьях,

$$g_{кч} = 1,2g_{ко} \text{ мм.} \quad (84)$$

Ширина режущего сектора на чистовых шлицевых зубьях (см. фиг. 77, а)

$$B_{шч} = 0,7 B_{ш} \text{ мм.} \quad (85)$$

19. Расчет элементов хвостовика передней направляющей, длины переходного конуса, длины протяжки от переднего торца до первого зуба протяжки и элементов задней направляющей. Все элементы хвостовика передней и задней направляющих за исключением диаметра задней направляющей, а также общей длины протяжки определяются для шлицевых протяжек так же, как и для круглых (см. пп. 19—23 методики расчета круглых протяжек). Разница в определении диаметра задней направляющей заключается в том, что он рассчитывается не в зависимости от наружного диаметра

зубьев, а принимается равным диаметру впадин шлицев протяжки, т. е. $D_{вн} = D_{вн}$. Допуск на $D_{вн}$ тот же, что и на $D_{вн}$.

Длина переходного конуса определяется по приложению 23. Длина протяжки от переднего торца до первого зуба L_1 определяется по приложению 22. Если протяжки приходится делить на две — первого и второго прохода, то передняя направляющая второго прохода изготавливается со шлицевыми выступами, размер которых приведен в приложении 23.

2. РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ФАСОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ПРЯМОБОЧНЫХ ШЛИЦЕВ

При проектировании шлицевых протяжек с ленточками на боковых поверхностях шлицевых зубьев расчет профиля сводится к определению ширины зубьев, угла поднутрения и ширины ленточек.

Ширина шлицевых зубьев определяется по формуле

$$B_{ш} = B_{мин} + \frac{2}{3} \Delta B \text{ мм.} \quad (86)$$

где ΔB — поле допуска на ширину шлицевого паза детали.

Допуск назначается в зависимости от допуска на размер шлицевого паза ΔB в пределах от $-0,01$ до $-0,02$ мм. Нижнее значение принимается для пазов с допусками по 2 и 3 классам точности; верхнее — для более грубых пазов.

Формула (86) относится к однопроходным протяжкам и протяжкам первого прохода. У протяжек второго и каждого последующего прохода ширина шлицевых зубьев уменьшается по сравнению с предыдущими на $0,01-0,02$ мм. Это необходимо для того, чтобы компенсировать неизбежные ошибки по расположению шлицевых зубьев по окружности, а также отклонение от оси (винтообразность) при шлифовании. В тех случаях, когда получается недопустимое занижение ширины шлицевого зуба, применяется калибровка по ширине шлицевых пазов.

Размер ленточки по боковым сторонам зубьев задается $f = 0,5 \div 1$ мм. Боковое поднутрение под углом $2-4^\circ$ выполняется, начиная с зуба, диаметр которого на $1-2$ мм больше диаметра впадин $D_{вн}$.

Фасочные зубья всегда должны шлифоваться с поднятием заднего хвостовика.

Расчет профиля фасочных зубьев при шлифовании с подъемом заднего хвостовика необходим для нанесения исполнительных размеров на чертеж протяжки. Он зависит от способа шлифования зубьев. На чертеже должен указываться способ шлифования периферией цилиндрического круга или фасонным кругом (см. фиг. 90).

Исходные данные для расчета профиля фасочных зубьев: число шлицев n , угол фаски β и размер ее m , эти величины задаются

чертежом детали. При протягивании протяжками типа А вместо размера m берется m' (см. фиг. 97), вычисляемый по формуле

$$m' = m + \frac{D_0 \sin \beta \sin (\alpha + \beta + \gamma)}{2 \sin (\alpha + \beta)} \text{ мм}; \quad (87)$$

$$\sin \alpha = \frac{B + 2m}{d};$$

$$\gamma = 180^\circ - \arcsin \left[\frac{d}{D_0} \sin (\alpha + \beta) \right].$$

Угол профиля фасочных зубьев β_k в зависимости от числа шлицев должен приниматься по приложению 21.

Величина подъема оси последнего фасочного зуба относительно первого C_ϕ для создания вспомогательного угла в плане и получения заданного чертежом угла фаски определяется по следующим формулам: при шлифовании периферией круга для протяжек типа А

$$C_\phi = \psi m' \text{ мм}; \quad (88)$$

при шлифовании периферией круга для протяжек типа Б и В

$$C_\phi = \psi m \text{ мм}; \quad (89)$$

коэффициент $\psi = \frac{\sin (\beta - \beta_k)}{\sin \beta}$; числовые значения ψ для разных чисел шлицев приведены в приложении 21; при шлифовании фасонным кругом для протяжек типа А

$$C_\phi = \varepsilon m' \text{ мм}; \quad (90)$$

при шлифовании фасонным кругом для протяжек типа Б и В

$$C_\phi = \varepsilon m \text{ мм}; \quad (91)$$

коэффициент $\varepsilon = \frac{\sin (\beta - \beta_k)}{\sin \beta \sin \left(\frac{180^\circ}{n} + \beta_k \right)}$. Числовые значения ε даны в

приложении 21.

Размер H_1 — расстояние от оси до боковой стороны профиля первого фасочного зуба (см. фиг. 90) — определяется для обоих видов шлифования по формуле

$$H_1 = \frac{D_0}{2} \sin (\beta + \gamma - \beta_k) \text{ мм}. \quad (92)$$

Размер $H_2 = H_{\phi n}$ — расстояние от оси до боковой стороны профиля последнего фасочного зуба — определяется: при шлифовании периферией круга

$$H_2 = H_1 - C_\phi \text{ мм}; \quad (93)$$

при шлифовании фасонным кругом

$$H_2 = H_1 - C_\phi \sin \frac{180^\circ}{n} \text{ мм.} \quad (94)$$

Для измерения микрометром шагового размера величина H каждого зуба — первого и последнего — удваивается.

Допуск на размер H принимается равным — 0,02 мм. Допуск на шаговой размер $2H$ принимается равным — 0,04 мм. Откорректированный угол профиля шлифовального фасонного круга (см. фиг. 90) определяется по формуле

$$2\theta_{\phi\kappa} = \frac{360^\circ}{n} + 2\beta_{\kappa}. \quad (95)$$

Допуск на этот угол назначается $\pm 30'$.

Величина подъема заднего направления протяжки C определяется по формуле

$$C = \frac{C_\phi}{l'_\phi} L_y \text{ мм,} \quad (96)$$

где L_y — расстояние между точками, по которым производится контроль задней направляющей (см. фиг. 88),

$$L_y = L - L_1 + (t - b) - l_{зхв} \text{ мм;}$$

l'_ϕ — расстояние между вершинами первого и последнего фасочных зубьев,

$$l'_\phi = t_\phi (z_\phi - 1) \text{ мм.}$$

На периферии шлифовального круга делается выборка глубиной $C_\phi \pm 0,5$ мм.

На чертеже протяжки дается схема шлифования, поперечное сечение перед последним фасочным зубом, на котором представляются его исполнительные размеры; величина подъема C указывается на длине L_y .

3. РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ПРЯМОБОЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ЗУБЬЕВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ С ПОДЪЕМОМ ЗАДНЕГО ХВОСТОВИКА ПРОТЯЖКИ

Ширина по вершинам шлицевых зубьев у протяжек, шлифуемых с подъемом заднего хвостовика, назначается больше, чем у протяжек с ленточками, так как в этом случае винтообразность меньше влияет на размер шлицевого паза:

$$B_{ш} = B_{\max} \text{ мм,} \quad (97)$$

где B_{\max} — верхний предельный размер шлицевого паза.

Допуск на $B_{ш}$ назначается в пределах от —0,01 до —0,02 мм, как и у протяжек с ленточками.

Величина подъема заднего хвостовика зависит от величины вспомогательного угла в плане φ_1 , числа шлицев n , ширины шли-

цев B , а также от радиусов первого и последнего черновых шлицевых зубьев R_1 и R_2 (см. фиг. 78, б). Вспомогательный угол в плане φ_1 назначается равным $2-3^\circ$. Большее значение φ_1 применяется для шлицевых отверстий с числом пазов 8 и более.

Откорректированный угол профиля $2\theta_k$ определяется по формуле

$$2\theta_k = 2\theta - 2\varphi_1, \quad (98)$$

где $2\theta = \frac{360^\circ}{n}$.

Величина подъема оси последнего шлицевого чернового зуба относительно первого определяется по формуле

$$C_{ш} = \lambda (R_2 - R_1) \text{ мм}, \quad (99)$$

где $\lambda = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \theta_k}$; числовые значения λ даны в приложении 21.

Величина подъема задней направляющей C определяется по формуле

$$C = \frac{C_{ш}}{l'_{шo}} L_y \text{ мм},$$

где $l'_{шo}$ — расстояние между вершинами первого и последнего чернового шлицевого зубьев,

$$l'_{шo} = t_{шo} (z_{шo} - 1) \text{ мм}.$$

Величина L_y принимается такой же, как и в расчете профиля фасочных зубьев.

Величина выборки по периферии шлифовального круга равна $C_{ш} + 0,5 \text{ мм}$.

На чертеже протяжки строится сечение и указывается величина подъема аналогично тому, как это было сделано на чертеже для фасочных зубьев.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ ШЛИЦЕВОЙ ПРОТЯЖКИ ТИПА А

Исходные данные: материал детали — сталь 12ХНЗА; твердость $H_B = 286 \div 255$ ($d_{омн} = 3,6 \div 3,8 \text{ мм}$); диаметр отверстия до протягивания $D_o = 27,6^{+0,14} \text{ мм}$; внутренний диаметр шлицевого отверстия $d = 28^{+0,023} \text{ мм}$; наружный диаметр шлицевого отверстия $D = 32^{+0,05} \text{ мм}$; число шлицев $n = 6$; ширина шлицев $B = 8^{+0,085}_{+0,035} \text{ мм}$; размер фасок на шлицах $m = 0,2 \text{ мм}$; угол фасок по чертежу $\beta = 45^\circ$; длина протягиваемой поверхности $l = 45 \text{ мм}$; чистота протянутой поверхности $\nabla 6$; станок модели 7А510 в хорошем состоянии; паспортное тяговое усилие станка $Q = 10000 \text{ кг}$; мощность электродвигателя $N_n = 14 \text{ квт}$; диапазон скоростей рабочего хода станка $v = 1,5 \div 13 \text{ м/мин}$; максимальный ход ползуна $L_{макс} = 1200 \text{ мм}$; патрон для закрепления протяжки на станке — быст-

родействующий автоматический; характер производства массовый.

1. Определение материала протяжки. Согласно приложению 1, сталь марки 12ХНЗА при $d_{\text{отп}} = 3,6 \div 3,8$ мм относится ко II группе обрабатываемости. Для такой стали при заданных условиях материал протяжки — сталь Р18 (см. приложение 2).

2. Выбор способа соединения тела протяжки и хвостовика, а также материала, типа и диаметра хвостовика. В соответствии с рекомендациями к пункту 2 методики расчета круглой протяжки и приложения 13 принимаем сварную конструкцию; материал хвостовика — сталь 45Х; тип хвостовика — под быстродействующий патрон; диаметр хвостовика $D_{\text{хв}} = 25 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,085 \end{smallmatrix}$ мм. Исполнительные размеры хвостовика и допуски на них берем из приложения 13.

3. Определение задних и передних углов зубьев α и γ . В соответствии с приложением 3 задние углы для черновых и переходных зубьев $\alpha = 3^\circ$; для чистовых $\alpha = 2^\circ$ и для калибрующих $\alpha = 1^\circ$. Для черновых и переходных зубьев передний угол $\gamma = 15^\circ$, для чистовых и калибрующих $\gamma = 18^\circ$. Данные передние углы могут быть получены при использовании шлифовального круга диаметром $D_k \leq 40$ мм при установке шлифовального шпинделя под углом $\beta_s = 50^\circ$ (см. приложение 8).

4. Определение подъема черновых зубьев s_{zc} по стойкости. Учитывая массовый характер производства, подъем черновых зубьев находим из условия равной стойкости черновой и чистовой частей протяжки. Согласно приложению 4, толщина среза на чистовых зубьях $a = 0,02$ мм. В приложении 5 для данных условий работы рекомендуется $v = 6$ м/мин. Как видно из номограммы IIа приложения 6, при данных v и a стойкость чистовых зубьев $T = 9,2$ мин. Эта стойкость позволяет протянуть между переточками примерно 1200 заготовок, что удовлетворяет требованиям производства. По номограмме IIб приложения 6 находим, что при $v = 6$ м/мин и $T = 9,2$ мин. подъем черновых зубьев $s_{zc} = 0,14$ мм.

Зубья шлицевых протяжек работают в более тяжелых условиях, чем зубья круглых, поэтому для обеспечения стойкости $T = 9,2$ мин., определенной выше согласно примечанию к приложению 5, скорость резания должна быть снижена на 30%. Следовательно, рабочая скорость резания $v_{\text{раб}} \approx 4$ м/мин.

5. Определение глубины стружечной канавки для размещения стружки, полученной при $s_{zc} = 0,14$ мм. По номограмме а приложения 11 при $k = 3$, $l = 45$ мм и $s_{zc} = 0,14$ мм глубина стружечной канавки $h = 5$ мм. В приложении 10 для этой глубины подбираем профиль № 8. Следует проверить, соответствует ли принятая глубина стружечной канавки условиям жесткости, т. е. выдержано ли неравенство $h \leq h_{\text{макс}}$. По формуле (35) глубина $h_{\text{макс}} = 0,2D_0 = 0,2 \cdot 27,6 = 5,52$ мм, т. е. h меньше $h_{\text{макс}}$. Следова-

тельно, $h=5$ мм можно принять для дальнейших расчетов без корректировки.

6. Определение шага t_o и числа одновременно участвующих в работе черновых зубьев z_p . Принятому профилю стружечной канавки № 8 соответствуют два значения шага. Принимаем меньший из них $t_o=12$ мм. Следовательно, по формуле (1)

$$z_p \geq \frac{45}{12 - 0,4} = 3,9.$$

Принимаем $z_p=4$.

7. Определение максимально допустимой силы резания P_{\max} . Для станка, находящегося в хорошем состоянии, $P_{ст}=0,9Q=0,9 \cdot 10000=9000$ кг. В соответствии с приложением 13 сила $P_{хв}=8490$ кг. Для определения $P_{он}$ находим диаметр опасного сечения по формуле (38): $D_{он}=27,6-10=17,6$ мм. Согласно приложению 12, при $[\sigma]_p=40$ кг/мм² $P_{он}=9000$ кг. Таким образом, $P_{\max}=P_{хв}=8490$ кг.

8. Определение числа зубьев в секции z_c и корректирование подъема по максимально допустимой силе резания. В общем случае z_c для шлицевых протяжек определяется по формуле (57). Ширина среза у фасочных, круглых и шлицевых зубьев протяжки не одинакова, поэтому вначале определяем ее значение по формулам (58), (60) и (61):

$$B_{\phi \max} = 8 + 2 \cdot 0,2 + (28 - 27,6) = 8,8 \text{ мм};$$

$$B_{к \max} = \frac{3,14 \cdot 28}{6} - (8 + 0,4) = 6,25 \text{ мм};$$

$$B_{ш \max} = 8,085 \text{ мм}.$$

Данные для поправочных коэффициентов и q_o берем из приложения 7, рекомендации по охлаждению — из приложения 5. При $s_{zo}=0,14$ мм и $\gamma=15^\circ$ $q_o=29,38$ кг/мм

$k_{mo}=1,15$; $k_{po}=1,08$; $k_{охл}=1$ (для сульфозрезола).

Полученные значения перечисленных величин подставляем в формулу (57):

$$z_{сф} = \frac{8,8 \cdot 6 \cdot 29,38 \cdot 4 \cdot 1,15 \cdot 1,08 \cdot 1}{8490} = 0,9;$$

$$z_{ск} = \frac{6,25 \cdot 6 \cdot 29,38 \cdot 4 \cdot 1,15 \cdot 1,08 \cdot 1}{8490} = 0,64;$$

$$z_{сш} = \frac{8,085 \cdot 6 \cdot 29,38 \cdot 4 \cdot 1,15 \cdot 1,08 \cdot 1}{8490} = 0,84;$$

принимаем целое число $z_c=1$.

Таким образом, по усилию резания для всех частей протяжки допускается работа с одним зубом в секции.

Проверяем возможность работы с $z_c=1$ по условию нормального свертывания стружки. Так как $B_{\phi \max}$, $B_{к \max}$, $B_{ш \max}$ не пре-

вышают значений, рекомендуемых в приложении 21, то можно принять для фасочной и круглой частей $z_c=1$. Для шлицевой части с целью обеспечения требуемой чистоты боковых сторон шлицевого паза принимаем $z_c=2$.

9. Проверку возможности работы с принятой скоростью резания не производим согласно примечанию к пункту 9 методики расчета круглых протяжек.

10. Распределение припуска между разными частями и зубьями протяжки. Припуск на фасочную часть A_ϕ определяется по формуле (64); диаметр последнего фасочного зуба D_ϕ по формуле (65)

$$D_\phi = 28 + 2,02 + 0,4 = 28,8 \text{ мм};$$

$$A_\phi = 28,8 - 27,6 = 1,2 \text{ мм}.$$

Припуск на круглую часть протяжки по формуле (67) равен

$$A_k = 28,023 - 27,6 = 0,423 \text{ мм}.$$

Припуск на круглую часть протяжки, в свою очередь, распределяется между чистовыми, переходными и черновыми зубьями. Согласно приложению 4, припуск на чистовые круглые зубья $A_{кч} = 0,12 \text{ мм}$; припуск на переходные зубья по табл. 3 приложения 4 $A_{кп} = 0,16 \text{ мм}$.

Припуск на черновые круглые зубья $A_{ко}$ определяем по формуле (68)

$$A_{ко} = 0,423 - (0,12 + 0,16) = 0,143 \text{ мм}.$$

Припуск на шлицевую часть определяем по формулам (69) и (70):

$$D_{ш1} = 28,8 - 0,1 = 28,7 \text{ мм};$$

$$A_{ш} = 32,05 - 28,7 = 3,35 \text{ мм}.$$

Между различными зубьями шлицевой части припуск распределяется в соответствии с приложением 4 следующим образом: на чистовые шлицевые зубья $A_{шч} = 0,08 \text{ мм}$; на переходные шлицевые зубья $A_{шп} = 0,16 \text{ мм}$.

Припуск на черновые шлицевые зубья по формуле (71)

$$A_{шо} = 3,35 - (0,08 + 0,16) = 3,11 \text{ мм}.$$

11. Определение числа секций черновых зубьев остаточного припуска и распределение его между разными зубьями. Число секций черновых зубьев определяется по формуле (44). В связи с тем, что для круглой и фасочной частей протяжки в пункте 8 принят подъем на каждый зуб ($z_c=1$), то найденные по формуле (44) величины будут представлять собой число черновых зубьев на фасочной и круглой частях, а не число секций. Поэтому на фасочной части

$$i_\phi = z_\phi = \frac{1,2}{2 \cdot 0,14} = 4,28;$$

на круглой части

$$i_{ко} = z_{ко} = \frac{0,143}{2 \cdot 0,14} = 0,5;$$

на шлицевой части

$$i_{шо} = \frac{3,11}{2 \cdot 0,14} = 11,1.$$

Предварительно принимаем целые числа $z_{\phi} = 4$; $z_{ко} = 0$ и $i_{шо} = 11$ и определяем величину остаточного припуска по формуле (45):

$$A_{ост \phi} = 1,2 - 2 \cdot 0,14 \cdot 4 = 0,08 \text{ мм};$$

$$A_{ост к} = 0,143 - 2 \cdot 0,14 \cdot 0 = 0,143 \text{ мм};$$

$$A_{ост ш} = 3,11 - 2 \cdot 0,14 \cdot 11 = 0,03 \text{ мм}.$$

В соответствии с указаниями к п. 11 методики распределяем остаточный припуск следующим образом:

1) на фасочной части добавляем один зуб с подачей на сторону $s_{z\phi} = 0,04$ мм, в связи с чем окончательное число фасочных зубьев равно $z_{\phi} = 4 + 1 = 5$;

2) на круглой части за счет остаточного припуска получаем один черновой зуб с подачей $s_{zко} = 0,07$ мм; $z_{ко} = 1$; микронную часть остаточного припуска $0,003$ мм присоединяем к припуску на чистовую круглую часть; $A_{кч} = 0,12 + 0,003 = 0,123$ мм;

3) на шлицевой части присоединяем остаточный припуск к припуску на чистовые зубья шлицевой части; $A_{шч} = 0,08 + 0,03 = 0,11$ мм.

12. Определение числа всех зубьев протяжки. Число всех зубьев протяжки определяется как сумма зубьев всех частей протяжки, т. е.

$$z = z_{\phi} + z_{к} + z_{ш};$$

число круглых зубьев

$$z_{к} = z_{ко} + z_{кп} + z_{кч} + z_{кк}$$

где $z_{ко} = 1$ (см. п. 11 методики).

Согласно табл. 3 приложения 4, $z_{кп} = 2$, а согласно табл. 2 $z_{кч} = 4$ и $z_{кк} = 4$. Таким образом, общее число круглых зубьев $z_{к} = 1 + 2 + 4 + 4 = 11$.

Число шлицевых зубьев определяется по формуле

$$z_{ш} = z_{шо} + z_{шп} + z_{шч} + z_{шк}$$

В свою очередь, согласно формуле (72)

$$z_{шо} = 11 \cdot 2 + 1 = 23.$$

Число зубьев остальных частей шлицевой части находим из приложения 4: по табл. 3 $z_{шп} = 4$; по табл. 2 $z_{шч} = 3$, но один зуб добавляется в связи с присоединением остаточного припуска к чистовой части, поэтому окончательно $z_{шч} = 4$; по табл. 2 величина $z_{шк} = 4$.

Следовательно, $z_{ш} = 23 + 4 + 4 + 4 = 35$. Таким образом, общее число всех зубьев протяжки

$$z = 5 + 11 + 35 = 51.$$

13. Определение подъема переходных и чистовых зубьев круглой и шлицевой частей протяжки. Подъемы переходных и чистовых зубьев выбираются из приложения 4: на переходных зубьях, согласно табл. 3, $s_{зкп} = 0,05$ мм на первом круглом зубе; $s_{зкп} = 0,03$ мм на втором круглом зубе; на первой секции шлицевых зубьев $s_{змп} = 0,05$ мм; на второй секции $s_{змп} = 0,03$ мм.

Подъемы чистовых зубьев согласно табл. 2 приложения 4 с учетом присоединения остаточного припуска: на первых двух круглых зубьях $s_{зкч} = 0,02$ мм; на третьем круглом зубе $s_{зкч} = 0,0115$ мм; на четвертом зубе $s_{зкч} = 0,01$ мм. На шлицевых зубьях $s_{зшч} = 0,02$ мм (на одном зубе); $s_{зшч} = 0,015$ мм (на одном зубе) и $s_{зшч} = 0,01$ (на последних двух зубьях).

14. Определение длины режущей части протяжки, шагов и профилей чистовых и калибрующих зубьев. Шаги чистовых зубьев $t_{ч}$ и калибрующих $t_{к}$ круглой и шлицевой частей при $t_o = 12$ мм согласно приложению 19: $t_{ч} = t_{к} = 9$ мм. В соответствии с приложением 10 глубина стружечной канавки $h = 4$ мм; ширина спинки зуба $b = 3$ мм, профиль № 6.

Длину режущей части L_p протяжки определяем по формуле (73), предварительно определив l_{ϕ} , $l_{к}$ и $l_{ш}$:

$$l_{\phi} = t_o z_{\phi} = 12 \cdot 5 = 60 \text{ мм};$$

$$l_{к} = 12(1+2) + 9(4+4-1) = 99 \text{ мм};$$

$$l_{ш} = 12(23+4+1) + 9(4+4-1) = 399 \text{ мм};$$

$$L_p = 60 + 99 + 399 = 558 \text{ мм}.$$

15. Определение элементов режущей части протяжки в дополнительных вариантах. Для получения дополнительных вариантов протяжки ведем расчеты в соответствии с п. 15 методики, т. е. для второго варианта принимаем

$$z_{p2} = z_p + 1 = 4 + 1 = 5.$$

По формуле (36) шаг $t_o > \frac{45}{4} + 0,4 = 9,4$ мм.

Полученный результат округляем до ближайшего большего в приложении 10, т. е. $t_o = 9,5$ мм.

Подъем черновых зубьев по номограмме а приложения 11 (для $k=3$ и $h=3,5$) равен $s_{zo} = 0,07$ мм. Остальные параметры режущей части протяжки второго варианта получаем, выполняя расчет с п. 8 по п. 14 методики. В табл. 5 приведены результаты расчетов по трем вариантам. Расчет был прекращен на третьем варианте, так как во втором и третьем вариантах про-

явилась тенденция к увеличению длины режущей части и к уменьшению ширины спинки зубьев.

Выбираем первый вариант, обеспечивающий наименьшую длину протяжки и наибольшую ширину спинки зубьев. Дальнейший расчет ведем только для выбранного варианта.

16. Диаметры круглых и шлицевых зубьев калибрующих зубьев

$$D_{кк} = d_{макс} = 28,023_{-0,005}^{0,005} \text{ мм}; D_{ки} = D_{макс} = 32,05_{-0,01}^{0,01} \text{ мм}.$$

17. Диаметры впадин фасочных $D_{оф}$ и шлицевых $D_{вш}$ зубьев

$$D_{оф} = D_{оши} X_4 = 27,6_{-0,21}^{0,07} \text{ мм}; D_{вш} = d_{мин} X_4 = 28_{-0,21}^{0,07} \text{ мм}.$$

18. Определение числа, ширины и радиуса выкружек на шлицевых прорезных зубьях. Фасочные и круглые зубья не имеют разделения стружки, так как $z_c = 1$. На шлицевых зубьях число выкружек равно числу шлицев, т. е. $N_w = n = 6$. Ширина режущего сектора

$$B_w = B_w - 2f_n = 8 - 3 = 5 \text{ мм}.$$

Согласно приложению 21 ширина фаски $f_n = 1,5 \text{ мм}$.

Ширина выкружки

$$g_w = \frac{\pi d}{n} - B_w = \frac{3,14 \cdot 28}{6} - 5 = 9,5 \text{ мм}.$$

Радиус выкружки R_g при $g_w = 9,5 \text{ мм}$ по табл. 2 приложения 20 $R_g \leq 30 \text{ мм}$; радиус круга $R_k \leq 25 \text{ мм}$.

Чистовые шлицевые зубья будут без выкружек, так как ширина режущего сектора их не превосходит значений, указанных в приложении 21.

19. Определение диаметра и длины передней направляющей. В соответствии с п. 19 методики

$$D_{пн} = D_{оши} \Pi = 27,6_{-0,07}^{0,04} \text{ мм}; l_{пн} = 0,75l = 35 \text{ мм}, \text{ так как } \frac{l}{D} \leq 1,5.$$

20. Длина переходного конуса, согласно приложению 23, равна $l_{пк} = 25 \text{ мм}$.

21. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба. В соответствии с приложением 22 $L_1 = 190 + h'$, где $h' = l$, следовательно, $L_1 = 190 + 45 = 235 \text{ мм}$.

22. Определение диаметра и длины задней направляющей. В соответствии с п. 22 методики $D_{зн} = D_{вш} = 28_{-0,21}^{0,07} \text{ мм}$. Длина заднего направления, как следует из приложения 23, $l_{зн} = 30 \text{ мм}$.

23. Определение общей длины протяжки согласно формуле (56)

$$L = 558 + 235 + 30 = 823 \text{ мм}.$$

Полученное значение округляем до 820 мм.

Принимаем, что проектируемая протяжка будет шлифоваться по профилю с подъемом заднего хвостовика. Ниже приводится расчет профиля фасочных и шлицевых зубьев, шлифуемых таким образом.

