



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет

Теория резания и режущий инструмент

(Резание материалов и режущий инструмент)

в 2-х частях. Ч.1-1

Лектор - Козлов Виктор Николаевич,
доцент отделения машиностроения ИШНПТ

IShNPT 材料科学系副教授

моб. тел. 8-952-809-38-60

Дополнения на китайском – Чжан Цинжун,
cinzhun1@tpu.ru, гр.154A71 cinzhun1@tpu.ru

Лекции – 32 часа, лабораторные работы – 32 часа,
практические занятия – 32 часа, 120 часов сам. работы,
6 кредитов 6学分. Экзамен + ИДЗ.

ИДЗ– 10-12 стр. пояснительной записки и чертежи
фасонного резца и протяжки 切刀和拉刀图纸 (формат A2 – A3).

Литература

• Основная литература:

1. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с..
2. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2014, 520 с.
3. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.
4. Проектирование режущих инструментов. Методические указания и задания к курсовой работе для студентов, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения» ИДО / сост. С.В. Кирсанов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.– 77 с.222

Дополнительная литература:

5. Арляпов А.Ю., Галин Н.Е., Ким А.Б., Сбоев В.Н. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
6. Кирсанов С.В. Методические указания по выполнению **лабораторных работ** по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
7. Кирсанов С.В. Методические указания по выполнению **практических** занятий по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
8. Козлов В.Н. Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
9. Kirsanov S.V. Material cutting and cutting tools: study aid / S.V. Kirsanov; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: TPU Publishing House, 2012, 196 p.

Названия разделов

1. **Основы лезвийной обработки (刀片加工的基础知识)**— 8 ч. лк, 8 ч. лаб. работ; 8ч. практ. занятий;

Основные виды лезвийной обработки (刀片加工的主要类型) – 20 ч. лк, 20 ч. лаб. работ; 20 ч. практ. занятий;

2. **Токарная обработка. Резцы и мерные режущие инструменты (刀具和拉刀的计算和设计 , 尺寸切削刀具的计算与设计)**— 8 ч. лк, 8 ч. лаб. работ; 8 ч. практ. занятий;

3. **Фрезерование и фрезы (刀具的计算与设计)** – 8 ч. лк, 8 ч. лаб. работ; 8 ч. практ. занятий;

4. **Резьбонарезные и зубообрабатывающие режущие инструменты (螺纹和齿轮切削刀具的计算和设计)** – 4 ч. лк, 4 ч. лаб. работ, 4 ч. практ. занятий;

5. **Абразивная обработка (磨料加工)** – 4 ч. лк, 4 ч. лаб. работ, 4 ч. практ. занятий;

Индивидуальное домашнее задание (**ИДЗ**) – проектирование фасонного резца и протяжки.

Экзамен.

Оценка текущей учебной работы

- 1) В конце каждой лекции – мини-контрольная работа на 5 мин. по оценке освоения материалов лекции. Можно пользоваться только **своим** конспектом лекций. Оценивается по 3-х бальной системе: 2 балла – «хорошо» и «отлично»; 1 балл – «удовлетворительно»; 0 баллов – «неудовлетворительно».

Всего за мини контрольные можно получить максимум 32 балла.每节课结束时-进行5分钟的迷你测试。关于掌握讲座材料的评估。您只能使用讲义。在三点系统上进行评估：2分-“好”和“优秀”1分-“令人满意”；0分-“不满意”。总体而言，对于小型测试，您最多可以获得32分。

- 2) По каждой **пропущенной** лекции или практическому занятию по 2-3 дополнительных вопроса на экзамене.对于每个错过的讲座或实践课，考试中还需增加2-3个问题。
- 3) По защищённой лабораторной работе выставляется 1 балл (максимум 16 баллов). Каждую **пропущенную лабораторную работу** необходимо **отработать** во время конференц-недель. Перед отработкой подготовить бланк отчёта по лаб. работе с краткими пояснениями действий, который необходимо **защитить перед выполнением** лабораторной работы.对于受保护的实验室工作，将获得1分（最高16分）。每个错过的实验室工作必须在会议周期间完成。在测试之前，请准备一份实验室报告表。在执行实验之前，对需要保护的步骤进行简要说明。
- 4) По каждой теме (7 шт.) выполняется **контрольная работа** по 3-6 баллов за каждую в зависимости от объёма темы и её сложности (максимум 32 баллов).对于每个主题（7个），根据主题的数量及其复杂性（最多32点），对每个主题进行3-6分的测试。
- 5) При **недостаточном количестве баллов** для допуска к экзамену (минимум 55 баллов) необходимо написать реферат по пропущенным лекциям, плохим или пропущенным контрольным работам. Объём 10 стр. формата А4 с рисунками и графиками (текст не менее 50%), максимум 3 балла за реферат.如果没有足够的分数可以入学（至少55分），则必须写一篇关于错过的演讲，考试不合格或错过的文章。第10卷A4格式的图片 and 图形（文本至少50%），摘要最多3点。

Основы лезвийной обработки

ВИДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

В процессе обработки из **заготовки** получается **деталь**. **在加工过程中，从工件中获得零件。** **Исходная заготовка** может быть получена литьем, ковкой, штамповкой, прокаткой. **原始工件可以通过铸造·锻造·冲压·轧制获得。** В мелкосерийном производстве часто выбирается круглый прокат (пруток) для тел вращения или листовой прокат для корпусных деталей. **在大规模生产中，通常选择圆棒 (bar) 作为旋转体，或选择扁平棒作为身体部位。**

Обработка материалов резанием является древнейшим и в настоящее время одним из наиболее распространенных способов изготовления деталей машин, при котором необходимые форму и размеры деталей получают путем снятия припуска в виде стружки **刨花** с **исходной заготовки**. **通过切削加工材料是最古老的方法，也是目前最常用的制造机器零件的方法之一，其中通过从原始工件上去除切屑形式的余量来获得所需的零件形状和尺寸。**

Другими способами получения детали является электроэрозионная обработка, лазерная, гидроабразивная, плазменная резка и т.п. **获得零件的其他方法是放电加工·激光·喷水·等离子切割。**

В последнее время идёт разработка 3D печати, когда заготовка создаётся на специальном принтере **打印机**. **近来，当在特殊打印机上创建工件时，出现了3D打印的发展。** В настоящее время прочность **强度** и износостойкость **耐磨性** используемых материалов, а также **невысокая** точность не позволяют говорить о надёжности **可靠性** работы изделий. **目前，所用材料的强度和耐磨性以及较低的精度使我们无法谈论产品的可靠性。**

Достоинства обработки материалов резанием **切割材料的优势：**

- 1) высокие точность размеров, формы и качества обработанных поверхностей деталей; **零件加工表面的尺寸，形状和质量的高精度；**
- 2) универсальность и технологическая гибкость **灵活性** производства; **生产的多功能性和技术灵活性**
- 3) минимальные затраты на оснастку **模具**; **最低模具成本**
- 4) благоприятные условия для автоматизации производства; **生产自动化的有利条件**
- 5) относительно невысокая энергоёмкость, значительно меньшая, чем при других способах обработки. **相对较低的能耗，远低于其他加工方法。**

Наибольшее применение получила лезвийная обработка точением **旋转**, строганием **刨削**, фрезерованием **铣削**, протягиванием **铣削**, обработка отверстий осевыми (мерными) инструментами (сверла, зенкеры **沉头孔**, развертки **铰刀**), нарезание **切削** резьб и зубчатых колес. **使用最广泛的是通过旋转·刨削·铣削·拉拔·用轴向 (测量) 工具 (钻·沉头孔·铰刀) 加工孔·切削螺纹和齿轮的刀片加工。**

Кинематика продольного 纵向 точения 纵向运动学

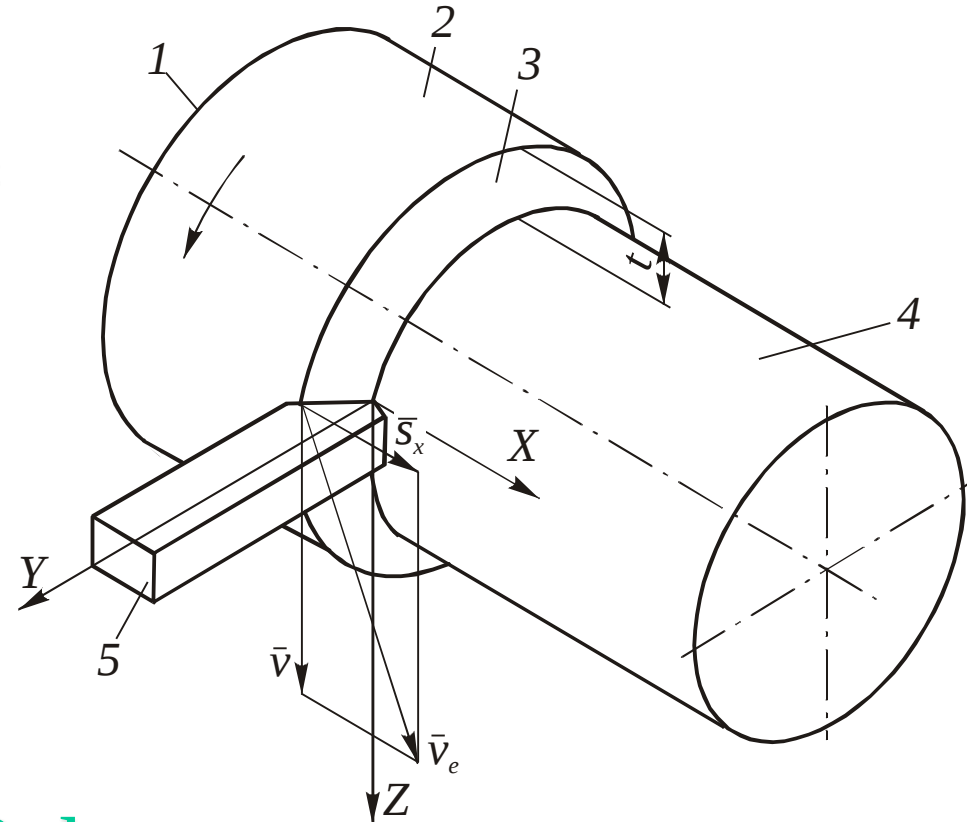
За один проход резца с исходной поверхности заготовки 2, называемой обрабатываемой поверхностью ($\varnothing d_{нач}$), снимается припуск толщиной t :

$t = (d_{нач} - d_{конечн}) / 2$. 在刀具从工件2的原始表面切下的一个切口中, 称为工件表面 ($\varnothing d_{start}$), 去除了厚度 t 的余量: $t = (d_{start} - d_{end}) / 2$.

Поверхность 3, получаемая после прохода главной режущей кромки, называется поверхностью резания (непрерывно обновляемая更新), а поверхность 4 – обработанной поверхностью ($\varnothing d_{конечн}$). 经过主切削刃后获得的表面3称为切削面 (连续更新), 而表面4称为加工面 ($\varnothing d_{端}$)。

На инструмент действует сила резания $R (P)$, которую для удобства измерения и влияния на технологическую систему и деталь (систему СПИД – станок-приспособление-инструмент-деталь 机床-装置-工具-零件系统) обычно разлагают на три составляющие:切削力 $R (P)$ 作用在工具上, 为了便于测量和影响技术系统和零件 (艾滋病系统-机床-工具标签), 通常将其分解为三个分量: P_z (главная составляющая, или тангенциальная主要成分或切线), P_y (радиальная составляющая径向分量), P_x (осевая, т.к. действует в направлении подачи, вдоль оси вращения заготовки или оси сверла轴向的, 因为作用于进给方向, 沿工件旋转轴或钻轴). Только P_z существенно влияет на мощность резания (требуемую мощность станка):

$$\underline{N_{резания} = N_e = P_z (H) \cdot v (м/с) [Вт]}$$



Равнодействующая сила **合力** резания R (P) при точении заготовки проходным резцом может быть разложена на технологические составляющие **用直刀旋转工件时产生的切削力** R (P) 可分解为工艺组件: P_z - **тангенциальная (главная)** составляющая, действует **в направлении вектора окружной скорости** v и определяет мощность главного привода станка **P_z -切向 (主) 分量, 沿圆周速度矢量 v 的方向起作用, 并确定机器主驱动器的功率**; P_x - **осевая** составляющая, действует вдоль оси заготовки **параллельно подаче s** и определяет нагрузку на механизм подачи станка; **P_x -轴向分量, 沿着平行于进给 s 的工件轴作用, 并确定机器进给机构上的负载** P_y - **радиальная** составляющая, направлена по оси Y **радиально к оси заготовки, определяет силу отжатия резца** **按压切刀 от заготовки**. P_y -沿 Y 轴径向指向工件轴的径向分量确定了从工件上按压切刀的力。

При малой жесткости заготовки эта составляющая (P_y) влияет на **погрешности формы и размера детали**. **由于工件的刚度低, 该部件会影响零件的形状和尺寸误差**. Составляющие P_x и P_y складываясь, дают промежуточную равнодействующую P_{xy} , лежащую в **основной плоскости**, **分量 P_x 和 P_y 相加得到位于基本平面内的中间结果 P_{xy}** , **即 т.е. $\bar{R}_{xy} = \bar{P}_x + \bar{P}_y$ $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$** Вектор P_{xy} совпадает с направлением схода стружки, а соотношение величин её составляющих зависит от углов схода стружки **切屑流** и главного угла в плане ϕ . **向量 P_{xy} 与切屑流的方向一致, 其分量值的比值取决于切屑流角 η 和主角 ϕ** . При этом также меняется отношение глубины резания t и подачи s - $P_x/P_y = \tan(\phi + \eta)$. **这也改变了切削深度 t 与进给 s 的比值 $-P_x / P_y = \tan(\phi + \eta)$** . О величинах силы резания R и её составляющих можно судить на примере **точения углеродистой стали** **碳素钢** средней твердости при $\phi = 45^\circ$, $\lambda = 0$, $\gamma = 15^\circ$ и отношении $t/s > 1$ (прямой рез) по следующим приближенным значениям **切削力 R 及其成分的值可以根据以下近似值, 以车削中硬度碳素钢为例, 以 $\phi = 45$, $\lambda = 0$, $\gamma = 15$ 和比率 $t/s > 1$ (直切) 来判断**

$$P_z : P_y : P_x = 1 : (0,4 \dots 0,5) : (0,25 \dots 0,3)$$

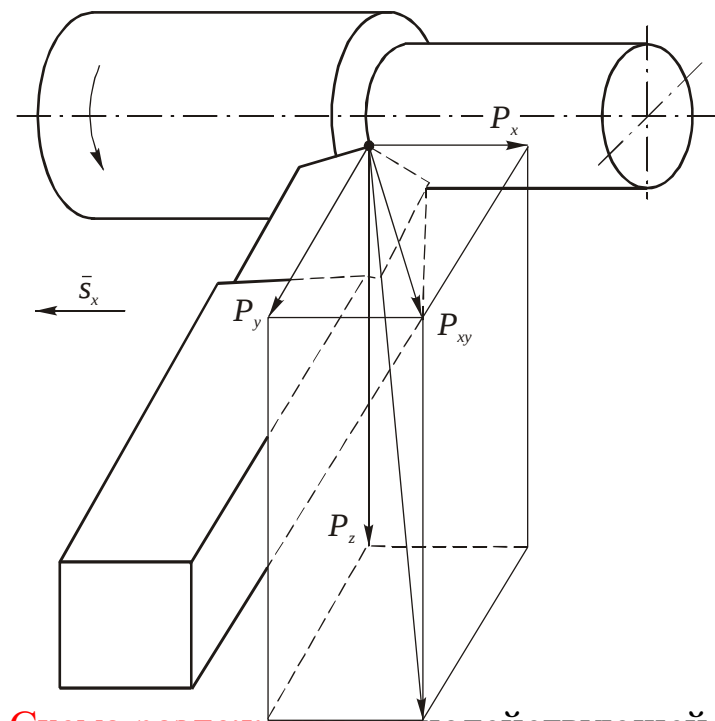
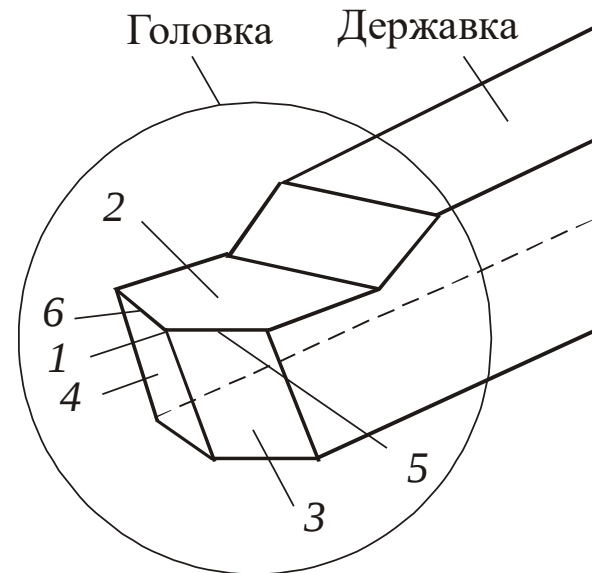
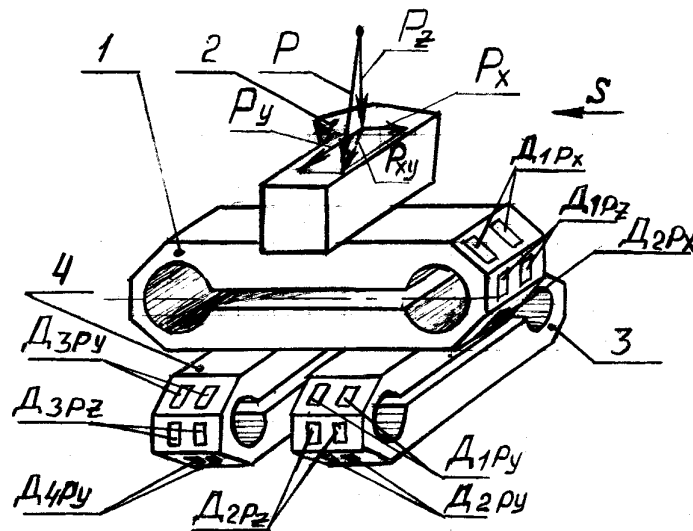
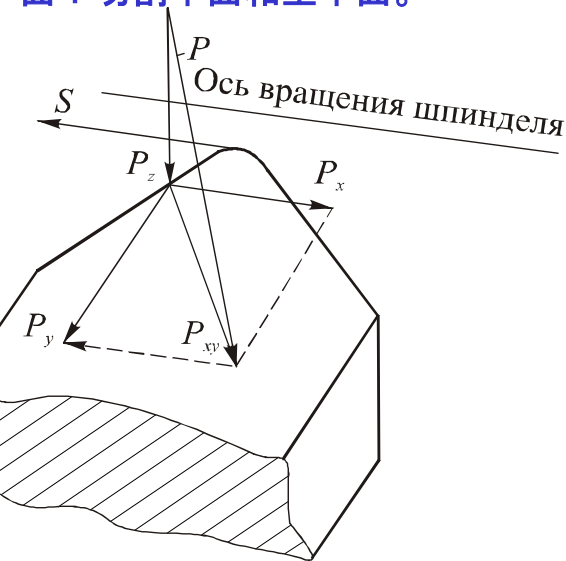


Схема разложения равнодействующей силы резания R на технологические составляющие P_z , P_x и P_y

Токарный проходной резец 车刀

Резец – это призматическое тело **棱柱体** с рабочим концом (головкой), оформленным в виде трехгранника с **вершиной 1** и державкой **刀架**. **切刀是一个棱柱体，其工作端（头）为三面体形状，并带有顶部1和一个固定器。** Поверхность **2**, по которой сходит стружка **切屑沿其脱落**, называется **передней поверхностью**, а две другие поверхности, **обращенные к поверхности резания и к обработанной поверхности** (见第四页), называются соответственно **главная задняя поверхность 3** и **вспомогательная задняя поверхность 4**. **切屑沿其脱落的表面2被称为前表面，而与切削面和机加工表面相对的另外两个表面分别被称为主后表面3和辅助后表面4。** При пересечении передней поверхности с главной и вспомогательной задними поверхностями образуются соответственно **главная режущая кромка 5** и **вспомогательная режущая кромка 6**. **当前表面与主后表面和副后表面相交时，分别形成主切削刃5和辅助切削刃6。**

Для отсчета углов заточки 刃磨角 токарного проходного резца используют две координатные плоскости: **плоскость резания** и **основную плоскость**. **为了计算车刀的刃磨角度，使用了两个坐标平面：切割平面和主平面。**

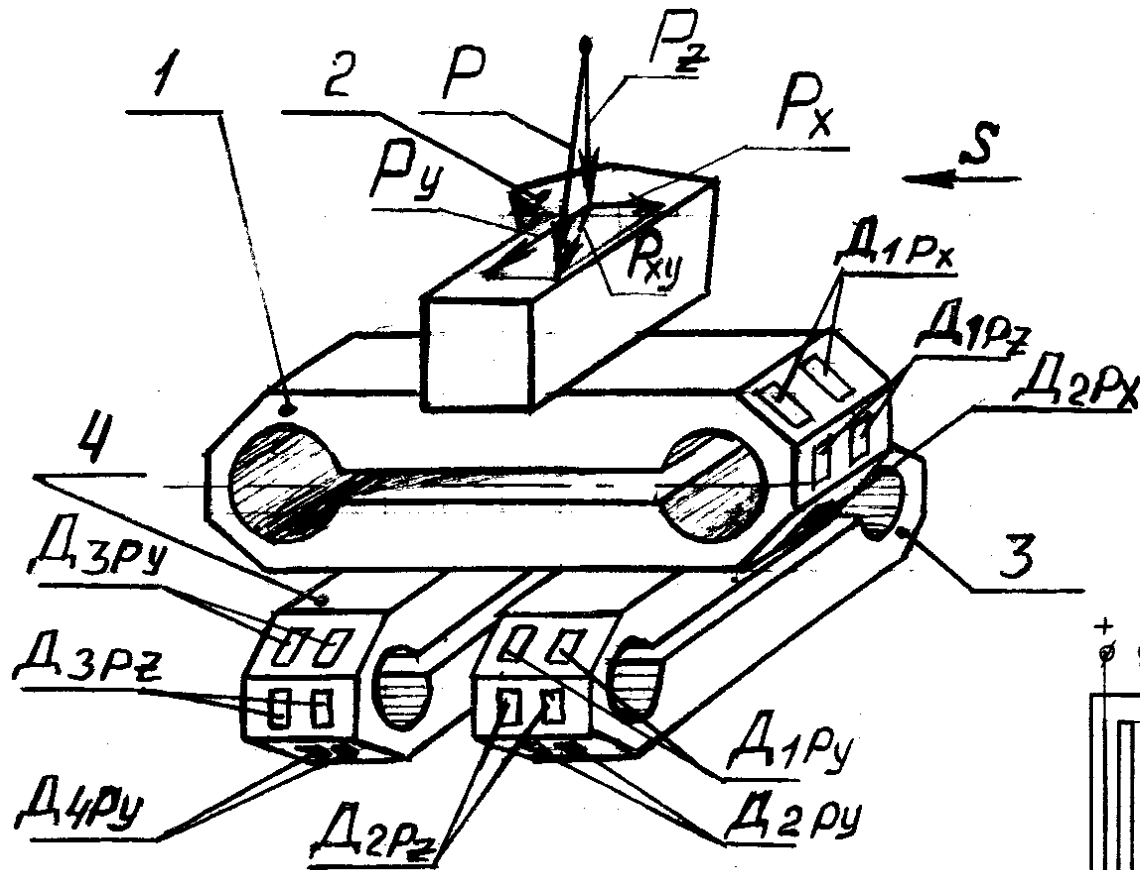


Поверхности и грани (режущие кромки) резца
切刀的表面和端面 (切边)

Составляющие силы резания P и измерение её составляющих

с помощью трёх компонентного динамометра 三分量测力计 **切削力 P 的分量以及用三分量测力计测量其分量**

Измерение составляющих **силы резания P**



Тензometri-
ческий
проволочный
датчик **导线应
变传感器**

Усилитель **放大器** с
регистрирующими
приборами **记录设备**
(микроамперметрами)
по четырём каналам **通
道** в四个通道上带有记录设
备 (微安表) 的放大器

Измерение составляющих **силы резания P**
с помощью **трёх компонентного динамометра**
конструкции В.Н. Сбоева и В.В. Брюхова **使用 V.N. 设
计的三分量测功机测量切削力 P 的分量。Sboeva 和 V.V. 布柳霍
娃**

Упругая деформация кольца

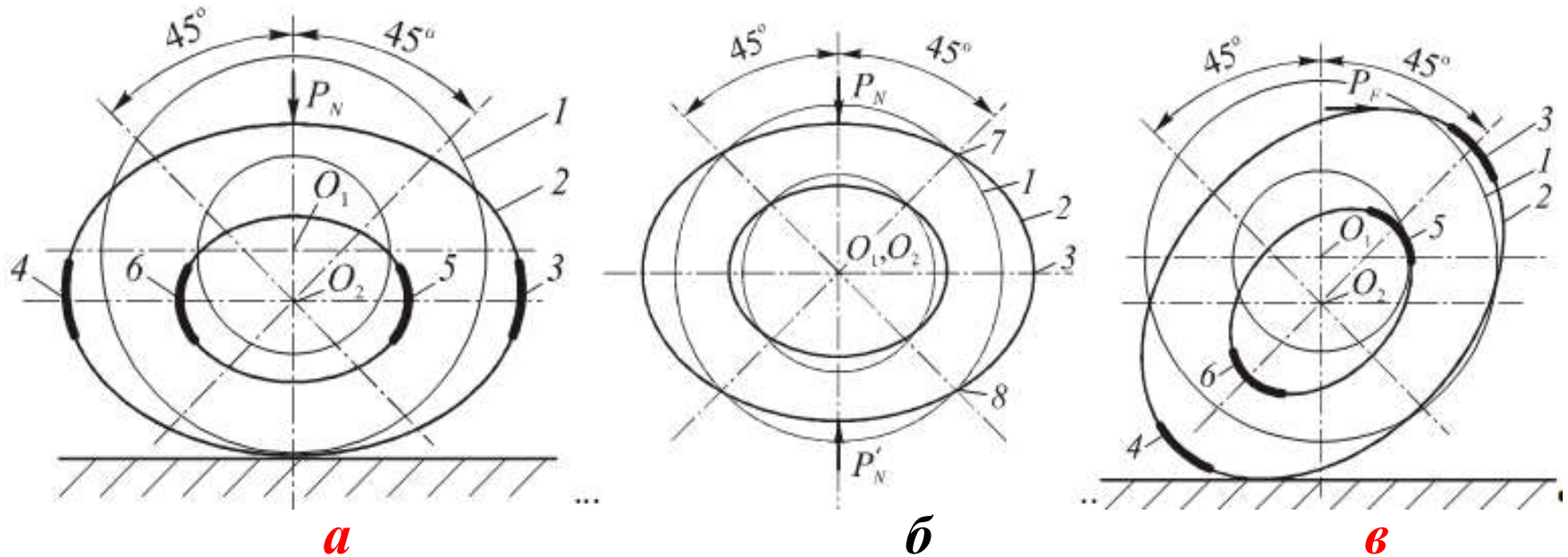


Схема деформирования упругого элемента динамометра: **а** — схема деформирования кольца под воздействием только **вертикальной силы P_N** ; **а** — **仅在垂直力 P_N 的影响下环的变形图** ; **б** — схема деформирования кольца под воздействием только вертикальной силы P_N сверху и снизу, при которой ось кольца не смещается; **б** — **环的变形图, 仅在来自上下方向的垂直力 P_N 的影响下, 环的轴不移动**. **в** — схема деформирования кольца под воздействием только **горизонтальной** силы P_F ; **в** — **仅在水平力 P_F 的影响下环的变形图** ; 1 - положение поверхности кольца **до деформирования**; 1 — **变形前环表面的位置** ; 2 — положение поверхности кольца **после деформирования вертикальной силой P_N** ; 2 — **通过垂直力 P_N 变形后的环表面位置** ; 3, 4, 5, 6 — места расположения тензодатчиков **应变片** для наибольшей чувствительности к деформации кольца **应变片位置, 对环变形最大敏感**