Результаты расчета элементов протяжки для трех вариантов

Искомый параметр	Значение параметра в вариантах		
	I	II	III
z_p	4	5	6
t_0 , мм	12	9,5	8
h_0 , мм	5	3,5	3
b_0 , мм	4	3,5	3
s_{z0} , мм	0,14	0,07	0,055
z_c	$z_{ck}=1;$ $z_{cф}=1;$ $z_{cm}=2$	$z_{ck}=1;$ $z_{cф}=1;$ $z_{cm}=2$	$z_{ck}=1;$ $z_{cф}=1;$ $z_{cm}=2$
$A_{ф}$, мм	1,2	1,2	1,2
$A_{к}$, мм	0,423	0,423	0,423
$A_{кп}$, мм	0,16	0,06	0,06
$A_{кч}$, мм	0,12	0,12	0,12
$A_{ко}$, мм	0,143	0,243	0,243
$A_{ш}$, мм	3,35	3,35	3,35
$A_{шп}$, мм	0,16	0,06	0,06
$A_{шч}$, мм	0,08	0,08	0,08
$A_{шо}$, мм	3,11	3,21	3,21
$z_{ф\text{ перед}}$	4	8	10
$z_{ко\text{ перед}}$	0	1	2
$i_{шо\text{ перед}}$	11	22	29
$A_{ост\ ф}$, мм	0,08	0,08	0,1
$A_{ост\ к}$, мм	0,143	0,103	0,023

Таблица 5 (окончание)

Искомый параметр	Значение параметра в вариантах		
	I	II	III
$A_{ост ш, мм}$	0,03	0,13	0,02
$z_{ф оконч}$	5	9	11
$z_{ко оконч}$	1	2	3
$z_{шд оконч}$	23	47	59
$z_{кп}$	2	1	1
$z_{кч}$	4	4	4
$z_{кк}$	4	4	4
$z_{к}$	11	11	12
$z_{шп}$	4	2	2
$z_{шч}$	3+1=4	3	3+1=4
$z_{шк}$	4	4	4
$z_{ш}$	35	56	69
z	51	76	92
$l_{ф, мм}$	60	85,5	88
$l_{ч, l_{к}, мм}$	9	7	6
$h_{ч, мм}$	3,5	3	2,5
$b_{ч, мм}$	3	2,5	2
$l_{к, мм}$	99	77,5	74
$l_{ш, мм}$	399	517	538
$L_{р, мм}$	558	680	700

Расчет профиля фасочных зубьев. Профиль фасочных зубьев шлифуется периферией абразивного круга. Исходные данные протяжки типа А: $n=6$; $\beta=45^\circ$; $m=0,2$ мм. Для определения m' (см. фиг. 97) по формуле (87) находим следующее:

$$\sin \alpha = \frac{B+2m}{d} = \frac{8+2 \cdot 0,2}{28} = 0,3; \quad \alpha = 17^\circ 27';$$

$$\gamma = 180^\circ - \arcsin \left[\frac{d}{D_0} \sin(\alpha + \beta) \right] = 180^\circ - \arcsin \left[\frac{28}{27,6} \sin(17^\circ 27' + 45^\circ) \right] = 115^\circ 56';$$

$$m' = 0,2 + \frac{27,6 \sin 45^\circ \sin(17^\circ 27' + 45^\circ + 115^\circ 56')}{2 \sin(17^\circ 27' + 45^\circ)} = 0,51 \text{ мм.}$$

Технологический угол фасочных зубьев β_n , согласно приложению 21, равен 30° .

Величина подъема оси последнего фасочного зуба относительно первого C_ϕ определяется по формуле $C_\phi = \psi m'$, где $\psi = 0,366$ (см. приложение 21). Таким образом, $C_\phi = 0,366 \cdot 0,51 = 0,19$ мм.

Размер H_1 — расстояние от оси до боковой стороны профиля первого фасочного зуба по формуле (92)

$$H_1 = \frac{27,6}{2} \sin(45^\circ + 115^\circ 56' - 30^\circ) = 10,43 \text{ мм.}$$

По формуле (93) размер H_2 — расстояние от оси до боковой стороны профиля последнего фасочного зуба

$$H_2 = 10,43 - 0,19 = 10,24 \text{ мм.}$$

Величина подъема задней направляющей протяжки C при шлифовании фасочных зубьев определяется по формуле

$$C = \frac{C_\phi}{i'_\phi} L_v \text{ мм,}$$

$$\text{где } L_v = L - L_1 + (t - b) = 820 - 235 + (12 - 4) = 593 \text{ мм;}$$

$$i'_\phi t_\phi (z_\phi - 1) = 12 \cdot 4 = 48 \text{ мм;}$$

$$C = \frac{0,19}{48} \cdot 593 = 2,35 \text{ мм.}$$

Расчет профиля шлицевых зубьев. Ширина шлицевых зубьев $B_m = B_{\max} = 8,08_{-0,01}$ мм. Вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 2^\circ$. Откорректированный угол профиля $2\theta_k$ определяется по формуле

$$2\theta_k = 2\theta - 2\varphi_1 = \frac{360^\circ}{6} - 4 = 56^\circ.$$

Величина подъема оси последнего шлицевого чернового прорезного зуба относительно первого определяется по формуле

$$C_m = \lambda (R_2 - R_1) \text{ мм.}$$

№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α
1	27,68			14	28,027	-0,005	1°	27	30,07	-0,01	3'	40	31,88	-0,01	3°
2	27,96			15	28,027			28	30,38			41	31,85		
3	28,24	-0,01	3°	16	28,027			29	30,35			42	31,94		
4	28,52			17	28,70			30	30,66			43	31,91		
5	28,80			18	28,98			31	30,63			44	31,98		
6	27,75			19	28,95			32	30,94			45	32,01		
7	27,85			20	29,26			33	30,91			46	32,03	-0,005	2°
8	27,91			21	29,23			34	31,22			47	32,05		
9	27,95			22	29,54			35	31,19			48	32,05		
10	27,99			23	29,51	-0,01	3°	36	31,50			49	32,05		
11	28,01			24	29,82			37	31,47			50	32,05		
12	28,027	-0,005	2°	25	29,79			38	31,78			51	32,05		
13	28,027		1°	26	30,10			39	31,75						

Фиг. 101. Многошлицевая комбинированная протяжка типа А переменного резания с прямыми шлицами:

a — общий вид протяжки; *b* — поперечный профиль фасочных зубьев; для первого зуба $H_1 = 10,43$ мм; для последнего зуба $H_n = 10,24$ мм; при шлифовании боковых поверхностей фасочных зубьев задний хвостовик поднят; величина подтема равна 2,35 мм на длине 593 мм; *c* — схема образования выкружки на прорезных шлицевых зубьях (на четных зубьях с № 18 по № 42 нанести выкружки для разделения стружки); *d* — поперечный профиль шлицевых зубьев; при шлифовании боковых поверхностей шлицев задний хвостовик поднят в направлении стрелки А; величина подтема равна 0,29 мм на длине 593 мм; *e* — продольный профиль с шагом 12 мм; *e* — продольный профиль с шагом 9 мм; *ж* — профиль секции шлицевых зубьев; материал режущей и направляющих частей — сталь Р18; материал профиля — сталь 45Х; твердость режущей и направляющих частей $RC = 62-64$; твердость хвостовика $RC = 35-45$; допустимое отклонение окружного шага шлицев 0,01 мм; накопленная ошибка окружного шага не более 0,02 мм; винтообразность боковых поверхностей шлицев на длине режущей части не более 0,02 мм; несимметричность расположения шлицев относительно оси не более 0,01 мм.

Согласно приложению 21, $\lambda=0,08$. Следовательно,

$$C_{ш} = \frac{1}{2} \cdot 0,08 (31,78 - 28,70) = 0,125 \text{ мм.}$$

Величина подъема задней направляющей C при шлифовании шлицевых зубьев определяется по формуле

$$C = \frac{C_{ш}}{l'_{ш0}} L_y \text{ мм,}$$

где $L_y = 593$ мм; $l'_{ш0} = t_o(z_{ш0} - 1) = 12(22 - 1) = 252$ мм.

Глубина выборки по периферии шлифовального круга равна

$$C_{ш} + 0,5 = 0,125 + 0,5 = 0,625 \text{ мм.}$$

Полученный результат округляем до 0,7 мм.

Чертеж протяжки, рассчитанной в данном примере, показан на фиг. 101. Размер H , показанный на чертеже, измеряется на первом фасочном зубе ($H_1 = 10,43$ мм) и на последнем ($H_2 = 10,24$ мм). При шлифовании боковых поверхностей фасочных зубьев задний хвостовик поднять. Величина подъема равна 2,35 мм на длине 593 мм (расстояние от точки перехода переднего направления во впадину зуба до торца заднего направления). При шлифовании боковых поверхностей шлицев задний хвостовик поднять в направлении стрелки A . Величина подъема равна 0,29 мм на длине 593 мм. Твердость режущей и направляющих частей $R_C = 62 \div 64$. Твердость хвостовика $R_C = 35 \div 45$. Кроме приведенных размеров и указаний по изготовлению протяжки, на чертеже должны быть технические требования:

- 1) допустимое отклонение окружного шага шлицев равно 0,01 мм;
- 2) накопленная ошибка окружного шага не более 0,02 мм;
- 3) винтообразность боковых поверхностей шлицев на длине режущей части не более 0,02 мм;
- 4) несимметричность расположения шлицев относительно оси не более 0,01 мм.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ ШЛИЦЕВОЙ ПРОТЯЖКИ ТИПА Б С ПРЯМОБОЧНЫМИ ШЛИЦАМИ

Исходные данные: материал детали сталь 50Г; твердость на операции протягивания $H_B = 196 \div 228$ ($d_{отп} = 4,3 \div 4,0$ мм); диаметр отверстия до протягивания $D_o = 63,5^{+0,20}$ мм, внутренний диаметр отверстия $d = 65^{+0,30}$ мм; наружный диаметр отверстия $D = 75^{+0,060}$ мм; ширина шлица $B = 16^{+0,09}_{+0,055}$ мм; число шлицев $n = 6$; размер фаски $t = 0,3$ мм; угол фаски $\beta = 45^\circ$; длина протягиваемой поверхности $l = 60$ мм; чистота протянутой поверхности $\nabla 6$; станок модели 7540 в хорошем состоянии; паспортное тяговое усилие станка $Q = 40000$ кг; мощность электродвигателя $N_n = 40$ квт; диапазон скоростей рабочего хода станка $v = 1 \div 6,8$ м/мин; максимальный

ход ползуна $L_{\max} = 2000$ мм; протяжка закрепляется в быстродействующем автоматическом патроне; характер производства — мас-совый.

1. Определение материала протяжки. Согласно приложению 1, сталь 50Г при $d_{\text{оттн}} = 4,3$ мм относится к I группе обрабатываемости. По приложению 2 выбираем материал протяжки — сталь P18.

2. Выбор способа соединения тела протяжки и хвостовика, а также материала, типа и диаметра хвостовика. Согласно пункту 2 методики, принимаем сварную конструкцию с хвостовиком под быстросменный патрон диаметром $D_{\text{хс}} = 50_{-0,100}^{0,032}$ мм из стали 45X (см. приложение 13).

3. Определение задних и передних углов зубьев α и γ . В соответствии с данными приложения 3 задние углы черновых и переходных зубьев $\alpha = 3^\circ$, чистовых зубьев $\alpha = 2^\circ$, калибрующих $\alpha = 1^\circ$; передние углы черновых и переходных зубьев $\gamma = 20^\circ$, чистовых и калибрующих зубьев $\gamma = 20^\circ$.

4. Определение подъема черновых зубьев по стойкости. Максимальная толщина среза на чистовых зубьях, согласно приложению 4, $a = 0,02$ мм. По приложению 5 скорость резания $v = 7$ м/мин. По номограмме 1а приложения 6 стойкость чистовых зубьев $T = 8,3$ мин., или примерно 950 деталей между переточками. По номограмме 1б приложения 6 подъем черновых зубьев $s_{\text{zc}} = 0,18$ мм.

Согласно указаниям приложения 5, для работы и определения технологического времени скорость резания снижаем на 30%, тогда $v_{\text{рас}} = 5$ м/мин. Эта скорость обеспечивается станком.

5. Определение глубины стружечной канавки для размещения стружки, полученной при $s_{\text{zc}} = 0,18$ мм. По номограмме а приложения 11 для $l = 60$ мм, $k = 3$ и $s_{\text{zc}} = 0,18$ мм глубина стружечной канавки $h = 6,6$ мм. В приложении 10 подбираем профиль № 10 с глубиной $h = 7$ мм.

6. Определение шага t_o и числа черновых зубьев z_p , одновременно участвующих в работе. Принятому профилю № 10 соответствует шаг $t_o = 16$ мм. По формуле (1)

$$z_p = \frac{60}{16 - 0,4} = 3,85;$$

округляем до $z_p = 4$.

7. Определение максимально допустимого усилия протягивания P_{\max} . Известно, что

$$P_{\text{ст}} = 0,8Q = 0,8 \cdot 40000 = 32000 \text{ кг.}$$

Из приложения 13 определяем $P_{\text{хс}} = 33990$ кг. По формуле (38)

$$D_{\text{он}} = 63,5 - 2 \cdot 7 = 49,5 \text{ мм.}$$

Так как $D_{\text{он}} > 40$ мм, то $P_{\text{он}}$ не определяем. Принимаем

$$P_{\max} = P_{\text{ст}} = 32000 \text{ кг.}$$

Расчет круглой части начинается с п. 8 методики расчета круглых протяжек.

8. Определение числа зубьев в секции $z_{ск}$. По формуле (39)

$$z_{ск} = \frac{3,14 \cdot 65 \cdot 35,02 \cdot 4 \cdot 1,1 \cdot 1,08 \cdot 1}{32000} = 1,10.$$

Принимаем $z_{ск} = 2$.

Данные для q_0 и поправочных коэффициентов берем из приложения 7. По рекомендациям приложения 5 для охлаждения выбираем сульфозфрезол.

9. Проверку возможности работы с принятой скоростью резания протягивания не производим согласно примечанию к пункту 9 методики расчета круглых протяжек.

10. Распределение припуска между черновыми, переходными и чистовыми зубьями. Полный припуск по формуле (67)

$$A_k = 65,03 - 63,5 = 1,53 \text{ мм};$$

припуск на переходные зубья по табл. 3 приложения 4

$$A_{кп} = 0,16 \text{ мм};$$

припуск на чистовые зубья по табл. 2 приложения 4

$$A_{кч} = 0,12 \text{ мм};$$

припуск на черновые зубья по формуле (68)

$$A_{к0} = 1,53 - (0,16 + 0,12) = 1,25 \text{ мм}.$$

11. Определение числа черновых секций, остаточного припуска и его распределение. Число черновых секций определяется по формуле (44)

$$i_{к0} = \frac{1,25}{2 \cdot 0,18} = 3,5.$$

Предварительно принимаем $i_{к0} = 3$.

Остаточный припуск определяем по формуле (45)

$$A_{ост к} = 0,17 \text{ мм}.$$

Для снятия $A_{ост к}$ добавляем одну черновую секцию, тогда $i_{к0} = 3 + 1 = 4$.

12. Определение числа всех зубьев круглой части протяжки. Число черновых зубьев определяем по формуле (46)

$$z_{к0} = 8;$$

число переходных зубьев определяем по табл. 3 приложения 4

$$z_{кп} = 4;$$

число чистовых и калибрующих зубьев — по табл. 2 приложения 4

$$z_{кч} = 4; z_{кк} = 4.$$

Число всех зубьев протяжки

$$z = z_{ко} + z_{кп} + z_{кч} + z_{кк} = 8 + 4 + 4 + 4 = 20.$$

13. Определение подъема переходных и чистовых зубьев. На переходных зубьях по табл. 3 приложения 4: на первой секции $s_{zn1} = 0,05$ мм, на второй $s_{zn2} = 0,03$ мм. На чистовых зубьях по табл. 2 приложения 4: два зуба с подъемом $s_{zч} = 0,02$ мм и два зуба с $s_{zч} = 0,01$ мм.

14. Определение шагов и профилей чистовых и калибрующих зубьев и длины шагов профилей круглой части. Согласно приложению 19, шагу черновых зубьев $t_o = 16$ мм соответствует шаг чистовых и калибрующих зубьев $t_{кч} = t_{кк} = 12$ мм, $h = 5$ мм и $b = 4$ мм. Длина режущей части определяется по формуле (74)

$$L_k = 16(8 + 4) + 12(4 + 4 - 1) = 276 \text{ мм.}$$

Расчет фасочной и шлицевой частей протяжки начинается с пункта 8 методики расчета шлицевых протяжек.

8. Определение числа зубьев в секции z_c . Предварительно определяем ширину среза на фасочных и шлицевых зубьях B_ϕ и $B_{ш}$ по формулам (59) и (61):

$$B_{\phi \text{ макс}} = 16 + 2 \cdot 0,3 = 16,6 \text{ мм}; \quad B_{ш \text{ макс}} = 16,09 \text{ мм.}$$

Для каждой части протяжки z_c определяем по формуле (57):

$$z_{сф} = \frac{16,6 \cdot 6 \cdot 35,02 \cdot 1,1 \cdot 1,08 \cdot 1}{32000} = 0,51;$$

$$z_{см} = \frac{16,09 \cdot 6 \cdot 35,02 \cdot 1,1 \cdot 1,4 \cdot 1,08 \cdot 1}{32000} = 0,5;$$

z_p ; q_o ; $k_{мо}$; $k_{схл}$; $k_{рo}$ определены при расчете круглой части протяжки. Так как значения B_ϕ и $B_{ш}$ превышают величину, допускаемую приложением 21, то $z_{сф}$ и $z_{см}$ принимаем равными 2.

9. Проверку скорости резания, принятой в пункте 4, по мощности привода не производим.

10. Распределение припуска между разными частями и зубьями протяжки. Припуск на фасочную часть определяем по формуле (66)

$$A_\phi = 2 \cdot 0,3 + 0,4 = 1 \text{ мм};$$

припуск на шлицевую часть — по формуле (69)

$$A_{ш} = 75,06 - 65,9 = 9,16 \text{ мм};$$

$D_{ш1}$ определяется по формуле (70)

$$D_{ш1} = (65 + 2 \cdot 0,3 + 0,4) - 0,1 = 65,9 \text{ мм.}$$

Между различными зубьями шлицевой части припуск распределится следующим образом: на чистовые зубья по табл. 2 при-

ложения 4 $A_{шч} = 0,08$ мм; на переходные — по табл. 3 приложения 4 $A_{шп} = 0,16$ мм; на черновые — по формуле (71)

$$A_{шо} = 9,16 - (0,08 + 0,16) = 8,92 \text{ мм.}$$

11. Определение числа секций черновых зубьев, остаточного припуска и распределение его. Число секций черновых зубьев определяется по формуле (44): на фасочной части

$$i_{\phi} = \frac{1}{2 \cdot 0,18} = 2,78;$$

на шлицевой части

$$i_{шо} = \frac{8,92}{2 \cdot 0,18} = 24,75.$$

Предварительно принимаем $i_{\phi} = 2$; $i_{шо} = 24$.

Остаточный припуск подсчитываем по формуле (45)

$$A_{ост\phi} = 1 - 2 \cdot 0,18 \cdot 2 = 0,28 \text{ мм}; \quad A_{остш} = 8,92 - 2 \cdot 0,18 \cdot 24 = 0,12 \text{ мм.}$$

В соответствии с п. 11 методики проектирования шлицевых протяжек распределяем остаточный припуск следующим образом: на фасочной части добавляем одну секцию, тогда число фасочных секций $i_{\phi} = 3$; на шлицевой части $A_{остш}$ присоединяем к черновой части в виде одной секции с уменьшенной толщиной среза, тогда число черновых секций $i_{шо} = 24 + 1 = 25$.

12. Число всех зубьев протяжки определяется по формуле

$$z = z_k + z_{\phi} + z_{ш} = 20 + 6 + 62 = 88;$$

$z_k = 20$ принимаем из п. 12 расчета круглой части;

$$z_{\phi} = i_{\phi} z_{сф} = 3 \cdot 2 = 6;$$

$$z_{ш} = z_{шо} + z_{шп} + z_{шч} + z_{шк} = 51 + 4 + 3 + 4 = 62,$$

где $z_{шо} = i_{шо} z_{сш} + 1 = 25 \cdot 2 + 1 = 51$;

$z_{шп} = 4$ из табл. 3 приложения 4;

$z_{шч} = 3$; $z_{шк} = 4$ из табл. 2 приложения 4.

13. Определение подъема переходных и чистовых зубьев шлицевой части. На переходных зубьях по табл. 3 приложения 4 на первой секции $s_{зп} = 0,05$ мм; на второй $s_{зп} = 0,03$ мм. На чистовых зубьях по табл. 2 приложения 4 на одном зубе $s_{зч} = 0,02$ мм; на двух зубьях $s_{зч} = 0,01$ мм.

14. Определение профилей чистовых и калибрующих зубьев и длины режущей части. Шаги и профили чистовых зубьев шлицевой части будут такими же, как и на круглой части, т. е. $t_{ч} = t_k = 12$ мм; $h = 5$ мм, $b = 4$ мм.

В связи с тем, что посадка детали происходит по внутренней поверхности, заусенцы на ней не допускаются. Поэтому фасочные зубья располагают между переходными и чистовыми круглыми зубьями. Длину фасочной и шлицевой частей определяют по тем же формулам, что и для протяжек типа А:

$$\text{Длина фасочной части } l_{\phi} = t_{\phi} z_{\phi} = 16 \cdot 6 = 96 \text{ мм.}$$

Длину шлицевой части находим по формуле (75)

$$l_m = 16(51 + 4 + 1) + 12(3 + 4 - 1) = 968 \text{ мм.}$$

Длина круглой части была определена в п. 14 и равна $l_k = 276 \text{ мм.}$

Полную длину режущей части определяем по формуле (73)

$$L_p = 276 + 96 + 968 = 1340 \text{ мм.}$$

15. Определение элементов режущей части в дополнительных вариантах. В соответствии с п. 15 методики для второго варианта принимаем $z_{p2} = z_p + 1 = 4 + 1 = 5$. Затем определяем шаг по формуле (36)

$$t_o > \frac{60}{5} + 0,4 = 12,4 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляем до ближайшего большего (см. приложение 10): $t_o = 13 \text{ мм}$; выбираем профиль № 8, имеющий $h = 5 \text{ мм}$, $b = 5 \text{ мм}$. Подъем, допустимый глубиной $h = 5 \text{ мм}$ принятого профиля, определяем по номограмме a приложения 11 при $k = 3$; $s_{zc} = 0,11 \text{ мм}$.

Остальные параметры режущей части протяжки второго варианта получим, выполнив, как и в первом варианте, расчет с п. 8 по п. 14. В табл. 6 приведены результаты расчетов по трем вариантам для круглой части и двум вариантам для фасочной и шлицевой частей. Расчет вариантов для круглой части был прекращен в связи с уменьшением ширины спинки чистовых зубьев. Расчет вариантов для фасочной и шлицевой частей был прекращен по этой же причине и, кроме того, вследствие значительного увеличения длины этих частей (на 272 мм).

Выбираем оптимальный вариант для каждой из частей протяжки. Для круглой части принимаем II вариант. В нем при длине такой же, как в I и III вариантах, подъем черновых зубьев ($s_{zko} = 0,11 \text{ мм}$) меньше, чем в I варианте, а шаг чистовых зубьев несколько больше, чем шаг в III варианте, что облегчает изготовление и заточку протяжки сравнительно большого диаметра.

Фасочную и шлицевую части принимаем из I варианта, так как их длина во II варианте значительно больше.

Ширина спинки чистовых круглых зубьев меньше, чем у шлицевых, и снижает число возможных переточек. Поэтому, используя указание к пункту 14 методики, увеличиваем ее до значения ширины спинки чистовых шлицевых зубьев, т. е. на 1 мм; соответственно увеличится и шаг круглых чистовых зубьев до $t_v = 11 \text{ мм}$. Длина круглой чистовой части увеличится на 7 мм.

Длина режущей части протяжки будет равна длине круглой фасочной и шлицевой частей, принятой из оптимальных вариантов, т. е.

$$L_p = l_{kl} + l_{\phi l} + l_{ml} \text{ мм.}$$

Результаты расчета элементов протяжки в разных вариантах

Искомый параметр	Значение параметра в вариантах		
	I	II	III
z_p	4	5	6
l_0 , мм	16	13	11
h_0 , мм	7	5	4
b_0 , мм	4	5	4
s_{20} , мм	0,18	0,11	0,07
$z_{ск}$, $z_{сф}$, $z_{см}$	2	2	2
$A_{ф}$, мм	1,0	1,0	—
$A_{к}$, мм	1,53	1,53	1,53
$A_{кд}$, мм	0,16	0,16	0,06
$A_{кч}$, мм	0,12	0,12	,12
$A_{ко}$, мм	1,25	1,25	1,35
$A_{ш}$, мм	9,16	9,16	—
$A_{шп}$, мм	0,16	0,16	—
$A_{шч}$, мм	0,08	0,08	—
$A_{шо}$, мм	8,92	8,92	—
$i_{ф\text{предв}}$	2	4	—
$i_{к\text{предв}}$	3	5	8
$i_{ш\text{предв}}$	24	40	—
$A_{ост ф}$, мм	0,28	0,12	—
$A_{ост к}$, мм	0,17	0,15	0,13
$A_{ост ш}$, мм	0,28	0,12	—

Таблица 6 (окончание)

Искомый параметр	Значение параметра в вариантах		
	I	II	III
$i_{\phi \text{ оконч}}$	3	5	—
$i_{\text{ко оконч}}$	4	6	9
$i_{\text{шо оконч}}$	25	41	—
z_{ϕ}	6	10	—
$z_{\text{ко}}$	8	12	18
$z_{\text{шо}}$	51	83	—
$z_{\text{кп}}$	4	4	2
$z_{\text{кч}}$	4	4	4
$z_{\text{кк}}$	4	4	4
$z_{\text{к}}$	20	24	28
$z_{\text{шп}}$	4	4	—
$z_{\text{шч}}$	3	3	—
$z_{\text{шк}}$	4	4	—
$z_{\text{ш}}$	62	94	—
z	88	124	—
$l_{\phi}, \text{ мм}$	96	130	—
$l_{\text{ч}}, l_{\text{к}}, \text{ мм}$	12	10	8
$h_{\text{ч}}, \text{ мм}$	5	4	3
$b_{\text{ч}}, \text{ мм}$	4	3	3
$l_{\text{к}}, \text{ мм}$	276	278	276
$l_{\text{ш}}, \text{ мм}$	968	1204	—

где индексы *I* и *II* означают номера вариантов;

$$L_p = (278 + 7) + 96 + 968 = 1349 \text{ мм.}$$

Так как круглая часть протяжки принята из II варианта расчета и имеет меньший шаг, чем фасочная часть, принятая из I варианта, то пользуясь указанием к пункту 14 методики, принимаем шаг на стыке этих частей равным шагу фасочных зубьев, т. е. 16 мм. В связи с этим длина режущей части протяжки увеличится на разницу между размерами шагов этих частей, т. е. на 3 мм (см. стр. 166). Таким образом,

$$L_p = 1349 + 3 = 1352 \text{ мм.}$$

16. Определение диаметра круглых и шлицевых калибрующих зубьев

$$D_{кк} = d_{макс} = 65,03_{-0,01} \text{ мм; } D_{шк} = D_{макс} = 75,06_{-0,01} \text{ мм.}$$

17. Определение диаметра впадин фасочных $D_{эф}$ и шлицевых $D_{шш}$ зубьев. Поскольку фасочные зубья в данном случае расположены за переходными круглыми зубьями, диаметр впадин на фасочной части принимаем (в соответствии с п. 17 методики расчета шлицевых протяжек) равным диаметру зачищающего зуба предпоследней секции переходных зубьев круглой части, т. е.

$$D_{эф} = 64,8 X_3 \left(\begin{smallmatrix} -0,040 \\ -0,120 \end{smallmatrix} \right) \text{ мм; } D_{шш} = d_{мин} = 65 X_3 \left(\begin{smallmatrix} -0,040 \\ -0,120 \end{smallmatrix} \right) \text{ мм.}$$

18. Расчет числа выкружек N , ширины режущих секторов B , ширины выкружек g и радиуса круга R_k . Число выкружек на черновых и переходных зубьях для круглой части протяжки берем из первой таблицы приложения 20; $N = 10$; ширина выкружки

$$g_o = g_n = \frac{1,57 d}{N} = \frac{1,57 \cdot 65}{10} = 10,2.$$

Принимаем $g_o = g_n = 10,5$ мм.

Радиус круга выкружки выбираем по второй таблице приложения 20; $R_k \leq 30$ мм; $R_o \leq 36$ мм.

Число выкружек на чистовых зубьях определяется так же, как и для протяжек типа А

$$N_{кч} = \frac{n}{2} = \frac{6}{2} = 3.$$

Ширина выкружки определяется по формуле (84 а)

$$g_{кч} = 0,6 \left(\frac{3,14 \cdot 65}{6} + 16 + 2 \cdot 0,3 \right) \approx 30,5 \text{ мм.}$$

Радиус круга $R_k > 50$ мм (см. приложение 20).

Ширина режущего сектора на фасочных и шлицевых зубьях равна

$$B_\phi = B_{ш} = B_{ш} - 2f_n = 16 - 2 \cdot 3 = 10 \text{ мм.}$$

Размер f_n (приложение 21) равен 3 мм. Ширину выкружки на черновых, шлицевых и фасочных зубьях определяем по формуле (79)

$$g_{ш} = g_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 65}{6} - 10 = 24 \text{ мм}; R_{\kappa} \geq 50 \text{ мм.}$$

Ширину режущего сектора на чистовых шлицевых зубьях определяем по формуле (85)

$$B_{шч} = 0,7 \cdot 16 = 11,5 \text{ мм.}$$

19. Определение диаметра и длины передней направляющей. В соответствии с п. 19 методики

$$D_{нч} = D_{о мин} L = 63,5 \frac{-0,065}{-0,105} \text{ мм}; l_{нч} = l = 60 \text{ мм, так как } \frac{l}{D} < 1,5.$$

20. Длину переходного конуса определяем по приложению 23: $l_{нк} = 20 \text{ мм.}$

21. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяем по приложению 22: $L_1 = 200 + h_1$; $h_1 = l$; $L_1 = 200 + 60 = 260 \text{ мм.}$

22. Определение диаметра и длины задней направляющей. В соответствии с п. 22 методики $D_{зн} = D_{ши} = 65 \frac{-0,04}{-0,12} \text{ мм}$; длина заднего направления по приложению 23 равна $l_{зн} = 40 \text{ мм}$. Протяжку изготавливаем с задним хвостовиком $l_{зхв} = 90 \text{ мм}$. Остальные исполнительные размеры такие же, как и на переднем хвостовике.