Токарный проходной резец 车刀 (точение 属于 резание)

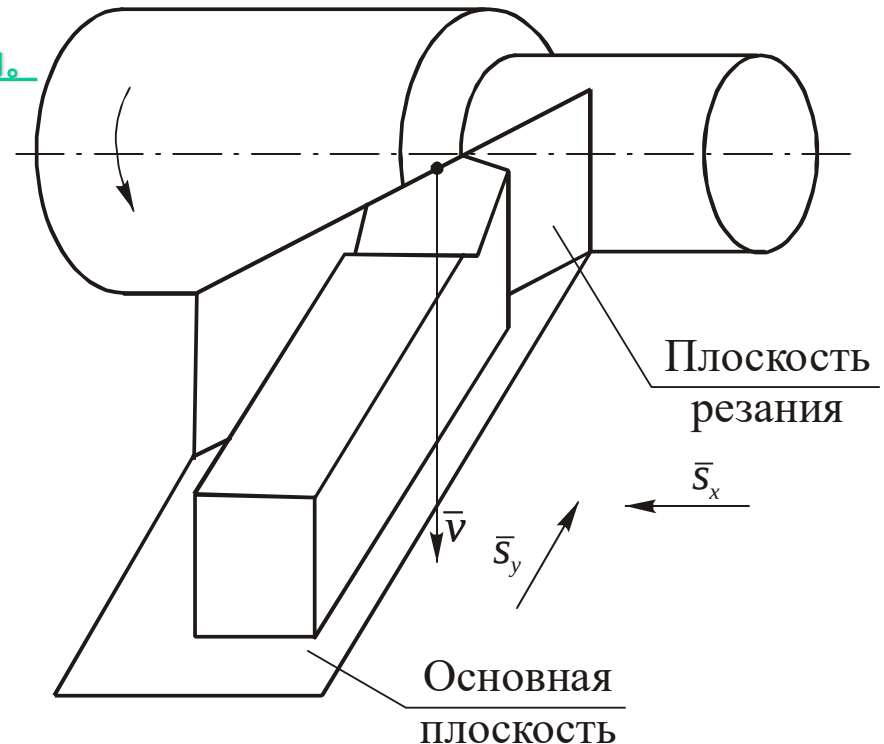
Плоскость резания (区别 поверхность резания) проходит через главную режущую кромку касательно к поверхности резания и вектор скорости резания (P_r). 切割平面切向穿过切割面的主切削刃和切削速度矢量。 Основная плоскость — это плоскость, в которой лежат векторы продольной и поперечной подачи. 主平面是纵向和横向进给矢量所在的平面。 Для токарного резца эта плоскость совпадает с опорной поверхностью державки резца (第八页) (чаще всего она горизонтальна), а плоскость резания перпендикулярна к ней. 对于车刀, 该平面与刀架的支撑表面重合 (通常是水平的), 并且切割平面与之垂直。 Скорость резания (v) при точении — это вектор окружной скорости. 车削时的切削速度 (v) 是圆周速度的向量。 Вектор подачи (s или f) по величине чаще всего на два порядка меньше вектора скорости резания 进给向量 (s 或 f) 通常比切削速度向量小两个数量级。 . Если величина подачи соизмерима со скоростью резания, то это влияние необходимо учитывать при определении кинематических параметров геометрии инструмента. 如果进给速度与切削速度相当, 则在确定刀具几何形状的运动学参数时必须考虑到这种影响。

(刀的切削方向和进给 (横纵) 不是指一个方向)

Окружная скорость главного движения при точении определяется по формуле (м/мин) 转动时主运动的圆周速度由公式 (m/min) 确定

$$v = \frac{\pi d n}{1000}$$

где d - диаметр заготовки, мм; n - частота вращения заготовки, об/мин. d 是工件的直径, mm; n - 工件旋转频率, rpm。



Геометрия проходного резца в плане (на виде сверху) 领先的刀具几何形状 (顶视图)

Главный угол в плане ϕ - угол между направлением подачи и проекцией главной режущей кромки на основную плоскость (основную плоскость 定义见第十页) . **输入角 ϕ 是进给方向与主切削刃在参考平面上的投影之间的角度**

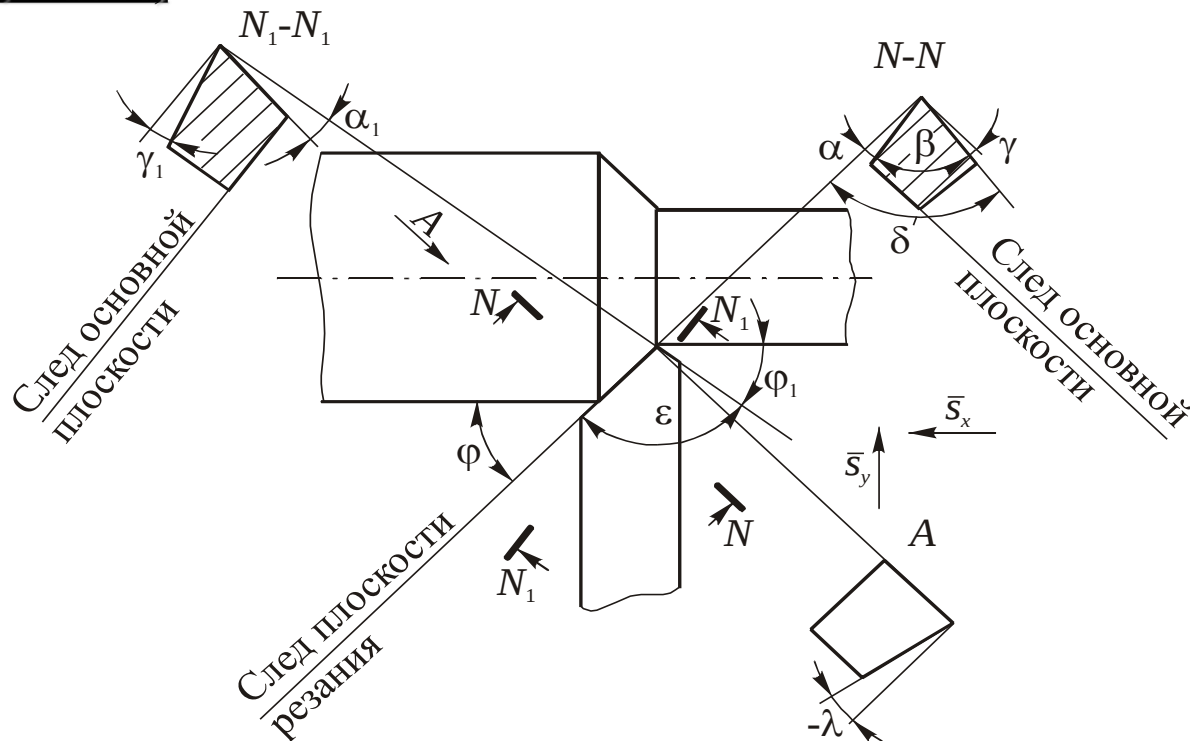
Вспомогательный угол в плане φ_1 - угол между направлением подачи и проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость. 辅助进入角 φ_1 -进给方向与辅助切削刃在主平面上的投影之间的角度

Угол при вершине ε - угол между проекциями главной и вспомогательной режущими кромками на основную плоскость. $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$. 顶角 ε 是主切削刃和辅助切削刃在主平面上的投影之间的角度。 $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$ 。

Радиус при вершине **$R(r)$** играет решающую роль на шероховатость обработанной поверхности, особенно при малой подаче (s менее 0,2 мм/об). **刀尖半径 $R(r)$ 对加工表面的粗糙度起决定性作用, 尤其是在低进给率 (小于 0.2 mm / re) 下。**

Плоскость $N-N$ называется главной секущей 正割的 ПЛОСКОСТЬЮ. $N-N$ 平面称为主割面。

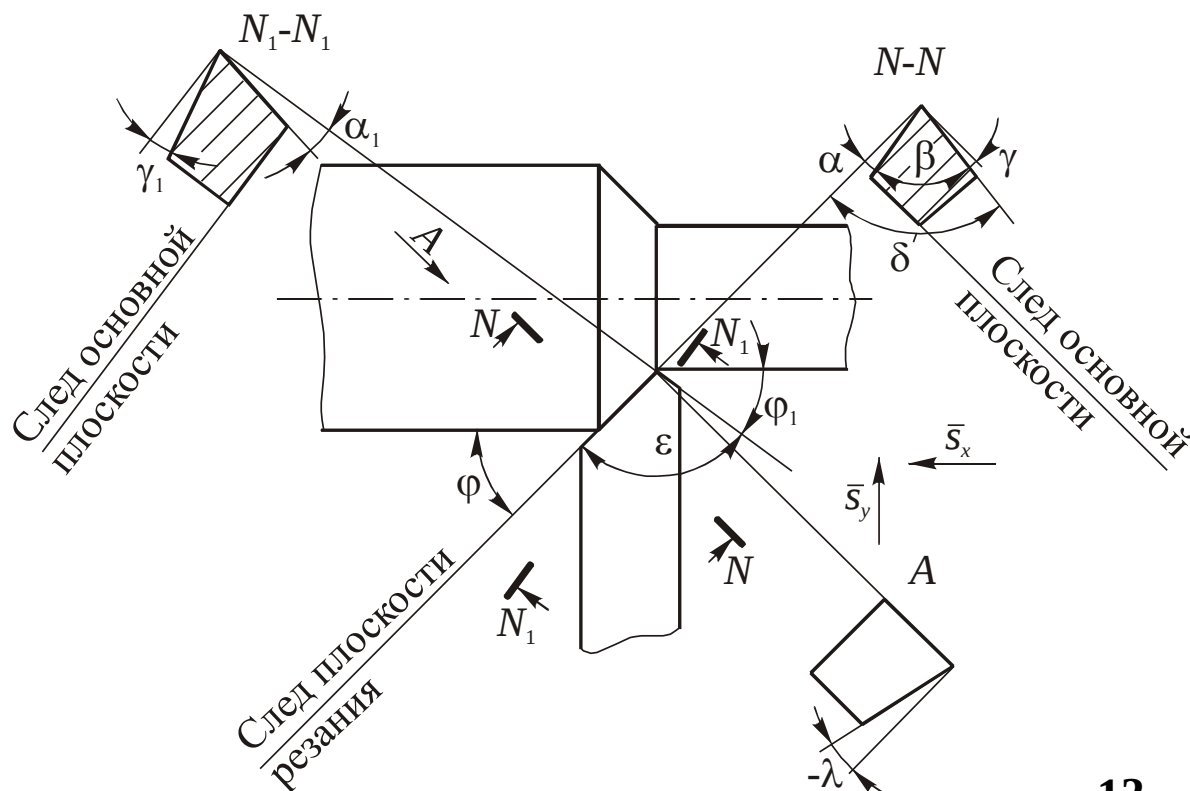
Она проходит
перпендикулярно основной
плоскости и проекции главной
режущей кромки на основную
плоскость.



Плоскость $N-N$ называется **главной секущей плоскостью**(定义见12页), так как именно в ней и параллельных ей плоскостях, проходящих через любые точки главной режущей кромки, происходит процесс **деформирования** обрабатываемого материала при его переходе в стружку. $N-N$ 平面称为主切削平面, 因为在此平面和平行于它的平面(经过主切削刀的任意点), 当产生刨花的时, 被加工材料会形成形变。 В главной секущей плоскости измеряются **главный передний угол γ** - угол между передней поверхностью резца (или касательной к ней) и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания(плоскости резания与主切削刃和速度方向相切) в рассматриваемой точке главной режущей кромки; **главный задний угол α** - угол между главной задней поверхностью резца (или касательной к ней) и плоскостью резания; **главный передний угол γ** - 刀具的前表面(或切线切角)与切削面的垂面相夹的角, 顶点在主切削刃上; **главный задний угол α** - 刀具的主后表面(或切线的主切面)与切削平面之间的角度;

угол резания δ - угол между плоскостью резания и передней поверхностью резца (или касательной к ней); **切削角 δ -切割平面与切刀正面（或切线）之间的角度；** **угол заострения β** - угол между главной задней и передней поверхностями резца (или касательными к ним): $\beta=90^\circ - (\alpha+\gamma)$. **锥角 β -刀具的主后表面和前表面（或切线）之间的角度： $\beta=90^\circ - (\alpha+\gamma)$ 。**

Аналогично и в сечении
вспомогательной режущей кромки резца
вспомогательной секущей
плоскостью N1-N1（垂直于 **основная**
плоскость并且与**辅助切削刃**在 **основная**
плоскость的投影垂直同样，在带有辅助切割平面**N1-N1**
的刀具的辅助切割边缘区域中。



Углы в главной секущей плоскости (*продолжение*)主切平面中的角 (续)

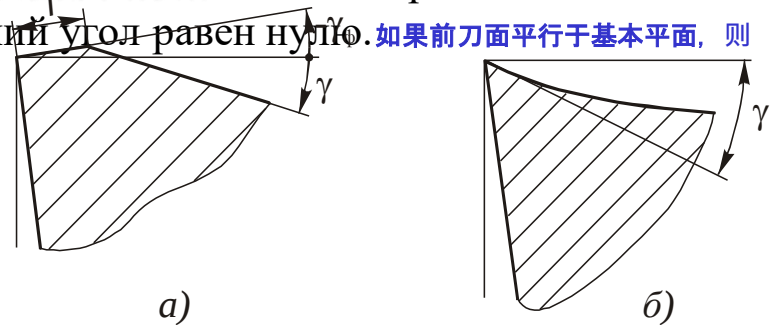
При измерении переднего угла следует учитывать, что в зависимости от положения передней поверхности (不对, 应该是垂直于主切削平面的平面) относительно основной плоскости **передний угол γ** может иметь **положительное** или **отрицательное** значения. 在测量前角时, 应牢记, 取决于前表面相对于切削平面的垂面的位置, 前角 γ 可以具有正值或负值。В первом случае передняя поверхность резца направлена вниз от режущей кромки, а во втором случае – вверх от нее. 在第一种情况下, 刀具的前表面从切削刃指向下方, 在第二种情况下, 刀具从切削刃向上指向。(正值角中无实体, 负值角中有实体) Если передняя поверхность параллельна основной плоскости, то передний угол равен нулю. 如果前刀面平行于基本平面, 则前刀角为零。

前刀角为硬合金刀具 с целью упрочнения режущего клина **楔** переднюю поверхность часто затачивают **磨锐** с двумя передними углами. 对于硬质合金刀具, 为强化切削楔, 前刀面通常在两个前刀角处变尖。

При этом **передний угол по фаске** затачивают отрицательным $\gamma_{\phi}=(-5^{\circ}\dots-15^{\circ})$, **длина фаски倒角 $f \approx (0,2\dots0,8) \cdot a$** , 在这种情况下, 沿倒角的前角以负 $\gamma_f = (-5^{\circ}\dots-15^{\circ})$ 锐化, 倒角的长度为 $f \approx (0,2 \dots 0,8) \cdot a$, где **a – толщина срезаемого слоя**, которая зависит от рабочей подачи s и главного угла в плане φ :

$a = s \cdot \sin \varphi$, мм. 其中 a 是切割层的厚度, 取决于工作进给 s 和主角度 φ : $a = s \cdot \sin \varphi$, мм。

Передний угол за фаской чаще всего выполняют положительным. 倒角后面的前角通常是正的。Если передняя поверхность криволинейная, то передний угол измеряют между основной плоскостью и плоскостью, касательной **相切** к криволинейной передней поверхности резца. 如果前刀面是弯曲的, 则前角是在主平面和与刀具的弯曲前刀面相切的平面之间测量的。

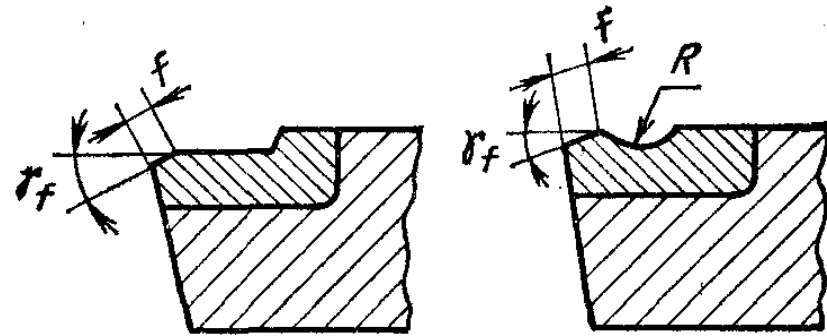


Оптимальным **最佳** главным передним углом считается $\gamma=+15^{\circ}$ при обработке чистой поверхности **незакалённой未硬化 стальной заготовки** /средней и малой твёрдости резцом из **быстрорежущей стали**, и **$\gamma=+10^{\circ}$ – резцом с твёрдосплавной пластиной**. 当使用高速钢刀具加工中硬度和低硬度的未硬化钢工件的清洁表面时, 最佳主前角为 $\gamma=+15^{\circ}$, 而使用带有硬质合金刀片的刀具则为 $\gamma=+10^{\circ}$ 。Если выполняется **черновая обработка или с ударами打锤**, то оптимальный угол $+5^{\circ}$ и 0° соответственно **进行粗加工或锤击时, 最佳角度分别为 5° 和 0°** . При обработке **закалённой заготовки или с твёрдой коркой** $\gamma=-5^{\circ}\dots-10^{\circ}$, при обработке **труднообрабатываемых материалов, например, титановых или жаропрочных сплавов** – до -25° . 当加工硬化的工件或带有硬皮的 $\gamma=-5^{\circ}\dots-10^{\circ}$ 时, 当加工难加工的材料(例如钛或耐热合金)时, 最高 -25° 。При обработке **алюминиевых сплавов** для предотвращения **предупреждения** налива **堆积** сходящей стружки на переднюю поверхность инструмента используются большие положительные передние углы γ – до $+30^{\circ}$. 在加工铝合金时, 使用大的正前角 γ -高达 $+30^{\circ}$, 以防止切屑堆积在工具的前表面。

Углы в главной секущей плоскости (продолжение)主切平面中的角 (续)

Для завивания стружки и уменьшения силы резания на передней поверхности инструмента часто шлифуется **канавка** радиусом R , параллельно или под небольшим углом к главной режущей кромке. 为了使切屑卷曲并减小切削力, 通常在刀具的前表面上磨出一个半径为 R 的凹槽, 该凹槽平行于主切削刃或与主切削刃成微小角度。

Величина радиуса и глубина канавки h зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала и режимов резания, и обычно подбирается опытным путём ($R \approx 2 \dots 10$ мм, $h \approx 0,3 \dots 3$ мм). 凹槽的半径和深度 h 的值取决于工件材料的物理和机械性能以及切削条件, 通常根据经验选择



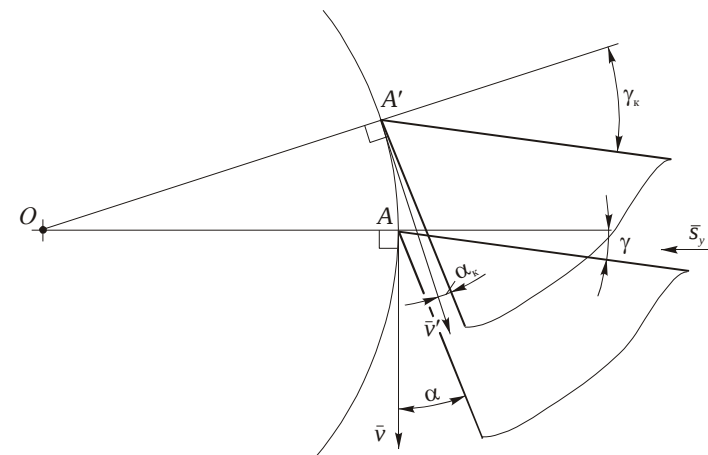
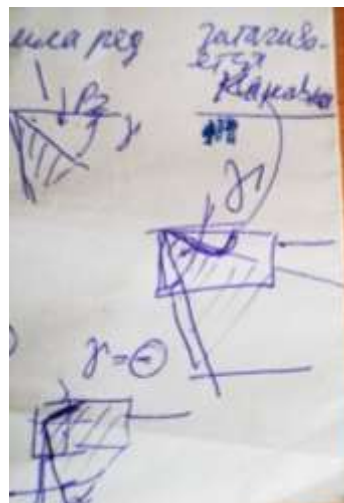
При получистовой и чистовой обработке **незакалённой стали** и других нетвёрдых материалов, канавка используется отдельно без заточки **削尖** фаски и выходит к главной режущей кромке. 对于在非硬化钢和其他非硬质材料上的半精加工和精加工, 该凹槽可单独使用而无需削尖倒角, 并延伸到主切削刃。 Наличие канавки позволяет **увеличить** главный передний угол γ на участке контакта передней поверхности со стружкой без её существенной заточки с требуемым передним углом, 凹槽的存在使得可以在前表面与切屑接触的区域中增大主前角 γ , 而不会在所需的前角上明显变尖, что позволяет сохранить достаточную прочность режущего клина **楔 (就是刀具)**, уменьшить трудоёмкость заточки и расход инструментального материала. 这使您可以保持足够的切削楔强度, 减少磨削的复杂性和工具材料的消耗。

Влияние положения режущей кромки относительно оси центров станка

切削刃位置相对于机床中心轴线的影晌

При поперечной подаче резца на величины **кинематических переднего и заднего углов** оказывает влияние положение вектора скорости резания, через который проходит плоскость резания. 随着刀具的横向进给, 切削速度矢量的位置会影响运动前后角度的值进而影响切削平面 Если вершина резца из точки смещена вверх в точку относительно оси центров токарного станка, то кинематический передний угол увеличивается, а кинематический задний угол уменьшается на эту же величину. 如果刀具的尖端相对于车床中心轴线从一个点向上移动到一个点, 则运动前角增大, 运动后角减小相同的量。(主前角 γ -刀具的前表面(或切线切角), 切削面的垂面相夹的角, 顶点在主切削刃上); При смещении вершины резца вниз относительно оси центров наблюдается обратная картина. 当切刀的尖端相对于中心轴向下移动时, 观察到相反的图像。 Положительный передний угол γ затачивается для облегчения利于 образования стружки и уменьшения силы резания. 正前角 γ 磨锐以利于切屑形成并减小切削力(这里的磨锐是指将刀磨锐, 也就是主前角增大, 减小切削力)

Положительный задний угол α создают для уменьшения трения между поверхностью резания и задней поверхностью резца. 产生正间隙角 α 以减小切削表面和刀具侧面之间的摩擦。 С увеличением заднего угла прочность режущего клина снижается. 随着后角的增加, 切削楔的强度会降低。 Поэтому в зависимости от нагрузки на режущий клин, а также от прочности инструментального материала и условий резания чаще всего задний угол $\alpha=6...10^\circ$ 因此, 取决于切削楔上的载荷以及工具材料的强度和切削条件, 通常间隙角 $\alpha=6...10^\circ$



В плоскости резания (вид на главную режущую кромку) измеряют угол наклона главной режущей кромки λ - угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью. 在切削平面（主切削刃的视图）中，测量主切削刃 λ 的倾斜角度-主切削刃与主平面之间的角度。

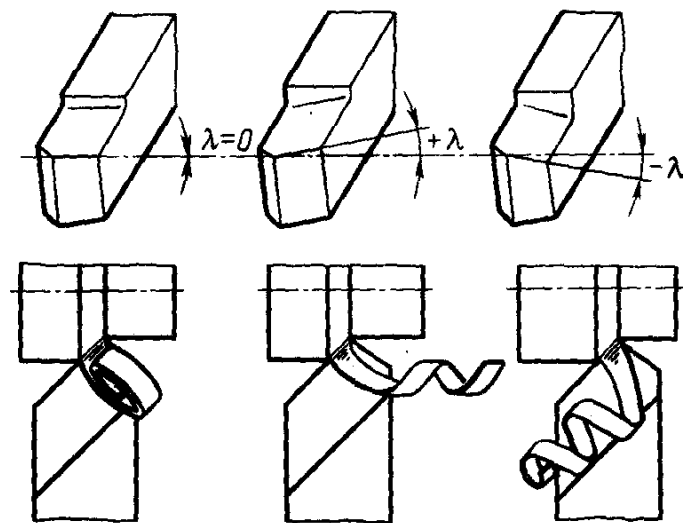
Угол наклона главной режущей кромки λ также, как и передний угол, оказывает влияние на процесс деформирования материала заготовки через изменение направления схода стружки по передней поверхности инструмента. 主切削刃的倾斜角度 λ 以及前角通过改变沿刀具前表面的切屑流动方向来影响工件材料的变形过程。 Угол λ принято считать **положительным**, когда наиболее уязвимая **слабая** для разрушения вершина резца занимает наинизшее положение по сравнению с другими точками главной режущей кромки. 与主切削刃的其它点相比，当刀具的尖端位于最低位置时刀具最容易断裂，角度 λ 被认为是正的（角间有实体为证）。 Благодаря этому вершина резца предохраняется от повреждений, особенно при прерывистом резании и работе с ударными нагрузками. 这样可以保护切削器的尖端免受损坏，尤其是在切割中断和承受冲击载荷时。 При положительных углах **стружка сходит в направлении к обработанной поверхности** и, царапая ее, увеличивает шероховатость последней. 切屑以正角朝加工后表面的方向脱落，并且通过刮擦它而增加了加工后u表面的粗糙度。

На **чистовых операциях** применяют **отрицательные** значения угла λ , так как в этом случае нагрузка на режущий клин относительно невелика, а стружка отводится в направлении **от обработанной поверхности**. 在精加工操作中，使用角度 λ 的负值，因为在这种情况下切削楔上的负载相对较小，并且切屑从加工表面转移开。

В этом случае вершина резца по сравнению с другими точками главной режущей кромки занимает наивысшее положение. 在这种情况下，与主切削刃上的其他点相比，刀具的刀头处于最高位置。 Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то угол **$\lambda=0^\circ$ - это наиболее часто**. 如果主切削刃平行于主平面，则最常见的角度是 $\lambda=0^\circ$ 。

Наличие **отрицательного λ** ослабляет **вершину резца**, поэтому рекомендуется уменьшать подачу и глубину резания в

1,5...2 раза против обработки с нулевым λ . 负 λ 的存在会削弱刀具的刀尖；因此，相对于零 λ 的加工，建议将进给量和切削深度减少1.5...2倍。



На практике при измерении угла часто исходят из другого, более общего, определения: угол λ - это угол между **вектором скорости резания и перпендикуляром к главной режущей кромке** 实际上，在测量角度时，它们通常从另一个更一般的定义开始：角度 λ 是切削速度矢量和垂直于主切削刃的角度之间的角度。

Формы поперечного сечения срезаемого слоя 切层的横截面形状

Срезаемый слой при точении проходными резцами определяется толщиной и шириной, которые связаны с технологическими параметрами: подачей и глубиной резания. 直刀车削时的切削层取决于厚度和宽度，该厚度和宽度与工艺参数：进给和切削深度有关。

Толщина среза a и ширина среза b :

$$a = s \sin \varphi;$$

$$b = t / \sin \varphi.$$

При этом номинальная площадь сечения срезаемого слоя $F_H = ab = st$

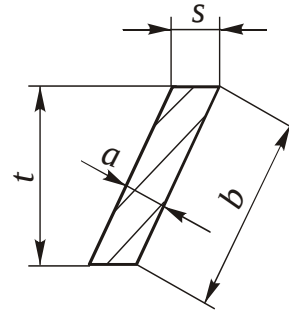
Фактическая площадь

сечения среза меньше площади параллелограмма на величину площади гребешков (микронеровностей), остающихся на обработанной поверхности 切口的实际截面积小于平行四边形面积除以处理表面上残留的扇贝（微粗糙度）的面积

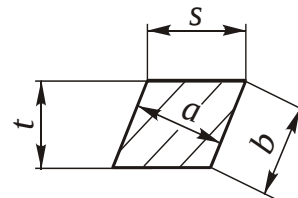
$$F_{\phi} = F_H - F_{гр} = st - sRz / 2$$

где Rz - высота гребешков. 扇贝的高度。

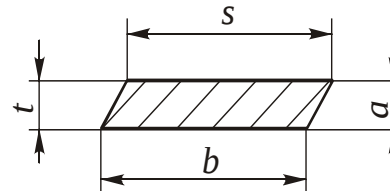
$s < t$



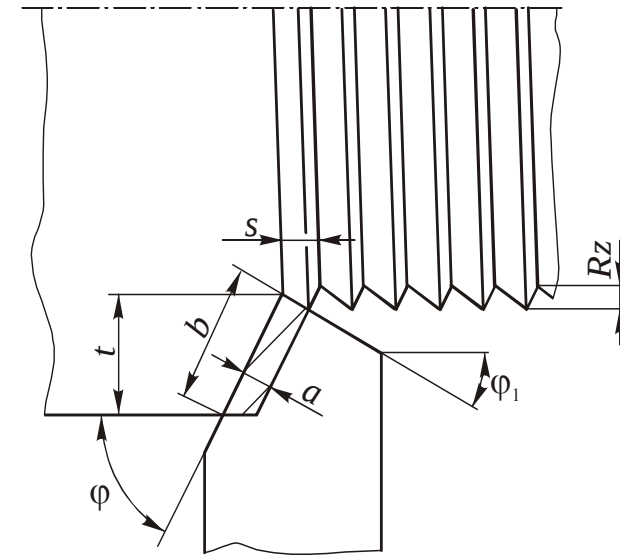
$s = t$



$s > t$



а)



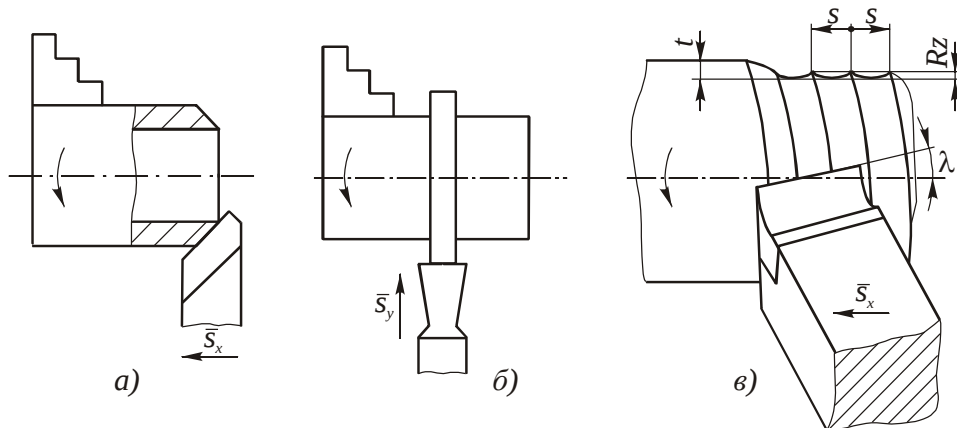
б)

Виды резания 切割方式

Главный угол в плане ϕ оказывает большое влияние на соотношение a/b . 入射角 ϕ 对 a/b 比具有很大的影响。С уменьшением угла ϕ срезаемый слой становится тоньше и шире, что увеличивает степень его деформации, увеличивает составляющие P_z , P_y силы резания, но уменьшает составляющую P_x , улучшает отвод тепла, а значит увеличивает стойкость инструмента. 随着角度 ϕ 的减小, 切削层变得越来越薄 (b), 变厚 (a), 变形程度增加, 切削力的 P_z , P_y 分量增加, 但是 P_x 分量减少, 改善了散热, 从而延长了刀具寿命。В связи с тем, что при $\phi < 45^\circ$ резко возрастает радиальная нагрузка P_y на заготовку и инструмент, на практике главный угол в плане обычно берут в пределах $\phi = 45 \dots 90^\circ$. 由于在 $\phi < 45^\circ$ 时, 工件和工具上的径向载荷 P_y 急剧增加, 实际上, 平面图中的主角度通常取在 $\phi = 45 \dots 90^\circ$ 范围内。

При схеме **свободного резания** (a , b) обработанная поверхность получается после прохода только **одной режущей кромки**. 使用自由切削方案 (a , b), 仅通过一个切削刃即可获得加工表面。При **несвободном резании** в нём участвует **две и более режущих кромки** (главная, вспомогательная и др.) (e). 如果是非自由切削, 则涉及两个或多个切削刃 (主, 辅助等) (c)。

При **прямоугольном** (ортогональном) резании **подача s направлена перпендикулярно главной режущей кромке** (b), стружка сходит в направлении, перпендикулярном к режущей кромке. 在矩形 (正交) 切削中, 进给 s 垂直于主切削刃 (b), 切屑沿垂直于切削刃的方向脱落。При **косоугольном** резании (при наличии угла λ) она отклоняется от нормали примерно на этот же угол. 通过倾斜切割 (在存在角度 λ 的情况下), 它 (切屑) 会偏离法线大约相同的角度。При движении подачи с $\phi \neq 90^\circ$ также считается **косоугольное резание**. 当进给运动为 $\phi \neq 90^\circ$ 时, 也应考虑斜切。При **прямоугольном** свободном резании деформация металла при переходе в стружку происходит в плоскости, **перпендикулярной к режущей кромке**. 在矩形自由切削中, 金属向切屑过渡期间的变形发生在垂直于切削刃的平面上。При **косоугольном** резании деформация идет одновременно и в плоскости, **параллельной главной режущей кромке**. 在倾斜切削中, 变形在平行于主切削刃的平面内同时发生。

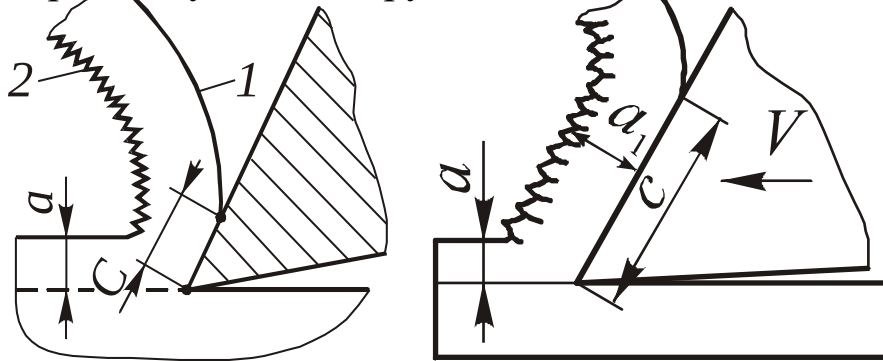


Деформации срезаемого слоя при свободном прямоугольном резании.

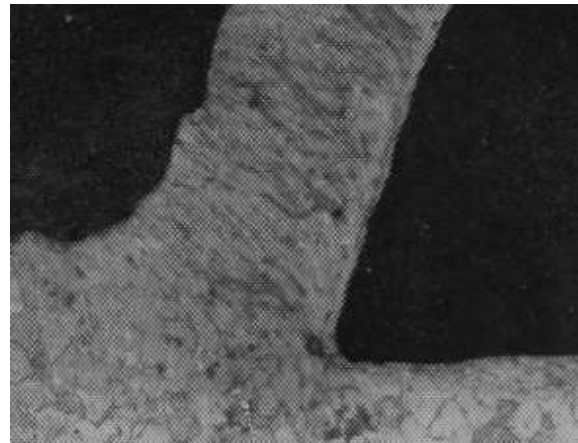
Виды стружки

Одно из первых исследований процесса стружкообразования выполнил русский ученый И.А. 切屑形成过程的最早研究之一是由俄罗斯科学家I.A. Тиме (1870 г.). Он предложил классификацию стружек, которая оказалась настолько удачной, что сохранилась в основном и до настоящего времени. 他提出了刨花的分类方法, 该方法非常成功, 以至于在很大程度上一直存在至今。 Согласно этой классификации по внешнему виду и внутреннему строению при резании конструкционных сталей стружка бывает следующих типов: 根据该分类, 就外观和内部结构而言, 切割结构钢时, 切屑具有以下类型: сливная (а), элементная (б), суставчатая (в) и надлома (г). 排屑 (а), 元素 (б), 关节 (с) 和裂缝 (д)。

Сливная стружка 溢流屑 (рис. а) представляет собой непрерывную ленту, которая в зависимости от условий схода по передней поверхности инструмента может быть прямой, спиральной 螺旋形 или в виде хаотических завитков 混沌卷发. 溢流屑 (图A) 是连续的带, 根据沿工具前表面下降的条件, 该带可以是直的, 螺旋形的, 也可以是混沌卷发的形式。 **Прирезцовая** сторона стружки **1**, прилегающая к передней поверхности инструмента, гладкая, блестящая 切屑的切刀侧面1, 靠近刀具的前表面, 光滑, 有光泽,, а **внешняя сторона 2** – в виде мелких, постоянно чередующихся **зубчиков**. 外侧2是小的, 不断交替的小齿的形式。 Цвет стружки в зависимости от температуры резания изменяется от белого и желтого до матово серого и синего. 切屑的颜色取决于切割温度, 从白色和黄色到无光泽的灰色和蓝色。 Форма и размеры поперечного сечения стружки по всей длине постоянны, что свидетельствует о стабильности деформации, происходящей при образовании такой стружки. 在整个长度上切屑横截面的形状和尺寸是恒定的, 这表明了在这种切屑形成期间发生的变形的稳定性。 Сливная стружка встречается при резании пластичных металлов в основном на больших скоростях, малых и средних подачах, а также при положительных передних углах инструмента. 当主要以高速, 低速和中速进给以及正前角切削可塑性金属时, 会发现溢屑。

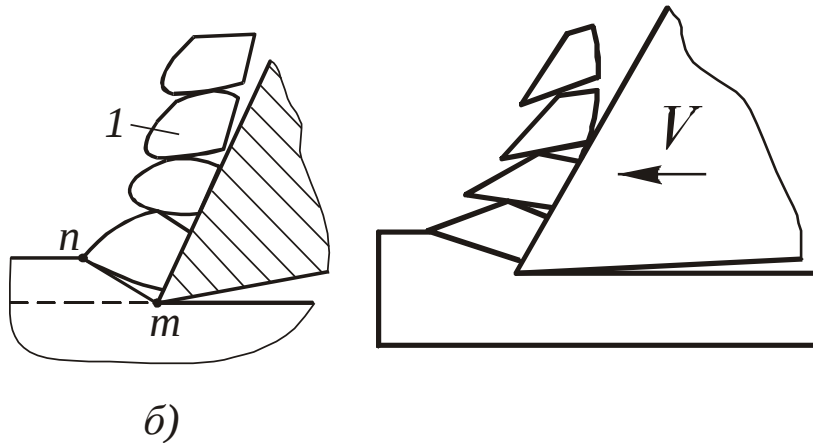


а)



Виды стружки (продолжение)

Элементная стружка基本刨花 (рис. б), или, как ее иногда называют, **стружка скалывания**, состоит из отдельных элементов (кусочков) металла 1, не связанных или слабо связанных между собой прирезцовым слоем **切牙层.基本刨花 (图б) 或有时称为碎屑的刨花由金属1的单独元素 (片) 组成, 未与切削层连接或弱互连**。Каждый элемент стружки при его формировании претерпевает значительную деформацию и становится в 2...3 раза тверже по сравнению с исходной твердостью обрабатываемого материала. **每个切屑元件在其形成过程中都会发生明显的变形, 其硬度比被加工材料的初始硬度高2到3倍**。Вследствие этого срезаемый слой, проходя через так называемую поверхность скалывания, теряет свою пластичность **可塑性** и разрушается с определенной периодичностью. **结果, 穿过所谓的劈裂面的切割层失去了可塑性并且以一定的频率出现**。Элементная стружка образуется **при резании хрупких металлов脆性金属** (чугун, бронза и др.), а также при резании **на невысоких скоростях пластичных металлов, при больших толщинах (а) срезаемого слоя, малых передних углах, высокой твердости** обрабатываемых металлов и других условиях, затрудняющих **妨碍** пластическую деформацию. **切削脆性金属 (铸铁, 青铜等) 时, 以及以低速切削塑性金属时, 会形成元素屑, 切削层厚度大, 前角小, 加工金属的硬度高以及其他导致塑性变形困难的条件。 (γ变尖以利于切屑形成并减小切削力。)**



Виды стружки (продолжение)

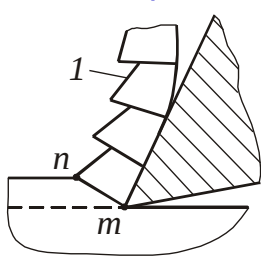
Суставчатая стружка 关节屑 (рис. **в**) является **переходной от элементной стружки к сливной**.

Она состоит из **отдельных суставов 关节 (элементов) 1**, связанных между собой **прочно 牢固** (тогда она ближе к **сливной** стружке) или **слабо 虚弱地** (тогда она ближе к **элементной** стружке). 关节屑 (图C) 是从基本屑到排水的过渡。它由单独的接头 (元件) 1 组成, 它们牢固连接 (然后靠近排水芯片) 或较弱 (然后靠近基本芯片) 连接。Такой вид стружки часто встречается при резании **высоколегированных сталей 高合金钢** и **титановых сплавов. 钛合金**。切削高合金钢和钛合金时通常会发现这种类型的切屑。

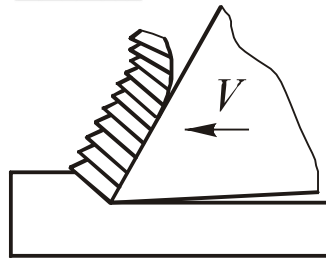
Стружка надлома 断裂的刨花 (рис. **г**) состоит из отдельных не связанных между собой **кусочков**, имеющих **различные размеры и форму**. 断裂的刨花 (图D) 由各种大小和形状的独立的, 未连接的碎片组成。Она встречается **при резании весьма хрупких материалов 切割非常脆弱的材料**时会发生这种情况。При этом **скол отдельных кусочков** металла происходит по поверхности, часто располагаемой **ниже линии среза**. 在这种情况下, 单个金属碎片会沿着通常位于切割线下方的表面发生碎裂。

Стружка отрыва 剥落 (рис. **д**) состоит из **комка**. Она встречается **при резании весьма мягких материалов** или некоторых металлов, склонных **склонных 倾向** к налипанию **粘附** на передние поверхности инструментов. 剥屑 (图E) 由一块块组成。当切削非常软的材料或某些 **倾向于粘附在工具正面的金属**时, 会发生这种情况。При этом отрыв металла происходит по поверхности, часто располагаемой **ниже линии среза**. 在这种情况下, 金属会沿着通常位于切割线下方的表面被撕掉。

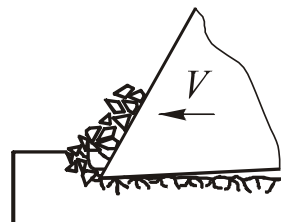
На практике при резании пластичных металлов (сталей и сплавов) и особенно на высоких скоростях **чаще всего встречается сливная и суставчатая стружка**. 实际上, 在切割 **易延展的金属 (钢和合金)** 时, 尤其是在 **高速切削**时, 最经常遇到排屑和接缝屑。



в)



г)



д)

Схема стружкообразования члс形成图

Впервые схему стружкообразования при резании предложил И.А. Тиме (1870 г.), а затем ее развил К.А. Зворыкин (1893 г.). За рубежом (США) эти схемы повторил М.Е. Merchant (1945 г.). И.А.首次提出切削过程中切屑形成方案。蒂姆 (1870年), 然后由К.А.开发。兹沃里金 (1893)。在国外 (美国), М.Е.重复了这些计划。商人 (1945)。

Согласно схеме И.А. Тиме срезаемый слой толщиной превращается в стружку толщиной путем сдвига 转移 бесконечно тонких слоев материала в плоскости ОА, расположенной к плоскости резания под углом наклона условной плоскости сдвига Φ . 根据I.A. 随着时间的流逝, 具有一定厚度的切割层可以通过在OA平面中移动无限薄的材料层 (条件切割面与切割平面的夹角为 Φ) 而转换为具有一定厚度的刨花。В результате деформации обрабатываемого материала при его переходе в стружку её толщина a_1 становится больше толщины срезаемого слоя a , а ее длина l_1 - короче пути l , пройденного резцом. 由于加工材料在转变成切屑期间的变形, 其厚度 a_1 变得大于切割层 a 的厚度, 并且其长度 l_1 短于切割器行进的路径 l 。Это явление И.А. Тиме назвал усадкой стружки (коэффициент усадки стружки по длине $K_l = l / l_1 > 1$). 这种现象 Thime 称为切屑的收缩 (切屑沿长度 K_l 的收缩系数 $= 1 / l_1 > 1$)。Часто для упрощения измерения используется коэффициент усадки по толщине $K_a = a_1 / a > 1$. Недостаток схемы И.А. Тиме – она предполагает существование единственной плоскости, в которой происходит деформирование срезаемого слоя. И.А.的缺点 时间-假设存在一个平面, 其中切割层会发生变形。В этом случае в плоскости сдвига ОА скорость перемещения частиц материала должна изменяться мгновенно от скорости резания v до скорости перемещения стружки v_1 ($v > v_1$) в этой ситуации, в плоскости ОА, материал перемещается со скоростью v до скорости перемещения стружки v_1 ($v > v_1$)。

Тогда в условной плоскости сдвига должны иметь место бесконечно большие градиенты напряжения и ускорения, что противоречит законам механики. В действительности

имеется переходная зоны между срезаемым припуском и стружкой. 然后, 在常规的剪切面上, 应力和加速度的梯度应无限大, 这与力学定律相矛盾。实际上, 要切割的库存和切屑之间有一个过渡区。

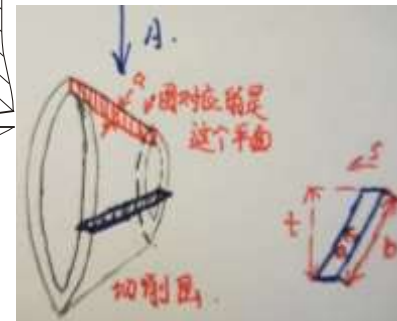
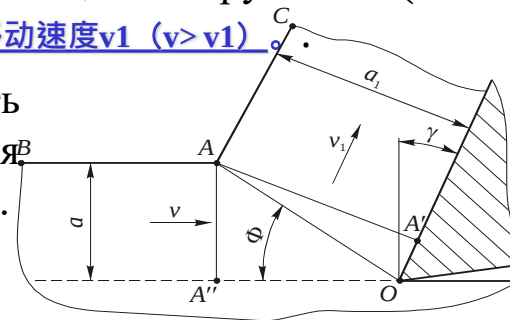
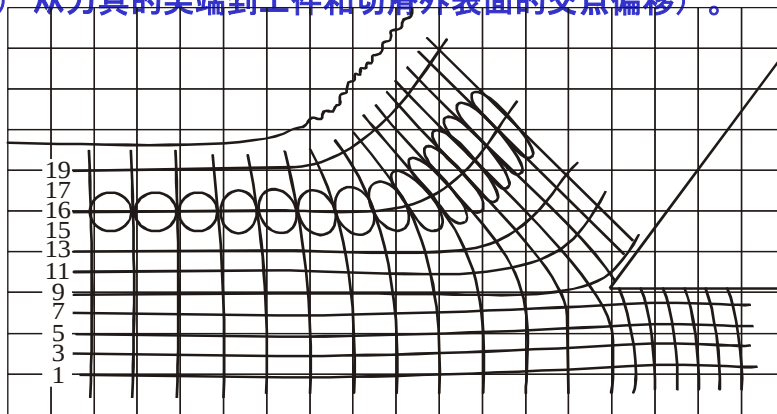
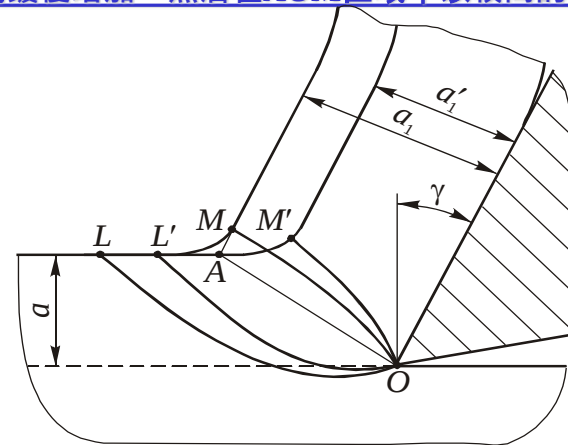


Схема стружкообразования (продолжение)

При резании на **микроскоростях** (несколько мм/мин) высокопластичных металлов (медь, латунь) по **искажению** 变形 делительной сетки, нанесенной на боковую поверхность среза 切口 в виде квадратов или **окружностей** (а), было доказано существование **зоны стружкообразования клинообразной формы** (б), имеющей начальную OA и конечную OM границы. 当以高塑性金属 (铜·黄铜) 以微速 (几毫米/分钟) 切削时, 通过以正方形或圆形的形式施加上到切削侧面的分隔网格的变形证明存在具有初始 OA 的楔形切屑形成区 (б)。以及边界的最终 OM 。 Было установлено, что **процесс пластической деформации начинается впереди резца** на границе OL , имеющей криволинейную форму, которая в некоторых случаях располагается даже **ниже линии среза**. 已经发现, 塑性变形的过程开始于切割器的前面, 在边界 OL 处, 边界 OL 具有弯曲的形状, 在某些情况下甚至位于切割线的下方。 **Степень деформации ε** , рассчитанная по искажению делительной сетки, а также путем **измерения микротвердости** 测量从 OL 线到 OM 线的切割层点处的显微硬度 (Г.Д. Дель) в точках срезаемого слоя от линии OL к линии OM возрастает сначала медленно, а затем в зоне AOM с большей скоростью (здесь OA - **условная плоскость сдвига**, проведенная из **вершины резца** в **точку пересечения наружных поверхностей заготовки и стружки**). 由分隔网格的变形以及通过测量从 OL 线到 OM 线的切割层点处的显微硬度 (G.D. Del) 计算出的变形度 ε 先缓慢增加, 然后在 AOM 区域中以较高的速度增加 (此处的 OA 为条件平面) 从刀具的尖端到工件和切屑外表面的交点偏移)。



а)



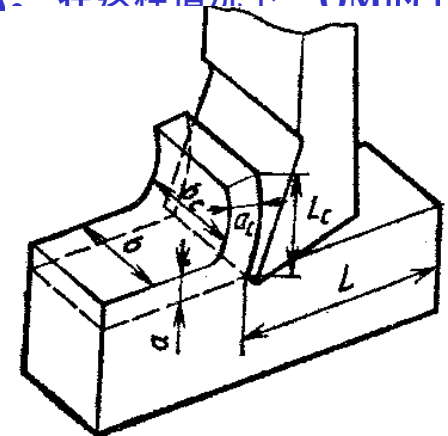
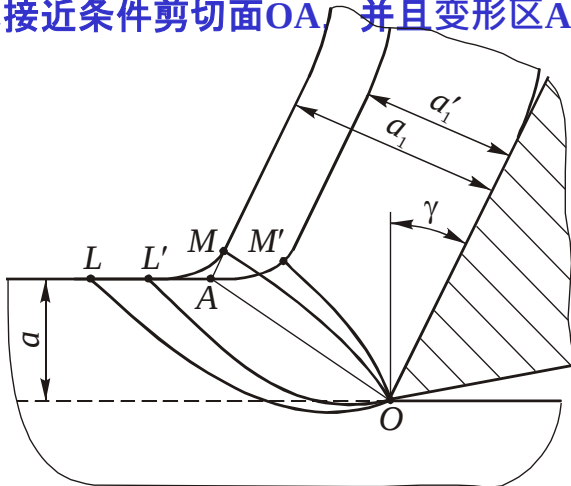
б)

Искажения (а) координатной сетки, полученной методом вдавливания индентора (Г.Л. Куфарев) и схема стружкообразования (б), характерная для обработки на микроскоростях

Схема стружкообразования (продолжение) 切屑形成方案 (续)

При увеличении скорости резания на обычных скоростях, применяемых в практике, усадка 收缩 стружки уменьшается, а границы зоны OL и OM поворачиваются по ходу часовой стрелки 箭 и сближаются 越来越近, занимая, соответственно положения OL' и OM' . 随着在实践中以正常速度使用时切削速度的增加, 切屑的收缩减小, 并且区域OL和OM的边界顺时针旋转并彼此接近, 分别占据了位置OL'和OM'. При этом толщина фактической зоны деформации в районе условной плоскости сдвига составляет десятые доли миллиметра. 在这种情况下, 在条件剪切平面区域中的实际变形区的厚度为十分之一毫米。 Поэтому после протравливания 刻蚀 кислотой 酸 шлифов 薄部分 «корней 根部» стружки эта зона выглядит как плоскость, разделяющая срезаемый слой и стружку. 因此, 在酸蚀切屑的“根部”之后, 该区域看起来像是将切割层和切屑分开的平面。 Особенно наглядно это видно по текстуре «корней» стружек, полученных при мгновенной остановке процесса резания сталей. 在立即停止钢切割过程时获得的刨花“根”的质地中, 这一点尤其明显。

Сужение 变窄 зоны деформации при резании объясняется тем, что с увеличением скорости резания возрастает скорость деформации $\dot{\epsilon}$, вследствие чего происходит запаздывание пластических деформаций. 切削过程中变形区变窄的事实是, 随着切削速度的增加, 变形率随之增加, 结果是塑性变形有所延迟。 Это приводит к приближению границы OL к условной плоскости сдвига OA . При этом верхняя граница OM также приближается к условной плоскости сдвига OA , а толщина зоны деформации AOM резко уменьшается. 这导致边界OL接近条件剪切平面OA. 在这种情况下 OM的上边界也接近条件剪切面OA, 并且变形区AOM的厚度急剧减小。



Микрофотография «корня» стружки (Б.М. Орлов)

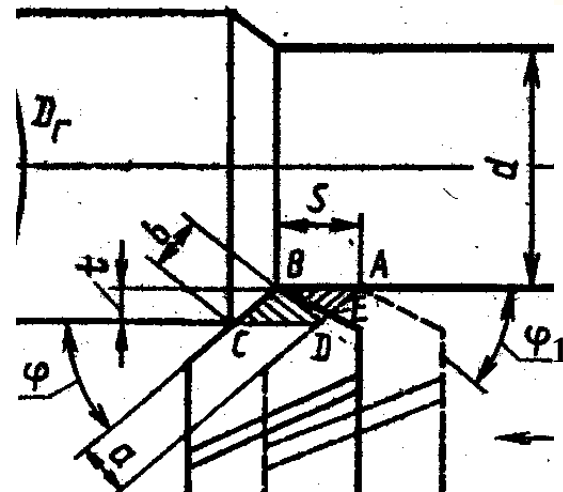
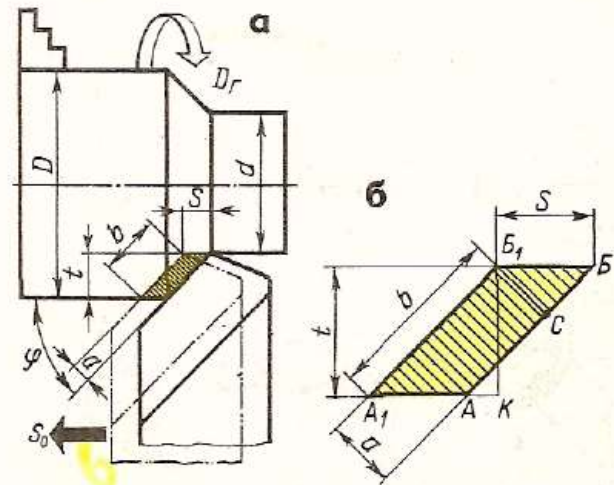
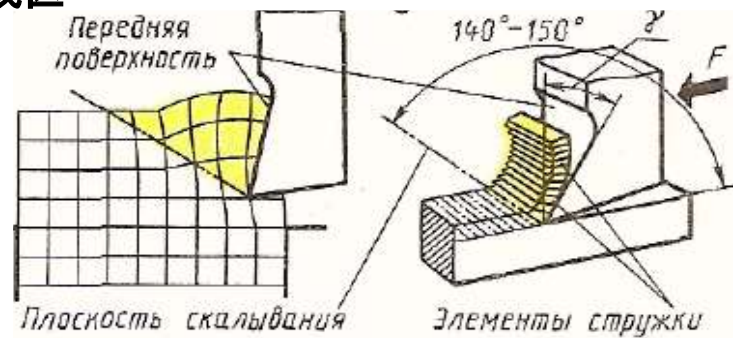
Процессы в зоне стружкообразования