23. Общую длину протяжки определяем по формуле

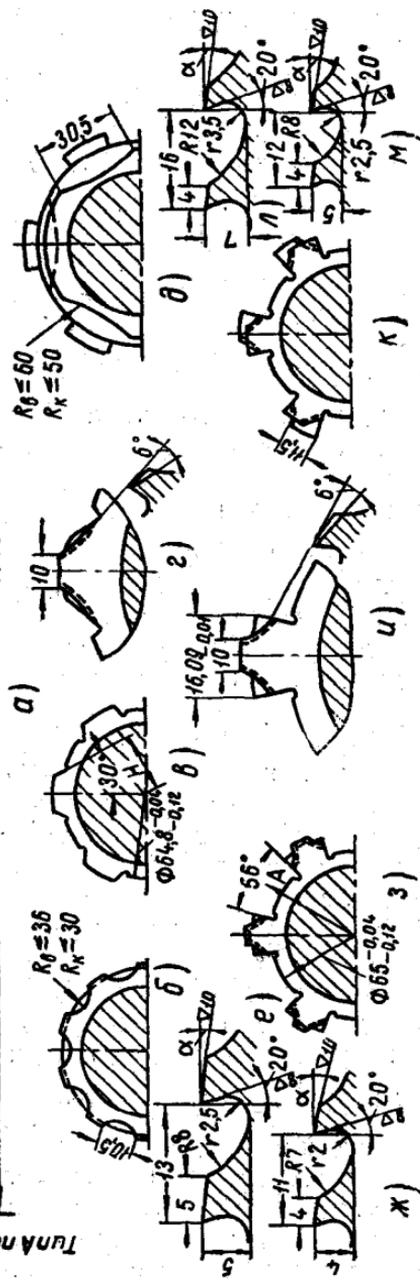
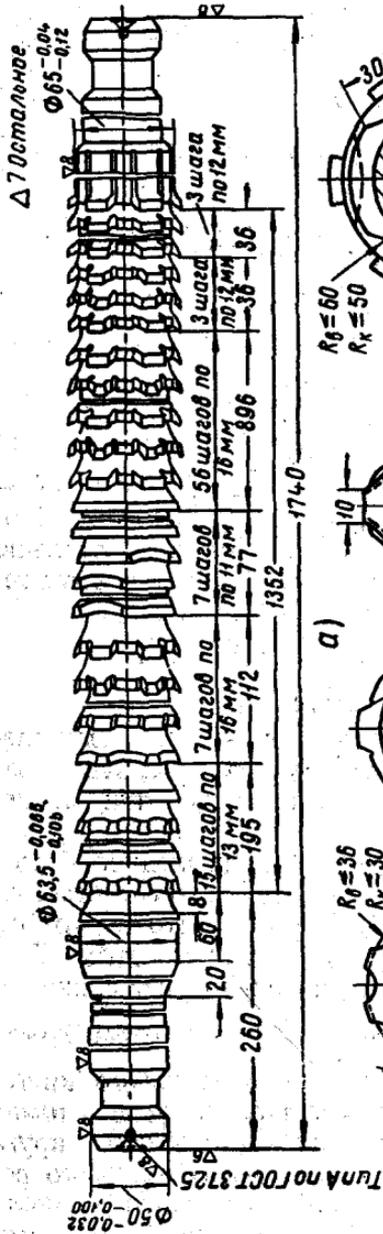
$$L = L_1 + L_p + l_{зн} + l_{зхв} = 260 + 1352 + 40 + 90 = 1742.$$

Полученный результат округляем до $L = 1740 \text{ мм}$.

Расчет профилей фасочных и шлицевых зубьев при шлифовании с подъемом заднего хвостовика производим так же, как в примере расчета комбинированной шлицевой протяжки типа А. Результаты расчета следующие.

На фасочных зубьях величина подъема оси последнего фасочного зуба $C_{\phi} = 0,109 \text{ мм}$; расстояние от оси до боковой стороны профиля первого фасочного зуба $H_1 = 31,53 \text{ мм}$, расстояние от оси до боковой стороны профиля последнего фасочного зуба $H_2 = 31,42 \text{ мм}$; величина подъема заднего направления протяжки $C_{\#} = \frac{C_{\phi}}{l_{\phi}} L_p = 1,58 \text{ мм}$, где $L_p = 1388 \text{ мм}$; угол профиля фасочных зубьев $\beta_{\kappa} = 30^\circ$; шлифование производится периферией абразивного круга.

На шлицевых зубьях величина вспомогательного угла в плане $\varphi_1 = 2^\circ$, откорректированный угол профиля абразивного круга $2\theta_{\kappa} = 56^\circ$; величина подъема последнего шлицевого чернового режущего зуба относительно первого $C_{ш} = 0,36 \text{ мм}$; величина подъема задней направляющей на длине $L_p = 1388 \text{ мм}$ равна $C = 0,61 \text{ мм}$; глубина выборки на периферии шлифовального круга $0,9 \text{ мм}$ ($C_{ш} + 0,5 \text{ мм}$).



Фиг. 102. Многошлицевая комбинированная протяжка переменного резания типа Б с прямобочными шлицами:

а — общий вид протяжки; б — поперечный профиль черновых и переходных круглых зубьев; на зубьях № 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 и 15 нанесено по десять выкружек; в — поперечный профиль фасочных зубьев; для первого зуба $H_1 = 31,53$ мм; для последнего зуба $H_n = 31,42$ мм; при шлифовании боковых поверхностей фасочных зубьев задний хвостовик подтягивать; величина подтема равна 1,58 мм на длине $L_y = 1388$ мм; в — секция фасочных зубьев; на зубьях № 17, 19 и 21 нанесены выкружки; д — поперечный профиль чистовых круглых зубьев; на зубьях № 23—26 нанести по три выкружки в шахматном порядке; е — продольный профиль с шагом $t = 13$ мм; ж — продольный профиль с шагом $t = 11$ мм; з — поперечный профиль черновых и переходных шлицевых зубьев; на черных номерах зубьев с № 32 по № 84 нанести выкружки; при шлифовании боковых поверхностей шлицев задний хвостовик подтягивать в направлении стрелки А; величина подтема равна 0,61 мм на длине $L_y = 1388$ мм; и — секция шлицевых зубьев; к — поперечный профиль чистовых шлицевых зубьев; на зубьях

№ 86-88 навести по три выкружки в шахматном порядке; л— продольный профиль с шагом $t=16$ мм; м— продольный профиль с шагом $t=12$ мм. Материал режущей и направляющих частей сталь Р18; материал хвостовика сталь 45Х; твердость режущей и направляющих частей $H_C=62-64$; твердость хвостовика $H_C=35-45$; допустимое отклонение окружного шага шлицев $0,01$ мм; накопленная ошибка окружного шага не более $0,02$ мм, винтообразность боковых поверхностей шлицев на длине режущей части не более $0,02$ мм; несимметричность расположения шлицев относительно оси не более $0,01$ мм.

№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр, мм	Допуск, мм	Задний угол α
1	63,72			23	64,95		2°	47	68,75			70	73,10		
2	63,69			24	64,99			48	69,14			71	73,07		
3	63,94			25	65,01			49	69,11			72	73,46		
4	63,91			26	65,03			50	69,50			73	73,43		
5	64,11			27	65,03	-0,01		51	69,47			74	73,82		
6	64,13			28	65,03			52	69,86		3°	75	73,79		
7	64,38			29	65,03			53	69,83			76	74,18		
8	64,35			30	65,03		1°	54	70,22			77	74,15		
9	64,60							55	70,19			78	74,54		
10	64,57	-0,02	3°	31	65,90			56	70,58			79	74,51	-0,02	3°
11	64,75			32	66,26			57	70,55			80	74,82		
12	64,72			33	66,23			58	70,94		3°	81	74,79		
13	64,85			34	66,62			59	70,91			82	74,92		
14	64,82			35	66,59			60	71,30			83	74,89		
15	64,91			36	66,98			61	71,27			84	74,98		
16	64,91			37	66,95			62	71,66			85	74,95		
17	65,28			38	67,34			63	71,63			86	75,02		
18	65,25			39	67,31			64	72,02			87	75,04	-0,01	2°
19	65,64			40	67,70			65	71,99			88	75,06		
20	65,61			41	67,67			66	72,38			89	75,06		
21	66,00			42	68,06			67	72,35			90	75,06		
22	65,97			43	68,03			68	72,74			91	75,06		
				44	68,42			69	72,71			92	75,06		
				45	68,39										
				46	68,78										

Чертеж протяжки, рассчитанной в данном примере, показан на фиг. 102. На нечетных черновых и переходных круглых зубьях с № 1 по № 15 наносится по десять выкружек для разделения стружки (фиг. 102, б). Размер H , показанный на поперечном профиле фасочных зубьев, измеряется на первом зубе $H_1 = 31,53$ мм и на последнем $H_2 = 31,42$ мм (фиг. 102, в).

При шлифовании боковых поверхностей фасочных зубьев задний хвостовик необходимо поднять. Величина подъема равна 1,58 мм на длине $L_v = 1388$ мм.

На нечетных фасочных зубьях с № 17 по № 21 наносятся выкружки для разделения стружки, как показано на фиг. 102, г.

Чистовые круглые зубья с № 23 по № 26 (фиг. 102, д) имеют по три выкружки для разделения стружки, расположенные в шахматном порядке; ширина их 30,5 мм.

На четных черновых и переходных шлицевых зубьях с № 32 по № 84 имеются выкружки для разделения стружки, показанные на фиг. 102, з. При шлифовании боковых поверхностей шлицев задний хвостовик необходимо поднять в направлении стрелки А. Величина подъема равна 0,61 мм на длине $L_v = 1388$ мм.

Чистовые шлицевые зубья (фиг. 102, к) имеют по три выкружки для разделения стружки, расположенные в шахматном порядке.

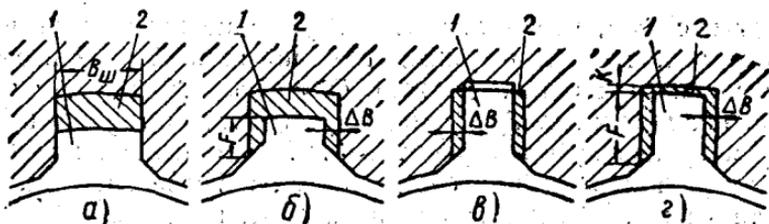
6. СРЕЗАНИЕ ПРИПУСКА КОМПЛЕКТОМ ШЛИЦЕВЫХ ПРОТЯЖЕК

Однопроходной протяжкой в некоторых случаях не удается получить шлицевое отверстие окончательной формы и размеров. Это объясняется следующим. Протяжку приходится разделять на две — первого и второго прохода и больше, если расчетная длина ее оказывается больше максимального хода штока протяжного станка или превышает величину, допустимую технологическими возможностями инструментального цеха. Это приходится делать и в тех случаях, когда соотношение между расчетной длиной и диаметром протяжки оказывается настолько большим, что снижает жесткость протяжки. Изготовление и эксплуатация протяжек, имеющих отношение длины к диаметру более 40, сопровождаются частыми неполадками. Поэтому, если $\frac{L}{D} > 40$, то одну протяжку заменяют двумя — первого и второго прохода.

Иногда применение комплектных протяжек обуславливается технологией изготовления деталей, независимо от того, что весь припуск может быть срезан одной протяжкой. Так, шлицевое отверстие часто служит технологической базой для обработки других поверхностей. При этом шлицы могут повреждаться во время установки детали на оправку и снятия с нее или из-за больших усилий, возникающих при обработке. Это вызывает необходимость выполнять окончательную обработку шлицевого отверстия протяжкой второго прохода. Если технологией предусматривается

протягивание деталей до и после термической обработки, то также применяют комплектные протяжки.

На фиг. 103 приведены применяющиеся на заводах схемы распределения припуска между протяжками одного комплекта, предназначенного для обработки прямобочных шлицев. При протягивании грубых шлицев, у которых поле допуска на ширину шлицевого паза превышает 45 мк и к которым не предъявляются строгие требования по прямолинейности боковых сторон паза по высоте, применяется схема, показанная на фиг. 103, а. Обработку более точных шлицевых отверстий по этой схеме не производят, потому что погрешности, неизбежные при изготовлении протяжек разных проходов (отклонения по расположению шлицев по окружности,



Фиг. 103. Распределение припуска между протяжками одного комплекта:

1 — припуск, срезаемый протяжкой первого прохода; 2 — припуск, срезаемый протяжкой второго прохода.

винтообразность их вдоль оси протяжки и несимметричность расположения зубьев относительно оси), большей частью суммируются. Из-за этого на боковых поверхностях пазов образуются уступы, местные прослабления, а иногда и задиры. Однако при распределении припуска по этой схеме протяжки первого и второго прохода получаются сравнительно короткими, и их удобно шлифовать по боковым поверхностям шлицевых зубьев с подъемом заднего хвостовика. Эту схему широко применяют при обработке грубых шлицев. Ширина шлицевых зубьев протяжки первого прохода принимается по формуле (61). С целью уменьшения разбивки у протяжки второго и каждого из последующих проходов $B_{ш}$ назначается на 0,005—0,01 мм меньше $B_{ш}$ предыдущего прохода.

Распределение припуска по схеме, приведенной на фиг. 103, б, применяется при протягивании точных шлицев. В этом случае ширина шлицевых зубьев протяжки первого прохода назначается на 0,6—0,8 мм меньше окончательной ширины шлицевого паза детали. В связи с этим формула (65) для определения диаметра последнего фасочного зуба приобретает вид

$$D_{\phi} = d + 2m + 2\Delta B + 0,4 \text{ мм}, \quad (101)$$

где ΔB — припуск под протяжку второго прохода на одну сторону шлицевого паза.

Протяжка второго прохода имеет две группы шлицевых зубьев. Ширина всех шлицевых зубьев одинакова и определяется по формуле (86). Зубья первой группы, расположенные впереди, работают на участке F (см. фиг. 103, б). Эти зубья расширяют паз до окончательного размера. Так как ширина срезаемых ими стружек с каждой стороны паза невелика ($\Delta B = 0,3 \div 0,4$ мм), то они имеют подъем на каждый зуб. Подъем на этих зубьях ограничивается главным образом чистотой поверхности боковых сторон и практически не превышает 0,5 мм на зуб на сторону. Диаметр первого зуба этой группы определяется по формуле

$$D_{шт} = d + 2m + 0,1 \text{ мм.} \quad (102)$$

В связи с тем, что зубья этой группы не рассчитаны на сревание стружек полной ширины, т. е. по всей ширине паза, диаметр последнего из них должен быть на 0,2—0,4 мм меньше диаметра шлицевых калибрующих зубьев протяжки первого прохода.

Вторая группа зубьев обрабатывает паз до полной высоты его.

Эти зубья выполняются секционными, и подъем на них назначается такой же, как и для однопроходных протяжек.

Профиль шлицевых зубьев протяжек первого прохода из комплекта, как и однопроходных, шлифуется с подъемом заднего хвостовика. Профиль зубьев протяжек второго прохода из-за неодинаковых подъемов на разных группах зубьев обычно шлифуют с оставлением ленточек на боковых сторонах.

Распределение припуска по схемам, показанным на фиг. 103, в, г, применяется в тех случаях, когда требуется получение высококачественных шлицев. Такое распределение припуска наиболее часто встречается при протягивании деталей, подвергающихся термической обработке, в результате которой предварительно протянутые шлицы деформируются и требуют исправления. На схеме в показано распределение припуска между протяжками первого и второго проходов для обработки шлицевого отверстия с посадкой по внутреннему диаметру, на схеме г — с посадкой по наружному диаметру.

Припуск на боковые стороны шлицевого паза, предназначенный для протяжки второго прохода, дается больше, чем по схеме б. Величина припуска ΔB часто устанавливается по результатам замера деформаций детали. По данным заводов $\Delta B = 0,3 \div 0,7$ мм. Заданное положение оси отверстия относительно других поверхностей обеспечивается следующим образом. После термической обработки выправляется положение оси отверстия относительно базовых поверхностей (например поверхностей зубьев шестерен) шлифовкой или расточкой внутренней поверхности шлицев в окончательный размер. Полученная поверхность в дальнейшем служит базой для направления протяжки второго прохода при ка-

либровке шлицевых пазов. Существует несколько вариантов конструкции направляющих элементов калибрующих протяжек, которые освещены в литературе [1, 8]. Наилучшие результаты по соосности расположения шлицевых пазов и отверстия обеспечивают протяжки, у которых между шлицевыми зубьями помещаются цилиндрические направляющие пояски, диаметр которых выполняется по посадке движения 2 класса точности. Эти пояски в зависимости от длины протягивания располагаются либо между каждыми двумя соседними зубьями, либо через несколько зубьев.

Протяжки первого и второго проходов, работающие по схемам *в* и *г*, шлифуются по профилю шлицев с поднятием заднего хвостовика. У протяжки второго прохода, работающей по схеме *г*, припуск на участке *к* срезается с уменьшенными подачами, величина которых (и схема построения зубьев) определяется так же, как и однопроходных протяжек.

Диаметры последнего фасочного зуба протяжки первого прохода и первого шлицевого зуба второго прохода определяются по формулам (101) и (102).

7. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ШЛИЦЕВ

Исходные данные: модуль $m=5$ мм; число шлицев $n=20$; диаметр делительной окружности $d=mn=100$ мм; угол давления на делительной окружности (профильный угол исходного контура рейки) $\alpha_d=20^\circ$; диаметр основной окружности $d_o=d_d \cos \alpha_d=93,9693$ мм; наружный диаметр (окружность впадин) $D=m(n+2)=110^{+0,07}$ мм; внутренний диаметр (окружность выступов) $d=D-2m=100^{+0,07}$ мм; смещение исходного контура рейки $V=\frac{D-m(n+1)}{2}=2,5$ мм; шаг шлицевых выступов (впадин) по дуге делительной окружности $T=\pi m=15,708$ мм; ширина впадины отверстия по делительной окружности $s=\frac{\pi m}{2}+2V \operatorname{tg} \alpha_d=9,676^{+0,050}_{+0,150}$ мм;

диаметр отверстия до протягивания $D_o=d=100^{+0,07}$ мм (отверстие подготовлено другим инструментом); длина протягивания $l=36$ мм; материал детали — сталь 20ХНЗА; твердость детали $H_B=255 \div 207$ ($d_{отн}=3,8 \div 4,2$ мм); требуемая чистота протягиваемой поверхности $\nabla 5$. Детали протягиваются на станке модели 7А520; состояние станка удовлетворительное; тяговое усилие станка (по паспорту) $Q=20$ т; мощность привода $N_n=20$ квт; диапазон скоростей рабочего хода $v=1,5 \div 11$ м/мин; максимальный ход ползуна $L_{\max}=1600$ мм. Протяжка закрепляется в быстросменном автоматическом патроне. Характер производства — массовый.

Расчет протяжки для эвольвентных шлицев производится по методике расчета шлицевых протяжек. В примере рассматривается

случай, когда внутреннее отверстие полностью предварительно обработано и фаски не предусмотрены.

Боковой профиль зубьев с целью получения задних углов и вспомогательных углов в плане шлифуется при поднятом заднем хвостовике протяжки. Для шлифования всей режущей части с одной установки нужно иметь одинаковые шаг и подъем на всех зубьях. Однако для обеспечения требуемой чистоты поверхности на окружности впадин детали при центрировании по D должны быть переходные и чистовые зубья. С целью уменьшения участка профиля, который получит небольшое искажение, число переходных и чистовых зубьев назначается минимальным: $z_n = 1-2$; $z_c = 2-3$. При центрировании по боковым поверхностям и поверхности выступов детали (посадка по s и d) переходные и чистовые зубья могут отсутствовать. Протяжки должны иметь 3—4 калибрующих зуба.

1. Определение материала протяжки. Сталь 20ХНЗА при $d_{отп} = 3,8-4,2$ мм относится ко II группе обрабатываемости. Материал протяжки — сталь Р9 (см. приложение 2).

2. Выбор способа соединения тела протяжки и хвостовика, материал, тип и диаметр хвостовика. В соответствии с пунктом 2 методики принимаем конструкцию протяжки с ввернутым хвостовиком. Материал хвостовика — сталь 45Х. Тип хвостовика — под быстросменный патрон. Диаметр хвостовика $D_{хв} = 62$ мм. Исполнительные размеры хвостовика и допуски на них берем из приложения 13, а размеры резьбовой части его из приложения 17.

3. Определение задних и передних углов зубьев α и γ . Согласно приложению 3, задние углы для черновых и переходных зубьев $\alpha = 3^\circ$, для чистовых $\alpha = 2^\circ$ и для калибрующих $\alpha = 1^\circ$. Передние углы для черновых и переходных зубьев $\gamma = 15^\circ$, для чистовых и калибрующих $\gamma = 18^\circ$.

4. Определение подъема черновых зубьев s_{zc} по стойкости. По номограмме *IIa* приложения 6 при $s_{z \text{ факт}} = 0,02$ мм (см. табл. 2 приложения 4), скорости резания $v = 6$ м/мин (см. приложение 5) $T = 9,2$ мин., что обеспечивает стойкость между переточками, равную 1500 деталей. По номограмме *IIб* приложения 6 для этих же v и T подъем на черновых зубьях $s_{zc} = 0,14$ мм.

Так как шлицевые протяжки работают в более тяжелых условиях, чем круглые протяжки, то для обеспечения стойкости $T = 9,2$ мин. согласно приложению 5 снижаем скорость резания на 30%. Тогда рабочая скорость резания $v_{\text{раб}} = 6 - 1,8 = 4,2$ м/мин.

5. Определение глубины стружечной канавки, необходимой для размещения стружки при $s_{zc} = 0,14$ мм. По номограмме *a* приложения 11 при $T = 36$ мм, $k = 2,5$ и $s_{zc} = 0,14$ мм глубина стружечной канавки $h = 4$ мм. В приложении 10 этой глубине стружечной канавки соответствует профиль № 7. Проверку h по формуле (35) не выполняем, так как $D_{от} > 40$ мм.

6. Определение шага t_0 и числа одновременно участвующих

в работе черновых зубьев z_p . Принятому профилю № 7 стружечной канавки соответствуют два значения шага. Выбираем меньший из них $t_o = 10$ мм; z_p определяем по формуле (1)

$$z_p = \frac{36}{9,6} = 3,8.$$

Принимаем $z_p = 4$.

7. Определение максимально допустимой силы резания. Вначале находим $P_{ст}$ и $P_{хв}$ ($P_{оп}$ не определяем, так как $D_{оп} > 40$ мм) и меньшее из них принимаем за $P_{макс}$

$$P_{ст} = 0,8Q = 0,8 \cdot 20\,000 = 16\,000 \text{ кг.}$$

Согласно приложению 17, $P_{хв} = 42\,300$ кг. Следовательно, $P_{макс} = P_{ст} = 16\,000$ кг.

8. Определение числа зубьев в секции z_c . Для обеспечения требуемой чистоты поверхности шлицевых зубьев протяжек рекомендуется принимать $z_c = 2$. На протяжках для эвольвентных шлицев, если позволяет минимальная толщина зубьев ее, т. е. если $B_{эмн} \geq 3$ мм, также рекомендуется брать $z_c = 2$. При меньшей толщине зубьев (ширине шлицев), когда невозможно наносить выкружки, назначают $z_c = 1$. Так как в данном примере минимальная ширина шлицев достаточно большая (около 5,6 мм), принимаем $z_c = 2$.

9. Проверка возможности работы с принятой скоростью резания. По формуле (23), заменив $B_{ш}$ на $B_{шмакс}$ (максимальная толщина зубьев протяжки, или максимальная ширина шлицев), определим силу резания.

Ширина шлица для эвольвентной протяжки — величина переменная: при наименьшем диаметре, т. е. у первого зуба, она достигает наибольшего значения, а наименьшего — у последнего зуба. Так как в приводимом примере внутренний диаметр шлицевого отверстия детали d равен диаметру делительной окружности d_o , то толщина зубьев по дуге делительной окружности протяжки $B_{шd}$ равна $B_{шмакс}$:

$$B_{шd} = s_{макс} - \frac{1}{4} \Delta = (9,676 + 0,150) - \frac{1}{4} (0,150 - 0,050) = 9,801 \text{ мм.}$$

принимаем $B_{шd} = 9,8$ мм.

В общем случае, когда диаметр d не является диаметром делительной окружности, $B_{шd}$ на любом диаметре определяется по формуле:

$$B_{шd} = D_i \left(\frac{B_{шd}}{d_o} + \text{inv } \alpha_d - \text{inv } \alpha_i \right) \text{ мм.} \quad (103)$$

угол давления α_i на диаметре D_i находим из формулы

$$\cos \alpha_i = \frac{d_o}{D_i}; \quad (104)$$

$n=20$; $z_p=4$. Из приложения 7 видно, что при $\gamma=15^\circ$ и $s_{zc}=0,14$ мм $q_k=29,38$ кг/мм; $k_{mo}=1,15$; $k_{po}=1,08$; $k_{охл}=1$ (для охлаждения сульфозфрезолом). Подставив указанные значения в формулу (23), получим

$$P = \frac{9,8 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 29,38 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,08}{2} \approx 14\,300 \text{ кг.}$$

Согласно приложению 9, при $v=6$ м/мин и $P=14\,000$ кг требуется мощность электропривода $N_n=11$ квт; мощность привода станка равна 20 квт. Следовательно, принятая скорость вполне допустима.

10. Распределение припуска между черновой, переходной и чистой частями протяжки. Полный припуск на протягивание определяется по формуле (42)

$$A = 110,07 - 100 = 10,07 \text{ мм.}$$

В соответствии с указанием к расчету данного примера (см. стр. 202) назначаем одну переходную секцию с подъемом $s_{pn}=0,04$ мм и припуском на диаметр $A_n=0,08$ мм и два чистовых зуба с подъемом $s_{zc}=0,01$ мм и припуском на них $A_c=0,04$ мм.

Припуск на черновую часть определяем по формуле (43)

$$A_o = 10,07 - 0,12 = 9,95 \text{ мм.}$$

11. Определение числа секций черновых зубьев, остаточного припуска и распределение его между разными зубьями. Число черновых секций определяем по формуле (44)

$$i_o = \frac{9,95}{2 \cdot 0,14} = 35,5.$$

Предварительно принимаем $i_o=35$ и определяем величину остаточного припуска по формуле (45)

$$A_{ост} = 9,95 - 2 \cdot 0,14 \cdot 35 = 0,15 \text{ мм.}$$

В соответствии с указаниями к пункту 11 методики добавляем одну черновую секцию с подачей 0,075 мм, которую помещаем в качестве первой черновой секции. Следовательно, $i_o=35+1=36$

12. Определение числа всех зубьев протяжки. Число черновых зубьев определяем по формуле (46)

$$z_o = i_o z_c = 36 \cdot 2 = 72.$$

Число переходных зубьев $z_n=2$ и число чистовых зубьев $z_c=2$ (см. п. 10). Число калибрующих зубьев принимаем равным $z_k=4$ (см. приложение 4). Число всех зубьев

$$z = z_o + z_n + z_c + z_k = 72 + 2 + 2 + 4 = 80$$

13. Подъемы переходных и чистовых зубьев были определены в п. 10.

14. Определение шагов и профилей чистовых и калибрующих зубьев и длины режущей части протяжки. Шаг чистовых и калибрующих зубьев принимаем равным шагу черновых зубьев

$$t_q = t_k = t_o = 10 \text{ мм.}$$

Остальные элементы профиля принимаются соответственно этому шагу.

Длина режущей части протяжки

$$L_p = (z - 1)t_o = (80 - 1)10 = 790 \text{ мм.}$$

15. Определение элементов режущей части протяжки в дополнительных вариантах. Для получения других вариантов режущей части ведем расчеты в соответствии с п. 15 методики, т. е. принимаем для второго варианта $z_{p2} = z_p + 1 = 4 + 1 = 5$. Затем определяем шаг по формуле (36)

$$t_o \geq \frac{l_{\text{макс}}}{z_{p2}} + 0,4 \text{ мм} = \frac{36}{5} + 0,4 = 7,8 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляем до ближайшего большего шага, имеющегося в приложении 10: $t_o = 8 \text{ мм}$. Этому шагу соответствует глубина стружечной канавки $h = 3 \text{ мм}$, что значительно меньше высоты профиля шлица, равной 5 мм . С точки зрения изготовления протяжки такая разница в высоте профиля шлица и глубине стружечной канавки нежелательна. Вследствие этого второй вариант отклоняется без дальнейшего расчета.