过程

Образования стружки можно проследить на примере работы строгального резца **刨刀**. 在刨刀的例子中可以看到切屑的形成。 Резец, перемещаясь относительно обрабатываемой заготовки, с силой F (P_z) вдавливаясь **压入** в ее поверхностный слой, подлежащий удалению. **相对于工件运动的刀具, 在力 F (P_z) 的作用下被压入其表层以将其移除。**

Под действием этой силы сначала происходит **упругая деформация** удаляемого слоя заготовки, а затем, по мере увеличения перемещения и силы, и **пластическая деформация**. 在该力的作用下, 首先发生工件的去除层的弹性变形, 然后随着位移和力的增加而发生塑性变形以及塑性变形。 Срезаемый слой деформируется, отдельные его частицы смещаются относительно друг друга **切割层变形, 其各个粒子彼此相对移位**. Чем больше главный **передний угол γ** резца, тем легче происходит переход срезаемого слоя в стружку и тем меньше составляющая F силы резания. **刀具的主前角 γ 越大, 切削层向切屑的过渡就越容易, 切削力的分力 F 越低 (16页正前角 γ 变尖以利于切屑形成并减小切削力。)**

По мере продвижения **前进** инструмента деформация возрастает до тех пор, пока напряжение **应力** в деформируемом слое превысит предельно **最大** допустимое на срез, после чего происходит местное разрушение металла, т.е. скалывание **断裂** кусочка деформированного металла – элемента стружки по поверхности среза (скалывания). 随着工具的前进, 变形增加, 直到可变形层中的应力超过最大允许剪切, 此后发生金属的局部破坏, 即金属的破坏。 一块变形金属的切屑-沿切割 (切屑) 表面的切屑元件。 Таким образом, постепенно **逐渐** весь слой металла, подлежащий удалению, превращается в стружку. 因此, 待去除的整个金属层逐渐变成刨花。



Процессы в зоне стружкообразования (продолжение)切屑形成区中的工艺 (续)

Для удобства анализа процесса стружкообразования лучше начать рассмотрение со случая прямоугольного свободного резания при строгании пластины 被刨板 резцом, ширина которого больше ширины строгаемой пластины. 为了便于分析切屑形成过程, 最好在使用宽度大于所刨板宽度的刀具对板进行刨削时开始考虑矩形自由切削的情况 (切刀宽度比被刨板宽)。

В этом случае все процессы будут одинаковы в любом сечении, перпендикулярном главной режущей кромке, независимо от расстояния до боковой поверхности резца.在这种情况下, 无论与切刀侧面的距离如何, 在垂直于主切削刃的任何部分中所有过程都将是相同的。

При строгании резец движется со скоростью резания V . Толщина срезаемого слоя a при строгании равна глубине резания t .刨削时, 刀具以切削速度 V 移动。刨削过程中切削层 a 的厚度等于切削深度 t (прямоугольного свободного резания 满足 $t=a$)。Линия среза P_1-P_2 теоретически касается вершины режущей кромки и параллельна направлению скорости резания.切割线 P_1-P_2 理论上接触切割边缘的尖端, 并且平行于切割速度的方向。

Практически всегда режущая кромка имеет округление радиусом ρ вследствие износа или неизбежно образуется в процессе обычной заточки инструмента.切削刃由于磨损而几乎总是以半径 ρ 倒圆, 或者在正常的刀具磨削过程中不可避免地形成。При резании часть металла в точке O вдавливается 压入 под радиусный участок и проходит под задней поверхностью резца.切割时, 在点 O 处的一部分金属被压在半径部分的下方, 并穿过刀具的后表面。Поэтому фактически линия среза определяется линией $N-O-E-B-Q$.因此, 实际上, 切割线由 $N-O-E-B-Q$ 线定义。(理论上 P_1-P_2)

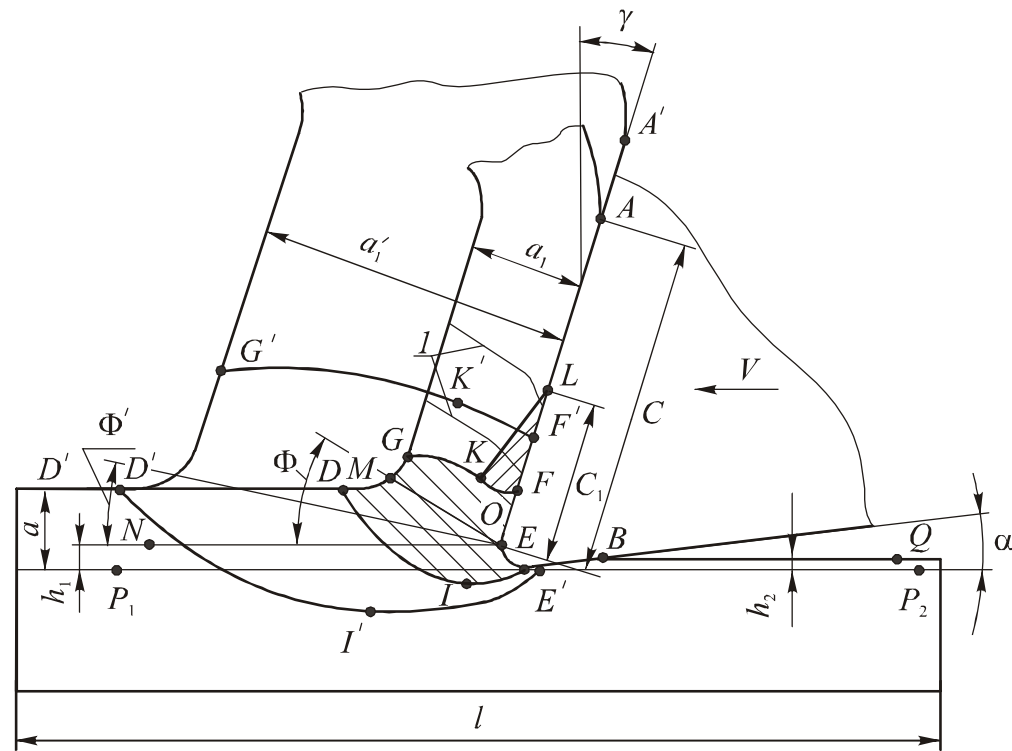
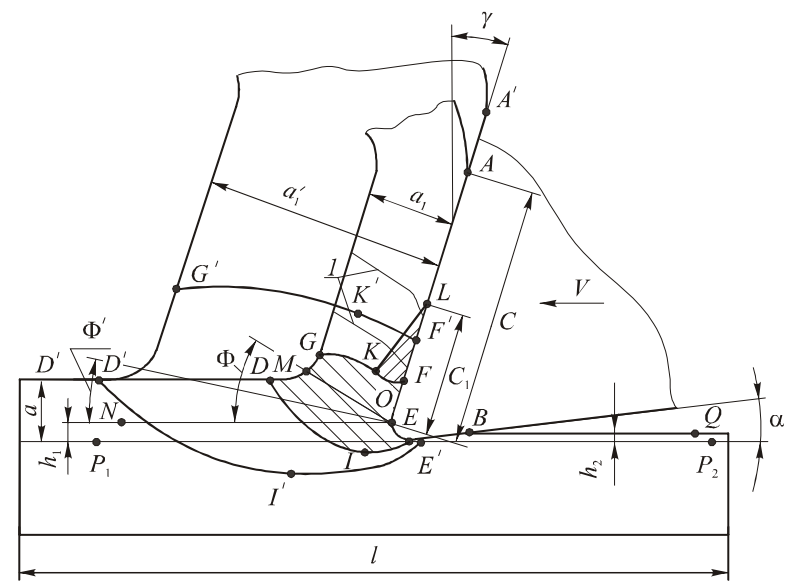


Схема упруго-пластической деформации в зоне стружкообразования при строгании пластины 平板刨削时切屑形成区的弹塑性变形方案

Процессы в зоне стружкообразования (продолжение)

Толщина слоя h_1 вдавливаемого под режущую кромку металла зависит от радиуса округления режущей кромки ρ , толщины срезаемого слоя a , механических свойств обрабатываемого материала и наличия нароста h_1 или застойной зоны обрабатываемого материала у режущей кромки. 在金属 h_1 的切削刃下方压制的层的厚度取决于切削刃 ρ 的倒圆半径 ρ , 切削层 a 的厚度, 加工材料的机械性能以及在切削刃处加工材料的堆积或停滞区的存在。 Обычно h_1 составляет от нескольких микрометров при чистовой обработке до десятых долей 十分之一 миллиметра при черновой обработке, 通常, h_1 的范围从精加工的几微米到粗加工的十分之一毫米, но при анализе явлений на передней поверхности инструмента в первом приближении ею можно пренебречь. 但是在第一次近似中分析工具正面的现象时, 可以忽略不计

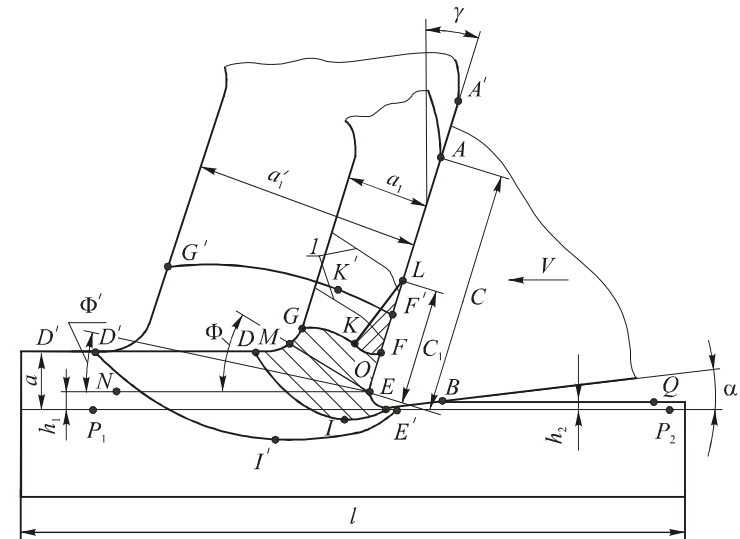


Величина упругого восстановления 回复 обработанной поверхности h_2 немного меньше h_1 и зависит от тех же факторов плюс выдавливание на боковые поверхности пластины и пластическая деформация металла на обработанной поверхности. 加工表面 h_2 的弹性回复值 h_2 略小于 h_1 , 并且取决于相同的因素, 再加上板侧面的挤压和加工表面上金属的塑性变形。 От величины h_2 в большой степени зависит глубина и степень пластической деформации обработанной поверхности, долговечность 耐久性 детали при её эксплуатации 操. h_2 的值很大程度上取决于深度和加工表面塑性变形程度, 零件在操作过程中的耐久性

При движении резца перед ним образуется зона первичной пластической деформации **主要的塑性变形区域**, в которой обрабатываемый металл деформируется уже не только упруго, но и пластически, и изменяет направление своего движения на параллельное относительно передней поверхности инструмента. **当刀具移动时, 在其前面会形成一个主要的塑性变形区域, 在该区域中, 被加工的金属不仅会发生弹性变形, 还会发生塑性变形, 并将其移动方向更改为平行于工具的前表面。 该区域的起点由D-I-E曲线定义, 终点由G-K-F曲线定义。** Начало этой зоны определяется кривой *D-I-E*, окончание – кривой *G-K-F*.

Процессы в зоне стружкообразования (продолжение)

Скорость деформаций $\dot{\epsilon}$ в этой зоне очень большая (力大变形小), на несколько порядков больше, чем при обычных испытаниях образцов на разрыв или сжатие.该区域的应变率非常高, 比常规的破裂或压缩测试高出几个数量级。 Большое влияние здесь оказывает скорость резания и температура, которая увеличивается вследствие пластической деформации.由于塑性变形而增加的切削速度和温度在这里影响很大。 Большая часть деформаций и изменений происходит вблизи поверхности, определяемой линией MO .大多数变形和变化都发生在 MO 线定义的曲面附近。 Чем меньше пластичность металла и больше скорость резания, тем меньше величина зоны первичной пластической деформации $D-I-E-O-F-K-G$, тем больше она сужается до плоскости MO , которую называют условной плоскостью сдвига.金属的可塑性越低, 切削速度就越高, 一次塑性变形区 $D-I-E-O-F-K-G$ 的尺寸越小, 它在 MO 平面上的宽度就越窄, 这称为常规剪切平面。 Такое название эта область получила в связи с принятием упрощения: условно считается, что вся пластическая деформация происходит только в этой зоне и по этой плоскости происходит сдвиг转移 обрабатываемого материала из слоя, подлежащего удалению, и преобразования его в стружку该区域在简化方面获得了这个名称: 通常认为, 所有塑性变形仅发生在该区域, 并且沿着该平面, 已加工的材料从要去除的层转移, 然后转换为切屑



Формирование элементной стружки со сдвигом элементов стружки по плоскости сдвига при строгании пластины (увеличено в 5 раз)刨板过程中, 随着切屑元素沿剪切平面的移动, 形成基本切屑 (增加了5倍)

Процессы в зоне стружкообразования (продолжение)

Наружная поверхность стружки, как правило, имеет пилообразный **锯齿** характер, что сказывается на точности измерения средней толщины стружки. **切屑的外表面通常具有锯齿状, 这会影响平均切屑厚度的测量精度。** При **пластической деформации** **объём срезаемого слоя ($\omega = l \times a \times b$) и объём стружки, снятой с этой длины ($\omega' = l_1 \times a_1 \times b_1$), равны, т.е. $\omega = \omega'$.** 在塑性变形期间, 切割层的体积 ($\omega = l \times a \times b$) 和从该长度去除的切屑的体积 ($\omega' = l_1 \times a_1 \times b_1$) 是相等的, 即 $\omega = \omega'$ 。 При вычислении объёмов используются следующие условные обозначения в **计算体积时, 使用以下约定**: l – длина пластины, с которой снята стружка **去除切屑的板的长度**; a – толщина среза (при строгании пластины это глубина резания t); **a-切割厚度 (在刨板时, 这是切割深度t)** b – ширина строганной пластины; **b是刨板的宽度 (因为刀比板宽)**; l_1 – длина непрерывной стружки, срезанной с пластины длиной l ; **l1是从长度为l的板上切下的连续刨花的长度**; a_1 – толщина стружки **a1-切屑厚度**; b_1 – ширина стружки **b1是芯片宽度**. Это свойство равенства объёмов используется при измерении **истинной усадки** стружки по длине: **当测量切屑沿长度方向的真实收缩率时, 将使用体积相等的属性: (刨屑比原长, 长等于宽乘深)**

$$l \times a \times b = l_1 \times a_1 \times b_1; l / l_1 = (a_1 \times b_1) / (a \times b); k_l = l / l_1 = (a_1 / a) \times (b_1 / b) = k_a \times k_b,$$

где k_l – **усадка стружки по длине** **kl是切屑沿长度方向的收缩率**; $k_a = a_1 / a$ **常大于1** – усадка стружки по толщине **ka = a1 / a-刨花厚度的收缩**; $k_b = b_1 / b$ – усадка стружки по ширине **kb = b1 / b-芯片宽度缩小**. «Усадка стружки» – длина стружки всегда меньше длины поверхности, с которой эта стружка была снята. **“切屑收缩”-切屑的长度始终小于要去除切屑的表面的长度。(kl恒大于1)**

Чем пластичнее обрабатываемый материал, тем **больше усадка** стружки, тем **меньше угол условной плоскости сдвига Φ** . Угол Φ зависит не только от пластичности обрабатываемого металла, но и от переднего угла γ и режимов резания: **待加工材料的塑性越强, 切屑的收缩越大, 常规剪切平面 Φ 的角度越小。角度 Φ 不仅取决于所加工金属的可塑性, 而且取决于前角 γ 和切削条件**:

$$\operatorname{tg} \Phi = \cos \gamma / (k_a - \sin \gamma).$$

При движении стружки по передней поверхности инструмента чистая (**ювенильная** **干净**, т.е. не окисленная и ещё не взаимодействовавшая с атмосферой), только что образовавшаяся прирезцовая поверхность стружки **«прилипает»** к передней поверхности инструмента. **当切屑沿着清洁工具的前表面移动时 (干净, 即未氧化, 即尚未被氧化并且尚未暴露于大气), 新形成的切屑的边缘表面会“粘在”工具的前表面上。** Этому явлению (**адгезии** **粘附**) способствует **提升** **высокая температура стружки** из-за **выделения теплоты при пластической деформации в зоне стружкообразования, большие нормальные контактные напряжения у режущей кромки.** **由于在切屑形成区域中的塑性变形过程中放出热量并在切削刃处产生较高的法向接触应力, 从而导致切屑温度升高, 从而促进了这种现象 (粘附)。**

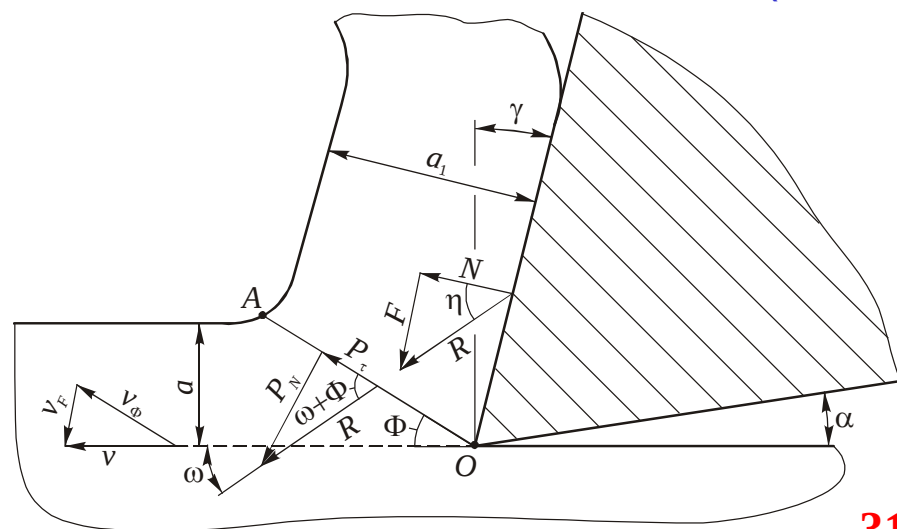
Напряжения и силы при стружкообразовании 切屑形成过程中的应力和力

Схема силового взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом **в условной плоскости сдвига** в сечении, перпендикулярном к режущей кромке 在垂直于切削刃的截面中, 条件剪切平面中刀具与工件材料的力相互作用示意图. На **передней поверхности** инструмента возникает **сила резания (стружкообразования) R** , которую можно представить как геометрическую сумму сил **нормального давления N** и **трения F** 切削力 (切屑形成) R 出现在工具的前表面, 可以表示为法向压力 N 和摩擦力 F 的几何和 $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}$

В этом случае **угол η** между силами N и F – это **угол трения** 在这种情况下, 力 N 和 F 之间的角度 η 是摩擦角, ,
а $\text{tg } \eta = F / N = \mu$

-это **коэффициент трения μ** . Этот коэффициент трения μ отличается от **обычного коэффициента трения $f = F/N$** , определённого в условиях **внешнего трения** 该摩擦系数 μ 与通常的摩擦系数 $f = F / N$ 不同, 后者在外摩擦条件下确定, тем, что при резании под действием высоких **температур** происходит **сдвиг слоёв металла (пластическая деформация)** относительно **соседних слоёв**, так называемое «**внутреннее**» **трение**. 由于当在高温的影响下切割时, 金属层相对于相邻的层移动 (塑性变形), 即所谓的“内部”摩擦。

В этом случае сила трения будет определяться не коэффициентом внешнего трения f ($F = N \times f$), а **пределом прочности на сдвиг τ** 极限抗剪强度 **пред** обрабатываемого материала с учётом **температуры** и **деформационного упрочнения** 硬化. 在这种情况下, 摩擦力将不取决于外摩擦系数 f ($F = N \times f$), 而取决于加工材料的极限抗剪强度 τ_{pre} (32页刀前表面引起), 同时考虑温度 (34页) 和变形的硬化 (34页)。



Схемы силового взаимодействия режущего клина с обрабатываемым материалом 切削楔与加工材料的力相互作用图

Контактные процессы на поверхностях инструмента

В процессе резания в тонком прирезцовом слое стружки толщиной менее 1 мм линии текстуры текстуры изгибаются в сторону, обратную движению стружки. 在切割厚度小于1毫米的薄边缘切屑的过程中，纹理线沿与切屑运动相反的方向弯曲。 Это свидетельствует о наличии вторичной пластической деформации обрабатываемого материала, перешедшего в стружку, возникающей под действием силы трения на передней поверхности инструмента и /тормозящей движение стружки. 这证明了被加工材料存在二次塑性变形，该塑性变形已经变成切屑，其在工具前表面上的摩擦力的作用下产生并抑制了切屑的运动（与26页对比）（Рис.2.的OEF区属于二次塑性变形（在刀前面），条件剪切层属于一次形变（28页））。 При этом, чем больше сила трения F , тем больше толщина заторможенного слоя инструмента и больше искривление линии текстуры. 在这种情况下，摩擦力F越大，被抑制层的厚度（x）越大并且纹理线的曲率越大。 Большие значения силы трения F объясняются высокими касательными напряжениями τ (31页), возникающими при трении свежеобразованной поверхности стружки по зачищенной, освобожденной от окислов передней поверхности инструмента. 摩擦力F的较大值是由在清洁，无氧化物的前表面上刚形成的理想清洁的，新的（少年）切屑表面的摩擦引起的高剪切应力 τ 所解释的。

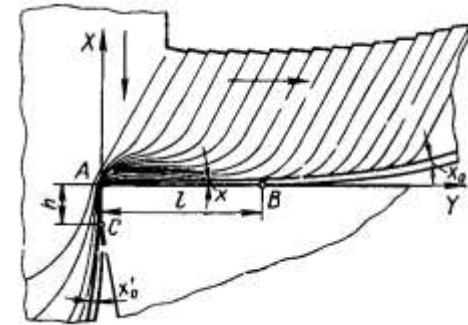


Рис. 1. Образование зоны вторичной пластической деформации (точение) 形成二次塑性变形区（车削）

На очень малой по размерам площадке контакта у режущей кромки действуют большие нормальные напряжения σ . 在切削刃的非常小的接触区域上，会产生较大的法向应力 σ 。 В условиях высокой температуры резания и межмолекулярного взаимодействия прирезцового инструмента стружка перемещается уже не по передней поверхности инструмента, а по заторможенному слою. 在高切削温度和切屑的切削刃层/与/工具的正面的分子间相互作用的条件下，切屑不再沿着工具的正面移动，而是沿着受阻层移动。 Внешнее трение заменяется внутренним трением. Длина контакта стружки с передней поверхностью C состоит из двух участков: 1) OF - участок пластического контакта длиной C_1 ; 2) FB - участок внешнего трения (контакта стружки). 外摩擦变为内摩擦（内摩擦是指抑制层заторможенному слою和刨屑层срезаемый слой）。 芯片与前表面C的接触长度包括两个部分：1）OF-长度为 C_1 的塑料接触部分；2）FB-外部摩擦面积（刨屑层和刀前面）。

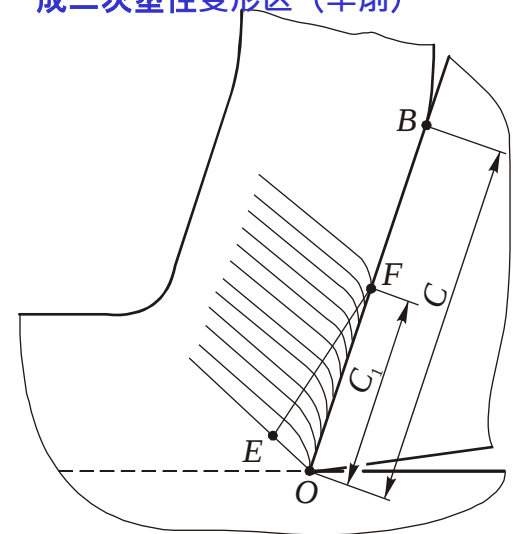


Рис. 2. Искривление текстуры из-за застойной зоны OEF (строгание) 由于停滞区OEF（刨光）导致的纹理变形

На участке вторичных пластических деформаций отсутствует обычное внешнее трение, потому на участке OL практически отсутствует и абразивный **磨料** износ **磨损**, что можно видеть на фотографиях передней поверхности изношенного **已损耗的** инструмента. **在二次塑性变形的区域中, 没有通常的外部摩擦, 因此, 在OL区域中几乎没有磨料磨损, 这可以从磨损工具前表面的照片中看出。** Для конструкционной **незакалённой стали** длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента **$c \approx (5...10) a$** **对于结构未经硬化的钢, 切屑与工具前表面的接触长度为 $\approx (5 \dots 10) a$ 。** При точении заготовки резцом с главным углом в плане φ с продольной подачей s (мм/об) толщина срезаемого слоя **$a = s \times \sin \varphi$ (мм)** **当用刀具在平面 φ 中以主角在纵向进刀为 s (mm / rev) 的情况下旋转工件时, 切削层的厚度为 $a = s \times \sin \varphi$ (mm)。**

Длина участка **пластического контакта $c_1 = (0,3...0,7) c$** , где c — длина **контакта стружки** с передней поверхностью инструмента (см. рис. 2.1). **塑料接触部分的长度 $c_1 = (0.3 \dots 0.7) c$, 其中 c 是切屑与工具前表面的接触长度 (见图2.1)。** Для **пластичных** металлов, например, меди, коэффициент больше (приблизительно 0,7); для малопластичных, например, чугуна, — меньше (приблизительно 0,3); для конструкционной незакалённой стали — приблизительно 0,5. **对于诸如铜之类的易延展金属, 该系数较大 (大约为 0.7) ; 对于低塑性, 例如铸铁-更少 (约 0.3) ; 对于非硬化结构钢-约为 0.5。**

По данным Н.Н. Зорева при точении стали 50 резцом с передним углом $\gamma=10^\circ$ со скоростью резания $v=82$ м/мин и подачей $s=0,42$ мм/об длина участков контакта $C_1=1,8$ мм, а $C=2,9$ мм. **根据 N.N. Zorev 用前角 $\gamma=10^\circ$ 的刀具以切削速度 $v=82$ m / min 和进给 $s=0.42$ mm / re 旋转车钢 50 时, 接触区域的长度 $C_1=1.8$ mm, $C=2.9$ mm** При этом **высота заторможенного слоя** у режущей кромки составила 0,05 мм, затем на расстоянии 0,3 мм от кромки она **увеличилась до 0,2 мм**, а далее к концу участка **уменьшилась до 0,05 мм**. **在这种情况下, 在切削刃处的抑制层的高度为 0.05 毫米, 然后在距切削刃 0.3 毫米的距离处增加至 0.2 毫米, 然后向截面的末端减小至 0.05 毫米** В этом случае **расчетная величина степени деформации сдвига (见 22 页)** возросла от нуля в начале участка и до $\epsilon=39$ — в конце его, что **в 20 раз выше**, чем в **основной массе стружки** **在这种情况下, 剪切变形程度的计算值从断面开始处的零增加到断面处的 $\epsilon=39$, 这是大部分切屑的 20 倍**, т.е. удельная работа пластической деформации в контактном слое стружки достигает очень больших значений. **芯片接触层中塑性变形的比功达到很高的值。** В соответствии с этим и **тепловыделение** здесь должно **в несколько раз превышать** тепловыделение, возникающее в **333е стружкообразовании**. **据此, 此处 (抑制层) 的热释放应该比在切屑形成区域中发生的热释放高几倍。**

Работа касательных сил на передней поверхности инструмента фактически является не работой трения, а работой пластической деформации контактного слоя стружки (书31页) 实际上, 工具前表面上的切向力的作用不是摩擦作用, 而是切屑接触层塑性变形的作用 (也就是 заторможенного слоя и зоне стружкообразования 的 内摩擦)。Если изменяются удельные нагрузки на площадке контакта стружки с передней поверхностью инструмента, то, соответственно, изменяется и средний коэффициент трения μ . 如果切屑与工具前表面的接触面积上的特定负载发生变化, 则平均摩擦系数 μ 也会相应变化。В этом и заключается взаимосвязь процессов, происходящих в зоне стружкообразования (около условной плоскости сдвига) и в зоне контакта стружки с передней поверхностью инструмента. 这是在切屑形成区域 (靠近常规剪切平面) 和切屑与工具前表面接触区域中发生的过程的相互关系。На процесс трения, кроме силовой нагрузки на передней поверхности, большое влияние оказывает температура резания. 摩擦过程, 除了前表面的力负荷外, 还受到切削温度的很大影响。

На процесс трения большое влияние оказывают также свойства обрабатываемого материала. 摩擦过程也受到加工材料性能的极大影响。При отсутствии СОЖ коэффициенты трения при резании стали $\mu=0,5...1,7$, свинца - $\mu=0,4...0,8$, а алюминия $\mu=0,93...1,5$, что значительно выше, чем при обычном внешнем трении скольжения, происходящем при комнатной температуре. 在没有冷却液的情况下, 切削钢时的摩擦系数 $\mu=0.5 \dots 1.7$, 铅- $\mu=0.4 \dots 0.8$, 铝 $\mu=0.93 \dots 1.5$, 这比传统方法要高得多。在室温下发生外部滑动摩擦。

Контактные процессы на поверхностях инструмента и удельные силы резания и износ **м** по задней поверхности **刀具表** **面上的接触过程以及比切削力和侧面磨损**

Удельные силы резания рассчитываются как отношение силы к площади поперечного сечения срезаемого слоя: **比切削力的** **计算方法是力与切削层截面积的比值** :

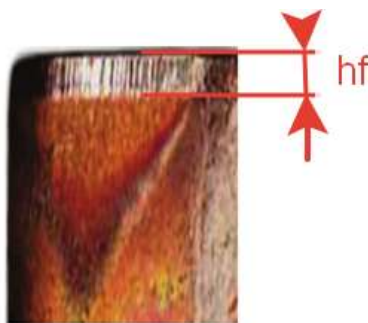
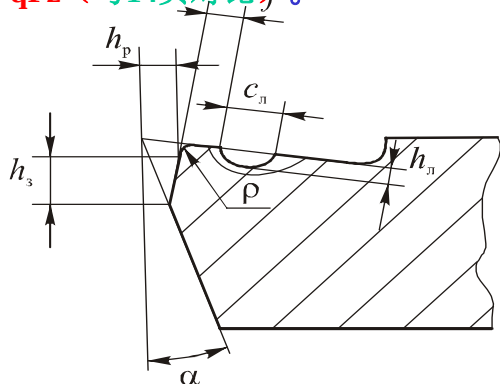
$$q_{pz} = P_z / (s \cdot t) \quad (\text{H/мм}^2);$$

$$q_{pxy} = P_{xy} / (s \cdot t) \quad (\text{H/мм}^2).$$

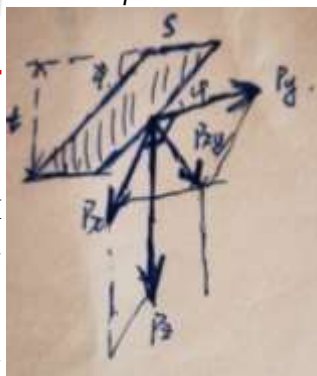
$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2; 1 \text{ МПа} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1 \text{ Н/мм}^2.$$

С увеличением подачи и глубины резания **удельные силы резания уменьшаются**. **随着进给量和切削深度的增加, 比切削力降低。**

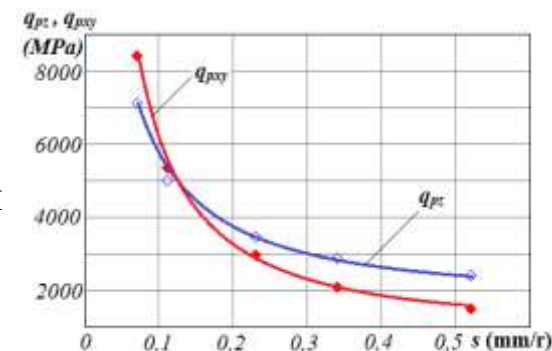
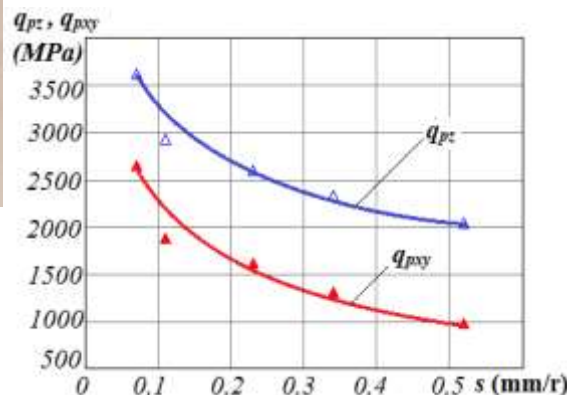
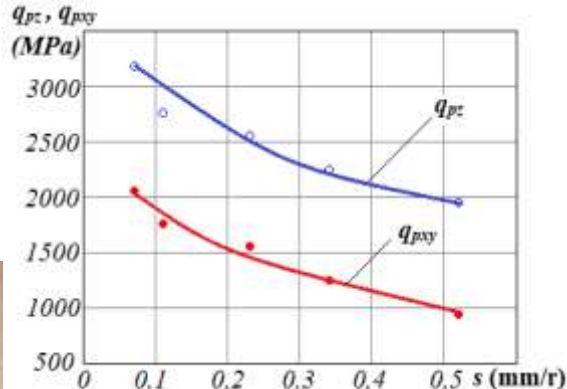
С увеличением длины фаски износа h_f (就是 h_3 .) по задней поверхности удельные силы резания существенно увеличиваются, при этом q_{pxy} увеличивается быстрее, чем q_{pz} . **随着沿侧面的磨削倒角 hf 长度的增加, 比切削力显著增加, 而 q_{pxy} 的增加快于 q_{pz} (与14页对比)。**



а) $h_f = 0.13 \text{ мм}$



б) $h_f = 0.29 \text{ мм}$



Влияние подачи s (мм/об) на удельные силы резания при обработке стали 40X при разной фаске на задней поверхности h_3 . Сталь 40X- T15K6; $t=2 \text{ мм}$; $v=2 \text{ м/с}$, округление режущей кромки $\rho \approx 5 \text{ мкм}$. **当在侧面上加工带有不同倒角 h_z 的40X钢时, 进给 s (mm / rev) 对比切削力的影响。钢40X-T15K6; $t=2 \text{ 毫米}$; $v=2 \text{ м / s}$, 切削刃修圆 $\rho \approx 5 \text{ мкм}$ 。**

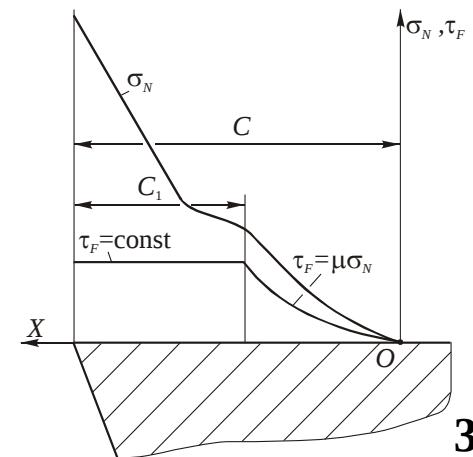
Эксперименты Н.Г. Абуладзе показали, что длину участка пластического контакта при резании металлов можно определить по следующей эмпирической зависимости N.G.的实验 Abuladze表明, 切割金属时塑料接触部分的长度可以根据以下经验依赖性确定 $C_1 = a[K(1 + \operatorname{tg} \gamma) + \sec \gamma]$, а общую длину контакта $C = a(2,05K - 0,5)$.

В уравнениях длины контакта на передней поверхности инструмента пропорциональны толщине срезаемого слоя a и зависят также от усадки K и переднего угла γ . 在等式中, 在工具的前表面上的接触长度与切割层 a 的厚度成比例, 并且还取决于收缩率 K 和前角 γ 。 При этом **скорость резания v , температура θ и свойства обрабатываемого материала** влияют на длину контакта **через изменение усадки** 在这种情况下, 切削速度 v , 温度 θ 和加工材料的特性会通过收缩率的变化影响接触长度。

Под действием составляющих силы резания на контактной площадке возникают соответственно нормальные σ и касательные τ напряжения 在切削力分力的作用下, 法向 σ 和切向 τ 应力分别在接触区域上产生。 Эпюры 图表 этих напряжений определялись экспериментально поляризационно-оптическим методом или с помощью разрезного резца. 这些应力的图表是通过偏振光学方法或使用分体式切割机通过实验确定的。 В результате при резании сталей были получены типичные эпюры распределения напряжений по длине площадки контакта стружки с передней поверхностью $f = C \cdot b$ 结果, 在切削钢时, 沿着切屑接触区域的长度 (C 方向) 获得了典型的应力分布图, 前表面 $f = C \cdot b$ 。

$$\sigma = \Delta N_i / \Delta C_i \cdot b, \quad \tau = \Delta F_i / \Delta C_i \cdot b$$

где ΔC_i – приращение длины площадки контакта стружки с передней поверхностью; 其中 ΔC_i 是芯片与前表面的接触区域的长度的增量; ΔN_i и ΔF_i – приращение нормальной и касательной силы на передней поверхности при соответствующем приращении площадки контакта стружки с передней поверхностью на длину ΔC_i ; ΔN_i и ΔF_i 是前表面法向力和切向力的增量, 切屑与前表面的接触面积相应地增加了长度 ΔC_i ; b - ширина контактной поверхности стружки. b 是芯片的接触表面的宽度。 (图见31页)



Метод *разрезного резца*

Пластины (рис. 1) изготовлены так, что **первоначально** зазор 1 проходит в месте, где $x_{i=1} = c$ [мм], где c - длина контакта стружки с передней поверхностью.

В этом случае на пластине **В** нет контакта со стружкой, поэтому силы $N_{Bi=1}$ и $F_{Bi=1}$ **равны нулю** (рис. 2). 制作板 (图1) 时, 首先要使间隙1通过 $xi = 1 = c$ [mm] 的位置, 其中 c 是切屑与前表面的接触长度。在这种情况下, 不会与刀片 B 上的切屑接触, 因此力 $N_{Bi=1}$ 和 $F_{Bi=1}$ 等于零 (图2)。

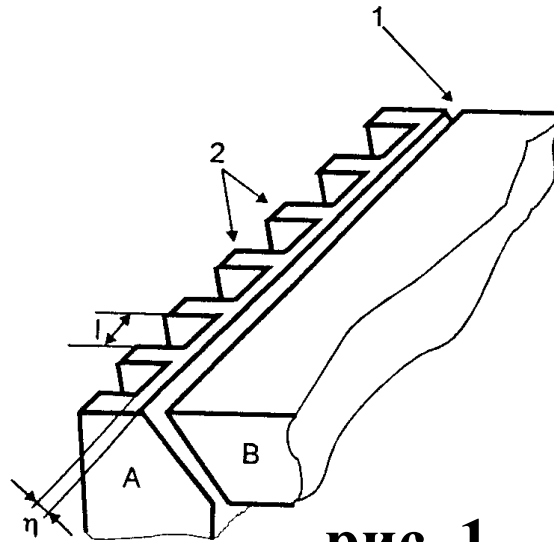


рис. 1

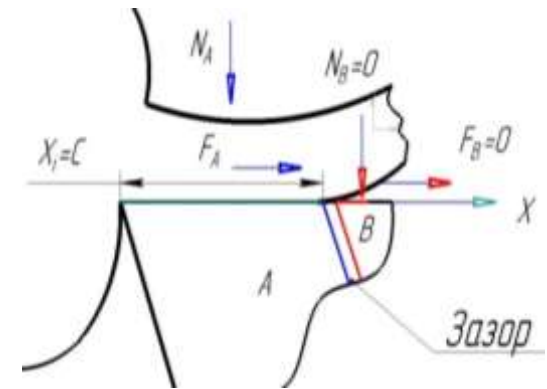


рис. 2

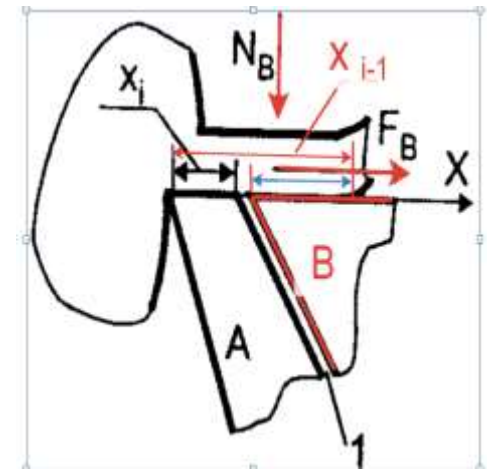


рис. 3

1) Изменение длины контакта стружки с пластиной

А: $\Delta x_i = x_{i-1} - x_i$; (рис. 2) 芯片与极板的接触长度的变化为: $\Delta xi = xi-1-xi$; (图2)

2) Изменение нормальной силы N на пластине **А:**

$\Delta N_{Bi} = N_{Bi} - N_{Bi-1}$; 板A上的法向力 N 的变化 $\Delta N_{Bi} = N_{Bi} - N_{Bi-1}$;

3) Удельная нормальная нагрузка на пластине **А** в

точке $x_i \approx x_{i\text{cp}}$ [$x_{i\text{cp}} = (x_i + x_{i-1})/2$]: 板A在点 $xi \approx xi_{avg}$ [$xi_{avg} = (xi + xi-1) / 2$] 上的特定法向载荷:

$q_{NBi} = \Delta N_{Bi} / (b \times \Delta x_i)$ [Н/мм²],

где b – ширина контакта стружки с передней поверхностью на пластине А. 其中 b 是芯片与板A上前表面的接触宽度。

при $\Delta x_i \rightarrow 0$ мм $q_{NBi} \rightarrow \sigma_{Ni} \rightarrow \sigma_i$

$q_{FBi} = \Delta F_{Bi} / (b \times \Delta x_i)$ [Н/мм²]
при $\Delta x_i \rightarrow 0$ мм $q_{FBi} \rightarrow \tau_{Ni} \rightarrow \tau_i$

Контактные процессы на передней поверхности инструмента (продолжение)

Исследование распределения нормальных σ и касательных τ контактных нагрузок на передней поверхности инструмента резца. методом разрезного 研究刀具正面上的法线 σ 和切向 τ 接触载荷的分布。分割法

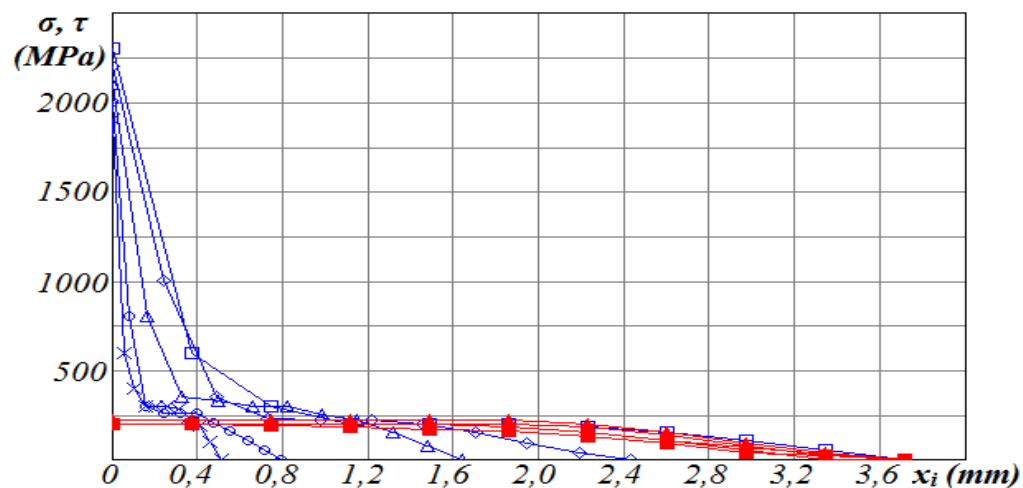
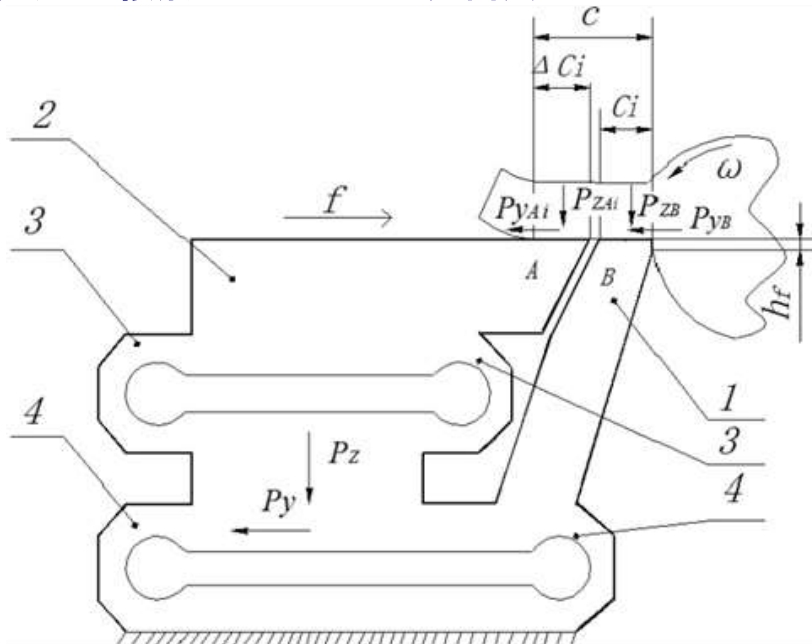


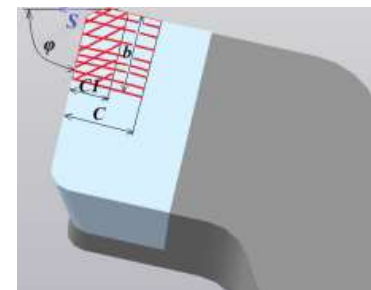
Рис. 2. Распределение нормальных σ ($\times$, $\circ$, Δ , $\diamond$, $\square$) и касательных τ ($+$, $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacklozenge$, $\blacksquare$) контактных напряжений (МПа) на **передней** поверхности резца при точении

стали 40X. $\gamma=5^\circ$, $\phi=45^\circ$, $v=2$ м/с, $t=2$ мм.
 $\square$, $\blacksquare$ – $s=0.52$ мм/об; $\diamond$, $\blacklozenge$ – $s=0.34$ мм/об;
 Δ , $\blacktriangle$ – $s=0.23$ мм/об; $\circ$, $\bullet$ – $s=0.11$ мм/об;

$\times$, $+$ – $s=0.07$ мм/об.

Рис. 1. Исследование распределения контактных напряжений на **передней поверхности** резца методом разрезного резца劈刀法研究刀具前表面的接触应力分布

Рис. 3. Измерение общей длины контакта стружки c и длины пластического контакта стружки c_1 с передней поверхностью резца

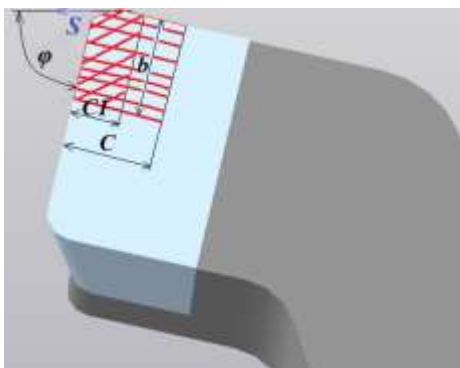


Контактные процессы на передней поверхности инструмента (продолжение)

Параметры эпюр контактных напряжений на передней поверхности 正面接触应力图表的参数

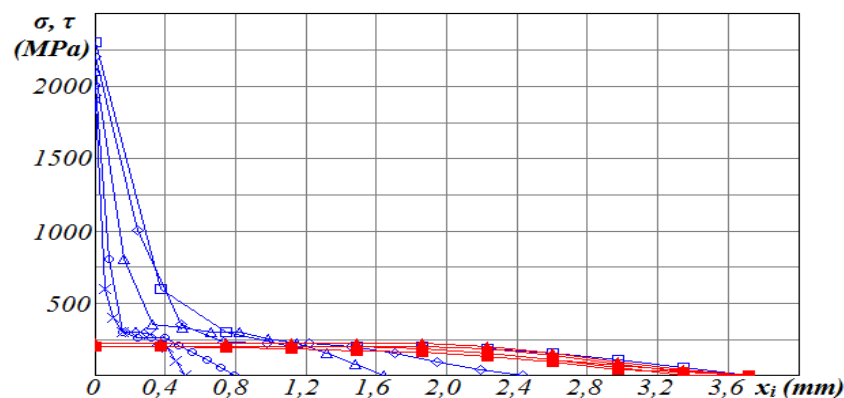
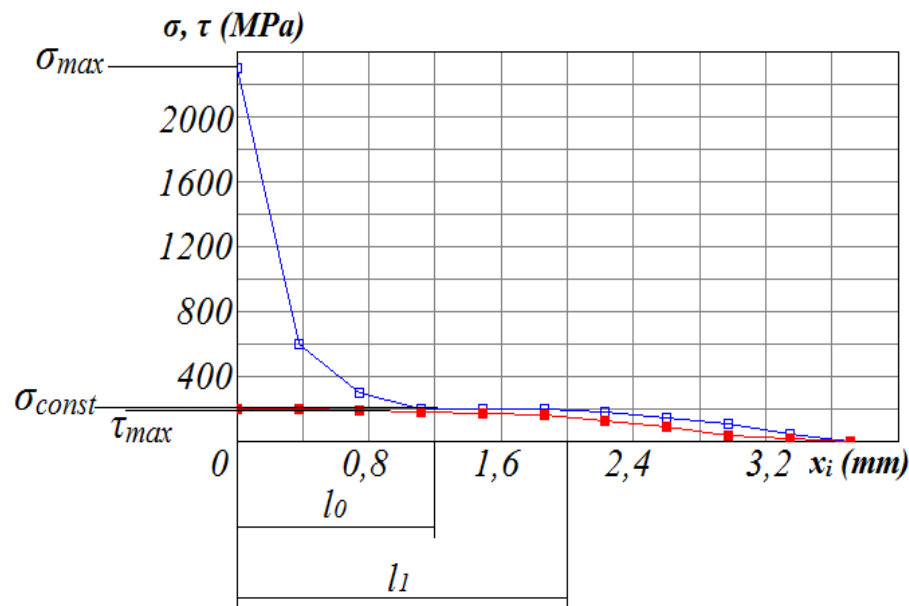
- 1) $c \approx 10 \cdot a$ (мм);
- 2) $l_1 = c_1 \approx 0.55 c$ (мм);
- 3) $\sigma_{\max} = 792 \cdot s + 1.9 \cdot \sigma_B$ (МПа);
- 4) $\sigma_{\text{const}} = -183 \cdot s + 0.289 \cdot \sigma_B$ (МПа);
- 5) $\tau_{\max} \approx 0.2 \sigma_B$ (МПа);
- 6) $l_0 = 2.358 \cdot s - 5.1 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_B$ (мм)
- 7) $l_0 = 2.358 \cdot s - 5.1 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_B$ (мм)

Сталь 40X: $\sigma_B = 1000$ МПа.



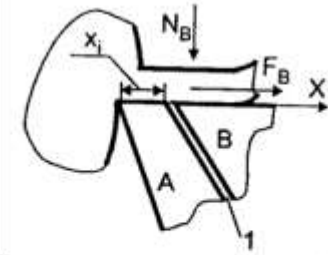
Измерение общей длины контакта стружки c и длины пластического контакта стружки c_1 с передней поверхностью резца

$$N = \int_0^c \sigma_{xi} \cdot dx_{-}(H); \quad F = \int_0^c \tau_{xi} \cdot dx_{-}(H)$$

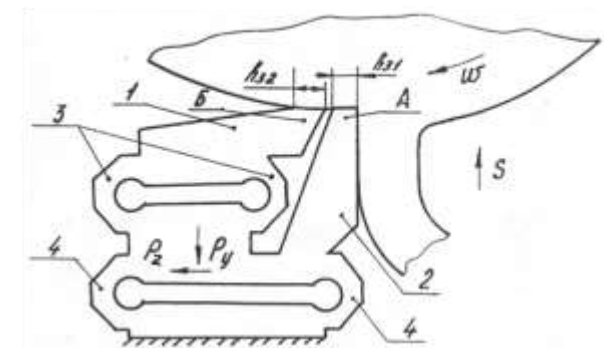
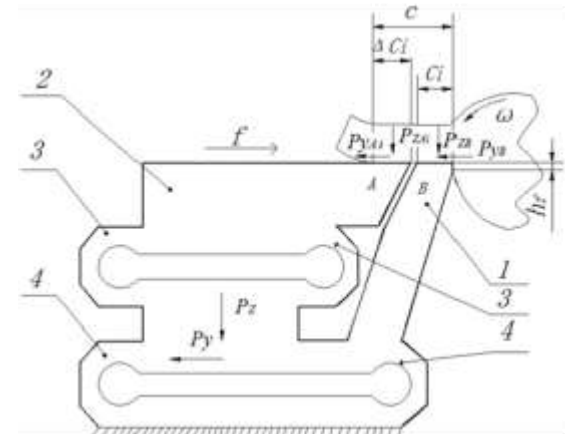


При исследовании распределения контактных напряжений на **фаске износа задней поверхности** с помощью разрезного резца упругая деформация элементов 3 приводит к **появлению уступа**, который начинает срезать дополнительную стружку с поверхности резания. 当使用劈开刀研究侧面磨损倒角上的接触应力分布时, 元件3的弹性变形导致出现台阶, 该台阶开始从切削表面切掉其他切屑。 **Зазор забивается** **забита**, что приводит к поломке пластин. 间隙被堵塞导致板破裂。 (**倒角处不是平的, 导致A与B出现高度差, 间隙被堵, 板坏**)

Требуется **изменить схему** проведения измерений. **需要更改测量方案。**



$$\sigma_N(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dN_B}{dx}; \quad \tau_F(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dF_B}{dx}.$$



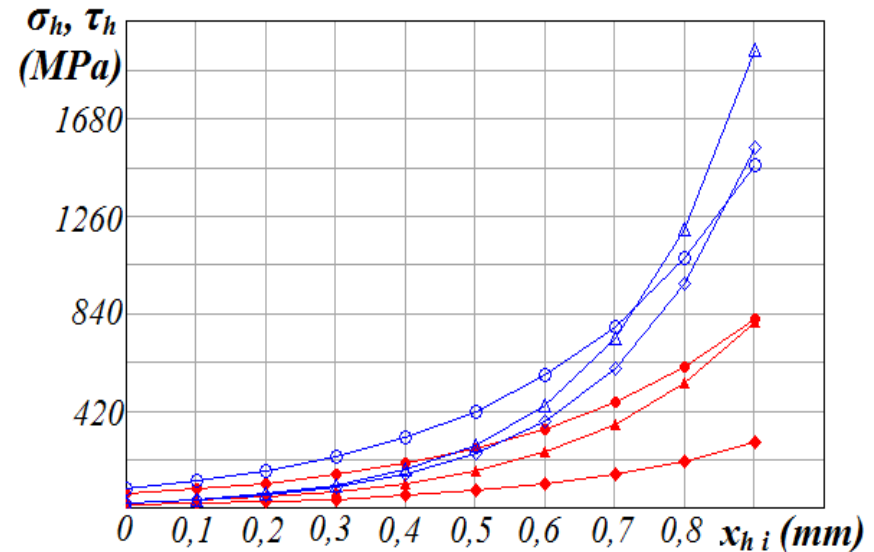
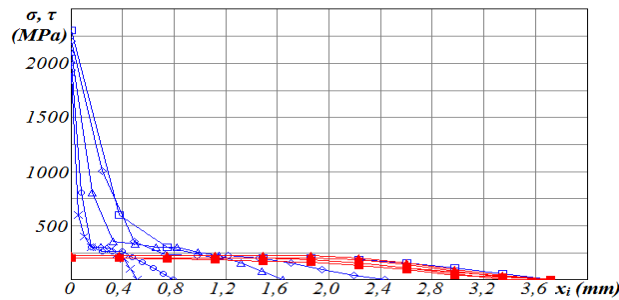


Рис. 1. Распределение **нормальных** σ_h ($\times$, $\circ$, Δ , $\diamond$, $\square$) и **касательных** τ_h ($+$, $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacklozenge$, $\blacksquare$) контактных напряжений (МПа) на **фаске** задней поверхности резца при точении стали 40X. 转动40X钢时, 刀具后表面倒角上的法线 σ_h ($\times$, $\circ$, Δ , $\diamond$, $\square$) 和切线 τ_h ($+$, $\bullet$, $\blacktriangle$, $\blacklozenge$, $\blacksquare$) 接触应力 (МПа) 的分布。

$\gamma=5^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $v=2$ м/с, $t=2$ мм.