Последующие варианты в связи с увеличением z_p и уменьшением t_o могут дать еще меньшее значение глубины канавки. Поэтому ограничиваемся расчетом одного варианта и определяем для него остальные элементы конструкции протяжки.

16. Диаметр калибрующих зубьев

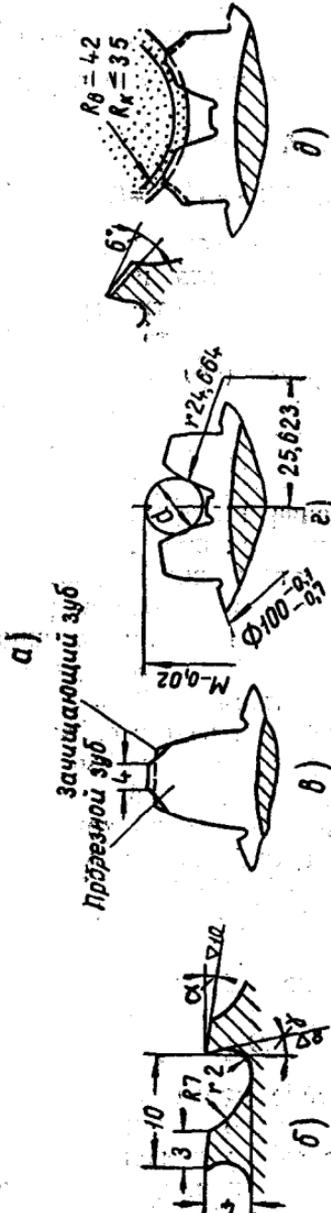
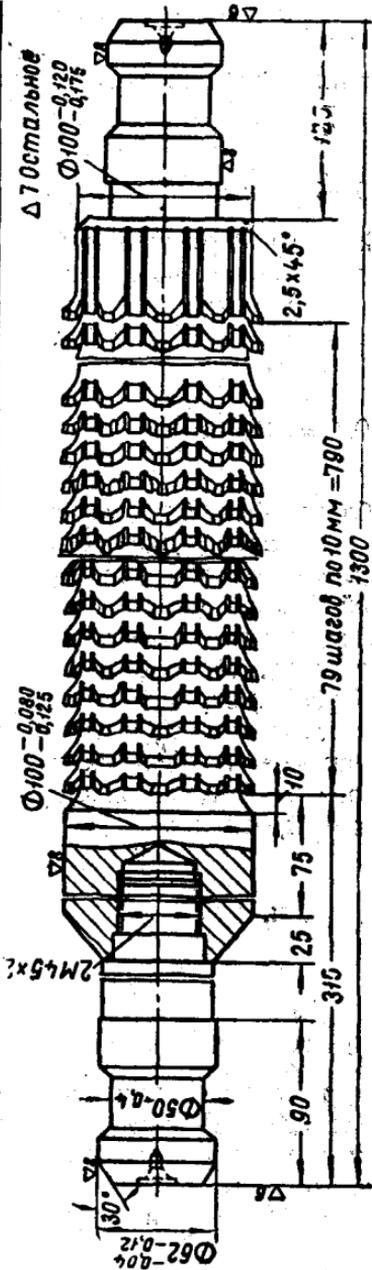
$$D_k = D_{\text{макс}} = 110,07_{-0,01} \text{ мм.}$$

17. Диаметр по впадинам шлицев

$$D_{\text{вп}} = d_{\text{мин}} X_4 = 100_{-0,35}^{0,12} \text{ мм.}$$

18. Определение числа, ширины и радиуса выкружек на прорезных зубьях. Число выкружек $N = n = 20$. Ширина режущих секторов на прорезных зубьях протяжки для эвольвентных шлицев принимается равной примерно половине среднего значения между максимальной шириной шлица $B_{\text{вп макс}} = 9,8 \text{ мм}$ и минимальной $B_{\text{вп мин}}$, которая определяется по формуле (103),

$$B_{\text{вп мин}} = D_{\text{макс}} \left(\frac{B_{\text{вп2}}}{d_d} + \text{inv } \alpha_d - \text{inv } \alpha_k \right) \text{ мм,}$$



Фиг. 104. Многошлицевая протяжка переменного резания с эвольвентными шлицами:

а — общий вид; б — профиль зубьев в продольном сечении (для режущих зубьев $\tau = 15^\circ$; для калибрующих $\tau = 30^\circ$); в — профиль секции режущих зубьев; г — схема для нанесения размеров профиля зуба; д — схема нанесения выкружек для разделения стружки на нечетных номерах зубьев с № 1 по № 71. При шлифовании профилей шлицевых зубьев № 1—80 задний хвостовик шпоножки поднять; все прочие поднимать равны 0,26 мм на длине 870 мм.

Номер зубьев	Размер М	Размер	Номер ролика при д.
23	41	113,962	113,854
41	57	113,962	113,854
57	71	113,962	113,854
71	85	113,962	113,854
85	99	113,962	113,854
99	113	113,962	113,854
113	127	113,962	113,854
127	141	113,962	113,854
141	155	113,962	113,854
155	169	113,962	113,854
169	183	113,962	113,854
183	197	113,962	113,854
197	211	113,962	113,854
211	225	113,962	113,854
225	239	113,962	113,854
239	253	113,962	113,854
253	267	113,962	113,854
267	281	113,962	113,854
281	295	113,962	113,854
295	309	113,962	113,854
309	323	113,962	113,854
323	337	113,962	113,854
337	351	113,962	113,854
351	365	113,962	113,854
365	379	113,962	113,854
379	393	113,962	113,854
393	407	113,962	113,854
407	421	113,962	113,854
421	435	113,962	113,854
435	449	113,962	113,854
449	463	113,962	113,854
463	477	113,962	113,854
477	491	113,962	113,854
491	505	113,962	113,854
505	519	113,962	113,854
519	533	113,962	113,854
533	547	113,962	113,854
547	561	113,962	113,854
561	575	113,962	113,854
575	589	113,962	113,854
589	603	113,962	113,854
603	617	113,962	113,854
617	631	113,962	113,854
631	645	113,962	113,854
645	659	113,962	113,854
659	673	113,962	113,854
673	687	113,962	113,854
687	701	113,962	113,854
701	715	113,962	113,854
715	729	113,962	113,854
729	743	113,962	113,854
743	757	113,962	113,854
757	771	113,962	113,854
771	785	113,962	113,854
785	799	113,962	113,854
799	813	113,962	113,854
813	827	113,962	113,854
827	841	113,962	113,854
841	855	113,962	113,854
855	869	113,962	113,854
869	883	113,962	113,854
883	897	113,962	113,854
897	911	113,962	113,854
911	925	113,962	113,854
925	939	113,962	113,854
939	953	113,962	113,854
953	967	113,962	113,854
967	981	113,962	113,854
981	995	113,962	113,854
995	1009	113,962	113,854
1009	1023	113,962	113,854
1023	1037	113,962	113,854
1037	1051	113,962	113,854
1051	1065	113,962	113,854
1065	1079	113,962	113,854
1079	1093	113,962	113,854
1093	1107	113,962	113,854
1107	1121	113,962	113,854
1121	1135	113,962	113,854
1135	1149	113,962	113,854
1149	1163	113,962	113,854
1163	1177	113,962	113,854
1177	1191	113,962	113,854
1191	1205	113,962	113,854
1205	1219	113,962	113,854
1219	1233	113,962	113,854
1233	1247	113,962	113,854
1247	1261	113,962	113,854
1261	1275	113,962	113,854
1275	1289	113,962	113,854
1289	1303	113,962	113,854
1303	1317	113,962	113,854
1317	1331	113,962	113,854
1331	1345	113,962	113,854
1345	1359	113,962	113,854
1359	1373	113,962	113,854
1373	1387	113,962	113,854
1387	1401	113,962	113,854
1401	1415	113,962	113,854
1415	1429	113,962	113,854
1429	1443	113,962	113,854
1443	1457	113,962	113,854
1457	1471	113,962	113,854
1471	1485	113,962	113,854
1485	1499	113,962	113,854
1499	1513	113,962	113,854
1513	1527	113,962	113,854
1527	1541	113,962	113,854
1541	1555	113,962	113,854
1555	1569	113,962	113,854
1569	1583	113,962	113,854
1583	1597	113,962	113,854
1597	1611	113,962	113,854
1611	1625	113,962	113,854
1625	1639	113,962	113,854
1639	1653	113,962	113,854
1653	1667	113,962	113,854
1667	1681	113,962	113,854
1681	1695	113,962	113,854
1695	1709	113,962	113,854
1709	1723	113,962	113,854
1723	1737	113,962	113,854
1737	1751	113,962	113,854
1751	1765	113,962	113,854
1765	1779	113,962	113,854
1779	1793	113,962	113,854
1793	1807	113,962	113,854
1807	1821	113,962	113,854
1821	1835	113,962	113,854
1835	1849	113,962	113,854
1849	1863	113,962	113,854
1863	1877	113,962	113,854
1877	1891	113,962	113,854
1891	1905	113,962	113,854
1905	1919	113,962	113,854
1919	1933	113,962	113,854
1933	1947	113,962	113,854
1947	1961	113,962	113,854
1961	1975	113,962	113,854
1975	1989	113,962	113,854
1989	2003	113,962	113,854
2003	2017	113,962	113,854
2017	2031	113,962	113,854
2031	2045	113,962	113,854
2045	2059	113,962	113,854
2059	2073	113,962	113,854
2073	2087	113,962	113,854
2087	2101	113,962	113,854
2101	2115	113,962	113,854
2115	2129	113,962	113,854
2129	2143	113,962	113,854
2143	2157	113,962	113,854
2157	2171	113,962	113,854
2171	2185	113,962	113,854
2185	2199	113,962	113,854
2199	2213	113,962	113,854
2213	2227	113,962	113,854
2227	2241	113,962	113,854
2241	2255	113,962	113,854
2255	2269	113,962	113,854
2269	2283	113,962	113,854
2283	2297	113,962	113,854
2297	2311	113,962	113,854
2311	2325	113,962	113,854
2325	2339	113,962	113,854
2339	2353	113,962	113,854
2353	2367	113,962	113,854
2367	2381	113,962	113,854
2381	2395	113,962	113,854
2395	2409	113,962	113,854
2409	2423	113,962	113,854
2423	2437	113,962	113,854
2437	2451	113,962	113,854
2451	2465	113,962	113,854
2465	2479	113,962	113,854
2479	2493	113,962	113,854
2493	2507	113,962	113,854
2507	2521	113,962	113,854
2521	2535	113,962	113,854
2535	2549	113,962	113,854
2549	2563	113,962	113,854
2563	2577	113,962	113,854
2577	2591	113,962	113,854
2591	2605	113,962	113,854
2605	2619	113,962	113,854
2619	2633	113,962	113,854
2633	2647	113,962	113,854
2647	2661	113,962	113,854
2661	2675	113,962	113,854
2675	2689	113,962	113,854
2689	2703	113,962	113,854
2703	2717	113,962	113,854
2717	2731	113,962	113,854
2731	2745	113,962	113,854
2745	2759	113,962	113,854
2759	2773	113,962	113,854
2773	2787	113,962	113,854
2787	2801	113,962	113,854
2801	2815	113,962	113,854
2815	2829	113,962	113,854
2829	2843	113,962	113,854
2843	2857	113,962	113,854
2857	2871	113,962	113,854
2871	2885	113,962	113,854
2885	2899	113,962	113,854
2899	2913	113,962	113,854
2913	2927	113,962	113,854
2927	2941	113,962	113,854
2941	2955	113,962	113,854
2955	2969	113,962	113,854
2969	2983	113,962	113,854
2983	2997	113,962	113,854
2997	3011	113,962	113,854
3011	3025	113,962	113,854
3025	3039	113,962	113,854
3039	3053	113,962	113,854
3053	3067	113,962	113,854
3067	3081	113,962	113,854
3081	3095	113,962	113,854
3095	3109	113,962	113,854

Чтобы ролики диаметром $d = 8$ мм не касались dna впадины, они должны иметь лыску. Расстояние от лыски до образующей ролика равно 6,6 мм. Материал проточки — сталь Р18; материал свертыша — сталь 4Х. Твердость хвостовика после термообработки $R_C = 35 \pm 45$; твердость зубьев $R_C = 62 \pm 64$; твердость передней направляющей у переднего торца равна $R_C = 45 \dots 50$, постепенно увеличивается до $R_C = 62 \dots 64$ у первого зуба. Отклонение окружного шага шлицев не более 0,01 мм. Накопленная ошибка окружного шага шлицев не более 0,02 мм. Вынтообразность боковых поверхностей шлицев на длине режущей части не более 0,02 мм. Отклонение профиля шлицев не более 0,02 мм. Вынтообразность шлицев относительно оси не более 0,01 мм. Несимметричность расположения шлицев относительно оси не более 0,01 мм.

№ зубьев	Диаметр зубьев, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр зубьев, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр зубьев, мм	Допуск, мм	Задний угол α	№ зубьев	Диаметр зубьев, мм	Допуск, мм	Задний угол α
1	100,15			21	102,95			+1	105,75			61	108,55		
2	100,12			22	102,92			42	105,72			62	108,52		
3	100,43			23	103,23			43	106,03			63	108,83		
4	100,40			24	103,20			44	106,00			64	108,80		
5	100,71			25	103,51			45	106,31			65	109,11		
6	100,68			26	103,48			46	106,28			66	109,08		
7	100,99			27	103,79			47	106,59			67	109,39		
8	100,96			28	103,76			48	106,56			68	109,36		
9	101,27			29	104,07			49	106,87			69	109,67		
10	101,24			30	104,04			50	106,84			70	109,64		
11	101,55			31	104,35			51	107,15			71	109,95		
12	101,52			32	104,32			52	107,12			72	109,92		
13	101,83			33	104,63			53	107,43			73	110,03		
14	101,80			34	104,60		3°	54	107,40			74	110,01		
15	102,11			35	104,91			55	107,71			75	110,05		
16	102,08			36	104,88			56	107,68			76	110,07		
17	102,39			37	105,19			57	107,99			77	110,07		
18	102,36			38	105,16			58	107,96			78	110,07		
19	102,67		3°	39	105,47			59	108,29			79	110,07		
20	102,64			40	105,44			60	108,24			80	110,07		

где α_n определяется из формулы (104)

$$\cos \alpha_n = \frac{d_o}{D_{\max}} = \frac{93,9693}{110,07} = 0,853723;$$

$$\alpha_n = 31^\circ 22' 52''; \operatorname{inv} \alpha_n = 0,062247;$$

$$B_{\text{шт мин}} = 110,07 \left(\frac{9,8}{100} + 0,014904 - 0,062247 \right) = 5,576 \text{ мм};$$

$$B = 0,5 \cdot \frac{9,8 + 5,576}{2} = 3,844 \text{ мм}.$$

Принимаем $B = 4 \text{ мм}$.

Радиус выкружек R_g и круга R_k определяем из приложения 20 в зависимости от g и D . Для минимальной величины выкружек

$$g = \frac{\pi D_1}{n} - B = \frac{3,14 \cdot 100,15}{20} - 4 = 11,72 \text{ мм}.$$

Радиус выкружек $R_g \leq 36 \text{ мм}$ и радиус круга $R_k \leq 30 \text{ мм}$.

19. Определение диаметра и длины передней направляющей. В соответствии с рекомендацией к п. 19 методики

$$D_{\text{пк}} = D_{\text{оцин}} \text{Л} = 100 \begin{matrix} -0,080 \\ -0,125 \end{matrix} \text{ мм}.$$

В связи с принятым в п. 2 способом соединения корпуса протяжки с хвостовиком (при помощи ввертыша) длина переднего направления назначается согласно приложению 17

$$l_{\text{пк}} = 75 \text{ мм}.$$

20. Длина переходного конуса согласно приложению 23 равна $l_{\text{пк}} = 25 \text{ мм}$.

21. Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба в соответствии с приложением 22: $L_1 = 280 + h'$; $h' = l$, следовательно, $L_1 = 315 \text{ мм}$.

22. Определение диаметра и длины задней направляющей. У протяжки для эвольвентных шлицев принимаем

$$D_{\text{зк}} = d_{\text{цин}} \text{Ш} = 100 \begin{matrix} -0,120 \\ -0,175 \end{matrix} \text{ мм}.$$

Длина заднего направления по приложению 23 равна $l_{\text{зк}} = 70 \text{ мм}$. Так как протяжка тяжелая, то для ее захвата рекомендуется делать задний хвостовик (см. приложение 23). Форма и размеры заднего хвостовика такие же, как и у переднего хвостовика, т. е. $l_{\text{зхв}} = 125 \text{ мм}$ (по месту).

23. Общая длина протяжки определяется по формуле (56)

$$L = L_1 + L_p + l_{\text{зк}} + l_{\text{зхв}} = 315 + 790 + 70 + 125 = 1300 \text{ мм}.$$

Чертеж рассчитанной протяжки показан на фиг. 104

8. РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ЭВОЛЬВЕНТНОЙ ПРОТЯЖКИ, ШЛИФУЕМОЙ С ПОДЪЕМОМ ЗАДНЕГО ХВОСТОВИКА

Эвольвентные шлицевые соединения более надежны и передают большие крутящие моменты, чем прямобоочные при тех же габаритных размерах. В связи с этим в последнее время их начали применять более широко.

Препятствием для перехода от прямобоочного профиля шлицев к эвольвентному является низкая стойкость эвольвентных протяжек. Это объясняется отсутствием заднего угла по профилю зубьев. С целью образования заднего угла, как и на шлицевых прямобоочных протяжках, применяется поднятие заднего хвостовика протяжки при шлифовании профиля зубьев (см. фиг. 88). На некоторых заводах величина поднятия хвостовика не превышает нескольких сотых миллиметра на длине протяжки. При этом коррекционные расчеты на изменение профиля зубьев не производятся, но и ожидаемого эффекта — повышения стойкости — также не получается. Существующие способы коррекционных расчетов содержат ошибки, приводящие к получению неправильных размеров протяжек.

На Челябинском тракторном заводе разработан и применяется точный способ коррекционного расчета профиля эвольвентных протяжек. Для получения больших профильных углов*, являющихся углами бокового поднутрения на прямобоочных шлицевых протяжках, достаточных для устранения трения боковых поверхностей зубьев, на заводе применяются большие величины подъема задних хвостовиков. Они составляют около 0,3 мм на 1000 мм длины протяжки.

Наблюдения за работой протяжек в цехах завода показали, что шлифованные с таким подъемом протяжки обладают большой стойкостью, в 2—3 раза превышающей стойкость обычных протяжек.

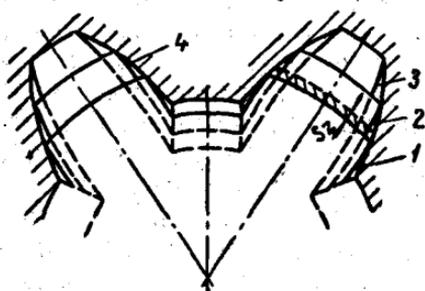
На фиг. 105 показаны боковой эвольвентный профиль впадины многошлицевого отверстия и профили отдельных зубьев протяжки, расположенных в разных местах ее. Протяжка шлифована с поднятием заднего хвостовика. Профиль впадины детали образуется сравнительно малыми участками профиля зубьев протяжки, расположенными у вершины. Длина этих участков равна величине подачи на зуб s_z (штрихами показана вершина зуба, следующего за зубом 1). Большое число зубьев, обрабатывающих впадину, обеспечивает хорошее качество боковой поверхности шлицев и геометрию профиля.

При таком способе изготовления протяжки профиль впадины шлица детали огибают точки, лежащие на вершине каждого зуба. Но если шлифовать боковой профиль зубьев протяжки кругом с тем же эвольвентным профилем, что и у детали, то профиль

* В соответствии с принятой в теории резания терминологией эти углы являются вспомогательными углами в плане зуба. Однако на практике много лет широко применяется термин — угол бокового поднутрения

и размеры зубьев протяжки окажутся искаженными, и впадина эвольвентного шлица детали будет неправильной.

Чтобы получить правильный профиль и размеры впадины шлица детали, корректируют профиль абразивного круга, с помощью которого шлифуется протяжка. Полученный профиль круга является в то же время и боковым профилем всех режущих зубьев протяжки. Порядок корректирования следующий. Сначала находят координаты трех точек эвольвенты — двух крайних и одной промежуточной. Затем, приняв определенную величину подъема заднего хвостовика, находят их новые координаты. Теперь координаты этих точек будут принадлежать уже не одному и тому же зубу, а разным зубьям, находящимся на некотором расстоянии



Фиг. 105. Образование профиля впадины шлицевого эвольвентного отверстия зубьями протяжки, проточенной с подъемом заднего хвостовика:

1 — профиль первого зуба; 2 — профиль зуба, находящегося в средней части протяжки; 3 — профиль последнего зуба; 4 — профиль впадины.

от последнего режущего зуба, принимаемого за базовый. Это расстояние определяется в зависимости от принятой величины подъема заднего хвостовика, отнесенной ко всей длине протяжки. Калибрующие зубья в расчет не принимаются: они имеют одинаковый наружный диаметр. Это не сказывается на работе протяжки, потому что эти зубья калибруют отверстие лишь по наружному диаметру и не участвуют в формировании профиля. По последнему калибрующему зубу расчет вести нельзя, так как боковые профили всех режущих зубьев при таком расчете получают заниженные размеры. Чистовые зубья, как и при

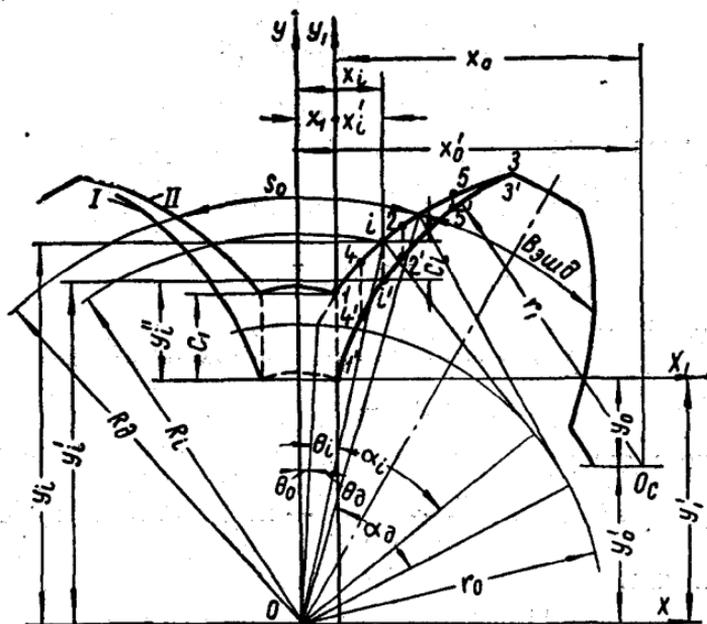
расчете прямобоочных шлицевых протяжек, не принимаются во внимание.

Выбор крайних точек эвольвентного профиля для расчета производится следующим образом. Первая точка всегда берется на диаметре выступов детали d или немного выше его. Положение второй крайней точки зависит от центрирования шлицевого соединения. При центрировании по эвольвентным профилям шлицев (центрирование по s по ГОСТ 6033—51) или по диаметру выступов d диаметр окружности, на которой должна находиться вторая крайняя точка, примерно равен или немного больше наружного диаметра вала, сопрягаемого с протягиваемым отверстием. Этот диаметр, как правило, несколько меньше диаметра последнего режущего зуба протяжки. При центрировании по наружному диаметру D шлицевого отверстия вторая крайняя точка лежит на окружности, диаметр которой совпадает с диаметром последнего чернового зуба.

При секционном построении протяжек расчет можно вести

по любому из зубьев секции (выкружки на прорезном зубе наносятся после шлифования профиля). Размер по роликам задается для любых желаемых зубьев. Все расчеты производятся с точностью до 0,000001 мм для линейных размеров и до одной секунды — для угловых. Для рассматриваемого примера принимаем превышение заднего центра над передним 0,3 мм на 1000 мм длины.

Для расчета профиля выбираем диаметры окружностей, на которых находятся исходные точки. На фиг. 106 приведены необходимые для расчета положения профиля боковых поверхностей зубьев протяжек в прямоугольной системе координат. Ось OY избранной системы является осью симметрии впадины между



Фиг. 106. Профиль впадин (или шлифовального круга), откорректированный с учетом подъема заднего хвостовика (I) и эвольвентный профиль (II).

зубьями протяжки. Такое расположение осей соответствует положению профиля шлифовального круга при шлифовании зубьев. Исходный профиль — эвольвентный профиль шлицев обрабатываемой детали. Во избежание затемнения чертежа, на нем не нанесены радиусы окружностей выступов и впадин. С той же целью на чертеже не нанесены окружности избираемых точек.

Принимаем для расчета диаметры трех точек: первой крайней точки $D_1 = 100,15$ мм (соответствует наружному диаметру первого зуба), второй точки $D_2 = 105,19$ мм (соответствует наружному диаметру тридцать седьмого зуба) и третьей крайней точки

$D_s = 109,95$ мм (соответствует наружному диаметру семьдесят первого зуба).

На чистовых зубьях подъем меньше, чем на черновых. Чтобы избежать некоторого искажения профиля на них, протяжку нужно было бы шлифовать в две установки с разными подъемами заднего хвостовика. Но участок профиля, образуемый чистовыми зубьями (на фиг. 106 не показан), очень мал — равен 0,06 мм и, кроме того, является нерабочим (у сопрягаемой детали — вала — здесь фаска). Поэтому искажением профиля на этом участке можно пренебречь и протяжку можно шлифовать в одну установку.

Находим координаты выбранных точек в системе XOY . Для этого нанесем точку i , лежащую на окружности радиуса R_i с текущими координатами x_i и y_i ,

$$x_i = R_i \sin(\theta_0 + \theta_i); \quad (105)$$

$$y_i = R_i \cos(\theta_0 + \theta_i), \quad (106)$$

где θ_0 — угол между осью OY и радиусом-вектором начальной точки эвольвенты, град;

Угол θ_0 в радианах определяется по формуле

$$\theta_0 = \frac{\pi}{n} - \frac{B_{эшд}}{d_d} - \text{inv } \alpha_d; \quad (107)$$

θ_i — полярный угол эвольвенты в точке i , град.

Угол θ_i в радианах определяется по формуле

$$\theta_i = \text{tg } \alpha_i - \alpha_i = \text{inv } \alpha_i,$$

где α_i — угол давления в точке i , определяемый по формуле (104);

$$\theta_0 + \theta_i = 57,29578 \left(\frac{\pi}{n} - \frac{B_{эшд}}{d_d} - \text{inv } \alpha_d + \text{inv } \alpha_i \right) \text{ град.} \quad (108)$$

Для принятых значений

$$\theta_0 = \frac{3,141593}{20} - \frac{9,8}{100} - 0,014904 = 0,044176 \text{ рад.}$$

Для всех трех точек имеем

$$\cos \alpha_1 = \frac{93,9693}{100,15} = 0,938286; \quad \alpha_1 = 20^\circ 14' 4''; \quad \text{inv } \alpha_1 = 0,015454;$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{93,9693}{105,19} = 0,893329; \quad \alpha_2 = 26^\circ 42' 20''; \quad \text{inv } \alpha_2 = 0,036969;$$

$$\cos \alpha_3 = \frac{93,9693}{109,95} = 0,854655; \quad \alpha_3 = 31^\circ 16' 42''; \quad \text{inv } \alpha_3 = 0,061582;$$

$$\theta_0 + \theta_1 = 57,29578(0,044176 + 0,015454) = 3^\circ 24' 59'';$$

$$\theta_0 + \theta_2 = 57,29578(0,044176 + 0,036969) = 4^\circ 38' 57'';$$

$$\theta_0 + \theta_3 = 57,29578(0,044176 + 0,061582) = 6^\circ 3' 34'';$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= R_1 \sin(\theta_0 + \theta_1) = 50,075 \cdot 0,059592 = 2,984069 \text{ мм;} \\
 y_1 &= R_1 \cos(\theta_0 + \theta_1) = 50,075 \cdot 0,998223 = 49,986017 \text{ мм;} \\
 x_2 &= R_2 \sin(\theta_0 + \theta_2) = 52,595 \cdot 0,081054 = 4,263035 \text{ мм;} \\
 y_2 &= R_2 \cos(\theta_0 + \theta_2) = 52,595 \cdot 0,996710 = 52,421962 \text{ мм;} \\
 x_3 &= R_3 \sin(\theta_0 + \theta_3) = 54,975 \cdot 0,105560 = 5,803161 \text{ мм;} \\
 y_3 &= R_3 \cos(\theta_0 + \theta_3) = 54,975 \cdot 0,994413 = 54,667855 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

Если бы протяжка была шлифована обычным способом, т. е. без поднятия заднего хвостовика, профиль всех зубьев ее был бы одинаковым и точно соответствовал профилю шлицев детали — эвольвенте. Толщина всех зубьев, измеренная на одном и том же диаметре, была бы также одинаковой.