$\square$, $\blacksquare$ — $s=0.52$ мм/об; $\diamond$, $\blacklozenge$ — $s=0.34$ мм/об;

Δ , $\blacktriangle$ — $s=0.23$ мм/об; $\circ$, $\bullet$ — $s=0.11$ мм/об;

$\times$, $+$ — $s=0.07$ мм/об

На **фаске износа** **磨损** задней

поверхности при обработке стали 40X распределение контактных напряжений **коренным образом** **根本** отличается от распределения на передней поверхности. 在加工40X钢时, 在侧面磨损倒角上, 接触应力的分布与前表面的分布根本不同。

У режущей кромки напряжения

минимальны, а при удалении от режущей кромки они увеличиваются. 在切削刃处, 应力最小, 并且应力会随着距切削刃的距离而增加。

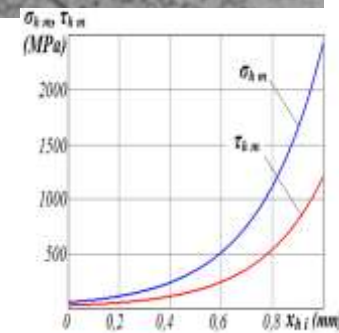
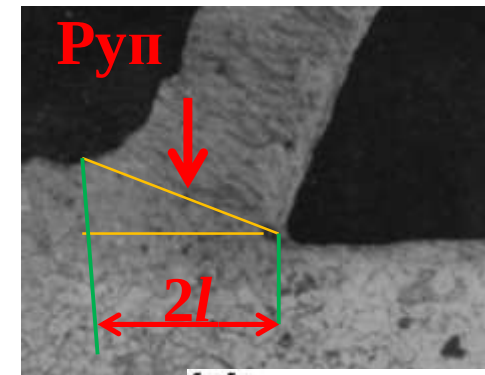
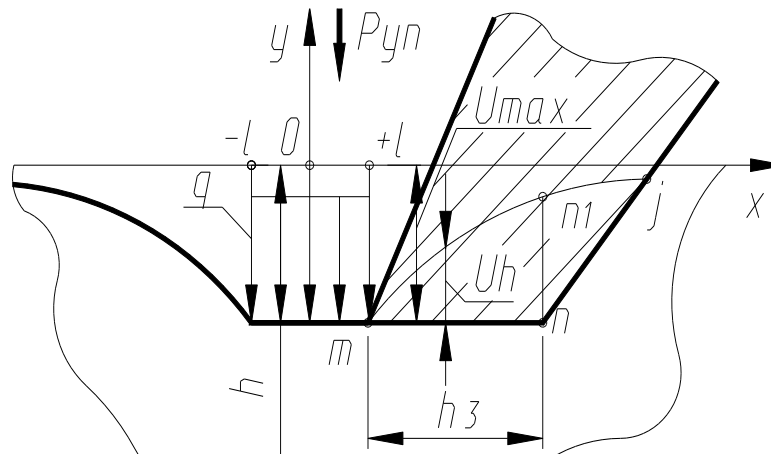
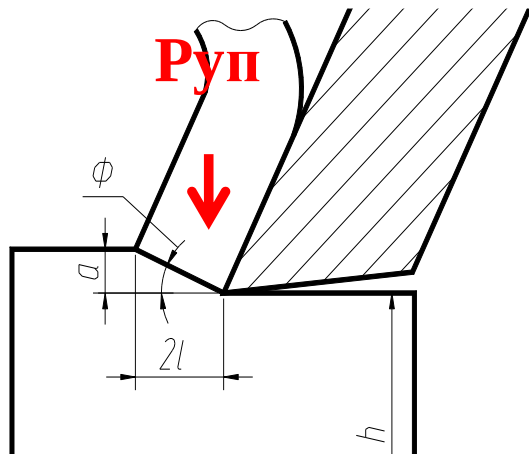
Чем больше подача, тем меньше

напряжения у режущей кромки, тем на большем расстоянии от неё они

начинают увеличиваться. 进给率越高, 切削刃处的应力越小, 它们开始增加的距离就越大。

Контактные процессы на поверхностях инструмента (продолжение)

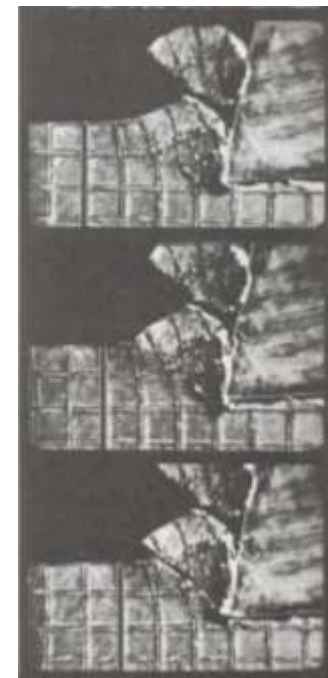
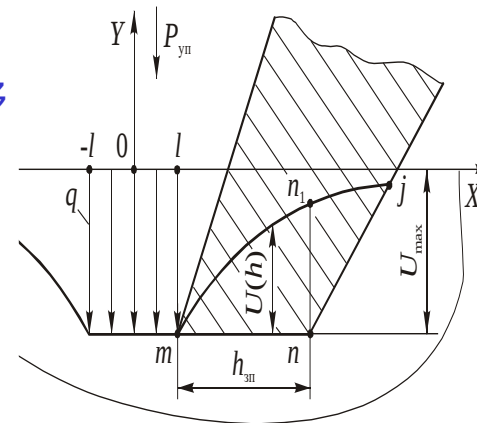
Исследования М.Ф. Полетики и В.Н. Козлова выявили, что движущаяся перед клином (见14页) зона стружкообразования **сопровождается** **伴随着** волной упругой деформации, что приводит к опусканию **降低** границы полуплоскости на величину $U_{\max}$. М.Ф.研究 波莱蒂基和冯·N·科兹洛夫发现, 在楔形物 (刀具) 前面移动的切屑形成区会伴随着弹性变形波, 这会导致半平面边界降低 $U_{\max}$ 值。Восстанавливающаяся **恢复** позади режущей кромки поверхность **mnj** взаимодействует с плоскостью фаски **mn** , длиной **h_3** (见35页), деформируясь до положения **mnj** и вызывая дополнительное давление на фаску износа задней поверхности **при удалении** от режущей кромки. **恢复到切削刃后面表面** **mnj** 与倒角 **mn** 的平面相互作用, 长度为 **h_3** , 变形到位置 **mnj** 并在远离切削刃移动时在侧面磨损倒角上产生附加压力。 **Прогиб** **翘曲** **поверхности среза mnj** вызывает **радиальная сила R_{yp}** , действующая со стороны **передней поверхности** на участок **$2l$** (**$2l = a \cdot \text{ctg} \Phi$**). **切割面 mnj 的翘曲是由径向力 R_{yp} 引起的, 该径向力从表面的侧面作用在截面 $2l$ 上 ($2l = a \cdot \text{ctg} \Phi$)**。 При образовании **сливной стружки** эта **сила** достаточно **стабильна**, поэтому **прогиб** происходит **всегда** во время резания. **该力在溢流屑的形成过程中相当稳定, 因此在切削过程中总是会发生挠曲**。 Чем **больше подача**, тем больше и участок **$2l$** , тем **больше** длина волны **прогиба**. Поэтому на большем расстоянии от режущей кромки начинается увеличение контактных напряжений. **进给越高, 部分 $2l$ 越大, 偏转波长越长。 因此, 在距切削刃较大的距离处, 接触应力开始增加。**



Контактные процессы на поверхностях инструмента (продолжение)

При элементном стружкообразовании характер взаимодействия режущего клина с поверхностью среза существенно изменяется **随着元素屑的形成, 切削楔与切削表面的相互作用的性质发生了显著变化**. Последний этап формирования элемента стружки - его отделение от заготовки сопровождается **伴随着** резким падением (иногда даже до нуля) нагрузки от Руп в зоне стружкообразования на участке длиной $(-l \dots +l)$, где $2l = a \cdot \operatorname{ctg} \Phi$. **切屑元件形成的最后阶段-切屑元件与工件的分离伴随着切屑形成区域中长度 $(-l \dots +l)$ 区域中来自Руп的载荷急剧下降 (有时甚至降至零) , 其中 $2l = a \cdot \operatorname{ctg} \Phi$** . Упруго **弹性** восстанавливающаяся **恢复** поверхность среза (见28页) создает при этом дополнительное давление, примерно пропорциональное перемещению $U(x)$, и, следовательно, тем большее, чем ближе

к режущей кромке находится рассматриваемая точка. **弹性恢复的剪切表面产生附加压力, 此压力大约与位移 $U(x)$ 成正比, 因此, 该压力越大, 越靠近切削刃**. Эта дополнительная пульсирующая **脉动** нагрузка по амплитуде значительно больше, чем обусловленная деформацией поверхности среза при сливном стружкообразовании, определяемой величиной $U(h)$. **该幅度上的附加脉动负载显著大于由排屑形成过程中剪切表面变形所引起的脉动负载, 由 $U(h)$ 的值确定**. Пульсирующая дополнительная нагрузка приводит к изменению закона **распределения нормальной контактной нагрузки** вдоль фаски mn . **脉动的附加负载导致法线接触负载沿倒角 mn 的分布规律发生变化**. В этом случае **наибольшее значение** нагрузки должно наблюдаться **у режущей кромки**. **在这种情况下, 应在切削刃处观察到最高负载值**.



Контактные процессы на поверхностях инструмента (продолжение)

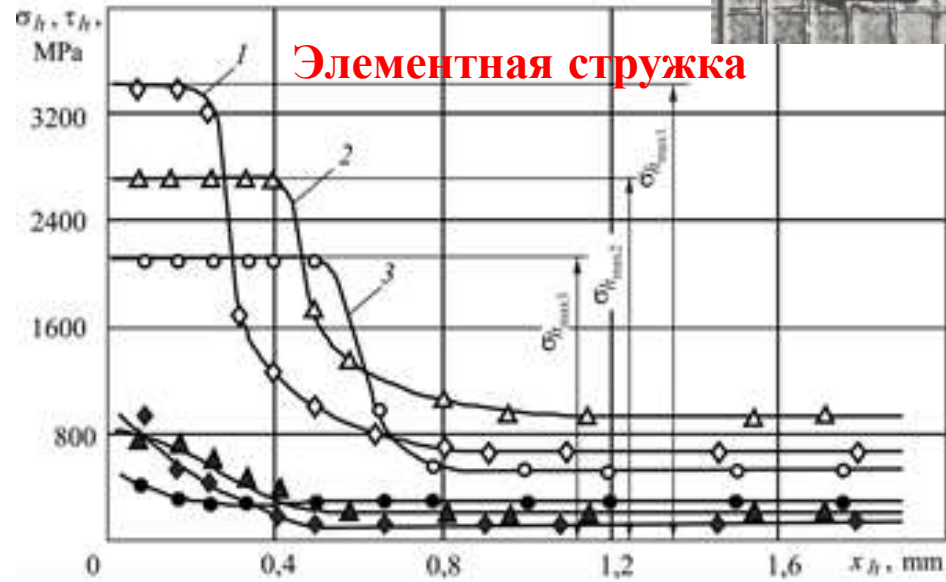


а) распределение нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений на фаске задней поверхности инструмента при сливном стружкообразовании. 在排屑形成过程中, 工具背面的倒角上的正 σ_h 和切向 τ_h 接触应力的分布。

Л63-Р6М5, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_\phi=0^\circ$: 1 - $S=0,06$ мм/об, $V=100$ м/мин; 2 - $S=0,21$ мм/об, $V=100$ м/мин; 3 - $S=0,21$ мм/об, $V=217$ м/мин.

4 - ЛМЦА 57-3-1 (образуется суставчатая стружка) – Р6М5, $S=0,41$ мм/об, $V=100$ м/мин.

Абсцисса – расстояние от режущей кромки на фаске задней поверхности X_h , мм.



б) распределение нормальных ($\diamond, \Delta, \circ$) σ_h и касательных ($\blacklozenge, \blacktriangle, \bullet$) τ_h контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности при обработке титанового сплава, образующего элементную стружку. 当加工形成元素屑的钛合金时, 沿侧面的人造磨削倒角上的法向 ($\diamond, \Delta, \circ$) σ_h 和切向 ($\blacklozenge, \blacktriangle, \bullet$) τ_h 分布的接触应力。 ВТ3-1 - ВК8, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $v=1$ м/с:

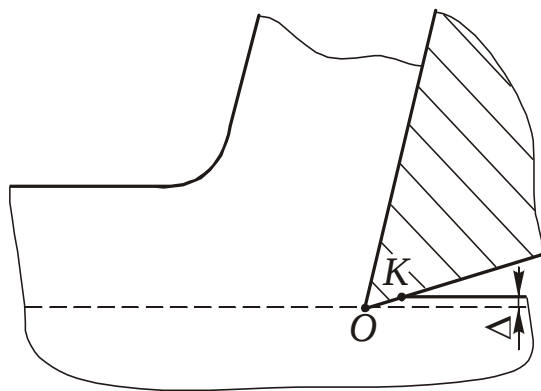
1 ($\diamond, \blacklozenge$) - $s=0.41$ мм/об; 2 ($\Delta, \blacktriangle$) - $s=0.21$ мм/об; 3 ($\circ, \bullet$) - $s=0.11$ мм/об.

Абсцисса – расстояние от режущей кромки на фаске задней поверхности X_h , мм. 横坐标-距倒角44的切削刃的距离 x_h , мм。

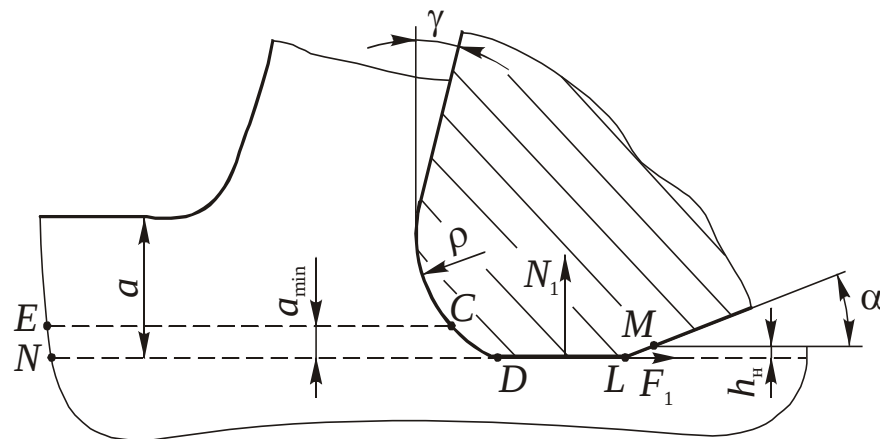
Контактные процессы на задней поверхности инструмента

В процессе резания **режущий клин** взаимодействует своей **задней поверхностью** с **поверхностью резания** на очень малой площадке контакта. **在切削过程中, 切削楔侧面与切削表面的接触面积很小 (OK)。** Это объясняется **упругим восстановлением** - подъемом **抬起** обработанной поверхности после прохождения резца. **这是由于弹性恢复-刀具通过后被加工后表面的抬起。** Величина такого **подъема** Δ у идеального острого режущего клина определяет длину **OK** площади контакта по задней поверхности инструмента. **理想的锋利切削刀的这种上升幅度 Δ 决定了沿刀具背面的接触区域OC的长度。**

Реальный режущий клин всегда имеет **округление режущей кромки (27页)** (не путать с **радиусом при вершине (14页)** режущего инструмента), **真实的切割楔形总是使切削刃变圆 (不要与切削工具尖端的半径相混淆)**, величина которой в зависимости от технологии заточки и инструментального материала обычно находится в пределах $\rho = 0,005 \dots 0,02$ мм. **其值取决于磨削技术和工具材料, 通常在 $\rho = 0.005 \dots 0.02$ mm的范围内。** Наличие радиуса округления таких размеров оказывает **положительное влияние** на **прочность** и **надёжность** работы инструмента, **这种尺寸的倒圆半径对工具的强度和可靠性有积极的影响**, так как предотвращает преждевременное разрушение режущей кромки инструмента, но увеличивает **силу резания** и **температуру**. **因为它可以防止刀具的切削刃过早损坏, 但会增加切削力和温度。**



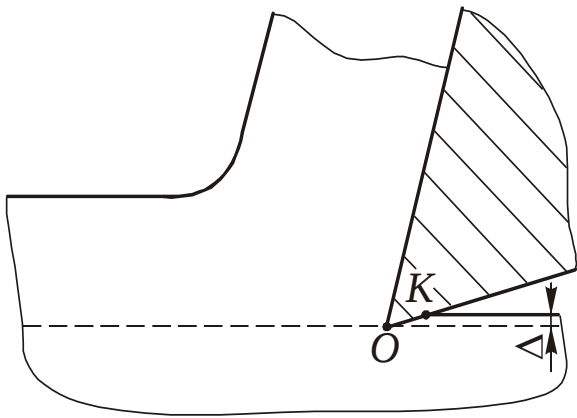
a)



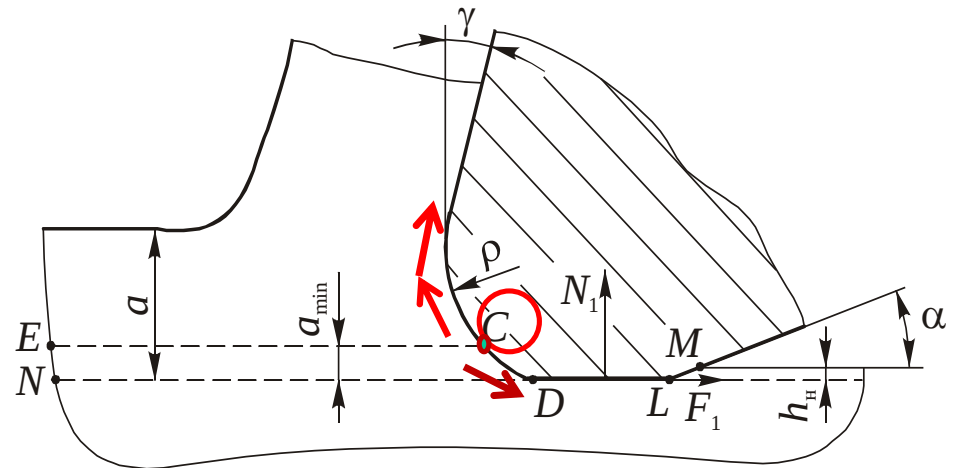
б)

Контактные процессы на поверхностях инструмента (продолжение)

При резании металл в точке C делится на два потока. 切割时, C 点处的金属分为两股. Верхний поток уходит со стружкой, а нижний, толщиной $a_{\min}$, подминается 压碎 радиусным участком CD задней поверхности инструмента. 上面的流留有刨花, 下面的流留有厚度 $a_{\min}$, 被工具后表面的半径截面 CD 压碎. При этом реальная поверхность резания CE не совпадает с номинальной поверхностью ND . 在这种情况下, 实际切割表面 CE 与标称表面 ND 不一致. Объем металла $CEND$, контактируя с участком CD , площадкой износа DL и участком LM задней поверхности, претерпевает 发生 значительную деформацию. 与后端的 CD 区域, DL 磨损区域和 LM 区域接触的金属 $CEND$ 的体积发生了明显的变形. Поэтому на обработанной поверхности появляется тонкий, сильно деформированный (наклепанный 冷作硬化) слой, толщиной h_n . 因此, 在处理过的表面上会出现厚度为 h_n 的薄的, 高度变形 (冷作硬化) 的薄层. Напряжения, возникающие в этом слое, оказывают большое влияние на износостойкость и усталостную прочность деталей. 在该层中产生的应力对零件的耐磨性和疲劳强度有很大的影响。



a)



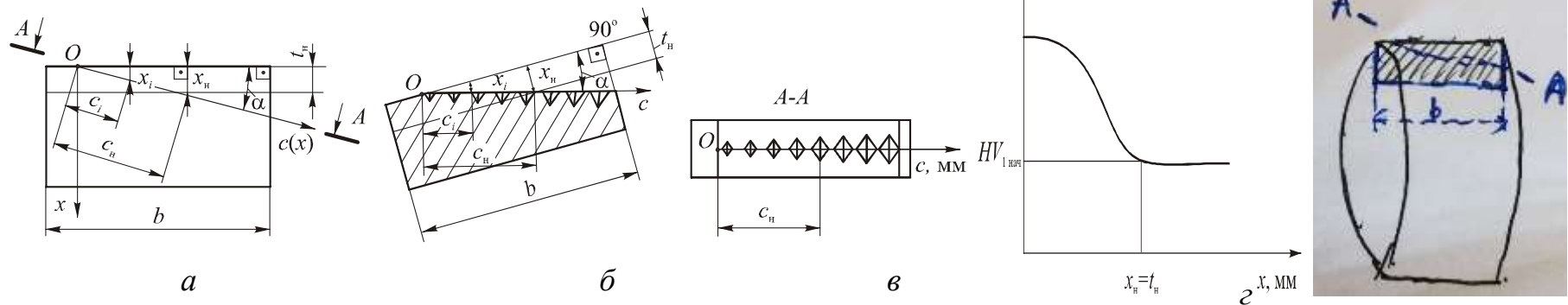
б)

Оценка качества обработанной поверхности 评估已处理表面的质量

Пластическая деформация поверхностного слоя (见46页) приводит к её наклёпу 表面层的塑性变形导致加工硬化.

Наряду с повышением твёрдости это вызывает и повышенную склонность к образованию микро- и макротрещин, особенно при последующей закалке, существенному уменьшению усталостной прочности и увеличению остаточных напряжений. 随着硬度的增加, 这也导致形成微裂纹和大裂纹的趋势增加, 尤其是在随后的硬化过程中, 疲劳强度显著下降, 残余应力增加。 Все эти факторы могут привести к короблению заготовки сразу же после обработки или спустя позднее некоторое время (наследственность может сохраняться даже после многократных последующих обработок этой поверхности), уменьшению надёжности работы детали при эксплуатации. 所有这些因素都可能在加工后或一段时间后导致工件翘曲 (即使在重复对该表面进行后续处理之后, 遗传仍然存在), 从而降低了零件在操作过程中的可靠性。

Для оценки глубины и степени пластической деформации применяется выборочный контроль твёрдости поверхностного слоя обработанных заготовок 为了评估塑性变形的深度和程度, 使用了选择性控制/已加工工件表面层的/硬度的方法。 Глубина наклёпа очень мала и составляет сотые доли миллиметра при полустойковой и чистовой обработке, поэтому для увеличения протяжённости 程度 исследуемой области выполняется косой шлиф 斜切面 под углом α к поверхности заготовки. 加工硬化的深度非常小, 对于半精加工和精加工而言, 其深度为百分之一毫米, 因此, 为了增加所研究区域的长度, 必须以相对于工件表面的角度为 α 的方式进行倾斜切割 Величина этого угла – несколько градусов: чем меньше глубина слоя, тем меньше должен быть этот угол. 该角度的大小为几度: 层深度越浅, 该角度应越小。 После этого измеряется микротвёрдость по Виккерсу (HV) поверхности образовавшейся гипотенузы прямоугольного треугольника, где катетом является глубина исследуемой зоны $x_i = c_i \times \sin \alpha$, [мм] 此后, 测量形成的直角三角形斜边表面的维氏显微硬度 (HV), 其中直角边为研究区域 $x_i = c_i \times \sin \alpha$, [mm]的深度。



Исследование глубины и степени наклёпа: а – выполнение косого шлифа под углом α к поверхности заготовки 以相对于工件表面的角度 α 进行倾斜截面; б – положение контролируемой поверхности при измерении её микротвёрдости б-测量其显微硬度时受控表面的位置; в – размеры отпечатков при измерении 47 микротвёрдости 测量显微硬度时的打印尺寸; г – изменение микротвёрдости по глубине г-深度显微硬度的变化.

Оценка качества обработанной поверхности

Под **степенью наклепа** понимают отношение
加工硬化程度理解为比率

$$\Delta H_M = \frac{H_{MH} - H_{MC}}{H_{MC}} \cdot 100\%$$

где - **наибольшая микротвердость наклепанного слоя**加工硬化层的最高显微硬度 ;
микротвердость ненаклепанного слоя-未加工硬化层的显微硬度.