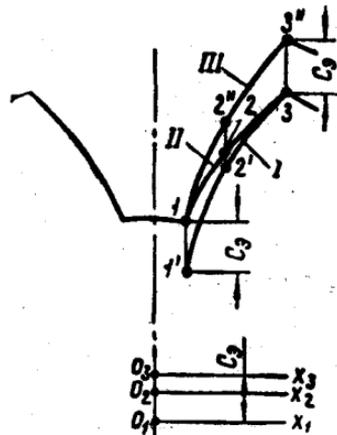
У протяжек, шлифованных с поднятым хвостовиком, профиль боковых поверхностей одинаков, а толщина зубьев, измеренная на одном диаметре, различна.

На фиг. 107 представлены эвольвента профиля детали — геометрическое место вершин всех режущих зубьев протяжки после шлифования и при горизонтальном положении оси ее (кривая II) и огибающая вершин всех режущих зубьев протяжки в процессе шлифования при поднятом заднем хвостовике — профиль всех зубьев протяжки и абразивного круга (кривая III). После того как протяжка шлифована и ось ее возвращена в горизонтальное положение, профиль последнего зуба займет положение кривой I. Точка I' является точкой впадины этого зуба.

При поднятии заднего хвостовика точка I первого зуба и точка O₁, соответствующая центру окружности этого зуба, на вершине которого находится точка I, останутся на месте. Точка 3 последнего зуба получает наибольшее смещение, равное C_з, т. е. переходит в точку 3. Такое же смещение получает центр окружности вершин последнего зуба — точка O₃.

При возвращении оси протяжки после шлифования в горизонтальное положение точка I первого зуба остается на месте, а точка I последнего зуба опускается на C_з в точку I', а его же точка 3" возвращается в исходное положение, т. е. в точку 3. На фиг. 106 приведена эта же самая кривая I, соответствующая горизонтальному положению оси протяжки.

За исключением точки 3, все точки профиля последнего зуба опускаются вниз и образуют кривую I (см. фиг. 107), по которой и должен профилироваться абразивный круг. Так как последний



Фиг. 107. Эвольвента профиля шлицев детали и профиль зубьев протяжки.

зуб имеет самый полный профиль, то именно его высота определяет рабочий участок профиля круга. Кривую I , образованную опустившимися точками профиля последнего зуба, и следует с целью упрощения процесса заправки и контроля круга заменить дугой окружности.

Отклонение дуги окружности от кривой профиля последнего зуба проверяется в двух дополнительных промежуточных точках, имеющих другие координаты, чем те, по которым была построена окружность. В случае получения отклонений больше 0,006 мм подыскивается другая окружность или профиль разбивается на два участка и находятся две заменяющие окружности.

Для определения величины смещения каждой из взятых точек предварительно определяем смещение, приходящееся на каждый зуб,

$$\Delta C = \frac{\Delta y}{1000} \cdot \frac{l_0}{z_0} = \frac{\Delta y}{1000} t_0 \text{ мм}, \quad (109)$$

где ΔC — смещение, приходящееся на один зуб, мм;

Δy — величина поднятия заднего хвостовика (центра задней бабки) на 1000 мм длины протяжки, мм.

В нашем случае принято $\Delta y = 0,3$ мм, поэтому $\Delta C = \frac{0,3}{1000} \cdot \frac{760}{76} = 0,003$ мм.

Величина смещения ординаты любого зуба определяется по формуле

$$C_i = \Delta C (z_i - 1). \quad (110)$$

Для расчета по схеме, приведенной на фиг. 105, за базовый принят режущий зуб № 71 с диаметром $D_3 = 109,95$ мм; все отсчеты числа зубьев ведем теперь не от первого зуба протяжки, а от зуба № 71. Поэтому вместо $z_i - 1$ удобно пользоваться выражением: номер базового зуба минус номер расчетного зуба.

В соответствии с этим для точек 1, 2 и 3 (см. фиг. 106):

$$C_1 = C_0 = 0,003 (71 - 1) = 0,210 \text{ мм};$$

$$C_2 = 0,003 (71 - 37) = 0,102 \text{ мм};$$

$$C_3 = 0,003 (71 - 71) = 0$$

Новые ординаты точек следующие: любой точки

$$y'_i = y_i - C_i; \quad (111)$$

точки 1'

$$y'_1 = y_1 - C_1 = 49,776017 \text{ мм};$$

точки 2'

$$y'_2 = y_2 - C_2 = 52,319962 \text{ мм};$$

точки 3'

$$y'_3 = y_3 - C_3 = 54,667855 \text{ мм}.$$

С целью упрощения расчетов переносим начало координат в точку I' (см. фиг. 106) и получаем новую систему координат $X_1I'Y_1$. Находим координаты точек в этой системе: любой точки

$$x'_i = x_i - x_1 \quad (112); \quad y'_i = y'_i - y'_1; \quad (113)$$

точки $1'$

$$x'_1 = 0; \quad y'_1 = 0;$$

точки $2'$

$$x'_2 = x_2 - x_1 = 4,263035 - 2,984069 = 1,278966 \text{ мм};$$

$$y'_2 = y'_2 - y'_1 = 52,319962 - 49,776017 = 2,543945 \text{ мм};$$

точки 3

$$x'_3 = x_3 - x_1 = 5,803161 - 2,984069 = 2,819092 \text{ мм};$$

$$y'_3 = y'_3 - y'_1 = 54,667855 - 49,776017 = 4,891838 \text{ мм}.$$

Через эти точки проводим окружность, определив координаты ее центра x_0 , y_0 и величину радиуса r_1 . Эта окружность проходит через начало новой системы координат I' . Координаты центра окружности и радиус определяем по формулам

$$y_0 = \frac{x'_2 [(x'_3)^2 + (y'_3)^2] - x'_3 [(x'_2)^2 + (y'_2)^2]}{2(y'_3 x'_2 - y'_2 x'_3)}; \quad (114)$$

$$x_0 = \frac{(x'_2)^2 + (y'_2)^2 - 2y'_2 y_0}{2x'_2}; \quad (115)$$

$$r_1 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}. \quad (116)$$

Подставив соответствующие значения, получим

$$y_0 = -9,788062 \text{ мм}; \quad x_0 = 22,638597 \text{ мм}; \quad r_1 = 24,663986 \text{ мм}.$$

Чтобы проверить, насколько точно заменяет дуга этой окружности кривую I , нужно определить величину ее отклонений от окружности в двух точках профиля, которые не участвовали в расчете параметров окружности. Исходными точками будут точки 4 и 5 эвольвенты. Диаметры их следующие: $D_4 = 102,67 \text{ мм}$ (19-й зуб) и $D_5 = 107,43 \text{ мм}$ (53-й зуб). Их координаты и промежуточные параметры находятся так же, как и для других точек,

$$\cos \alpha_4 = 0,915256; \quad \alpha_4 = 23^\circ 45' 28''; \quad \text{inv } \alpha_4 = 0,025521;$$

$$\cos \alpha_5 = 0,874703; \quad \alpha_5 = 28^\circ 59' 25''; \quad \text{inv } \alpha_5 = 0,048112;$$

$$\theta_0 + \theta_4 = 3^\circ 59' 36''; \quad \theta_0 + \theta_5 = 5^\circ 17' 16'';$$

$$x_4 = R_4 \sin(\theta_0 + \theta_4) = 3,574969 \text{ мм};$$

$$y_4 = R_4 \cos(\theta_0 + \theta_4) = 51,210359 \text{ мм};$$

$$x_5 = R_5 \sin(\Theta_0 + \Theta_5) = 4,950267 \text{ мм};$$

$$y_5 = R_5 \cos(\Theta_0 + \Theta_5) = 53,486443 \text{ мм};$$

$$C_4 = 0,156; C_5 = 0,054; y'_4 = 51,054359 \text{ мм}; y'_5 = 53,432443 \text{ мм};$$

$$x'_4 = 0,590900 \text{ мм}; y''_4 = 1,278342 \text{ мм}; x'_5 = 1,966198 \text{ мм};$$

$$y''_5 = 3,656426 \text{ мм}.$$

Вычисляем расстояние этих точек до центра заменяющей окружности по формуле

$$\rho_i = \sqrt{(x'_i - x_0)^2 + (y''_i - y_0)^2}; \quad (117)$$

$$\rho_4 = \sqrt{(0,590900 - 22,638597)^2 + (1,278342 + 9,788062)^2} = 24,669135 \text{ мм};$$

$$\rho_5 = \sqrt{(1,966198 - 22,638597)^2 + (3,656426 + 9,788062)^2} = 24,659731 \text{ мм}.$$

Определяем искомые отклонения, которые представляют собой разность между ρ_4 и ρ_5 и радиусом r_1 заменяющей окружности

$$\Delta\rho_4 = \rho_4 - r_1 = +0,005149 \text{ мм}; \quad \Delta\rho_5 = \rho_5 - r_1 = -0,004255 \text{ мм}.$$

Для любой точки

$$\Delta\rho_i = \rho_i - r_1. \quad (118)$$

Величины отклонений удовлетворительные, поэтому замену искомого профиля дугой данной окружности считаем приемлемой.

Находим координаты центра заменяющей окружности в системе $ХОУ$

$$x'_0 = x_0 + x_1 = 25,622666 \text{ мм}; \quad y'_0 = y'_1 - y_0 = 39,987955 \text{ мм}.$$

Во избежание ошибок всегда принимается абсолютное значение y_0 .

9. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПРОТЯЖКИ ПО РОЛИКАМ

Профиль протяжки контролируется размером по роликам. Контроль производится двумя или тремя роликами разных диаметров, которые касаются точек профиля впадины между двумя соседними зубьями на разной высоте. Это точки, лежащие примерно на высоте одной трети, половины и двух третей профиля. Расчет размеров по роликам выполняется для последнего чернового зуба или зуба, принятого за базовый. Контроль профиля на других зубьях производится с помощью тех же роликов. При этом размер по роликам изменяется на удвоенную величину смещения для данного зуба относительно базового.

На фиг. 108, а представлен профиль впадины между шлицами

протяжки для базового зуба. Чтобы не делать дополнительных расчетов, для контроля профиля принимаются точки 2, 4 и 5 (см. фиг. 106), координаты которых были найдены раньше.

Для расчета нужно знать абсциссы в системе координат XOY :
 $x_4 = 3,574969$ мм; $x_2 = 4,263035$ мм; $x_5 = 4,950267$ мм.

Размеры роликов рассчитываются по формуле

$$r_{pi} = \frac{r_1 x_i}{x'_0 - x_i} \text{ мм.} \quad (119)$$

В дальнейшем вычисленные радиус и диаметр роликов обозначаем r_p и d_p . Принимаемые же размеры стандартных роликов обозначаем R_p и D_p .

Для точек 4, 2 и 5 получим

$$\begin{aligned} r_{p4} &= 3,999192 \text{ мм}; & d_{p4} &= 7,998384 \text{ мм}; \\ r_{p2} &= 4,922531 \text{ мм}; & d_{p2} &= 9,845062 \text{ мм}; \\ r_{p5} &= 5,906102 \text{ мм}; & d_{p5} &= 11,812204 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Для измерения принимаем стандартные ролики с размерами, близкими к найденным, т. е. $D_{p4} = 8$ мм; $D_{p2} = 10$ мм и $D_{p5} = 12$ мм.

Размер протяжки по роликам на последнем черновом зубе (в рассматриваемом примере — предпоследнем) определяется по формулам: для четного числа зубьев протяжки (по окружности)

$$M_i = 2y'_0 + 2l_i + D_{pi} \text{ мм;} \quad (120)$$

для нечетного числа зубьев

$$M_i = 2(y'_0 + l_i) \cos \frac{90^\circ}{n} + D_p \text{ мм,} \quad (121)$$

где M_i — размер по роликам для любой точки данного зуба;

l_i — расстояние по вертикали между центрами заменяющей окружности O_c и ролика C_p .

Из треугольника $O_c A C_p$ находим

$$l_i = \sqrt{(r_1 + R_{pi})^2 - (x'_0)^2} \text{ мм.} \quad (122)$$

Для точек 4, 2 и 5 получим

$$l_4 = 12,849244 \text{ мм}; \quad l_2 = 14,947610 \text{ мм}; \quad l_5 = 16,845148 \text{ мм}.$$

Находим размеры по роликам для точек 4, 2 и 5 на предпоследнем черновом зубе № 71, принятом за базовый,

$$M_4 = 113,674398 \text{ мм}; \quad M_2 = 119,871130 \text{ мм}; \quad M_5 = 125,666206 \text{ мм}.$$

Профиль следует проверять и на других зубьях. Проверка должна выполняться в двух-четырех разных местах по длине протяжки. При этом нельзя допускать, чтобы ролик касался вершин

зубьев. Точки касания его с профилем должны находиться приблизительно на 0,3 мм ниже вершин.

Для проверки профиля вблизи точки 4 (см. фиг. 106), находящейся на наружном диаметре зуба № 19, принимаем зуб № 23, наружный диаметр которого больше на 0,56 мм. Для проверки профиля вблизи точки 2 принимаем зуб № 41. На зубе № 41 профиль будет проверен в двух точках, примерно соответствующих точкам 2 и 4 расчетного профиля. Профиль зуба № 57 проверяется в трех точках, примерно соответствующих точкам 2, 4 и 5.

Найдем размеры по роликам на указанных зубьях с учетом смещения их по формуле

$$M_z = M_i \pm 2C_i \text{ мм}, \quad (123)$$

где M_z — размер по роликам на контролируемом зубе протяжки.

Знак плюс в формуле (123) применяется в тех случаях, когда ролик передвигается вдоль протяжки в сторону переднего хвостовика от базового зуба, минус — при передвижении ролика на чистовые или калибрующие зубья.

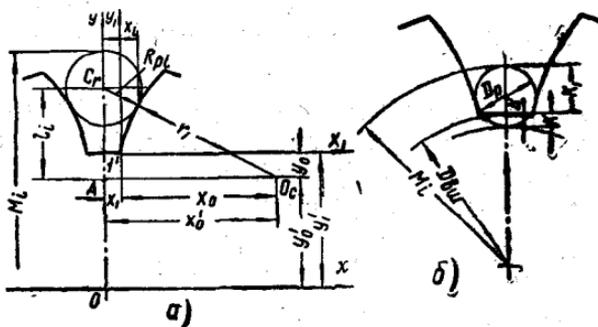
Для зуба № 23 в точке, соответствующей точке 4, имеем

$$M_{4-23} = M_4 + 2C_{23} = 113,674398 + 2 \cdot 0,003(71 - 23) = 113,962398 \text{ мм.}$$

Для зуба № 41

$$M_{4-41} = M_4 + 2C_{41} = 113,674398 + 2 \cdot 0,003(71 - 41) = 113,854398 \text{ мм.}$$

$$M_{2-41} = M_2 + 2C_{41} = 119,871130 + 2 \cdot 0,003(71 - 41) = 120,051130 \text{ мм.}$$



Фиг. 108. Схема для расчета размера по роликам (а); схема для проверки касания роликом дна впадины (б).

Для зуба № 57

$$M_{4-57} = M_4 + 2C_{57} = 113,674398 + 2 \cdot 0,003(71 - 57) = 113,758398 \text{ мм.}$$

$$M_{2-57} = M_2 + 2C_{57} = 119,871130 + 0,084 = 119,955130 \text{ мм.}$$

$$M_{5-57} = M_5 + 2C_{57} = 125,666206 + 0,084 = 125,750206 \text{ мм.}$$

Необходимо проверить, не касается ли наименьший ролик дна впадины. Проверочный расчет производится по следующей формуле:

$$M_i - 2D_p > D_{вн}.$$

Для зуба № 23 при наименьшем ролике ($D_{pa} = 8$ мм) имеем $113,962398 - 16 = 97,962398$ мм; $D_{вн} = 100$ мм, следовательно, ролик будет касаться дна впадины. Для измерения этим роликом нужно сошлифовать часть его поверхности (фиг. 108, б) на глубину K , равную

$$K = \frac{(D_{вн} - 2C_i) - (M_i - 2D_p)}{2} + \Delta' \text{ мм},$$

где Δ' — гарантийный зазор между роликом и дном впадины принимается 0,5 мм.

Подставив расчетные данные, получим

$$K = \frac{99,88 - 2 \cdot 0,003(23 - 1) - 97,962398}{2} + 0,5 \approx 1,4 \text{ мм}.$$

Размер ролика от образующей до лыски $K_1 = 8 - 1,4 = 6,6$ мм.

На чертеже протяжки указывается подъем заднего центра (хвостовика) на длине от точки перехода переднего направления во впадину перед первым зубом до торца заднего направления. Это расстояние равно (см. фиг. 88)

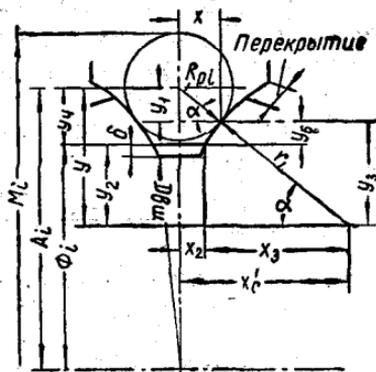
$$L_y = L - L_1 + (t - b) - l_{зхв} = 1300 - 315 + 10 - 125 = 870 \text{ мм}.$$

Величина подъема заднего хвостовика C определяется по формуле

$$C = \frac{\Delta y}{1000} \cdot L_y = \frac{0,3}{1000} \cdot 870 = 0,26 \text{ мм}.$$

10. КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ПО РОЛИКАМ И РАСЧЕТ ШАБЛОНА

Для предварительного контроля профиля боковых поверхностей зубьев и профиля шлифовального круга применяются специальные шаблоны. Расчет профиля этих шаблонов одновременно является контролем расчета размеров по роликам. Следует иметь в виду, что данный контроль не вскрывает ошибок, допущенных при расчете координат и точек и параметров заменяющей окружности. Вскрываются лишь ошибки, допущенные при расчете размеров M_i по различным роликам. В основу контроля положено условие равенства величин x_2 и y_2 (фиг. 109) для роликов разных размеров на одном и том же и на разных зубьях.



Фиг. 109. Схема для расчета шаблона и для контроля размеров по роликам.

Расхождение этих величин более чем на 2 мк укажет на ошибку в расчетах при определении размеров по роликам.

Исходными величинами для расчета шаблона служат размеры по роликам M и радиусы роликов R_p , радиус заменяющей окружности r_1 и абсцисса центра ее x_0 , наибольшее (в пределах поля допуска) значение диаметра по впадинам шлицев $D_{вш}$, величина подъема заднего центра на длине L_y и шаг зубьев. Исковыми величинами, требуемыми для изготовления шаблонов, являются x ; x_2 ; y_3 ; y_2 ; y_6 .

Часто расчет шаблонов и контроль размера по роликам выполняются не конструктором, проектировавшим протяжку, а технологами или конструкторами инструментального цеха. Последние берут перечисленные исходные данные непосредственно из чертежа протяжки. Поэтому в расчете также используются данные чертежа, т. е. округленные расчетные величины. Расчет производится с точностью до шестого знака.

Для расчета принимаем размеры по всем трем роликам на зубе № 71

$$M_{1-71} = 113,674 \text{ мм для } R_{p1} = 4 \text{ мм};$$

$$M_{2-71} = 119,871 \text{ мм для } R_{p2} = 5 \text{ мм};$$

$$M_{3-71} = 125,666 \text{ мм для } R_{p3} = 6 \text{ мм},$$

а также размер по наименьшему ролику на зуб № 41

$$M_{1-41} = 113,854 \text{ мм}.$$

Другие величины: $r_1 = 24,664 \text{ мм}$; $x_0' = 25,623 \text{ мм}$; $c = 0,258 \text{ мм}$ на длине $L_y = 860 \text{ мм}$ и $t = 10 \text{ мм}$.

Расчет по ролику радиуса $R_{p1} = 4 \text{ мм}$ для зуба № 71 ведем следующим образом.

1. Определяем размер A_{1-71} — расстояние между осями протяжки и ролика

$$A_{1-71} = \frac{M_{1-71} - 2R_{p1}}{2} = \frac{113,674 - 2 \cdot 4}{2} = 52,837 \text{ мм}.$$

2. Определяем размер Φ — расстояние между осью протяжки и крайним выступом шаблона

$$\Phi = \frac{D_{вш \text{ макс}} + 2\delta}{2} = \frac{99,88 + 2 \cdot 0,25}{2} = 50,19 \text{ мм},$$

где δ — зазор между дном впадины и шаблоном, который берется равным 0,2—0,3 мм. Принимаем $\delta = 0,25 \text{ мм}$.

3. Определяем размер x

$$x = R_{p1} \cos \alpha_1,$$

$$\text{где } \cos \alpha_1 = \frac{x_0'}{r_1 + R_{p1}} = \frac{25,623}{24,664 + 4} = 0,893909; \alpha_1 = 26^\circ 37' 53'';$$

$$x = 4 \cdot 0,893909 = 3,57564 \text{ мм}.$$

Определяем размер y_3

$$y_3 = y - y_1,$$

где $y = (R_{p1} + r_1) \sin \alpha_1 = (4 + 24,664) \cdot 0,448223 = 12,847864$ мм;
 $y_1 = R_{p1} \sin \alpha_1 = 4 \cdot 0,448223 = 1,792892$ мм;
 $y_3 = 12,847864 - 1,792892 = 11,054972$ мм.

5. Определяем размер x_2

$$x_2 = x'_0 - x_3,$$

где $x_3 = \sqrt{r_1^2 - y_2^2}$; $y_2 = y - y_4$; $y_4 = A_{1-71} - \Phi$;
 $y_4 = 52,837 - 50,19 = 2,647$ мм;
 $y_2 = 12,847864 - 2,647 = 10,200864$ мм;

$$x_3 = \sqrt{24,664^2 - 10,200864^2} = 22,455629 \text{ мм};$$

$$x_2 = 25,623 - 22,455629 = 3,167371 \text{ мм}.$$

6. Определяем размер y_6

$$y_6 = y_3 - y_2;$$

$$y_6 = 11,054972 - 10,200864 = 0,854108 \text{ мм}.$$

Порядок расчета по ролику радиуса $R_{p2} = 5$ мм для зуба № 71 следующий

1. Определяем размер A_{2-71}

$$A_{2-71} = \frac{M_{2-71} - 2R_{p2}}{2};$$

$$A_{2-71} = \frac{119,871 - 2 \cdot 5}{2} = 54,9355 \text{ мм}.$$

2. Размер Φ определен выше. Для одного и того же зуба он больше не просчитывается.

Все расчеты для роликов радиуса R_{p2} и R_{p3} на зубе № 71, а также для ролика радиуса R_{p1} на зубе № 41 выполняются аналогично расчету для ролика радиуса R_{p1} на зубе № 71. Лишь размер Φ на зубе № 41 вычисляется по формуле

$$\Phi_{41} = \Phi_{71} + C_{\kappa} \text{ мм},$$

$$\text{где } C_{\kappa} = \frac{t_0(n-k)}{L_y} \cdot C = \frac{10(71-41)}{870} \cdot 0,26 = 0,09 \text{ мм};$$

n и k — номера соответствующих зубьев;

$$\Phi_{41} = 50,19 + 0,09 = 50,28 \text{ мм}.$$

Результаты вычислений приведены в табл. 7.

Сравнение величин x_2 , x_3 и y_2 показывает, что расхождение их не превышает 0,002 мм, что допустимо.

Размеры профиля шаблона

Определяемая величина	Значение величин в мм для 71-го зуба при радиусе ролика		Значение величин в мм для 41-го зуба при радиусе ролика $R_{p_1}=4$ мм
	$R_{p_2}=5$ мм	$R_{p_2}=6$ мм	
x	4,31887	5,013630	3,575640
x_2	3,174511	3,174566	3,174192
x_3	22,454499	22,455255	22,455629
y_3	12,427572	13,548700	11,054972
y_2	10,201566	10,201686	10,200864
y_6	2,226006	3,347014	0,854108

При нечетном числе зубьев контроль производится с пересчетом размера по роликам, т. е. приведением его к положению, при котором ролики условно располагаются симметрично. Для этого находят расстояние W между осями роликов по формуле

$$W = M - D_p \text{ мм.}$$

Затем определяют приведенный размер по роликам M' по формуле

$$M' = \frac{W}{\cos \frac{90^\circ}{n}} + D_p \text{ мм.}$$

Дальнейший расчет шаблона ведут как расчет шаблона для четного числа зубьев, подставив M' вместо M .

ГРУППЫ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ

Наименование стали	Марка	Диаметр отпечатка $d_{отп}$ в мм и группы обрабатываемости стали				
		I	II	III	IV	V
Углеродистая	20	5,0—5,2	—	—	—	—
	45	3,8—4,5	3,6—3,8	3,4—3,6	3,2—3,4	—
Хромистая	20X	3,8—4,6	3,6—3,8	—	—	—
	45X	4,0—4,2	3,7—4,0	3,5—3,7	3,3—3,5	3,2—3,3
Марганцовистая	20Г	4,7—5,0	—	—	—	—
	50Г	4,0—4,3	3,7—4,0	3,5—3,7	3,4—3,5	3,3—3,4
Хромоникелевая	12ХНЗА	3,8—4,6	3,6—3,8	3,4—3,6	3,3—3,4	—
	20ХНЗА	4,0—4,6	3,8—4,0	3,6—3,8	3,4—3,6	3,2—3,4
Хромоникелевольфрамовая	18ХНВА	—	—	—	3,8—4,2	3,4—3,6
Хромокремнемарганцовистая	38ХСА	—	4,0—4,4	3,6—4,0	3,4—3,6	3,2—3,4
Хромомарганцовистотитанистая	30ХГТ	4,2—4,6	3,8—4,2	3,6—3,8	3,4—3,6	—
Боросодержащая	20ХГНР	4,4—4,7	—	—	—	—
Шарикоподшипниковая	ШХ15	—	—	—	3,8—4,2	—
Быстрорежущая	P9 P18	—	—	—	3,8—4,0	—

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ПРОТЯЖЕК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ РАБОТЫ

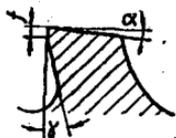
Наименование обрабатываемых материалов	Вид протяжек	Марка материала протяжек в зависимости от типа производства, чистоты и точности обработки			
		массовое и крупносерийное		мелкосерийное и индивидуальное	
		2 класс точности или $\nabla 6 - \nabla 7$	ниже 2 класса точности и грубее $\nabla 6$	2 класс точности или $\nabla 6 - \nabla 7$ ниже 2 класса точности и грубее $\nabla 6$	
Стали I и II группы обрабатываемости	Круглые		P9, XBG	P9	XBG
	Шлицевые и фасонные	P18, P9	P9	P18, P9*	P9, XBG
	Наружные		P9	P9	P9
Стали III, IV и V групп обрабатываемости	Круглые		P18, P9		P9
	Шлицевые и фасонные	P18		P18, P9*	P18, P9*
	Наружные		P18, P9		P9
Стальное литье (при протягивании по черному)					
	Чугун		P18	P9	P9, XBG
Алюминиевые сплавы					
	Все типы протяжек	P18	P9	P9	P9, XBG
Бронза, лагунь		P18, P9	P9, XBG	P9, XBG	XBG

* Для елочных и эвольвентных протяжек и протяжек сложных профилей сталь P9 не применять.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОТЯЖЕК ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ
И ДОПУСТИМЫЙ ИЗНОС ИХ

I. Передние углы

Вид зубьев	Значения γ для стали различных групп обрабатываемости			Значения γ для чугуна			Значения γ для цветных металлов и сплавов	
	I	II и III	IV и V	серого		ковкого	бронзы и латуни	алюминиевых сплавов, баббита, красной меди
				$H_B \leq 180$	$H_B > 180$			
Черновые и переходные	20°	15°	10°	10°	5°	10°	5°	20 ÷ 25°
Чистовые и калибрующие	20°	18°	15°	0 + (-5)*	(0°)*	0 - 5°	÷ (-5°)*	25°

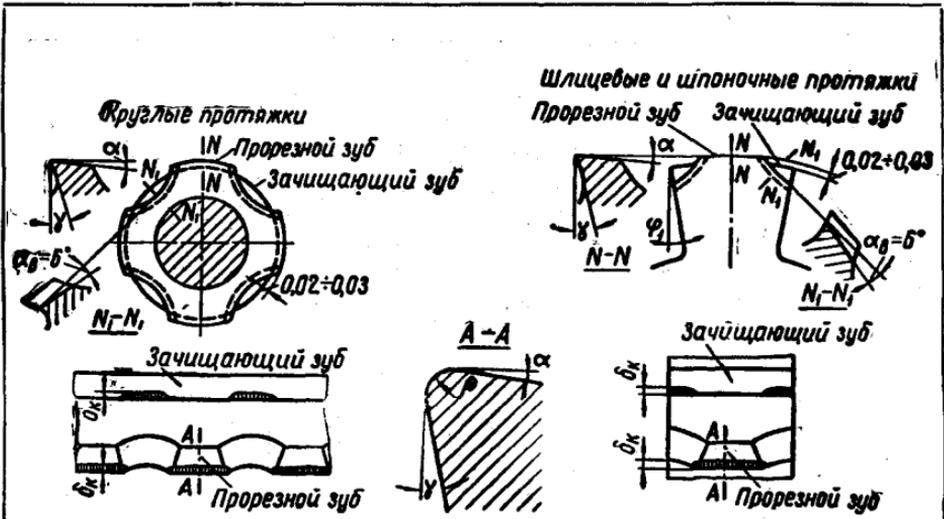


Примечания. 1. При чистоте протягиваемых поверхностей выше шестого класса риски от заточки не должны пересекать режущих кромок.