При точении жаропрочного сплава ЭИ 437 увеличение подачи от $s=0,05$ мм/об до $s=0,6$ мм/об увеличивает **толщину наклепанного слоя (46页)** от $\Delta_n=0,09$ мм до $\Delta_n=0,155$ мм, а **степень наклепа** – от $\Delta H_M=23\%$ до $\Delta H_M=37\%$. 当将耐热合金EI 437车削时, 进给量从 $s = 0.05 \text{ mm / re}$ 增加到 $s = 0.6 \text{ mm / re}$, 会使加工硬化层的厚度从 $\Delta n = 0.09 \text{ mm}$ 增加到 $\Delta n = 0.155 \text{ mm}$, 并且加工硬化度-从 $\Delta H_m = 23\%$ 至 $\Delta H_m = 37\%$. Увеличение переднего угла от $\gamma = -60^\circ$ до $\gamma = 30^\circ$ уменьшает глубину наклепанного слоя от $\Delta_n=0,24$ мм до $\Delta_n=0,1$ мм, а степень наклепа - от $\Delta H_M=42\%$ до $\Delta H_M=35\%$. **前角从 $\gamma = -60^\circ$ 增大到 $\gamma = 30^\circ$, 可将加工硬化层的深度从 $\Delta n = 0.24 \text{ mm}$ 减小至 $\Delta n = 0.1 \text{ mm}$, 将加工硬化度从 $\Delta H_m = 42\%$ 降低至 $\Delta H_m = 35\%$. (进给越快, 前角越小, 加工硬化层越大)** зноса инструмента увеличивает степень наклепа и глубину наклепанного слоя, а рост скорости резания, наоборот, снижает эти величины. **刀具磨损会增加加工硬化程度和加工硬化层的深度, 而提高切削速度则会降低这些值。**

Для уменьшения наклёпа и остаточных напряжений применяется термическая обработка: **отжиг** и **отпуск**. **热处理用于减少加工硬化和残余应力: 退火和回火.** **Отжиг** характеризуется нагревом на высокую температуру – вплоть до **температуры рекристаллизации** **重结晶温度**, – и медленным остыванием в догревочной печи **预热炉**. **退火的特征是加热至高温-达到重结晶温度-并在预热炉中缓慢冷却。** Он применяется только в том случае, когда степень наклёпа очень большая и требуется практически полностью избавиться от него **仅在工作硬化程度非常高并且几乎完全需要摆脱它时才使用它。**

Отпуск характеризуется нагревом на меньшую температуру и более быстрым остыванием на воздухе или в теплоизолированных камерах **隔热室**. **回火的特征是加热到较低的温度, 并在空气或隔热室内更快地冷却.** Он бывает высоким, средним и низким в зависимости от **температуры нагрева** и **скоростью охлаждения** **根据加热温度和冷却速率的不同, 它可以是高, 中和低.**

Для уменьшения остаточных напряжений может применяться **естественное или искусственное старение**, однако на промежуточных этапах изготовления детали они практически не используются **为了减少残余应力, 可以使用自然时效或人工时效, 但实际上在制造零件的中间阶段不使用它们.**

Для уменьшения наклёпа и остаточных напряжений необходимо использовать **жёсткое закрепление заготовки при её обработке, острозаточенные锐化 инструменты с оптимальной最佳 геометрией и не допуская существенного износа, применять небольшие подачу и глубину резания, использовать обильный大量 подлив** **凉水 СОЖ冷却液** для предотвращения **防止** нагрева заготовки и т.д. **为减少工作硬化和**

Оценка качества обработанной поверхности

Остаточные напряжения характеризуются **残余应力的特征** 在于:

- знаком: растягивающие – со знаком (+) **伸展-带 (+) 号**, **сжимающие** – со знаком (-);
- текущей величиной по абсолютному значению $|\sigma_{ост\ i}|$ и максимальной величиной по абсолютному значению $|\sigma_{ост\ max}|$; **当前值的绝对值|σ_{resi}| 绝对值的最大值|σ_{resmax}|**;
- глубиной нахождения **找到** максимального значения σ_{max} **找到σ_{max}最大值的深度** .

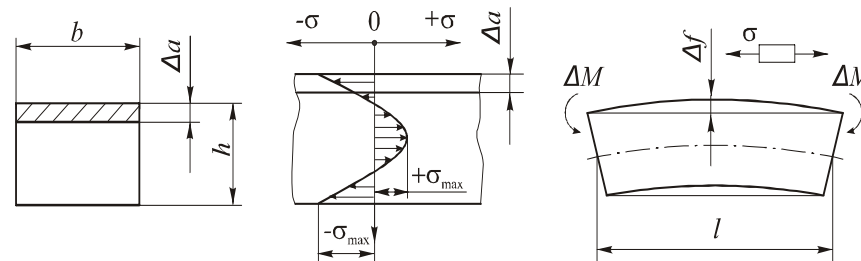
Остаточные напряжения могут определяться разрушающим **破坏性** контролем (механическим путём) и неразрушающим контролем (с использованием рентгеновских лучей **X射线**, ультразвуковых **超声** или акустических **声音** колебаний). **残余应力可以通过破坏性测试 (机械方式) 和非破坏性测试 (使用X射线, 超声或声音振动) 确定**.

Рентгеновский метод основан на измерении разницы параметров кристаллической решётки обработанной поверхности и не деформированной решётки материала заготовки. **X射线法基于测量加工表面的晶格和工件材料的未变形晶格的参数之间的差异**. Существенными недостатками этого метода являются невысокая точность и трудоёмкость **该方法的主要缺点是准确性低和劳动强度大** .

Для измерения остаточных напряжений **механическим путём** применяется **последовательное поэтапное шлифование поверхности заготовки** с измерением деформации заготовки на каждом этапе **为了机械地测量残余应力, 需要对工件表面进行连续的逐步磨削, 并在每个阶段测量工件的变形**.

После удаления с поверхности пластины слоя материала толщиной Δa пластина изгибается **弯曲** с величиной прогиба **偏转** Δf (рис. 2, в) **从板表面上去除一层厚度为 Δa 的材料后, 板弯曲而变形为 Δf (图2, c)** . Этот прогиб вызван появлением момента ΔM от перераспределения внутренних напряжений, которые были уравновешены до удаления слоя материала (рис. 2, б) **这种挠曲是由于内部应力的重新分布而产生的力矩 ΔM 引起的, 该应力在去除材料层之前就已经平衡了 (图2, b)** . Этот прогиб может быть рассчитан по формуле **可以使用公式** $\Delta f = \Delta M \times \ell^2 / 8EJ$, [мм], где: ℓ – длина пластины, мм; E – модуль упругости (модуль Юнга) **弹性模量 (杨氏模量)**, н/мм (МПА); J – момент сопротивления изгибу **抗弯矩**, мм⁴ .

Для простейшего случая – изгиба пластины, – момент сопротивления определяется по формуле **对于最简单的情况-板弯曲-抗弯矩由公式确定** $J = b \times h^3 / 12$, [мм⁴], где: b – ширина пластины, мм; h – толщина пластины, мм.



Оценка качества обработанной поверхности

Изгибающий момент при изгибе от перераспределения остаточных напряжений **由于残余应力的重新分布而导致的弯曲弯矩**

$$\Delta M = \sigma_{\text{ост}} \times \Delta a \times b \times h/2, [\text{Н} \cdot \text{мм}],$$

где: $\sigma_{\text{ост}}$ – остаточные напряжения на контролируемой глубине **σ_{res}-检测深度的残余应力**, Н/мм²; Δa – толщина

удаляемого слоя при определении остаточного напряжения механическим способом, мм **Δa是通过机械方式确定残余应力时所去除的层的厚度**.

Контролируемая глубина h_i рассчитывается по формуле **受控深度h_i由以下公式计算** $h_i = \Delta a_1 + \Delta a_1 + \dots + \Delta a_i$, [мм],

где: Δa_i – толщина удаляемого слоя на каждом предварительном этапе определения остаточных напряжения, мм

式中: Δa_i是确定残余应力的每个前一阶段所去除的层的厚度mm.

В результате преобразований получается формула для определения **остаточные напряжения** на

контролируемой глубине h_i **作为变换的结果, 获得了用于确定在受控深度h_i处的残余应力的公式。**

$$\sigma_{\text{ост}i} = \frac{4}{3} \cdot \frac{E \cdot h}{\ell^2} \cdot \frac{\Delta f_i}{\Delta a}, [\text{Н/мм}^2].$$

где: Δf_i (**测**) – величина прогиба на i -том этапе определения остаточных напряжения **确定残余应力的第i阶段的变形量**, мм; E – модуль упругости (модуль Юнга), Н/мм². $E = \sigma/\epsilon$, [Н/мм²], где $\epsilon = \Delta \ell/\ell$, где $\Delta \ell$ – удлинение образца длиной ℓ под действием растягивающей силы P , Н) **在拉力作用下长度为ℓ的试样的伸长**; $\sigma = P/S$, где S – площадь поперечного сечения образца, мм².

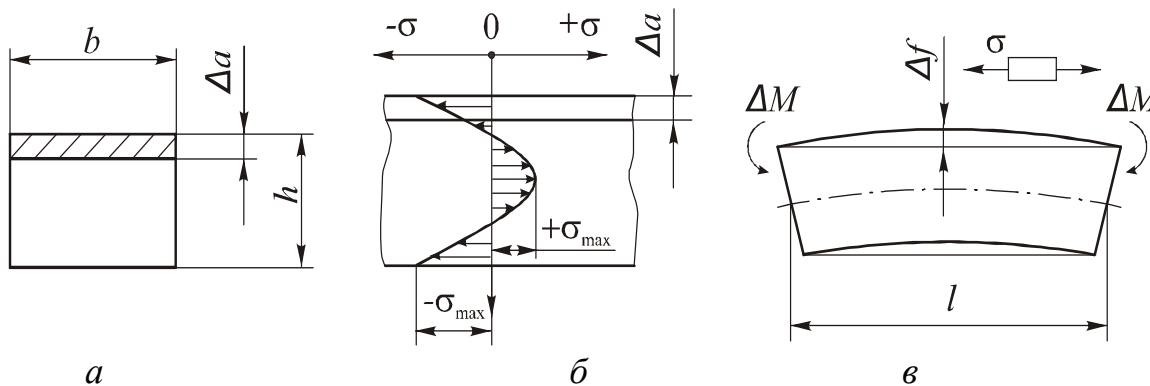
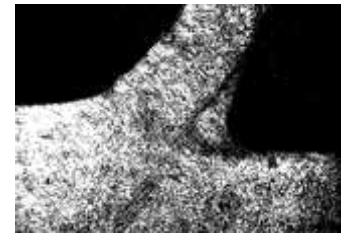


Рис. 1. Определение остаточных напряжений в заготовке механическим путём **用机械方法确定工件中的残余应力**: а – удаление слоя металла толщиной Δa **去除厚度为Δa的金属层**; б – пример распределения остаточных напряжений в заготовке **工件中残余应力分布的示例**; в – изгиб пластины после удаление слоя металла толщиной Δa от перераспределения остаточных напряжений отпечатков при измерении микротвёрдости **在测量显微硬度时, 从压痕残余应力的重新分布中去除厚度为Δa的金属层后, 钢板弯曲**; г – изменение микротвёрдости по глубине **深度显微硬度的变化**.

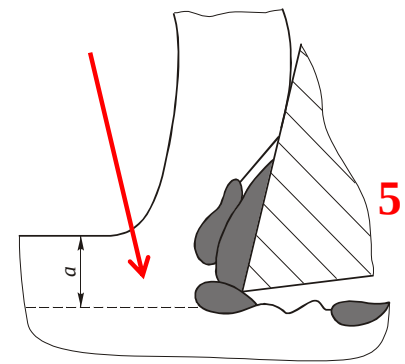
Наростообразование切削卷边的形成

При разрушении **нароста** одна его часть внедряется深入 в обработанную поверхность, а другая уносится со стружкой当生长被破坏时, 其一部分深入处理过的表面, 而另一部分则被刨花带走 (见46页). Силы сцепления粘附 нароста с передней поверхностью достаточно большие и поэтому часто наблюдается **разрушение твердосплавных инструментов**, имеющих **пониженное сопротивление на разрыв**生长物粘附到前表面的力很大, 因此经常破坏硬质合金刀具, 降低其抗断裂性. По этой причине **твердые сплавы** рекомендуется **использовать** только на тех режимах резания, когда **нарост отсутствует**因此, 建议仅在没有增长的切削模式下使用硬质合金. . Характерным признаком наростообразования является **высокая шероховатость** (R_z , R_a) обработанной поверхности, вызванная **внедрившимися частицами разрушенного нароста破坏增长的嵌入式粒子**.切削卷边的形成的特征是被破坏的生长的深入部分 (упругого восстановления回复 обработанной поверхности,наклепленная слоя h_2 引起的/处理过的表面的高粗糙度 (R_z , R_a) Нарост предохраняет заднюю поверхность инструмента от контакта с обработанной поверхностью, однако **полностью освободить ее от износа не может** из-за периодических срывов这种生长保护了工具的后表面不与被处理的表面接触, 但是由于周期性的击穿而不能完全消除其磨损. .

Ряд таких материалов, как медь и ее сплавы, титановые сплавы, высоколегированные стали с большим содержанием хрома и никеля, закаленные стали и белый чугун практически не образуют нарост诸如铜及其合金, 钛合金, 铬和镍含量高的高合金钢, 硬化钢和白口铸铁等许多材料实际上并未形成增长. **Размеры нароста тем больше, чем пластичнее металл и чем меньше его прочность и твердость**



Плохое качество обработанной поверхности вызвано **внедрившимися частицами разрушенного нароста**.处理过的表面质量差是由于破坏了生长的嵌入颗粒引起的。



Наростообразование (продолжение)

Нарост появляется уже на **малых скоростях** резания при **комнатной температуре** и характеризуется в этом случае слабой устойчивостью. **这种生长在室温下以低切削速度出现，并且在这种情况下特征是稳定性差。** При повышении скорости резания температура резания растет и при температуре резания $\Theta \approx 300^\circ\text{C}$ (в диапазоне скоростей резания $V_1 \dots V_2$) **высота нароста H достигает максимума** **随着切割速度的增加，切割温度升高，并且在切割温度为 $\Theta \approx 300^\circ\text{C}$ （在切割速度 $v_1 \dots v_2$ 的范围内）时，生长高度 H 达到最大值。** При дальнейшем повышении скорости резания в диапазоне $V_2 \dots V_3$ нарост уменьшается из-за уменьшения его прочности и **совсем исчезает** **消失** при скорости резания, когда **температура резания $\Theta \approx 600^\circ\text{C}$** **在 $v_2 \dots v_3$ 范围内，随着切削速度的进一步提高，当切削温度为 $\Theta \approx 600^\circ\text{C}$ 时，由于强度的降低，生长会降低，并在切削速度下完全消失。**

Влияние на наростообразование **СОЖ** из-за трудностей проникновения **渗透** последней на площадку контакта при высоких удельных давлениях проявляется главным образом **через изменение температуры резания**. **由于冷却剂难以在高比压下渗透到接触部位而对切削卷边的生长产生的影响主要通过切削温度的变化来体现** Поэтому при использовании СОЖ область наростообразования расширяется, смещаясь в сторону **бóльших скоростей резания** **因此，使用冷却液时，生长区域扩大，向更高的切削速度转移(v_1-v_2)。** При этом **устойчивость и стабильность нароста на всех скоростях резания повышается, а коэффициент трения снижается** **同时，在所有切割速度下的稳定性和生长的稳定性均增加，并且摩擦系数降低。** Это объясняется частичным попаданием **部分进入** СОЖ через **микропоры** **微孔**, **трещины** **裂纹**, **неровности** **不规则部** и особенно **с боковых сторон** **сходящей стружки**. **这是由于冷却剂通过微孔，裂纹，不规则部分进入，尤其是在出屑的侧面**

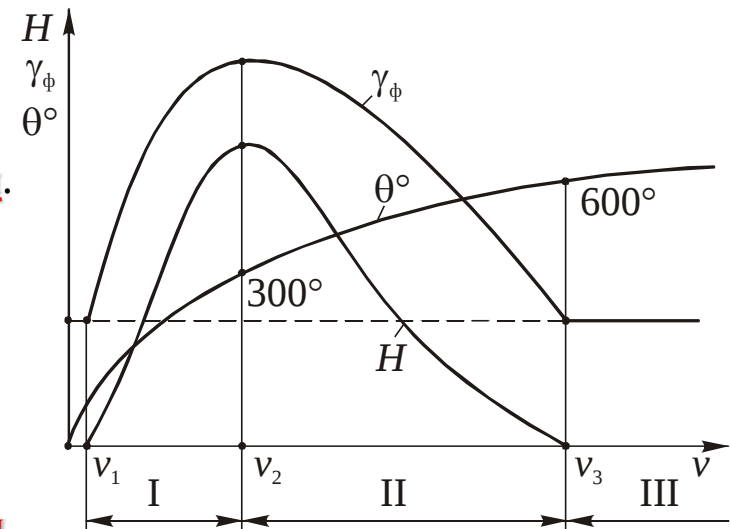


Схема влияния скорости резания v на температуру резания Θ , высоту нароста H и фактическое значение переднего угла γ_f

Наростообразование (продолжение)

С ростом скорости резания в диапазоне $V_1 \dots V_2$ температура резания Θ растет, что вызывает увеличение высоты нароста H , а следовательно и фактического переднего угла γ_{ϕ} . Следовательно и фактического переднего угла γ_{ϕ} с ростом скорости резания в диапазоне $V_1 \dots V_2$ увеличивается, что приводит к увеличению высоты нароста H , а следовательно и фактического переднего угла γ_{ϕ} .

В диапазоне скоростей резания $V_2 \dots V_3$ с ростом температуры резания нарост становится менее прочным и его высота уменьшается до полного исчезновения при температуре резания $\Theta = 600^\circ\text{C}$ (происходит отпуск). В диапазоне скоростей резания $V_2 \dots V_3$ с ростом температуры резания нарост становится менее прочным и его высота уменьшается до полного исчезновения при температуре резания $\Theta = 600^\circ\text{C}$ (происходит отпуск).

Изменение фактического переднего угла γ_{ϕ} с образованием нароста определяет характер изменения усадки стружки и соответственно степени ее деформации - кривая K_1 (фактический передний угол γ_{ϕ} с образованием нароста). Изменение фактического переднего угла γ_{ϕ} с образованием нароста определяет характер изменения усадки стружки и соответственно степени ее деформации - кривая K_1 (фактический передний угол γ_{ϕ} с образованием нароста).

На кривой K_2 показано изменение усадки стружки для металлов, не образующих нарост, что определяет и характер изменения силы резания. На кривой K_2 показано изменение усадки стружки для металлов, не образующих нарост, что определяет и характер изменения силы резания.

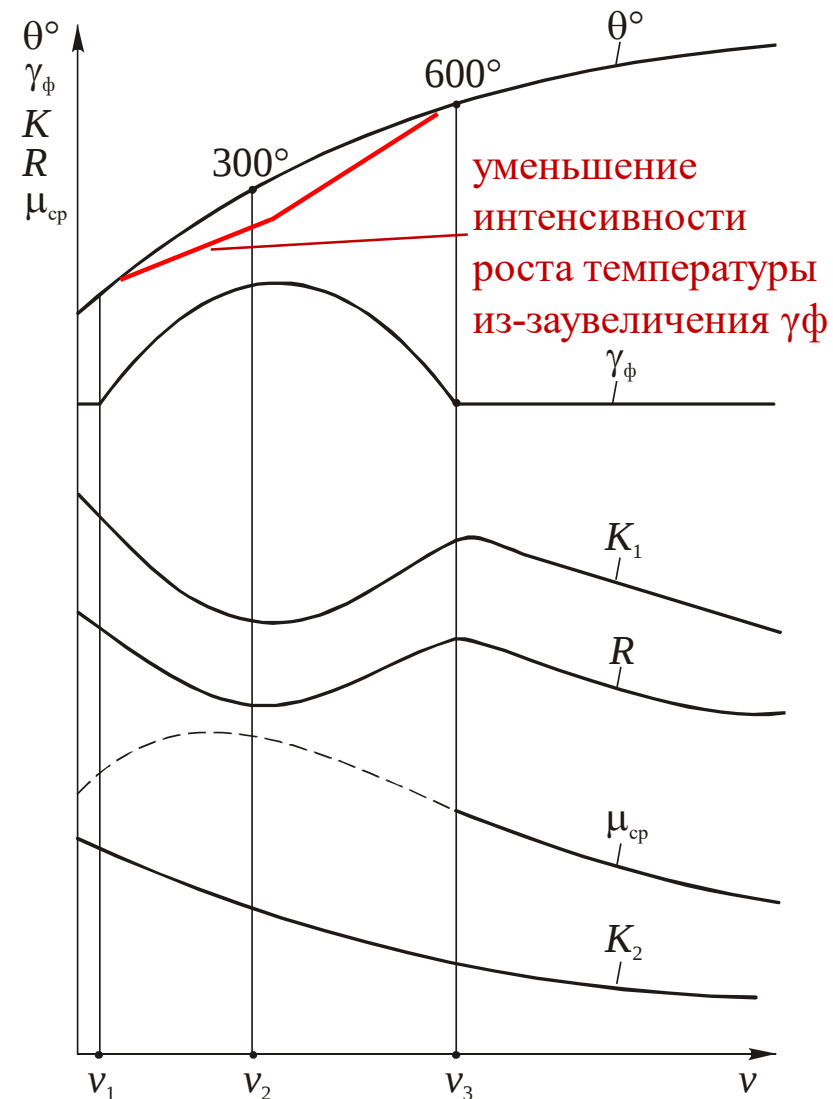


Схема взаимосвязи скорости резания v , температуры резания Θ , фактического переднего угла γ_{ϕ} , усадки стружки K (см. 30-ю страницу), силы резания R и среднего коэффициента трения $\mu_{ср}$. Схема взаимосвязи скорости резания v , температуры резания Θ , фактического переднего угла γ_{ϕ} , усадки стружки K (см. 30-ю страницу), силы резания R и среднего коэффициента трения $\mu_{ср}$.

Наростообразование (продолжение)
Резание в области отсутствия нароста, то есть

на повышенных скоростях $V > V_3$ сопровождается уменьшением среднего коэффициента трения μ_{cp} из-за увеличения удельного нормального напряжения σ 在没有生长的区域中进行切割，即以增加的速度 $v > v_3$ 进行切割时，由于比法向应力 σ 的增加，平均摩擦系数 μ_{cp} 减小。В свою очередь это вызывает уменьшение угла действия ω и увеличение угла наклона условной плоскости сдвига Φ 进而，这导致作用角 ω 的减小和条件变速平面 Φ 的倾斜角的增大。В результате происходит снижение усадки стружки K и силы резания R 结果，切屑 K 的收缩和切削力 R 减小。

Увеличение скорости резания вызывает также увеличение скорости деформации $\dot{\epsilon}$ в области стружкообразования, что приводит к уменьшению пластичности обрабатываемого материала и уменьшению области стружкообразования 切削速度的增加还引起切屑形成区域中的应变率 $\dot{\epsilon}$ 的增加，这导致工件的塑性降低并且切屑形成区域减小。Это приводит к увеличению угла наклона условной плоскости сдвига Φ и уменьшению силы резания R 这导致条件剪力面 Φ 的倾斜角度增加而切削力 R 减小。

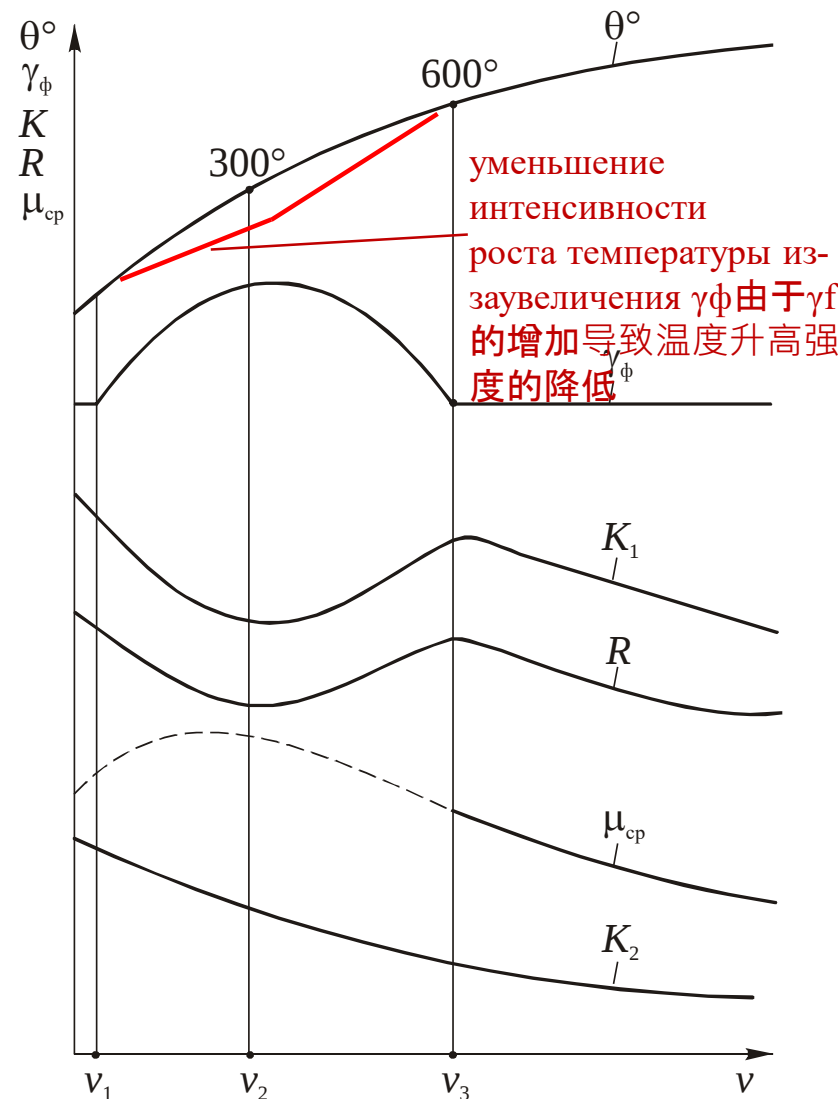


Схема взаимосвязи скорости резания v , температуры резания Θ , фактического переднего угла γ_ϕ , усадки стружки K , силы резания R и среднего коэффициента трения μ_{cp}

Несвободное резание. *Расчёт составляющих силы резания 非自由切割。* 切削力分量的计算

Обобщенные эмпирические уравнения для расчетов составляющих силы резания

учитывают влияние основных параметров режима резания и имеют следующий вид **用于计算切削力分量的通用经验公式** 考虑了切削模式的基本参数的影响，并具有以下形式：

$$P_z = C_{pz} t^{x_{pz}} s^{y_{pz}} v^{n_{pz}} K_{pz};$$

$$P_x = C_{px} t^{x_{px}} s^{y_{px}} v^{n_{px}} K_{px};$$

$$P_y = C_{py} t^{x_{py}} s^{y_{py}} v^{n_{py}} K_{py}.$$

Значения **показателей степеней** x_{pz} , y_{pz} и т.д. можно рассчитать из графиков **зависимости составляющей силы от глубины резания t или подачи s** , в двойных логарифмических координатах **指数 x_{pz} , y_{pz} 等的值 可以从力的分量对切削深度 t 或进给 s 的依存关系的图形中以双对数坐标计算得出**, т.к. график степенной функции

$P_z = C'_{pz} \cdot t^{x_{pz}}$ (при $s = \text{const}$) в координатах **$\lg P_z - \lg t$** представляет собой прямую линию **在坐标 $\lg P_z - \lg t$ 中**, **幂函数 $P_z = C'_{pz} \cdot t^{x_{pz}}$ (对于 $s = \text{const}$) 的图形是一条直线。**

$$x_{pz} = \lg \tau = A/B.$$

Аналогичный график строится при **$t = \text{const}$ ($P_z = C'_{pz} \cdot s^y$)** **对于 $t = \text{const}$ ($P_z = C'_{pz} \cdot s^y$)**, **构造了一个相似的图。**

После определения показателей степеней x_{pz} , y_{pz} и т.д. коэффициенты C_{pz} , C_{px} и C_{py} рассчитываются из указанных формул при **известных силах P_z , P_x и P_y** , **определённых из экспериментов.** **确定指数 x_{pz} , y_{pz} 等后 系数 C_{pz} , C_{px} 和 C_{py} 由这些公式根据实验确定的已知力 P_z , P_x 和 P_y 计算得出。**