2. В случаях, отмеченных знаком *, углы $\gamma = 0^\circ$ и $\gamma < 0^\circ$ выполняются на участке с $f = 0,5 + 1,0$ мм.

II. Задние углы

Тип протяжки	Рекомендуемые значения α в зависимости от вида зубьев				
	черновые и переходные	чистовые		калибрующие	
		2 и 3 классы точности	4 класс и ниже	1 и 3 классы точности	4 класс и ниже
Внутренняя и наружная нерегулируемая	3 ÷ 4°	2°	3°	1°	1° 30'
Наружная регулируемая и шпоночная	5°	3 ÷ 4°	3 ÷ 4°	3°	3°



III. Допустимый износ

Обрабатываемый материал	Вид зубьев	Толщина среза, мм	Величина радиуса округления ρ , мм	Износ δ_k по задней грани, мм
Сталь	Чистовые	до 0,02	0,02	0,06—0,08
	Черновые	св. 0,02	0,03—0,04	0,10—0,15
Чугун	Чистовые	до 0,02	0,02	0,06—0,08
	Черновые	св. 0,02	0,03—0,04	0,10—0,15

Критерий затупления

На тех операциях, где предъявляются определенные требования к чистоте поверхности и точности размера, применяются технологические критерии — ухудшение качества поверхности и изменение размера.

При протягивании поверхностей 5 класса чистоты и выше, 4 класса точности в точнее стальных и чугунных деталей технологические критерии затупления обычно проявляются после того, как радиус округления режущего лезвия на чистовых зубьях с подъемами 0,01—0,02 мм на сторону начинает превышать 0,02 мм.

При обработке деталей, к чистоте поверхности и размерам которых предъявляются более низкие требования, критериями затупления в производственных условиях обычно являются ухудшение процесса протягивания — нагрев протяжки или деталей, приваривание или плохой сход стружек с протяжки, вырывы или сколы выходного торца детали, нарушение плавности рабочего движения протяжки и др. В этом случае износ задней грани и радиус округления имеют большие значения, чем указано выше.

Таблица 1

Подъем зубьев на чистовой части, число чистовых и калибрующих зубьев для круглых протяжек

Класс точности или чистоты поверхности		▽7 и выше (все классы точности)	2-й класс или ▽6	3-й класс или ▽5	4-й класс или ▽4 и грубее
Число чистовых зубьев I типа (см. фиг. 94)	$a=2s_z=0,02$	4	2	2*	2
	$a=2s_z=0,01$	4	4	2	2
Число чистовых зубьев II типа (см. фиг. 94)	$a=s_z=0,01$	—	—	2	—
	$a=s_z=0,005$	2	2	—	—
Общее число чистовых зубьев $z_{\text{ч}}$		12	10	6	4
Припуск на чистовые зубья на диаметр $A_{\text{ч}}$, мм		0,14	0,10	0,08	0,06
Число калибрующих зубьев $z_{\text{к}}$			5—7	4—6	3—5

Таблица 2

Подъем зубьев на чистовой части, припуск, число чистовых и калибрующих зубьев для шлицевых протяжек

Вид зубьев	Шлицевые		Круглые		
	2-й класс или ▽6	Грубее	▽7	2-й класс или ▽6	Грубее
Число чистовых зубьев	$a=s_z=0,02$	1	2	2	2
	$a=s_z=0,01$	2	—	3	1
Общее число чистовых зубьев или секций		3	2	5	3
Припуск на чистовые зубья на диаметр		0,08	0,08	0,14	0,12
Число калибрующих зубьев		4	3	4—5	3—4

Число калибрующих зубьев выбирать только в соответствии с классом точности (без учета класса чистоты).

Подъем зубьев на переходной части круглых протяжек в зависимости от s_{zo} , число переходных зубьев и припуск на них

Подъем черновых зубьев s_{zo} , мм	Подъем переходных зубьев						число переходных зубьев z_n	Припуск на переходные зубья A_n , мм
	на I секции при		на II секции при		на III секции при			
	$z_{co}=2+3$	$z_{co}=4+5$	$z_{co}=2+3$	$z_{co}=4+5$	$z_{co}=2+3$	$z_{co}=4+5$		
до 0,05	0,03	—	—	—	—	—	2	0,06
0,06—0,1	0,04—0,05	0,03	—	—	—	—	4	0,14—0,16
0,11—0,15	0,05—0,07	0,03	—	—	—	—	4	0,16—0,2
0,16—0,2	0,08—0,1	0,05—0,06	—	0,03	—	—	6	0,32—0,38
0,21—0,3	0,12—0,15	0,08—0,1	—	0,05	—	0,03	8	0,56—0,66
0,31—0,4	0,17—0,18	0,1—0,12	0,055—0,07	—	—	0,03	8	0,67—0,80

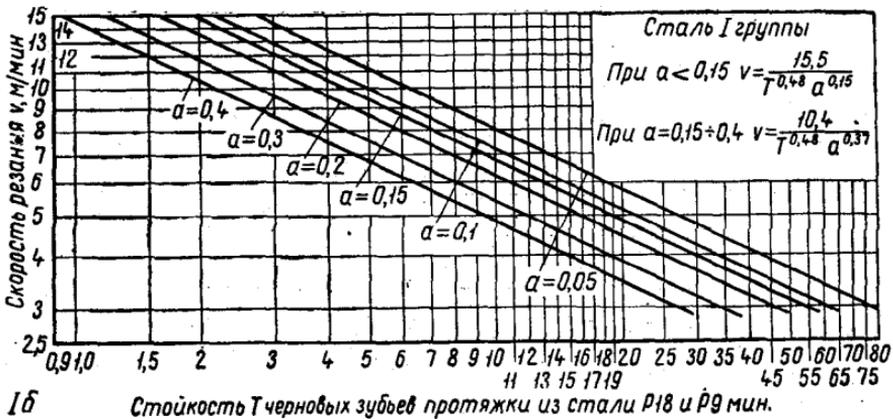
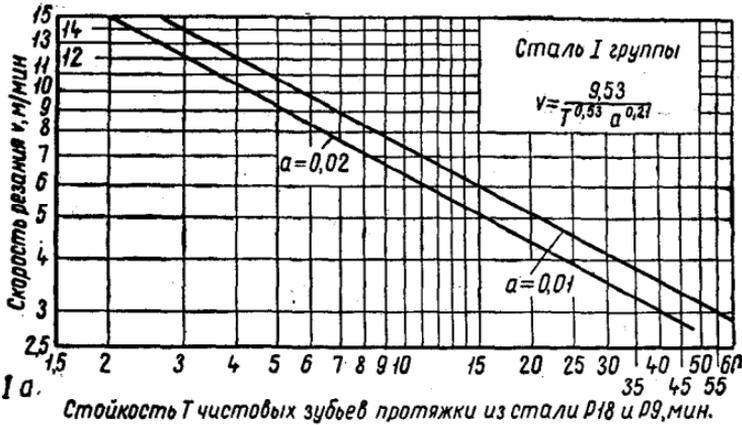
Примечания. 1. Переходные секции состоят из двух зубьев.
 2. Число зубьев в черновых секциях z_{co} .
 3. Зубья последней секции переходной части имеют одинаковый диаметр, и выкружки наносятся на каждом из них в шахматном порядке.
 4. На шлицевых протяжках число круглых переходных зубьев (или секций из двух зубьев) не больше двух. Подъем на первом зубе (или секции) равен 0,05 мм, на втором зубе (или секции) — 0,03 мм. При $s_{zo} \leq 0,08$ мм брать один переходный зуб (или одну секцию) с подачей 0,03 мм.

СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ, РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДЛЯ КРУГЛЫХ, ШПОНОЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ И НАРУЖНЫХ ПРОТЯЖЕК

Характеристика изделия		Скорость резания для различных материалов								
класс точности	чистота поверхности	сталь (по группам обрабатываемости)					чугун		бронза	алюминиевые сплавы
		I	II	III	IV	V	$H_B < 180$	$H_B > 180$		
2	▽7 и выше	3—5	6	5	4	2—3	5	3	5	3
2—3	▽6	5—7	6—8	7	5	3	8	6	7	5
2 и грубее	▽5 и ниже	10—12	8—10	8	5	3	до 15	9	9	7

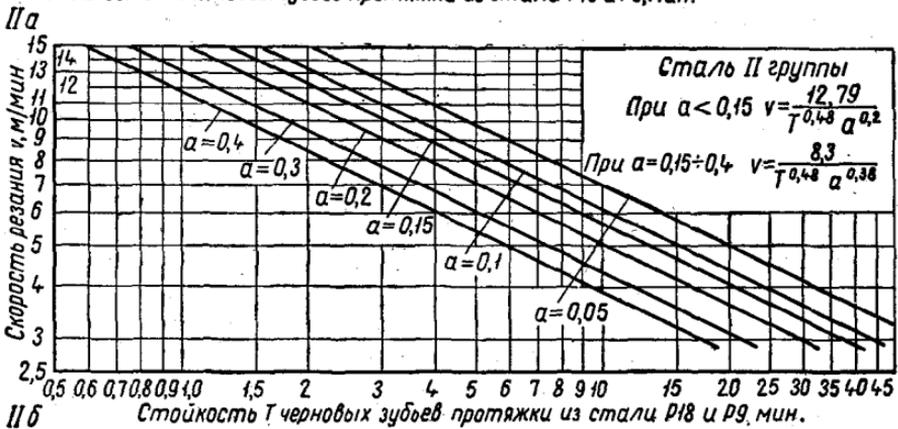
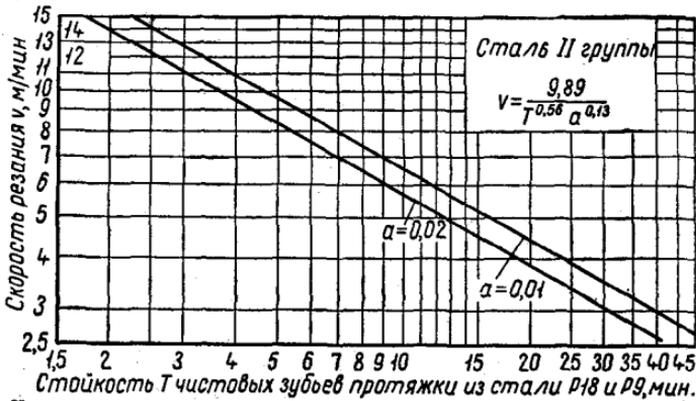
Примечания. 1. Для шлицевых и фасонных протяжек приведенные скорости резания использовать только при определении величины подачи по стойкости; при работе протяжек и, соответственно, при определении основного (технологического) времени скорость следует уменьшать на 30—40%.
 2. Охлаждение: для стали — сульфозреол или 10%-ная эмульсия; для чугуна — сульфозреол, керосин, сульфозреол в смеси с 20% керосина или без охлаждения; для бронзы и алюминиевых сплавов — 10%-ная эмульсия, машинное масло.

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА (ПОДЪЕМА НА ЗУБ)
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И СТОЙКОСТИ ЗУБЬЕВ
ПРОТЯЖЕК

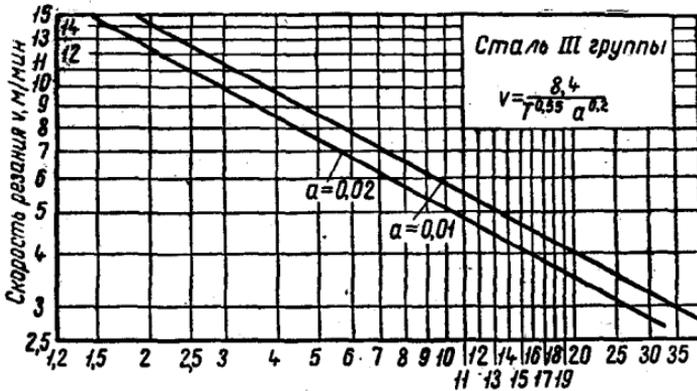


Примечания. 1. Для стали марок 20Х, 20Г, 20ХГНР, для низкоуглеродистой стали с $S \leq 0,25\%$, литая из углеродистой стали с $S \leq 0,35\%$, не проходившего термической обработки, а также для стали марок 45Х, 50Г, 12ХНЗА, 20ХНЗА в отожженном состоянии толщину среза новых зубьев, найденную по стойкости, во избежание рвани и вырывов рекомендуется уменьшать до значений, не превышающих 0,15 мм.

2. Охлаждение — сульфозреол; при применении эмульсии стойкость снижается на 20–30%.

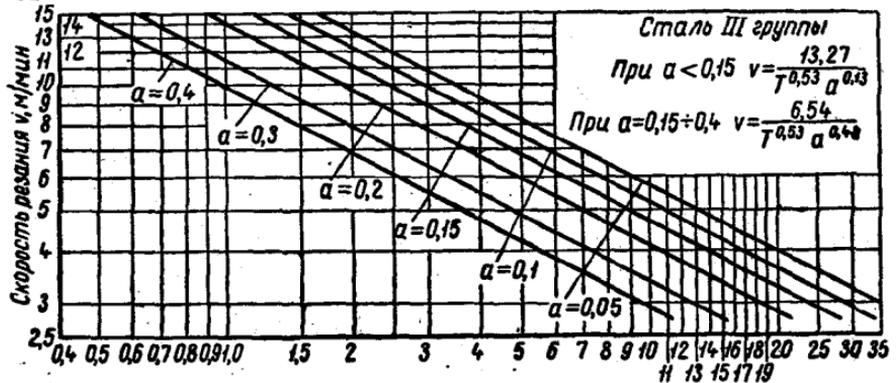


Примечание. Охлаждение — сульфофрезол; при применении эмульсии стойкость снижается на 20—30%.



Стойкость T чистых зубьев протяжки из стали P18 и P9, мин.

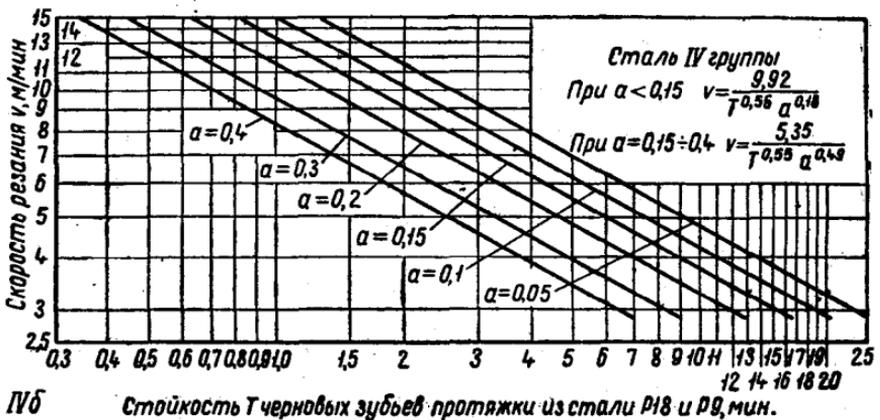
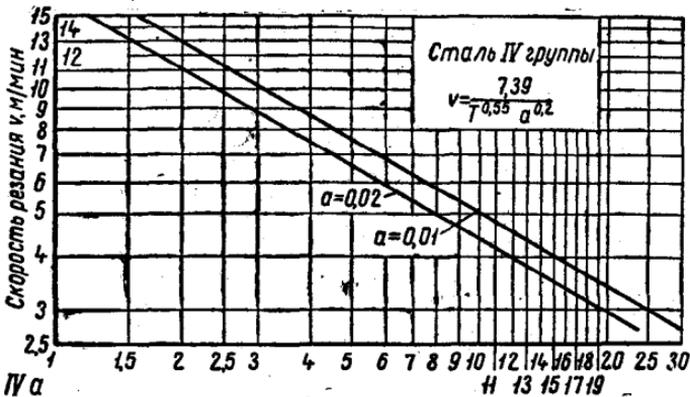
IIIа



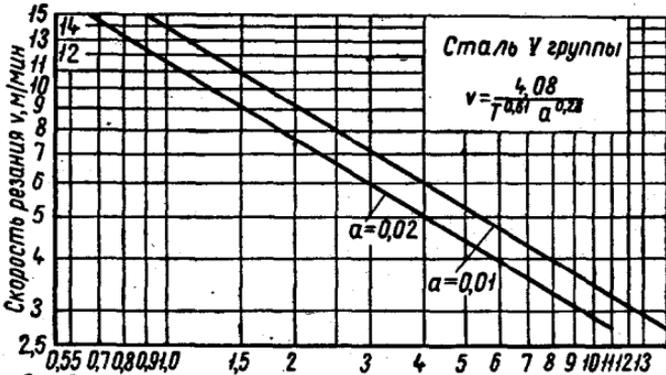
IIIб

Стойкость T черных зубьев протяжки из стали P18 и P9, мин.

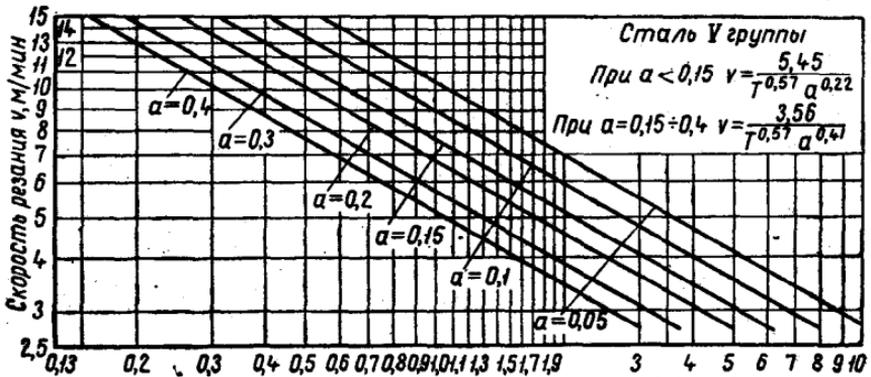
Примечание. Охлаждение — сульфозрезол; при применении эмульсии стойкость снижается на 20—30%.



Примечание. Охлаждение — сульфофрезол; при применении эмульсии стойкость снижается на 20—30%.

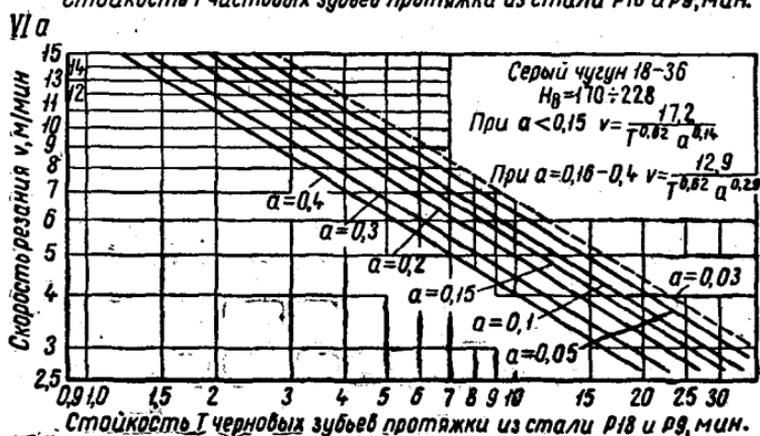
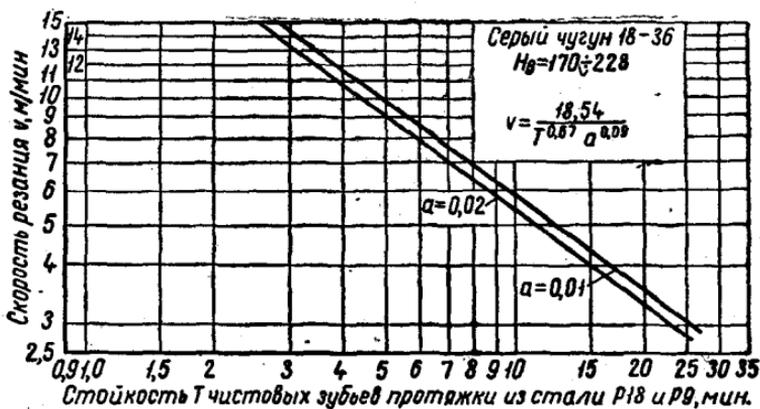


В а Стойкость T чистовых зубьев протяжки из стали P18 и P9, мин.

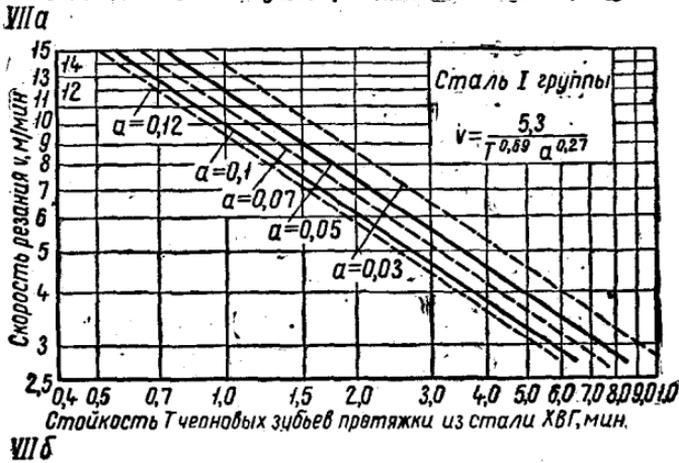
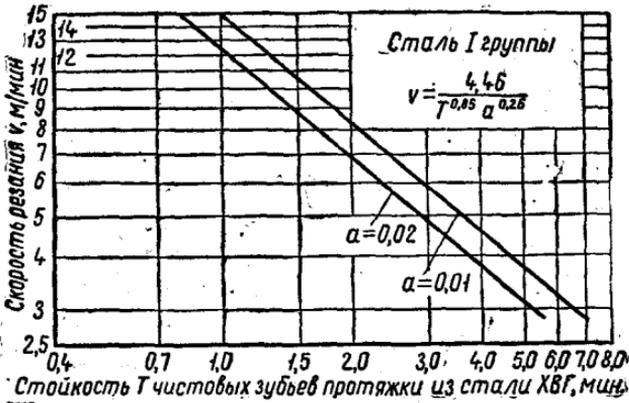


В б Стойкость T черновых зубьев протяжки из стали P18 и P9, мин.

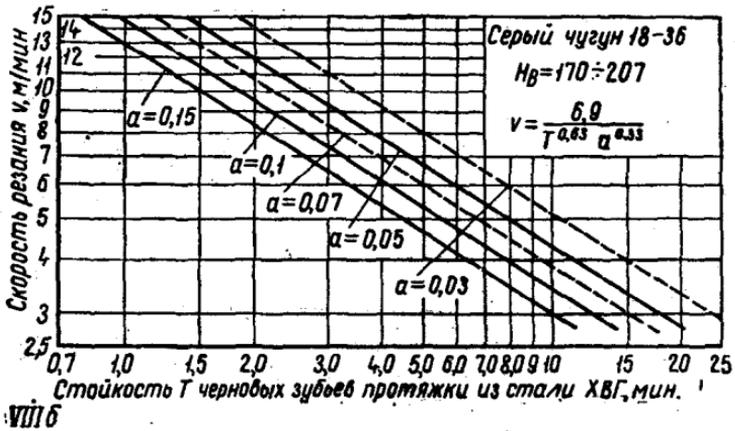
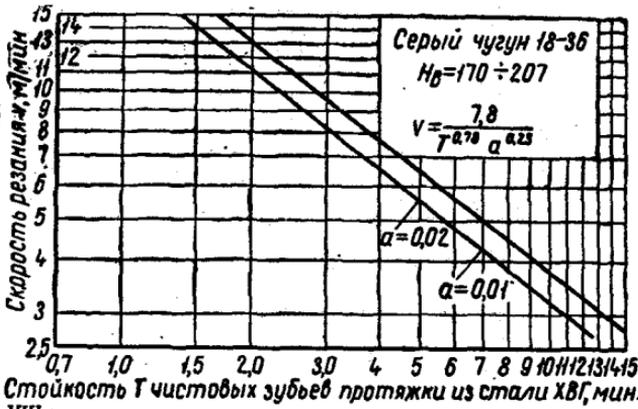
Примечание. Охлаждение — сульфорезол; при применении эмульсии стойкость снижается на 20—30%.



Примечание. Работа ведется без охлаждения.



Примечание. Охлаждение — сульфорезол; при применении эмульсии стойкость снижается на 20—30%.



Примечание. Работа ведется без охлаждения.

ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПРОТЯЖКУ

I. Сила резания q_0 , приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки

Толщина среза a , мм	Значение q_0 в кг/мм в зависимости от переднего угла γ , град.				
	5	10	15	20	25
0,01	7,99	4,98	3,77	3,09	2,64
0,015	9,26	6,08	4,75	3,99	3,47
0,02	10,22	7,12	5,74	4,94	4,36
0,025	11,49	8,20	6,72	5,85	5,24
0,03	12,64	9,25	7,71	6,78	6,17
0,085	13,90	10,34	8,69	7,69	6,99
0,04	15,10	11,42	9,68	8,62	7,84
0,045	16,31	12,47	10,66	9,54	8,74
0,05	17,48	13,51	11,65	10,49	9,67
0,06	19,89	15,66	13,62	12,39	11,44
0,07	22,29	17,77	15,59	14,19	13,25
0,08	24,53	19,84	17,56	15,98	14,93
0,09	26,95	22,07	19,53	17,97	16,80
0,10	29,46	24,08	21,50	19,78	18,49
0,11	31,68	26,29	23,47	21,59	20,42
0,12	34,09	28,24	25,44	23,66	22,13
0,13	36,45	30,48	27,41	25,49	24,12
0,14	38,78	32,61	29,38	27,82	25,85
0,15	41,07	34,49	31,85	29,16	27,59
0,16	43,32	36,65	33,32	30,99	29,65
0,17	45,52	38,82	35,29	33,17	31,41
0,18	47,69	40,99	37,26	35,02	33,16
0,19	50,21	42,76	39,23	36,88	34,91
0,20	53,32	44,91	41,20	38,73	37,08
0,21	54,39	47,06	43,17	40,58	38,85
0,22	56,88	49,20	45,14	42,43	40,63
0,23	58,89	51,35	47,11	44,28	42,40
0,24	61,35	53,50	49,08	46,14	44,17
0,25	63,81	55,13	51,05	47,99	45,95
0,26	65,74	57,26	53,02	50,37	47,72
0,27	68,19	59,39	54,99	52,24	50,04
0,28	70,63	61,52	56,96	54,11	51,83
0,29	76,48	63,64	58,98	55,98	53,63
0,30	74,91	65,77	60,90	57,86	55,42
0,31	76,70	67,90	62,87	59,78	57,21
0,32	79,10	70,03	64,84	61,60	59,00
0,33	81,51	72,15	66,81	63,50	60,80
0,34	83,91	73,59	68,78	65,34	62,59
0,35	85,61	75,70	70,75	67,21	64,38
0,36	87,99	77,81	72,72	69,08	66,18
0,37	90,37	79,92	74,69	70,96	67,97
0,38	92,76	82,03	76,66	72,83	69,76
0,39	95,14	84,13	78,63	74,70	71,55
0,40	97,53	86,24	80,60	76,57	73,35

ПРИЛОЖЕНИЕ 7 (продолжение)

II. Поправочный коэффициент k_{mo} для расчета силы q_0 в зависимости от свойств обрабатываемого материала

Марка материала	Диаметр отпечатка по Бринеллю $d_{отп}, мм$	Значение коэффициента k_{mo}
Конструкционная и легированная сталь марок: 20, 45, 5, 20Х, 45Х, 20Г, 50Г, 65Г, 12ХНЗА 20ХНЗА, 12ХН2А, 12Х2Н4А, 33ХСА, 38ХСА 30ХНЗ, 30ХГН, 18ХНВА, 45ХНМФА, 20ХГНР 27СГТ, 38ХМЮА в состоянии закалки и отпуска	3,0—3,2 3,3—3,5 3,6—3,8 3,9—4,2	1,30 1,20 1,15 1,10
Конструкционная и легированная сталь тех же марок в горячекатаном, отожженном, нормализованном состоянии, а также стальное литье марок Л-30 и Л-50	3,4—5,2	1,0
Инструментальная, легированная и быстрорежущая сталь марок ХВГ, Р9, Р18 и шарикоподшипниковая сталь марки ШХ15	4,0—4,2	1,2
	Твердость по Бринеллю	
Антифрикционный чугун	364—387	0,68
Специальный чугун АВЧ-2	217—228	0,5
Серый чугун от СЧ 18—36 до СЧ 21—40	207—229	0,5
Специальный чугун АВЧ-1	170—179	0,4
Цветные сплавы:		
Бронза Бр. АЖ 9—4	105—110	0,44
Латунь ЛС 59—1	72—78	0,33
Дюралюминий Д1	72—78	0,38
Алюминиевый сплав марок АЛ9, АК4, АК6	60—100	0,32

III. Поправочный коэффициент $k_{охл.о}$ для расчета силы q_0 в зависимости от смазывающе-охлаждающей жидкости

Смазывающе-охлаждающие жидкости	Значение коэффициента $k_{охл.о}$
Олифа	0,8
Сульфозфрезол Турбинное масло Авиамасло Касторовое масло	1,0
Машинное масло Веретенное масло № 2 Веретенное масло № 3 Раствор эмульсола в воде — 15% То же 30% Содовая вода Керосин Вода	1,1
Без охлаждения	1,2

IV. Поправочный коэффициент k_{p0} для расчета силы q_0 в зависимости от способа разделения стружки

Способ разделения стружки	Значение коэффициента k_{p0}	
	шлицевые и шпоночные протяжки	цилиндрические и плоские протяжки
Радиусные выкружки с задним углом	1,08	1
Узкие стандартные канавки	1,12	1,08

V. Радиальная сила q_r , приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки

Толщина среза a , мм	Значение q_r в кг/мм в зависимости от переднего угла γ , град.				
	5	10	15	20	25
0,01	7,14	4,79	3,8	3,23	2,85
0,015	8,23	5,38	4,2	3,53	3,11
0,02	9,38	5,98	4,6	3,82	3,36
0,025	10,5	6,58	5	4,13	3,55
0,03	11,61	7,18	5,4	4,48	3,78
0,035	12,76	7,77	5,8	4,70	4,03
0,04	13,89	8,37	6,2	4,96	4,28
0,045	14,98	8,94	6,6	5,28	4,52
0,05	16,1	9,52	7	5,53	4,76
0,06	18,41	10,69	7,8	6,16	5,23
0,07	20,73	11,87	8,6	6,79	5,68
0,08	23,12	13,07	9,4	7,33	6,20
0,09	25,60	14,28	10,2	7,96	6,63
0,10	28,06	15,51	11	8,58	7,15
0,11	30,56	16,76	11,8	9,09	7,55
0,12	33,01	18,02	12,6	9,70	8,06
0,13	35,64	19,16	13,4	10,32	8,58
0,14	38,20	20,45	14,2	10,93	8,95
0,15	40,80	21,75	15	11,55	9,45
0,16	43,45	22,91	15,8	12,01	9,80
0,17	46,15	24,24	16,6	12,62	10,29
0,18	48,89	25,40	17,4	13,22	10,79
0,19	51,69	26,75	18,2	13,83	11,28
0,20	54,53	27,93	19	14,44	11,59
0,21	57,22	29,30	19,8	14,85	12,08
0,22	59,95	30,49	20,6	15,45	12,57
0,23	62,70	31,67	21,4	16,05	13,05
0,24	65,71	33,08	22,2	16,65	13,32
0,25	68,77	34,50	23	17,25	13,80
0,26	71,64	35,70	23,8	17,85	14,28

Толщина среза a , мм	Значение q_p в кг/мм в зависимости от переднего угла γ , град.				
	5	10	15	20	25
0,27	74,78	37,15	24,6	18,45	14,76
0,28	77,98	38,35	25,4	18,80	15,24
0,29	80,96	39,56	26,2	19,39	15,46
0,30	83,97	40,77	27	19,98	15,93
0,31	87,01	42,26	27,8	20,57	16,40
0,32	90,09	43,47	28,6	21,16	16,87
0,33	93,20	44,98	29,4	21,76	17,35
0,34	96,04	46,20	30,2	22,36	17,82
0,35	98,99	47,43	31	22,94	17,98
0,36	101,78	48,65	31,8	23,53	18,44
0,37	104,32	50,20	32,6	24,12	18,91
0,38	107,21	51,44	33,4	24,72	19,37
0,39	109,78	52,67	34,2	24,97	19,84
0,40	112,35	53,90	35	25,55	20,30

VI. Поправочный коэффициент k_{mp} для расчета радиальной силы q_p в зависимости от свойств обрабатываемого материала

Материал	Диаметр отпечатка по Бринеллю $d_{отп}$, мм	Поправочный коэффициент k_{mp}
Сталь марки 45X (закалка с отпуском)	3,3—3,4	1,8
	3,6—3,7	1,6
	3,9—4,0	1,3
Сталь марки 45X (горячий прокат)	4,2—4,3	1,0

VII. Поправочный коэффициент $k_{изн.р}$ для расчета радиальной силы q_p в зависимости от состояния протяжки

Состояние протяжки	Значение $k_{изн.р}$
Острая	1
Изношенная:	
$\rho=0,03$ мм; $\Delta=0,1$ мм	1,1
$\rho=0,05$ мм; $\Delta=0,2$ мм	1,15

VIII. Поправочный коэффициент $k_{v.p}$ для расчета радиальной силы q_p в зависимости от скорости резания и толщины среза

Скорость резания v , м/мин	Значение коэффициента $k_{v.p}$ при a в мм					
	0,03	0,05	0,1	0,15 и 0,2	0,25 и 0,3	0,35 и 0,4
1	1,3	1,35	1,4	1,45	1,50	1,55
1,5	1,15		1,20		1,25	1,30
2	1,07			1,1		
2,5—12	1,0					

VIII. Поправочный коэффициент $k_{охл.р}$ на радиальную силу q_p при охлаждении сульфореолом равен 1,0; при работе без охлаждения $k_{охл.р}=1,1$

IX. Поправочный коэффициент k_{pp} на радиальную силу q_p в зависимости от способа разделения стружки принимают равным k_{p0} .

Диаметр круга D_k в мм в зависимости от переднего угла γ град.

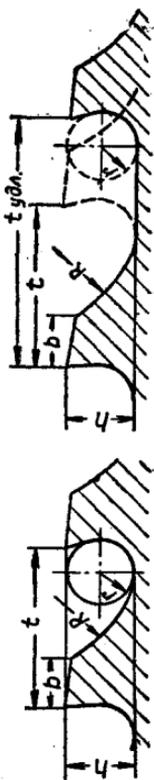
Диаметр про- тачки, мм	Угол уста- новки γ	Диаметр круга D_k в мм в зависимости от переднего угла γ град.										
		5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
26	50°	180	148	123	106	93	81	65	54	45	37	32
28		194	159	133	115	100	88	70	58	48	40	34
30		208	170	142	123	107	94	76	62	52	43	37
32		221	182	152	131	114	101	80	66	55	46	39
34		235	193	162	139	121	107	85	70	59	49	42
36		249	204	171	148	129	113	90	75	62	52	44
38		262	216	180	155	136	120	96	79	65	55	47
40		276	227	190	163	143	126	101	82	69	58	49
42		290	238	200	172	150	132	106	87	72	61	52
44		304	250	209	180	158	139	111	91	76	64	54
46		318	260	219	189	164	144	116	95	79	67	57
48	332	272	228	193	171	151	121	100	83	70	59	
50	375	284	237	205	179	157	126	104	86	72	62	
5	60°	40	33	27	24	21						
6		48	39	33	29	25	22					
7		56	46	39	33	29	26	20				
8		64	52	44	38	33	30	23				
9		72	59	50	43	38	33	26	22			
10		80	66	55	48	42	37	29	24	21		
11		87	72	57	53	46	41	32	26	23	20	
12		95	79	66	57	50	45	35	29	25	22	
13		104	86	72	62	55	48	38	31	27	23	20
14		112	92	78	69	61	52	41	34	29	25	22
15		120	99	83	72	63	56	44	36	32	27	24
16		128	106	89	77	68	60	47	39	34	29	25
17		136	112	94	81	71	63	50	41	36	31	27
18		143	119	100	86	76	67	53	44	38	33	28
19		152	126	106	92	80	71	56	46	40	35	30
20		160	132	111	96	87	75	59	49	43	36	32
21		168	139	117	101	89	79	62	51	44	38	33
22		176	145	123	106	93	82	65	53	47	40	35
23		184	152	128	110	97	86	67	56	49	42	36
24		192	159	134	116	102	90	70	58	51	44	38
25		200	165	139	120	106	94	73	61	53	45	40
26		207	172	135	125	110	98	76	63	55	47	41
28		224	185	156	135	119	105	82	68	60	51	44
30		240	198	167	145	127	113	88	73	64	55	47
32		256	212	179	154	135	121	94	76	68	59	50
34		273	225	189	164	144	128	103	83	72	62	54
36		288	238	200	174	153	135	106	87	77	66	57
38		304	251	212	183	161	143	112	92	81	70	61
40		320	264	223	193	170	150	118	97	85	73	64
42		336	277	234	202	178	158	124	103	89	77	67
44		351	291	245	212	186	165	130	107	94	81	70
46	368	305	256	222	195	174	136	112	98	84	73	
48	386	318	267	232	204	181	142	117	103	88	77	
50	400	332	278	241	212	188	148	123	107	92	80	

**СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ, ДОПУСКАЕМАЯ СИЛОЙ РЕЗАНИЯ
И МОЩНОСТЬЮ ДВИГАТЕЛЯ СТАНКА (по данным Оргавтопрома)**

Сила резания, кг	Мощность двигателя N_n в квт при скорости резания v , м/мин										
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14
500	0,06	0,13	0,19	0,26	0,32	0,39	0,45	0,52	0,65	0,78	0,91
1000	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,0	1,3	1,6	1,8
2000	0,26	0,52	0,78	1,0	1,3	1,6	1,8	2,1	2,6	3,1	3,6
3000	0,39	0,78	1,2	1,6	1,9	2,3	2,7	3,1	3,9	4,7	5,4
4000	0,52	1,0	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,2	5,2	6,2	7,3
5000	0,65	1,3	1,9	2,6	3,2	3,9	4,5	5,2	6,5	7,8	9,1
6000	0,78	1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	7,8	9,3	10,9
7000	0,91	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,4	7,3	9,1	10,9	12,7
8000	1,0	2,1	3,1	4,2	5,2	6,2	7,3	8,3	10,4	12,5	14,5
9000	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7,0	8,2	9,3	11,7	14,0	16,3
10000	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	13,0	15,6	18,2
12000	1,6	3,1	4,7	6,2	7,8	9,3	10,9	12,5	15,6	18,7	21,8
14000	1,8	3,6	5,4	7,3	9,1	10,9	12,7	14,5	18,2	21,8	25,4
16000	2,1	4,2	6,2	8,3	10,4	12,5	14,5	16,6	20,8	24,9	29,1
18000	2,3	4,7	7,0	9,3	11,7	14,0	16,3	18,7	23,3	28,0	32,7
20000	2,6	5,2	7,8	10,4	13,0	15,6	18,2	20,8	25,9	31,1	36,3
25000	3,2	6,5	9,7	13,0	16,2	19,5	22,7	25,9	32,4	38,9	45,4
30000	3,9	7,8	11,7	15,6	19,5	23,3	27,2	31,1	38,9	46,7	53,5
35000	4,5	9,1	13,6	18,2	22,7	27,2	31,8	36,3	45,4	54,5	63,6
40000	5,2	10,4	15,6	20,8	25,9	31,1	36,3	41,5	51,9	62,3	72,6
45000	5,8	11,7	17,5	23,3	29,2	35,0	40,9	46,7	58,4	70,0	81,7
50000	6,5	13,0	19,5	25,9	32,4	38,9	45,4	51,9	64,9	77,8	90,8

Примечание. Для станков с винтовым приводом значения мощности, указанные в приложении, увеличить на 30%.

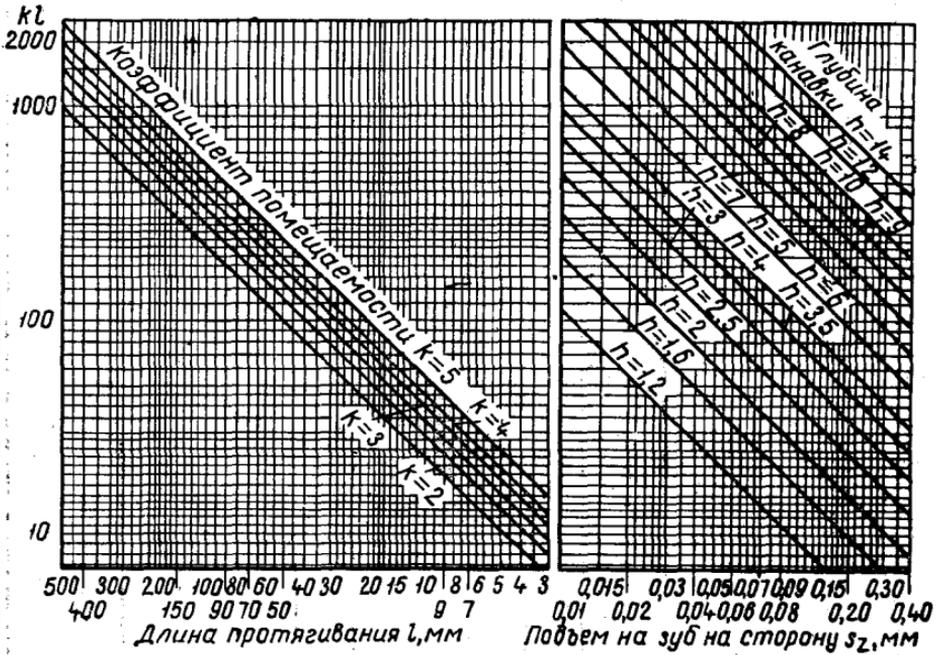
РАЗМЕРЫ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК (В ММ)



№ про- филя	t	b	R	h	r	F акт мм²	F полн. мм²	№ про- филя	t	b	R	h	r	F акт мм²	F полн. мм²	
1	4,0	1,5	2,5	1,6	0,8	1,91	3	10	16	4,0	12,0	7,0	3,5	38,46	64	
	4,5	2,0							17	5,0						
2	5,0	1,5	3,5	2,0	1,0	3,14	5,5	11	18	5,0	13,0	8,0	4,0	50,24	80	
	5,5	2,0							19	6,0						
3	6,0	2,0	4,0	2,5	1,25	4,91	8	12	20	6,0	14,0	9,0	4,5	63,58	98	
	6,5	2,5							21	7,0						
	7,0	3,0	4,5	3,0	1,5	7,06	10,5		22	8,0						
4	7,5	3,0	5,0	3,0	1,5	7,06	11,5	13	23	7,0	16,0	10,0	5,0	78,5	124	
	8,0	3,0							24	8,0						
	8,5	3,5	6,0	3,5	1,75	9,62	19		25	9,0						
6	9,0	3,0	6,0	3,5	1,75	9,62	19	14	26	10,0	18,0	12,0	6,0	113,04	169	
	9,5	3,5							27	9,0						
7	10	3,0	7,0	4,0	2,0	12,56	25,5	15	28	10,0	22,0	14,0	7,0	153,8	239	
	11	4,0							29	11,0						
8	12	4,0	8,0	5,0	2,5	19,62	33	15	30	9,0	22,0	14,0	7,0	153,8	239	
	13	5,0							31	9,0						
9	14	4,0	10,0	6,0	3,0	28,25	45	15	32	10,0	22,0	14,0	7,0	153,8	239	
	15	5,0							33	11,0						
									34	12,0						

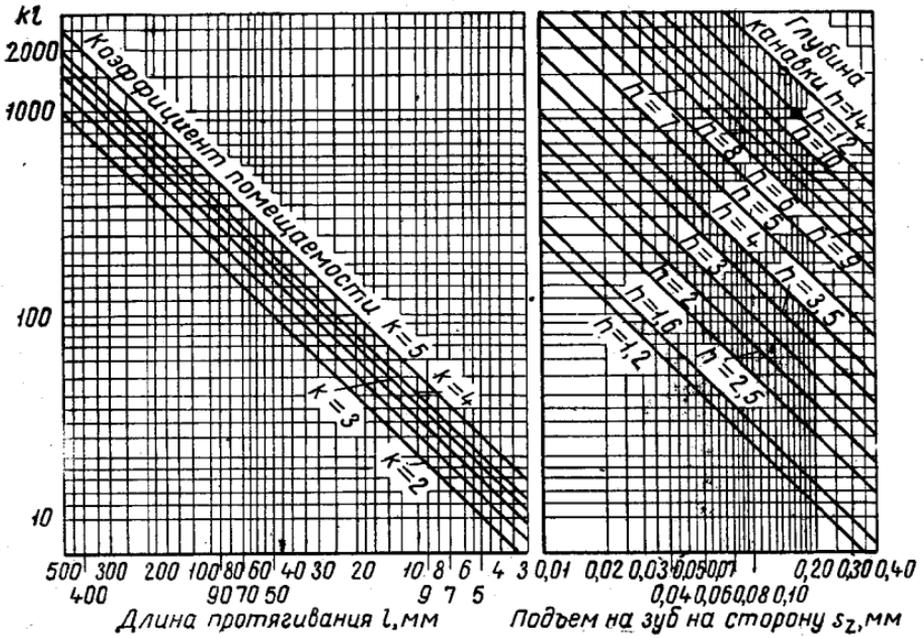
Для каждой глубины впадины разрешается применять профиль с удлиненным шагом при сохранении остальных элементов. Профиль выполняется тем же резцом при его продольном перемещении.

Номограммы для определения глубины стружечной канавки и подъема на зуб по коэффициентам помещаемости и длине протягивания при обработке стали, меди и алюминия



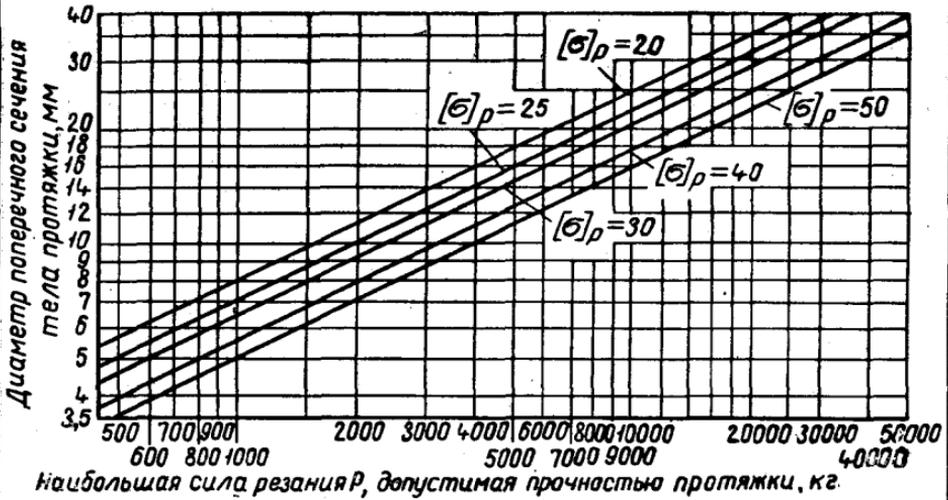
Рекомендуемые значения k для I, II и III групп стали $k=3$; для IV и V групп $k=2,5$; для алюминия и меди $k=3$; допускается $k=2$.

Номограммы для определения глубины стружечной канавки
и подъема на зуб по коэффициентам помещаемости
и длине протягивания при обработке чугуна, бронзы и латуни



Рекомендуется $k=2,5$; допускается $k=2$.

НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЬШЕЙ ДОПУСТИМОЙ СИЛЫ
РЕЗАНИЯ ПО ПРОЧНОСТИ ОПАСНОГО СЕЧЕНИЯ ПРОТЯЖКИ
(ПЕРЕД ПЕРВЫМ ЗУБОМ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ $[\sigma]_p$



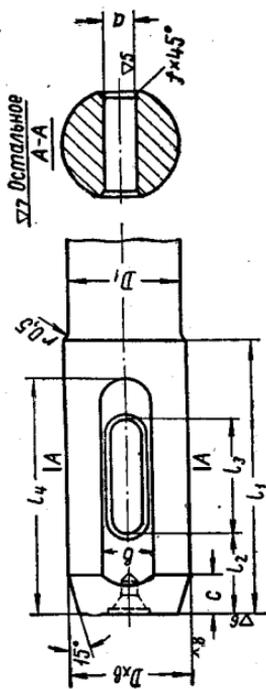
Примечание. Для протяжек из стали Р18 и Р9 диаметром до 15 мм $[\sigma]_p = 40 \div 50$ кг/мм², свыше 15 мм — 35 ÷ 40 кг/мм², для протяжек из стали ХВГ $[\sigma]_p = 25$ кг/мм².

ПРИЛОЖЕНИЕ 13 (окончание)

D _{XB}		D ₁		l ₃		Площадь осязного сечения А—А, мм ²	Сила резания, допускаемые прочностью хвостовика на разрыв Р _{доп.} , кг, кг
номинальный	отклонение X ₃	номинальный	отклонение C ₁	l ₁	l ₃		
16	-0,02	11	-0,12	70		95	3800
18	-0,07	13				133	5320
20		15		15		177	7080
22		17			5	227	9080
25	-0,025	19				283	11320
	-0,085			75			8490
28		22				380	15200
(30)		23	-0,14			415	16600
32		25				491	19640
(34)		27				512	22800
(36)		29		20		660	26400
(38)	-0,032	30			8	706	28240
(40)		31				754	30160
42	-0,100	33		90		854	34160
(46)		35				962	38480
50		38	-0,17			1133	45320
(62)	-0,040	50				1952	78480
(75)	-0,120	62	-0,2	25	12	3018	120720
				125			90540

Примечания. 1. Размеры центрального гнезда выбираются по приложению 18. 2. Размеры в скобках и размеры l₁ и D₃ ГОСТ не предусмотрены. 3. Твердость хвостовика HRC = 40-47.

ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ (в мм) И ДОПУСТИМЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ХВСТОВИКОВ ПОД КЛИНОВОЙ ПАТРОН



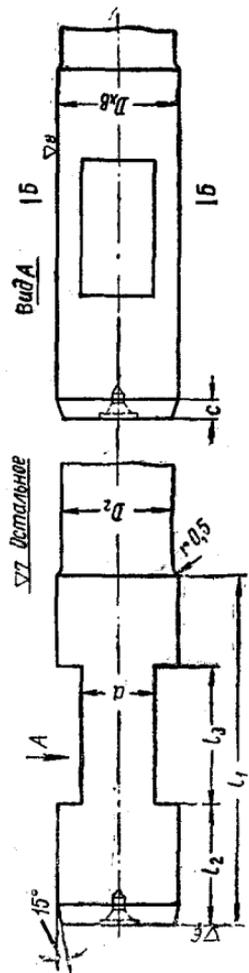
$D_{xв}$	D_1		a		l_1	c	l_3	l_2		b	l_4	f	Площадь опасного сечения А-А, мм ²	Силы резания, допустимые прочностью хвостовика на разрыв Р, доп. хв. кг
	Номинальное	Отклонение	Номинальное	Отклонение				Номинальное	Отклонение					
8	-0,015	7,5	2,5		50	3	15	18	+0,24			30	1200	900
10	-0,055	9	3	+0,12	55		18	20		4,5	40	38	1920	1440
12		11								5		77	3080	2310
14	-0,02	13	4,5		65	5	20	25		7	50	89	3560	2670
16	-0,07	15										129	5160	3870
18		17		+0,16			28	28	+0,28	9		146	5840	4380

ПРИЛОЖЕНИЕ 14 (окончание)

$D_{xв}$		D_1	a		t_1	c	t_2	t_3		b	t_4	f	Площадь опасного сечения А-А, мм ²	Силы резания, допускаемые прочностью хвостовика на разрыв Р доп. кг
Номинальное	Отклонение		Номинальное	Отклонение				Номинальное	Отклонение					
20		19	+0,16	6	70	20	28		9	55		194	7760	5820
22	-0,025	21				8		+0,28				248	9920	7440
25	-0,085	24		8			30		12	60	0,75	291	11640	8730
27		26										356	14240	10680
30		29										466	18640	13980
35		34	+0,2	10	80	22	35		14	65		612	24480	18360
40	-0,032	39				10						855	34240	25680
45	-0,100	44		12	90	25	40		16	75		1050	42000	31500
50		48						+0,34				1362	54480	40860
55		53	+0,24	15	105	30	45		20	85	1	1550	62000	46500
60	-0,04	58				12						1926	77040	57780
65	-0,12	63										2342	93680	70260
75		73	+0,28	20		35	55		25	100		2916	116640	87480
90	-0,05 -0,14	88			125	15						4558	182320	136740

См. примечания 1 и 3 к приложению 13.

ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ (в мм) И ДОПУСТИМЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ХВОСТОВИКА С ДВУМЯ ЛЫСКАМИ



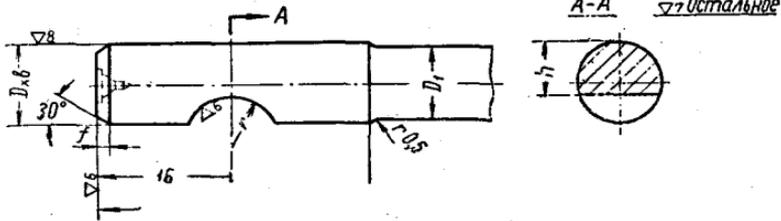
D хв	a		l ₁	l ₂	l ₃	l ₄		c	Площадь опасного сечения Б-Б, мм ²	Силы резания, допустимые прочностью хвостовика на разрыв P, доп. кг, кг	
	Номинальные	Отклонение				Номинальные	Отклонение			Для стали Р9 и Р18 при [σ] _p = 40 кг/мм ²	Для стали ХВГ и 45Х при [σ] _p = 30 кг/мм ²
6	0,011	-0,12	50	15	12	3	17,2	688	516		
8	0,015	-0,16	55	18	14	5	30,3	1212	909		
10	0,055		70	20	14	5	47,8	1912	1434		
12							78,8	3152	2061		
14	0,02	-0,02					110	4400	3300		
(15)	0,07						114	4560	3420		
16							136	5440	4080		
18							170	6800	5100		

ПРИЛОЖЕНИЕ 15 (окончание)

D _{хв}	D ₂		a		l ₁	l ₂	l ₃		c	Площадь опасного сечения Б-Б, мм	Силы резания, допустимые прочностью хвостовика на разрыв Р доп. хв. кг	
	номинальный	отклонение	номинальное	отклонение с ₅			номинальное	отклонение А ₅			для стали Р9 при [σ] = 40 кг/мм ²	для стали ХВГ и 45Х при [σ] = 30 кг/мм ²
20	19		12		25	14	+0,24		225	9000	6750	
22	21					20	+0,28	8	250	10000	7500	
(24)	23	-0,025	13						296	11840	8880	
25	24	-0,085	14	-0,24	75				331	13240	9930	
(26)	25		15						367	14680	11010	
28	27		16						422	16880	12660	
30	29		18						506	20240	15180	
32	31				35				544	21760	16320	
35	34	-0,032	20						688	27440	20580	
38	37	-0,100	22	-0,28	90				791	31640	23730	
40	39		23						866	34640	25980	

См. примечание 1 и 3 к приложению 13.

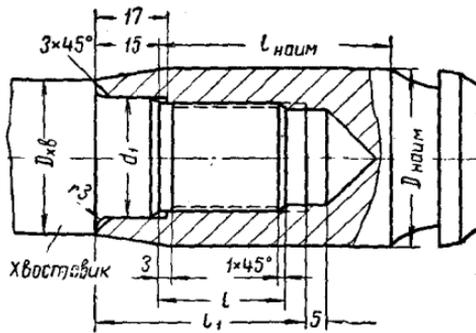
ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ (в мм) И ДОПУСТИМЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ХВОСТОВИКОВ ПОД БЫСТРОСМЕННЫЕ ПАТРОНЫ ДЛЯ D ДО 10 мм



номинальные	отклонение X_{\pm}	h	r	l	D_1	f	Площадь опасного сечения A-A, мм ²	Силы резания, допустимые прочностью хвостовика на разрыв P доп. хв. кг	
								для стали Р9 и Р18 при $[\sigma] = 40 \text{ кг/мм}^2$	для стали ХВГ при $[\sigma]_p = 30 \text{ кг/мм}^2$
5	-0,011	3,4	3	45	4	0,5	13 18,6	520	390
6	-0,044	4						5	744
7	-0,015	4,7	4	55	6	1,0	25,5 33,5	1020	765
8		5,4						7	1340
9		-0,055	6	5	60	8	41,9	1676	1257
10		6,8	6	65	9	1,5	52,7	2108	1581

См. примечания 1 и 3 к приложению 13.

ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ (в мм) ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ ХВОСТОВИКОВ

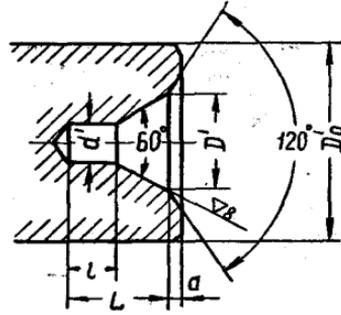
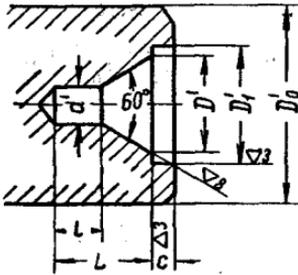


Обозначение резьбы	l	d_1	l_1	D_2	Направление протяжки		$D_{хв}$	Силы резания, допустимые прочностью хвостовика по сечению резьбы при $[\sigma] = 30 \text{ кг/мм}^2$, для стали 45ХР _{сост.} , кг
					$D_{норм}$	$l_{норм}$		
1М27×2	30	30	50	37	45	55	38	14000
1М30×2	30	35	50	41	50	60	42	17700
1М33×2	30	35	50	41	55	60	42	21750
2М39×2	40	45	60	49	65	75	50	31200
2М45×2	45	50	65	61	75	80	62	42300
2М48×2	50	50	70	61	80	90	62	48550
2М56×2	60	60	80	74	95	95	75	67150

РАЗМЕРЫ ЦЕНТРОВЫХ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ ПРОТЯЖЕК (в мм)

Тип А — без предохранительного конуса

Тип В — с предохранительным конусом



D_0'		d'	D' не более	L	l не менее	a	c	D_1'
св.	до							
4	6	0,7	2	2	1	0,3	0,7	3
6	10	1	2,5	2,5	1,2	0,4	1	4
10	16	1,5	4	4	1,8	0,6	1	6
16	26	2	5	5	2,4	0,8	1,5	8
26	40	2,5	6	6	3	0,8	1,5	10
40	55	3	7,5	7,5	3,6	1	2	12
55	70	4	10	10	4,8	1,2	2,5	15
70	90	5	12,5	12,5	6	1,5	3	20

Примечания. 1. Размеры центровых отверстий для протяжек взяты по ОСТ НКМ 4044.

2. Размеры d' , D' , L , l и a взяты по ОСТ 3725.

3. Центровые отверстия типа А выполняются с выточкой. Выточка дается по размерам, применяемым на заводе. Центровые отверстия можно указывать записью. Размеры выточки ставить на чертеже.

Примеры обозначения:

а) центрового отверстия типа А при $d'=1,5$ мм

Отверстие центровое А1,5 ОСТ 3725;

б) центрового отверстия типа В при $d'=2$ мм

Отверстие центровое В2 ОСТ 3725.

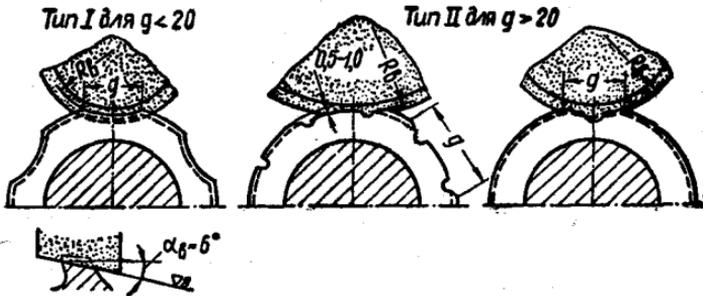
**ШАГ ЧИСТОВЫХ И КАЛИБРУЮЩИХ ЗУБЬЕВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ШАГА ЧЕРНОВЫХ ЗУБЬЕВ (в мм)**

Шаг черновых зубьев t_0	Шаг чистовых и калибрующих зубьев $t_ч$ и $t_к$	Переменность шага чистовых и калибрующих зубьев	Шаг черновых зубьев t_0	Шаг чистовых и калибрующих зубьев $t_ч$ и $t_к$	Переменность шага чистовых и калибрующих зубьев
4	4	—	20	15	13; 15; 17
5	4	—	21	16	14; 16; 18
6	5	—	22	17	15; 17; 19
7	5,5	4,5; 5,5; 6	23	17	15; 17; 19
8	6	5,5; 6; 7	24	18	16; 18; 20
9	7	6,5; 7; 8	25	18	16; 18; 20
10	8	7,5; 8; 9	26	19	17; 19; 21
11	8	7,5; 8; 9	27	19	17; 19; 21
12	9	8; 9; 10	28	20	18; 20; 22
13	10	9; 10; 11	29	21	19; 21; 23
14	11	10; 11; 12	30	21	19; 21; 23
15	11	10; 11; 12	31	22	20; 22; 24
16	12	11; 12; 13	32	22	20; 22; 24
17	13	12; 13; 14	33	23	21; 23; 25
18	14	12; 14; 16	34	24	22; 24; 26
19	14	12; 14; 16			

Примечание. При назначении профиля с переменным шагом принимается одна и та же стружечная канавка (по наименьшему шагу). На зубьях с большими значениями шагов профиль стружечной канавки выполняется таким же, как и для удлиненного профиля.

ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ВЫКРУЖЕК И ИХ РАЗМЕРОВ

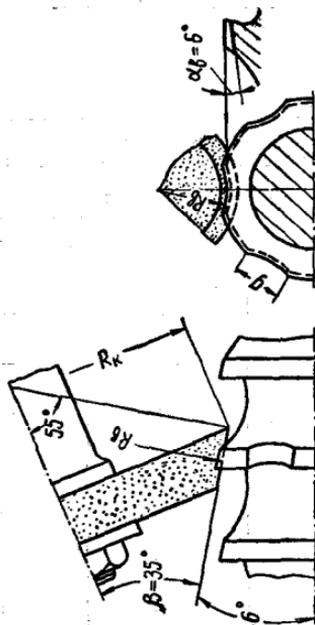
I. Число выкружек и их ширина



Диаметр протяжки, мм	Число выкружек $N=(2,4+3,1) \frac{\sqrt{D}}{z_c}$ в зависимости от числа зубьев в секции z_c			
	2	3	4	5
до 20	4	—	—	—
св. 20 до 30	6	4	—	—
» 30 » 45	8	6	4	—
» 45 » 55	10	6	6	4
» 55 » 70	10	8	6	4
» 70 » 100	12	8	6	6
» 100 » 135	14	10	8	6
» 135 » 155	16	10	8	6
» 155 » 175	16	12	8	8
» 175 » 220	18	12	10	8
Ширина выкружек $g = \frac{\pi D}{N} \left(\frac{z_c - 1}{z_c} \right)$ мм	$1,57 \frac{D}{N}$	$2,09 \frac{D}{N}$	$2,35 \frac{D}{N}$	$2,51 \frac{D}{N}$

Примечание. Значения g округляются в большую сторону так, чтобы число десятых долей миллиметра было равно 0 или 5; $g_4 = g_n - (2+3)$ мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 20 (окончание)
 II. МАКСИМАЛЬНЫЙ РАДИУС ВЫКРУЖКИ R_g И РАДИУС КРУГА R_k



Значения радиусов R_g и R_k в зависимости от диаметра прогряжки, мм

Ширина выкружки g , мм	до 10		10—18		18—30		30—50		50—80		80—120		120—180	
	$R_k \leq$	$R_g \leq$												
до 3	22,5	27	22,5	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3 до 4	22,5	27	25	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» 4 » 6	22,5	27	25	30	25	30	25	30	—	—	—	—	—	—
» 6 » 8	—	—	25	30	25	30	25	30	25	30	—	—	—	—
» 8 » 10	—	—	25	30	25	30	25	30	25	30	36	36	—	—
» 10 » 12	—	—	—	—	25	30	30	36	30	36	30	36	—	—
» 12 » 15	—	—	—	—	—	—	30	36	35	42	35	42	40	48
» 15 » 20	—	—	—	—	—	—	30	36	35	42	40	48	45	54

Примечания. 1. В отдельных случаях допускается увеличение радиуса при условии, что глубина выкружки S будет не менее $3 s_z$ соответствующих зубьев.

2. Выкружки шириной больше 20 мм выполняются кругом с диаметром 50+150 мм.

3. На чертеж прогряжки нанести значения R_g и R_k .

4. Радиус выкружки определяется по формуле $R_g = \frac{R_k}{\cos \beta}$ мм.

**ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЛИЦЕВЫХ ЗУБЬЕВ
ПРОТЯЖЕК ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ**

I. Наибольшая допустимая без разделения стружки ширина режущего сектора на круглых, фасочных и чистовых шлицевых зубьях шлицевых протяжек

Диаметр протяжки D , мм	25	25—50	св. 50
Ширина режущего сектора V_{ϕ} , V_k , V_{ψ} , мм	7	9	12

II. Размер фасок на прорезных зубьях

Ширина шлицев B , мм	2,5—3	3,5—4	5—7	8—9	10	12—14	16	18	50
Ширина фасок f_n , мм	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0

III. Значение угла профиля фасочных зубьев β_k и коэффициентов ϵ и ψ

Число шлицев n	Угол профиля β_k , град.	Угол фаски β , град.	ϵ	ψ
6	30	45	0,436	0,366
12			0,518	
24			0,601	
10	36	45	0,274	0,22
20			0,312	
4	45	46	0,024	0,024
		50	0,113	0,114
8		46	0,026	0,024
		50	0,123	0,114
16		46	0,028	0,024
		50	0,137	0,114

Примечание. Углы фасок β на детали для числа шлицев 4—8 и 16 даны с искажением в 1 и 5°, чтобы создать вспомогательный угол в плане на профиле фасочных зубьев $\phi_1=1$ и 5°. Для получения большего вспомогательного угла в плане ($\phi_1=5^\circ$) желательно брать $\beta=50^\circ$. При посадке по внутреннему диаметру d и большем числе шлицев нужно принимать $\beta=46^\circ$, чтобы не уменьшать посадочные площадки на внутренней поверхности отверстия.

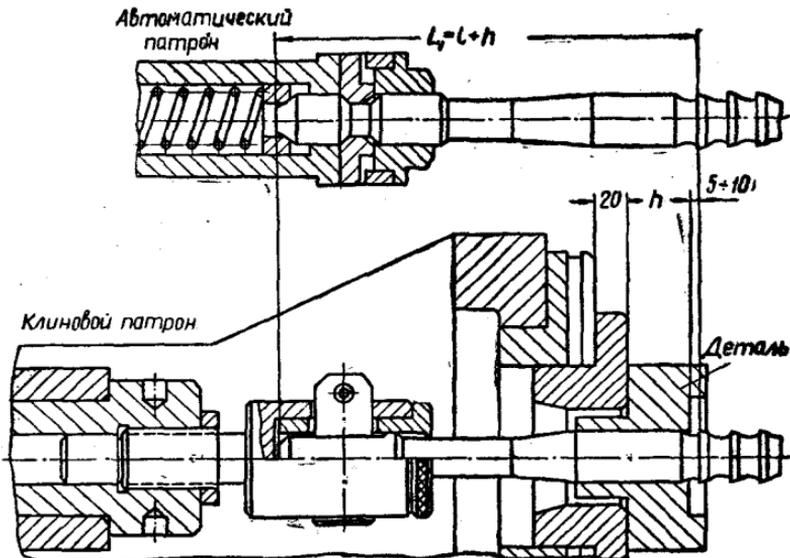
IV. Значения коэффициента λ

Число шлицев n	Угол в плане φ_1	Половина профиля детали $\theta = \frac{180^\circ}{n}$	Половина скорректиро- ванного угла впадины (круга) $\theta_k = \theta^\circ - \varphi_1$	Коэффициент $\lambda = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \theta_k}$	Угол профиля абразивного круга $2\theta_k$
4	2°	45°	43°	0,05	86°
	2°30'		42°30'	0,07	85°
	3°		42°	0,08	84°
6	2°	30°	28°	0,08	56°
	2°30'		27°30'	0,10	55°
	3°		27°	0,12	54°
8	2°	22°30'	20°30'	0,10	41°
	2°30'		20°	0,13	40°
	3°		19°30'	0,16	39°
10	2°	18°	16°	0,13	32°
	2°30'		15°30'	0,16	31°
	3°		15°	0,20	30°
12	2°	15°	13°	0,16	26°
	2°30'		12°30'	0,20	25°
	3°		12°	0,25	24°
14	2°	12°52'	10°52'	0,19	21°44'
	2°30'		10°22'	0,25	20°44'
	3°		9°52'	0,31	19°44'
16	2°	10°15'	9°15'	0,22	18°30'
	2°30'		8°45'	0,29	17°30'
	3°		8°15'	0,37	16°30'

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ
ПРОТЯЖНЫХ СТАНКОВ

I. Отечественные станки

Модель станка	Тип патрона	Минимальный размер от торца хвостовика протяжки до первого режущего зуба L_1 , мм	Тяговое усилие, кг	Наибольший ход каретки или ползуна, мм
751	Клиновой	$140 + h'$	10000	1350
7510	Клиновой	$190 + h'$	10000	1400
7A510	Быстросменный автоматический	$190 + h'$	10000	1250
7520	Клиновой	$200 + h'$	20000	1600
7A520	Быстросменный автоматический	$200 + h'$	2000	1600
7530Сз (спец)	Быстросменный автоматический	570 (включая длину детали h')	20000	1600
7530м (спец)	Автоматический и клиновой	580	30000	1800
7540	Автоматический и клиновой	$400 + h'$	40000	2000
		$350 + h'$		
МП6	Быстросменный автоматический	$370 + h'$	55000	1800



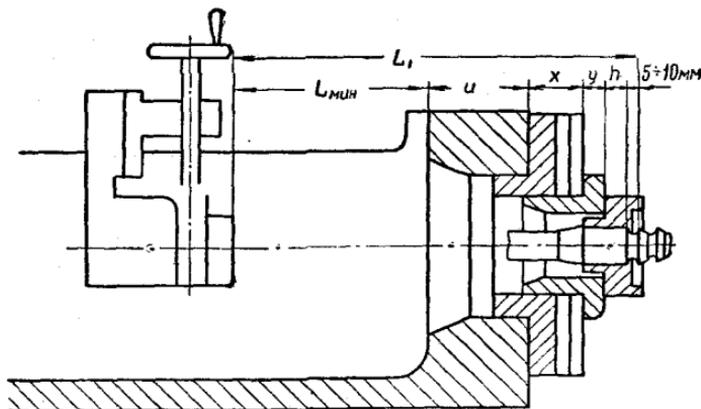
Примечания. 1. Размер L_1 дан с учетом зазора (5—10 мм) между торцом обрабатываемой детали и первым режущим зубом.

2. Приведенные данные рассчитаны по размерам планшайб патронов, предлагаемых заводом-изготовителем к станкам.

3. h' — расстояние от опорного торца до торца обрабатываемой детали со стороны входа протяжки в мм

II. Иностранные станки

Форма и модель станка	Минимальное расстояние от торца штока до передней опоры L_{\min} , мм	Тяговое усилие, кг	Наибольший ход штока, мм
Шютте 1Н	170	12500	1400
Шютте 2Н	170	30000	1700
Америкенброуч НЗ и Н2	152	5000	1600
Эльбеверке	150	30000	1700
Ойлгир XL-50В	280	50000	1625



Примечания. 1. Толщину планшайбы x замерять по месту, потому что даже для одинаковых моделей станков она бывает разной.

2. Размер u чаще всего равен 20 мм, но в каждом случае его следует проверять на станке.

3. Минимальное расстояние от торца хвостовика до первого режущего зуба L_1 определяется по формуле

$$L_1 = L_{\min} + u + x + y + h' + (5+10) \text{ мм.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 23

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАЗМЕРЫ ГЛАДКИХ ЧАСТЕЙ ПРОТЯЖЕК ПЕРЕМЕННОГО РЕЗАНИЯ

1. Длина направляющего конуса

Диаметр протяжки, мм	до 30	св. 30 до 70	св. 70
Длина направляющего конуса, мм	15	20	25—30

II. Размеры заднего направления

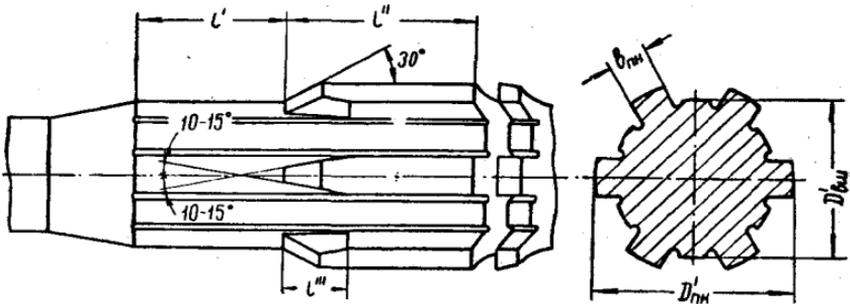
Диаметр	до св. 13	св. 23	св. 30	св. 35	св. 45	св. 55	св. 60	св. 70	св. 90	св. 100
$D_{ЗН}$, мм	13	до 23	до 30	до 35	до 45	до 55	до 60	до 70	до 90	до 100
Длина $l_{ЗН}$, мм	20	20	25	30	35	40	45	50	60	70
Фаска c , мм	0,5	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2,5	2,5

Примечания. 1. При отношении $\frac{l}{D} > 2$ длина задней направляющей принимается $l_{ЗН} = 0,5 l$ мм.

2. Для тяжелых и длинных протяжек на станках Минского завода применяются задние хвостовики с такой же формой крепления, как и передние хвостовики. Задние хвостовики выполняются с теми же размерами, что и передние. Длина заднего хвостовика выбирается по месту в связи с тем, что на станках одной и той же модели размеры захватов бывают неодинаковыми.

3. Для тяжелых протяжек на станках выпуска других заводов допускается применение задних хвостовиков в соответствии с поддерживающими устройствами, имеющимися на станке.

III. Передняя направляющая шлицевых протяжек второго прохода



Диаметр переднего направления D' п. н шлицевых протяжек второго прохода выполняется равным диаметру калибрующих зубьев протяжки первого прохода со следующим допуском:

Диаметр переднего направления, мм	от 6	от 10	от 18	от 30	от 50	от 80	св. 120
	до 10	до 18	до 30	до 50	до 80	до 120	
Допуск, мм	-0,07	-0,09	-0,10	-0,12	-0,15	-0,18	-0,21
Допуск, мм	-0,10	-0,125	-0,145	-0,17	-0,21	-0,24	-0,25
Длина элементов переднего направления (мм):							
Отношение $\frac{l}{D}$			меньше 1,5				больше 1,5
l'			$(0,75 + 1) l$				$0,5 l$
l''			$15 \leq l'' \leq 40$				$0,5 l$
l'''							

$b_{пн} + 3$ мм

Размеры $D_{вш}$ и $b_{пн}$ определяются по формулам

$$D_{вш} = d'_{мин} X,$$

где $d'_{мин}$ — внутренний диаметр шлицевого отверстия, обработанного протяжкой первого прохода;

$$b_{пн} = B'_{ш. мин} III,$$

где $B'_{ш. мин}$ — минимальная ширина шлицевых пазов после обработки протяжкой первого прохода.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Шеголев, Конструирование протяжек, Машгиз, 1952.
2. НИИТАВТОПРОМ, Режимы резания металлов, Москва, 1957.
3. БТН, Режимы резания металлов при протягивании, Машгиз, 1942.
4. В. Л. Дмитриев, Силовые зависимости при прошивании, Машгиз, 1940.
5. Е. М. Левенберг, Исследование процесса резания и усилий, возникающих при протягивании стали и чугуна круглыми протяжками, диссертация, ХММИ, 1939
6. А. И. Каширин, Стойкостные и силовые испытания одношпоночных протяжек, «Станки и инструмент» № 5, 1940.
7. БТН МСС, Режимы резания инструментами из быстрорежущей стали, Машгиз, 1950.
8. Г. И. Грановский, Расчет и конструирование протяжек, Москва, МВТУ, 1947.
9. Г. И. Грановский, Металлорежущий инструмент, Машгиз, 1952.
10. Г. И. Грановский и др., Резание металлов, Машгиз, 1954.
11. Л. А. Михеева, Протягивание, ВНИИ, Москва, 1953.
12. А. В. Пахомов, Усилия и стружкообразование при протягивании, ИТЭИН, 1958
13. П. Г. Кацев, Протягивание глубоких отверстий, Оборонгиз, 1957.
14. Н. Ф. Пронкин, Протягивание жаропрочных и титановых материалов, Оборонгиз, 1958.
15. Н. Н. Зорев, Расчет проекций силы резания, Машгиз, 1958.
16. М. С. Берлинер, Технологический справочник, раздел V, Протяжные работы, Автозавод им. Лихачева, Москва, 1952.
17. З. Д. Горецкая, Протягивание с большими подачами, Машгиз, 1960.
18. ЦБПНТ, Общемашиностроительные нормативы режимов резания на протяжные работы, Машгиз, 1959.
19. НИИТАВТОПРОМ, Прогрессивное протягивание, Руководящие материалы, Москва, 1957.
20. Д. К. Маргулис, Определение рациональной величины подачи в связи со стойкостью протяжки при внутреннем протягивании «Вестник машиностроения» № 9, 1960.
21. М. С. Берлинер, Исследование вопросов резания при прошивании, Сб. «Обработка металлов резанием», ОНТИ, 1938.
22. А. М. Даниелян, Износ режущего инструмента и тепловые явления при резании металлов, Машгиз, 1946.
23. И. Е. Бурштейн, Л. К. Мануйлов, С. С. Черников, Протягивание, Машгиз, 1947.
24. П. П. Юнкин, Протяжки с новой схемой резания, ИТЭИН, 1946.
25. Д. К. Маргулис, А. А. Залесов, В. П. Гаврилов, Обработка чистых и точных отверстий методом протяжки, Сб. «Обмен техническим опытом», Челябинск, 1946.
26. Д. К. Маргулис, А. А. Залесов, С. А. Плеханов, Рациональная эксплуатация режущего инструмента, Челябинск, 1946.

27. Д. К. Маргулис, А. А. Залесов, С. А. Плеханов, Протягивание точных шлицевых отверстий протяжками переменного резания, Сб. Кировского завода на Урале, № 1, Челябинск, 1947.

28. Д. К. Маргулис, А. А. Залесов, С. А. Плеханов, Протягивание и протяжки переменного резания, Челябинск, 1948.

29. И. Г. Пархиловский, Определение диаметра шлифовального круга при заточке круглых протяжек, «Станки и инструмент» № 11, 1945.

30. Д. К. Маргулис, Высокопроизводительные инструменты конструкции лаборатории резания металлов ЧТЗ, Сборник конференции по конструкциям режущих инструментов № 2, МОНТО Машпром, 1958.

31. Д. К. Маргулис, Роль нароста при протягивании, «Станки и инструмент» № 12, 1960.

32. Д. К. Маргулис, Протяжки переменного резания, Машгиз, 1956.

33. Д. К. Маргулис, Нормативы режимов резания на протяжные работы, реферат, НИИТЕХМАШ, Челябинск, 1960.

34. Д. К. Маргулис, Проектирование протяжек переменного резания по методу равной стойкости, ЦБТИ, Москва, 1961.

35. Д. К. Маргулис, А. А. Залесов, А. И. Репьев, О. М. Хренова, Нормативы режимов резания на протяжные работы, ЧТЗ—НИИТЕХМАШ, Челябинск, 1960.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Условные обозначения	7
Глава I. Основные понятия и терминология	9
Глава II. Процесс образования стружки при протягивании и рациональная форма стружечной канавки	20
1. Процесс свертывания стружки	20
2. Форма стружечной канавки	22
Глава III. Силы резания при протягивании	27
1. Составляющие силы резания	27
2. Силовые зависимости	28
3. Исследование сил резания	33
Влияние переднего угла на силу резания q_o	33
Влияние толщины среза на силу резания q_o	34
Влияние переднего угла на радиальную силу q_p при наружном протягивании	37
Влияние скорости резания на силу q_p при наружном протягивании	37
Влияние толщины среза на радиальную силу q_p при наружном протягивании	39
Влияние ширины среза и других факторов	39
Общая зависимость для силы резания P и радиальной силы P_p	40
Глава IV. Стойкость протяжек и новая методика выбора толщины среза	42
1. Износ режущих лезвий зубьев протяжек и стойкостные зависимости	42
2. Закономерность изменения радиуса округления режущих лезвий в зависимости от времени работы протяжки и толщины среза	49
3. Стойкостные зависимости и определение толщины среза по методу выравнивания стойкостей черновой и чистовой частей протяжки	60
4. Наросты при протягивании и их влияние на процесс образования стружки малой толщины	70
5. Влияние различных факторов на температуру резания при протягивании стали	81
Выводы	86
Глава V. Конструкции круглых протяжек	89
1. Протяжки с подъемом на каждый зуб	89
Ребро жесткости на стружке	91
Интенсивный износ уголков зуба	92
Стойкость протяжек, имеющих подъем на каждый зуб, до полного износа	93
2. Прогрессивные протяжки	95

3. Круглые протяжки переменного резания	99
Черновые, или обдирочные, зубья	99
Переходные зубья	104
Чистовые зубья	104
Калибрующие зубья	105
4. Многошлицевые протяжки переменного резания	106
Глава VI. Особенности технологии изготовления протяжек переменного резания	114
1. Доводка задней грани зубьев протяжек	114
2. Обработка выкружек на зубьях круглых протяжек	117
3. Шлифование профиля шлицевых и фасочных зубьев с подъемом заднего хвостовика протяжки	122
Шлифование профиля шлицевых зубьев фасонным кругом	124
Шлифование профиля фасочных зубьев	124
Контроль размеров фасочных зубьев	125
4. Заточка протяжек	126
5. Контроль переднего угла	127
Глава VII. Методика расчета круглых протяжек переменного резания	130
1. Общие сведения	130
2. Примеры расчета круглой протяжки	144
Пример первый	144
Пример второй	151
Глава VIII. Методика расчета шлицевых протяжек переменного резания	162
1. Общие сведения	162
2. Расчет профиля фасочных и шлицевых зубьев протяжек для прямобочных шлицев	171
3. Расчет профиля прямобочных шлицевых зубьев при шлифовании с подъемом заднего хвостовика протяжки	173
4. Пример расчета комбинированной шлицевой протяжки типа А	174
5. Пример расчета комбинированной шлицевой протяжки типа Б с прямобочными шлицами	186
6. Срезание припуска комплектом шлицевых протяжек	198
7. Пример расчета протяжки для эвольвентных шлицев	201
8. Расчет профиля зубьев эвольвентной протяжки, шлифуемой с подъемом заднего хвостовика	209
9. Расчет размеров протяжки по роликам	216
10. Контроль размеров по роликам и расчет шаблона	219
Приложения	223
Литература	266

Замеченные опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По вине
8	5-я снизу	выпуске	выступе	Корр. Ред. Авт.
12	2-я снизу	шага	z_p	
38	Подпись к фиг. 22	$v=3 \text{ м/мин};$	$\frac{z_p}{-}$	
123	10-я сверху	L	L_y	»
173	2-я сверху	$H_2 = H_1 - C_{\phi} \sin \frac{180^\circ}{n}$	$H_2 = H_1 - C_{\phi} \sin \left(\frac{180^\circ}{n} + \beta_k \right)$	
179	9-я снизу	$t_o \geq \frac{45}{4} + 0,4 = 9,4$	$t_o \geq \frac{45}{5} + 0,4 = 9,4$	Корр.
183	9-я снизу	$l'_{\phi} t_o (z_{\phi} - 1) = 12 \cdot 4 = 48$	$l'_{\phi} = t_o (z_{\phi} - 1) = 12 \cdot 4 = 48$	»
202	5-я снизу	$T=36$	$l=36$	Тип.
251	Графа 3-я справа, строка 5-я снизу	38	48	Корр.
253	Графа 5-я сле- ва, строка 1-я снизу	-0,02	-0,20	Авт.
261	10-я сверху	50	20	Корр.
262	Графа 3-я сле- ва	Половина профиля	Половина угла про- филя	Тип.
263	Графа 2-я справа, строка 5-я снизу	2000	20000	Авт.

Дополнительные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
27	13 сверху	$R_z =$	$R_z =$
44	18 сверху	...к ускорению...	...к увеличению...
70	12 сверху	Добавить фразу	Большой износ черновых зубьев ухудшает условия работы чистовых и стойкость последних, а из-за этого снижается и общая стойкость протяжки.
77	3 снизу	...иногда носик его теряет острую форму, и...	, и...
78	1 сверху	...разной стружки..	...разных стружек...
85	5 снизу	...получила...	...дала...
109	1,2,3 снизу	...для отверстия детали не требуется обработка на...	...не требуется обработка отверстия детали по диаметру выступов на...
133	14 - 15 снизу	...меньшую имеющуюся в приложении 5...	...фактически имеющуюся...
136	12 сверху	...из стали...	—
159	10-я графа, строка 7 снизу	79,92	79,96
203	13 сверху	...поверхности шлицевых зубьев протяжек...	...боковой поверхности шлицевых пазов...
211	фиг. 108	C_1	C_2
217	11 снизу	C_p	C_z
217	10 снизу	$O_c A C_p$	$O_c A C_z$
225	I передние углы, 8 графа, строка 1-я снизу	$\div (-5^\circ)^*$	$0^\circ \div (-5^\circ)^*$
227	Таблица 1, 2 графа, строка 1-я снизу	(пропущены цифры)	5 - 7
227	Таблица 1 графа 1-ая справа, строка 7-я снизу.	число чистовых зубьев II типа...	число секций чистовых зубьев II типа...
227	Таблица 1 графа 2-я слева, строка 5 снизу	2	1
230	Формула в номограмме II а	$V = \frac{9,89}{T^{0,25} a^{0,15}}$	$V = \frac{9,89}{T^{0,25} a^{0,15}}$
237	Графа 1-я строка, 6 сверху	0,085	0,035