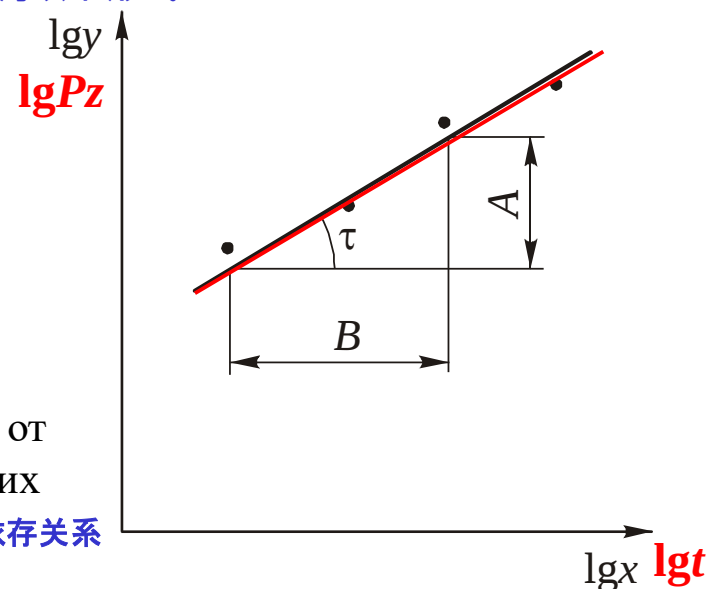


Схема для определения показателя степени k в уравнении $y = C_x \cdot x^k$.
 $k = \lg \tau = (A/B).$

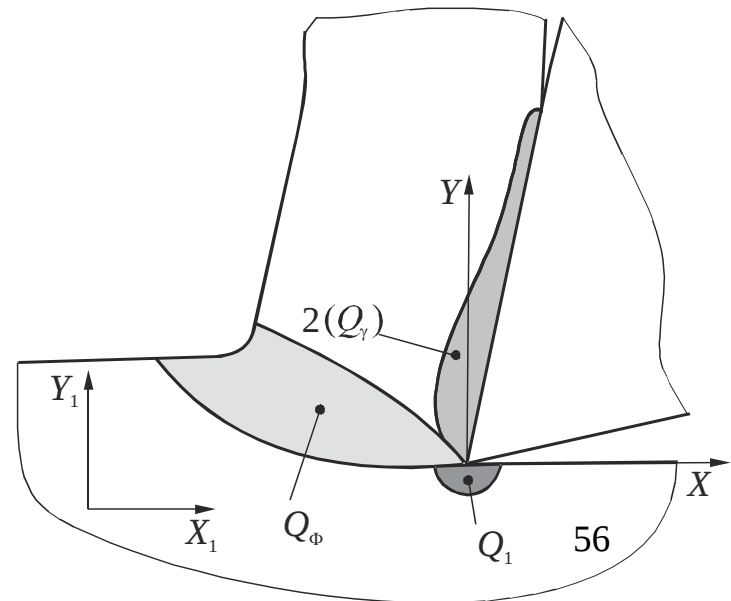
Отрезки A и B измеряются линейкой на графике $\lg y - \lg x$ (**$\lg P_z - \lg t$**) **确定方程 $y = C_x \cdot x^k$ 中的指数 k 的方案。** $k = \lg \tau = (A/B)$. **线段 A 和 B 用尺图 $\lg y - \lg x$ ($\lg P_z - \lg t$) 测量**

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ 切割过程中的热现象

Пластические деформации и трение на контактных площадках режущих инструментов сопровождаются **伴随着** столь **到那样的程度** обильным **大量的** выделением теплоты, что инструмент и заготовка нагреваются до весьма высоких температур **切削工具的接触垫处的塑性变形和摩擦伴随着大量的热量散发，从而使工具和工件被加热到很高的温度**. При этом нагрев инструмента определяет его износ, уровень допустимых режимов резания и производительность обработки **在这种情况下，刀具的加热决定了刀具的磨损，允许的切削条件水平以及加工效率**, а нагрев заготовки влияет на точность обработки и уровень технологических остаточных напряжений в обработанных поверхностях **工件的加热会影响加工的精度以及机械加工表面中的技术残余应力水平**. Температура резания оказывает влияние также и на закономерности физических явлений, происходящих при резании материалов, и на их взаимосвязь **切割温度还会影响切割材料时发生的物理现象的模式及其关系**. Наглядным примером этому служат рассмотренные выше закономерности наростообразования и связанные с ним изменения деформаций и сил резания **一个明显的例子就是上述的生成物以及变形 (KI) 和切削力 (R) 的相关变化**. Общее количество теплоты, выделяющейся при резании **切割过程中产生的热量总量**

$$Q = Q_{\Phi} + Q_{\gamma} + Q_1$$

В соответствии с законом теплообмена теплота от источников теплообразования отводится в направлении менее нагретых частей, находящихся с ними в контакте, а именно: в заготовку, стружку и режущий инструмент **根据热传递定律，来自发热源的热量沿着与之接触的热量较少的零件的方向被除去，即：进入工件，切屑和切削工具**. При этом часть теплоты отводится в окружающую среду, например, с помощью подводимой в зону резания **смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)** **在这种情况下，例如，借助于供应到切割区的切割润滑剂（冷却剂），将部分热量排到环境中**. Однако если резание осуществляется на воздухе, то эту теплоту из-за ее малой величины обычно не учитывают **但是，如果在空气中进行切割，则由于其热量较小，通常不考虑该热量**.



ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ (продолжение)

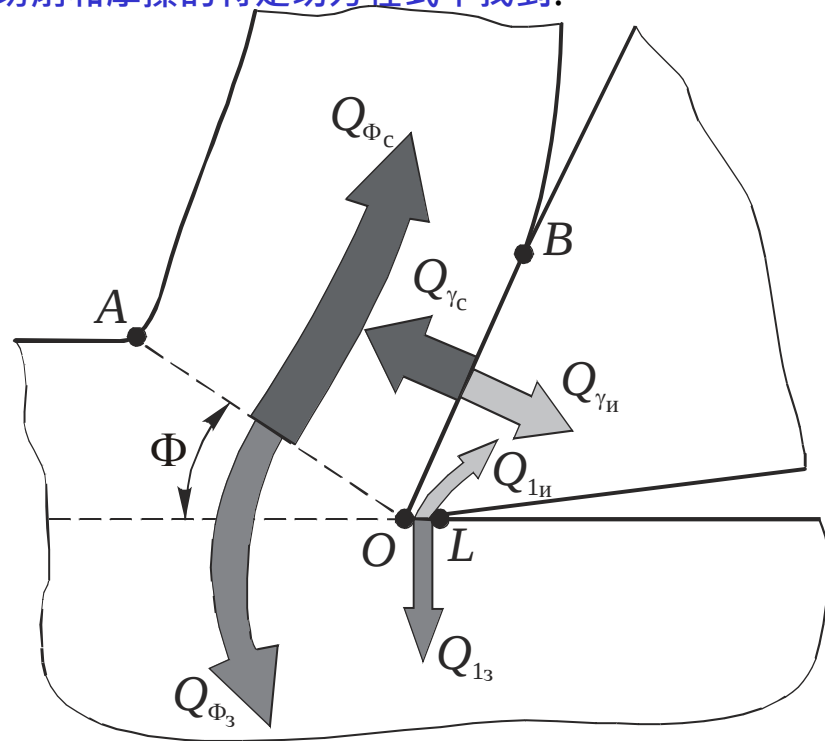
На основании изложенного **уравнение теплового баланса** имеет вид **基于以上所述, 热平衡方程的形式为:**

$$Q_{\Phi} + Q_{\gamma} + Q_1 = Q_3 + Q_c + Q_{\text{и}} + Q_{\text{ос}}$$

Если рассматривать тепловой баланс **в единицу времени**, то левая часть уравнения представляет собой сумму **тепловых мощностей** трех источников образования теплоты, которые можно найти по **уравнениям удельных работ резания и трения**, используя тепловой эквивалент **当量** механической работы $A_{\text{тэ}}$ **如果我们考虑每单位时间的热量平衡, 则方程式的左侧是三个热量产生源的热功率的总和, 可以使用机械功的热当量从切削和摩擦的特定功方程式中找到.**

Приходные статьи теплового баланса определяются относительно просто и с достаточно высокой точностью, но составляющие расходной (правой) части уравнения определяют либо **экспериментально**, либо путем сложных теплофизических расчетов **热平衡的收入项目可以相对简单地确定并且具有足够高的精度, 但是等式的消耗 (右侧) 部分可以通过实验确定, 也可以通过复杂的热物理计算确定.**

Обычно количество теплоты, отводимой в стружку, заготовку и инструмент, определяют экспериментально с помощью **калориметров** **通常, 用热量计通过实验确定排入切屑, 工件和工具中的热量.**

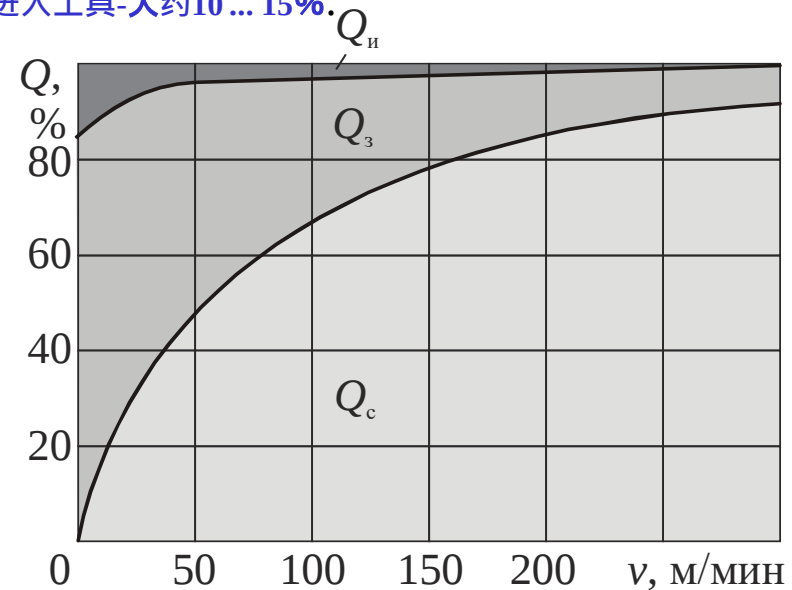


Потоки теплоты, отводимой в стружку, заготовку и инструмент

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ (продолжение) 切割过程中的热现象 (续)

По данным отечественных **国内** и зарубежных **国外** исследователей установлена следующая картина распределения теплоты по указанным направлениям **根据国内外研究人员的数据，建立了以下所示方向的热分布图**. Здесь с ростом скорости резания v количество теплоты, уходящей в стружку Q_c , монотонно **单调** возрастает, причем наиболее интенсивно **强烈地** это происходит при резании на низких скоростях **此处**. **随着切削速度 v 的增加，进入切屑的热量 Q_c 单调增加，当以低速切削时，这会最密集地发生**. Доля теплоты, поступающей в заготовку Q_z и инструмент Q_i , при увеличении скорости резания **наоборот сокращается相反**, **进入工件 Q_z 和工具 Q_i 的热量份额随着切削速度的增加而降低**. Например, при точении стали 40X со скоростью резания $v=20\ldots 50$ м/мин в стружку уходит 30...50% теплоты, в заготовку – 45...65%; при скорости резания $v=150$ м/мин в стружку уходит 75% теплоты, а в заготовку – около 20% **例如，以 $v=20\ldots 50$ м / min的切削速度车削40X钢时，30...50%的热量进入切屑，而45...65%的热量进入工件；在切削速度 $v=150$ м / min时，75%的热量损失到切屑中，约20%的热量损失到工件中**. В инструмент обычно переходит небольшая доля теплоты - около 10...15% **通常一小部分热量进入工具-大约10...15%**.

Такое влияние скорости резания на распределение теплоты объясняется тем, что с увеличением скорости резания все **большее количество теплоты остается в стружке** и все меньшее ее количество успевает перейти в заготовку и инструмент **切削速度对热分布的这种影响可通过以下事实来解释：随着切削速度的增加，切屑中残留的热量越来越多，越来越少的热量有时间传递到工件和刀具中**. К тому же с ростом скорости резания **снижается степень деформации** обрабатываемого материала, а следовательно, силы резания и площадь контакта стружки с передней поверхностью инструмента **另外，随着切削速度的增加，被加工材料的变形程度减小，因此切削力和切屑与刀具前表面的接触面积减小**. Все это приводит к **сокращению доли теплоты, переходящей в инструмент所有这些导致传递到仪器的热量比例的减少**.



Распределение теплоты между стружкой, заготовкой и инструментом при точении стали 40X **旋转40X钢时切屑，工件和工具之间的热量分布** ($T15K6$, $t=1,5$ мм, $s=0,12$ мм/об)

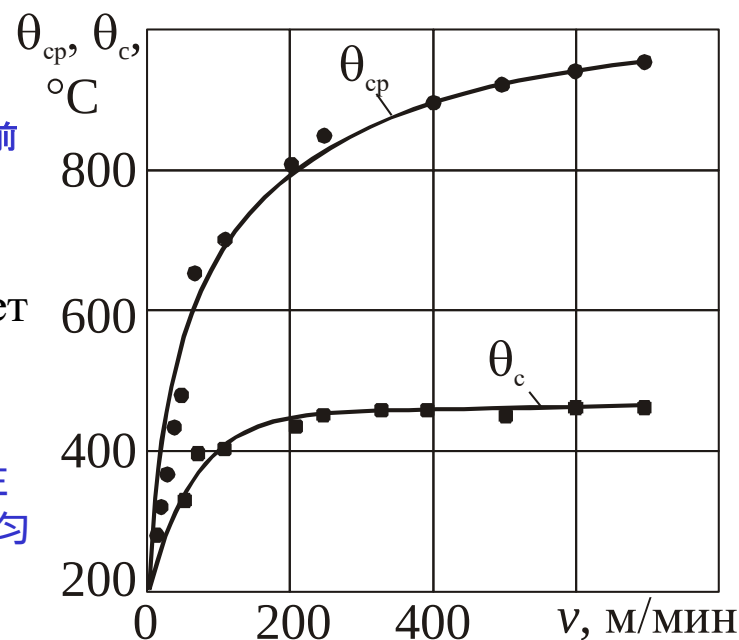
ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ (продолжение) 切割过程中的热现象 (续)

Уменьшение доли тепла, уходящего в инструмент не означает, что температура на контактных площадках инструмента и в самом режущем клине снижается. **进入工具的热量比例的减少并不意味着工具的接触区域和切削楔本身的温度降低。** Напротив, с ростом скорости резания температура значительно увеличивается. **相反, 随着切割速度的增加, 温度会显著升高。** Это объясняется тем, что теплота на контактных площадках инструмента концентрируется **集中** в очень узком по толщине слое, составляющем несколько микрометров. **工具接触区域上的热量集中在几微米的非常薄的层中,** а также тем, что с ростом скорости схода стружки пропорционально **比例** увеличивается работа трения на передней поверхности инструмента. **随着切屑流速的增加, 刀具前表面的摩擦功成比例增加。**



Из рисунка следует, что **средняя температура на передней поверхности θ_{cp}** инструмента намного выше, чем **температура в стружке θ_c** . **从图中可以研磨, 工具前表面的平均温度 θ_{av} 比切屑中的温度 θ_c 高值。** В связи с тем, что на площадке контакта стружки с инструментом эти температуры примерно равны, то это свидетельствует о неравномерности распределения температуры по толщине стружки, которая постепенно снижается по мере приближения к ее свободной стороне. **由于这些温度在切屑与工具的接触区域大致相等, 这表明在切屑厚度上温度分布不均匀, 随着其接近自由面逐渐减小。**

Чем выше теплопроводность обрабатываемого материала, тем больше теплоты переходит в заготовку, а чем выше скорость резания, тем меньше теплоты переходит в инструмент. **被加工材料的导热系数越高, 进入工件的热量就越多, 切削速度越高, 进入工具的热量就越少。** **随着速度增加, 进入刀具的热量比例减少, 但刀具与刨屑的接触面热量升高 (刀具热量减小是因为刀具传热效果不好)**



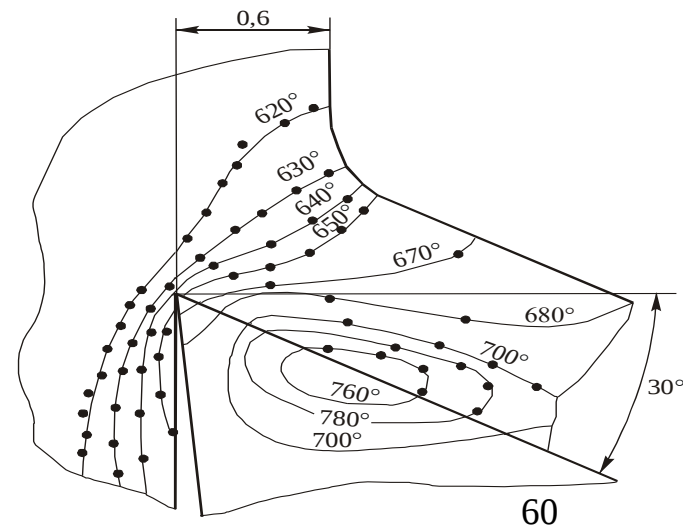
Влияние скорости резания на среднюю температуру **на передней поверхности θ_{cp}** и температуру **в стружке θ_c** при точении стали 40X (T15K6, $t=1,5$ мм, $s=0,12$ мм/об) **40X车削钢时切削速度对前表面平均温度 θ_{av} 和切屑温度 θ_c 的影响 (T15K6, $t=1.5$ 毫米, $s=0.12$ 毫米/转)**

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ (продолжение) 切割过程中的热现象 (续)

Измерение температуры резания с помощью термопар не позволяет точно замерять температуры на площадках контакта и получать точные картины распределения температуры в режущем клине, заготовке и стружке, что важно знать при оценке интенсивности износа отдельных участков инструментов с целью выбора их оптимальных геометрических параметров и назначения оптимальных режимов резания. 使用热电偶测量切削温度不允许准确地测量接触区域的温度, 并且无法获得切削楔、工件和切屑中温度分布的准确图片。这对于评估刀具各部分的磨损强度以选择其最佳几何参数并指定最佳切削条件时要知道是很重要的。 Частичное решение этой задачи дает применение метода термочувствительных покрытий 涂层 (термоиндикаторов) и радиационного метода 通过应用热敏涂层方法 (热指示剂) 和辐射方法可以部分解决此问题。

Метод термочувствительных покрытий основан на способности ряда веществ изменять свой цвет под воздействием температуры. 热敏涂层的方法基于多种物质在温度影响下改变其颜色的能力。 Если нанести тонкий слой термокраски 导热涂料 на боковую поверхность резца, то, используя тарировочные 校准 таблицы и оценивая изменение цвета под действием температуры на разных участках с помощью инструментального микроскопа 显微镜, можно построить **изотермы** – кривые постоянных температур в режущем клине. 如果在切割器的侧面上涂上一层薄薄的热熔涂料, 然后使用校准表并使用仪器显微镜在不同区域的温度影响下评估颜色变化, 则可以建立等温线-切割楔中的恒温曲线。

Радиационный метод основан на измерении температуры с помощью оптических фотоэлектрических датчиков 传感器 и специальных приборов, позволяющих измерять температуру в инфракрасной 红外线 части спектра в отдельных точках боковой поверхности резца и зоны резания. 辐射方法基于使用光学光电传感器和特殊设备测量温度的条件, 这些特殊设备使您可以测量刀具侧面和切削区域各个点处光谱的红外部分的温度。 Результаты таких измерений, выполненных Г.Бутройдом (Великобритания), показаны на рисунке. 图中显示了 G.Butroyd (英国) 进行的测量结果。



Инструментальные материалы 工具材料

Инструментальные материалы, используемые для изготовления режущих инструментов, должны удовлетворять следующим основным требованиям 用于制造切削工具的工具材料必须满足以下基本要求:

- 1) высокая **твёрдость**, более чем в 3...4 раза превышающая твёрдость обрабатываемого материала **高硬度**, 比加工材料的硬度高3到4倍;
- 2) высокая **красностойкость** (*теплостойкость*) - способность сохранять необходимую твёрдость до определенной температуры **高发红性 (耐热性)** -在一定温度下保持所需硬度的能力;
- 3) высокая **износостойкость** при повышенной температуре - сопротивляемость износу режущего клина **高温下的高耐磨性-切削楔的耐磨性**;
- 4) высокие **прочность** и **формоустойчивость** режущего клина **切割楔的高强度和尺寸稳定性**;
- 5) **технологичность** – способность обрабатываться **可制造性-处理能力**;
- 6) **стоимость**. Правильнее оценивать по **относительной стоимости** – стоимость инструмента, отнесённая к **объёму** удалённого материала (при черновой обработке) или к **обработанной площади до затупления** **钝化** (предельно допустимого износа) (при чистовой и получистовой обработке) **成本**. 用相对成本来估算是更正确的, 相对成本-刀具的成本除以去除的材料量 (在粗加工期间) 或除以钝化之前的处理区域 (最大允许磨损) (在精加工和半精加工期间) 相关.

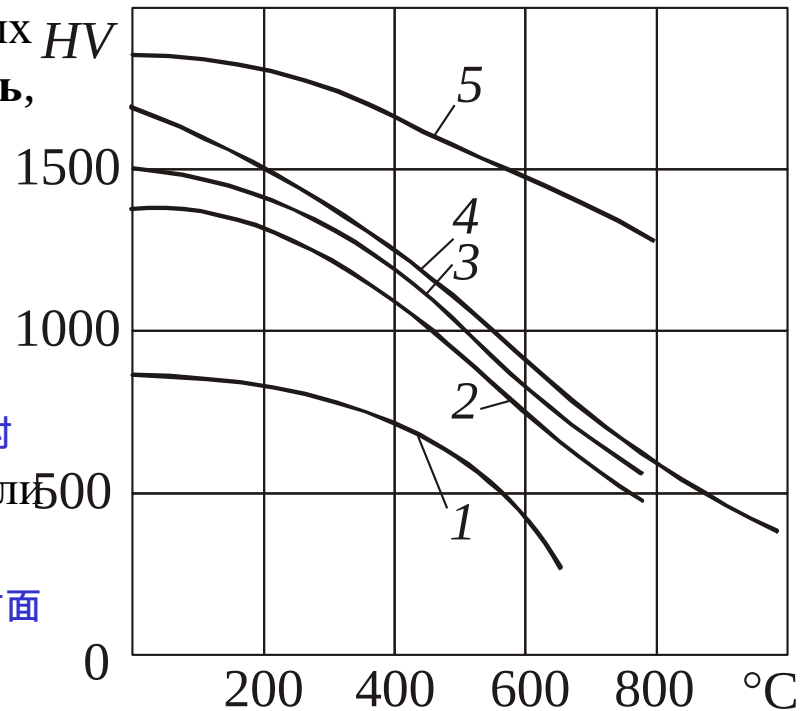
Все известные на сегодняшний день инструментальные материалы условно можно разделить на следующие группы 所有当前已知的工具材料可以有条件地分为以下几类:

- 1) инструментальные стали **工具钢**;
- 2) быстрорежущие стали **高速钢**;
- 3) безвольфрамовые сплавы **无钨合金**;
- 4) металлокерамические твёрдые сплавы **金属陶瓷硬质合金**;
- 5) сверхтвёрдые материалы (СТМ) **超硬材料 (STM)** ;
- 6) абразивные материалы **磨料**.

Инструментальные материалы (продолжение) 工具材料 (续)

Инструментальные стали - это углеродистые и низколегированные стали **工具钢是碳钢和低合金钢**. Углеродистые стали ($C=0,7...1,3\%$) обозначаются буквой У и цифрой - от У7 до У13, где буква У означает «углеродистые», а цифра - десятые доли процента углерода **碳钢 ($C = 0.7 \dots 1.3\%$) 用字母U表示, 数字-从U7到U13, 其中字母U表示“碳素”, 数字-百分之一的碳**. У высококачественных высокоуглеродистых сталей, содержащих мало примесей **杂质**, в конце обозначения ставится буква А, например, **У13А** **对于杂质少的高质量高碳钢, 字母A放在名称的末尾, 例如U13A**. После заковки **淬火** в воде и отпуска **回火** твердость углеродистых инструментальных сталей составляет $HRC_5 \ 61...63$ **经过水淬和回火后, 碳素工具钢的硬度为 $HRCE \ 61 \dots 63$** . Эти стали обладают низкой стоимостью и высокой технологичностью, а также высокими прочностью и износостойкостью **这些钢具有低成本和高可加工性, 以及高强度和耐磨性**.

Главным недостатком высокоуглеродистых HV сталей является их **низкая красностойкость**, равная **$200...250^{\circ}C$** **高碳钢的主要缺点是其耐热性, 等于 $200 \dots 250$** . Поэтому при резании конструкционных сталей инструментами из углеродистых инструментальных сталей средняя скорость резания v не превышает **5 м/мин** **因此, 当用碳素工具钢制成的工具切割结构钢时, 平均切割速度 v 不超过 $5 \text{ m} / \text{min}$** . В этой связи стали У7 и У8 применяют в основном для изготовления слесарных инструментов **在这方面, У7和У8钢主要用于制造钳工工具**, а стали У10...У12 – для изготовления режущих инструментов, работающих на низких скоростях резания и ручной подаче **У10 ... У12 钢-用于制造切削速度低且手动进给的切削工具**.



Влияние температуры на «горячую» твердость по Виккерсу некоторых инструментальных материалов: 1 – быстрорежущая сталь; 2 – твердый сплав марки ВК10; 3 – твердый сплав марки ВК6; 4 – твердый сплав группы ТТК; 5 – минералокерамика **温度对某些工具材料的“热”维氏硬度的影响: 1-高速钢; 2-硬质合金等级VK10; 3-硬质合金等级VK6; 4-ТТК集团的硬质合金; 5-矿物陶瓷**

Инструментальные материалы (продолжение)

Для улучшения технологических и режущих свойств **углеродистых сталей** в них вводят в небольших количествах (1...3%) **легирующие элементы** (хром **铬**, кремний **硅**, марганец **锰**, вольфрам **钨**, молибден **钼**, ванадий **钒** и др.) **为了提高碳钢的工艺和切削性能，向其中少量引入合金元素（铬·硅·锰·钨·钼·钒等）**. Сталь **XBG** применяется для изготовления **длинномерных инструментов**, требующих **минимального коробления** при термообработке (протяжки, развертки, метчики и др.) **KNVG** **钢用于制造在热处理过程中翘曲最小的长工具（拉刀·铰刀·丝锥等）**; сталь **9XC** — для изготовления **ручных инструментов** (развертки, плашки, фрезы и сверла) **9XC** **钢-用于制造手动工具（铰刀·模具·刀具和钻头）**; сталь **X6BF** — для изготовления **резьбонакатных инструментов** **X6VF** **钢-用于生产滚丝工具**.

Низколегированные инструментальные стали за счет **высокого содержания углерода** ($C=0,9...1,1\%$) после термообработки имеют твердость **HRC₃ 61...63**, обладают **хорошей прокаливаемостью** **淬透性** по сечению и несколько **повышенной красностойкостью** (теплостойкостью) (до **250...300°C**) **低合金工具钢由于热处理后的高碳含量（C = 0.9 ... 1.1%）而具有HRC 61 ... 63的硬度，在截面中具有良好的淬透性，并且发红度（耐热性）略有提高（最高250 ... 300°C）**.

Быстрорежущие стали (б/р сталь, HSS) (ГОСТ 19265-73) отличаются от инструментальных углеродистых и низколегированных сталей **высокой степенью легированности вольфрамом, молибденом, хромом и ванадием** **高速钢（废钢·HSS）（GOST 19265-73）与工具碳钢和低合金钢的不同之处在于，它们与钨·钼·铬和钒的合金化程度高**. В результате термической обработки быстрорежущих сталей легирующие элементы придают им **высокую красностойкость** (до 620°C), **углерод - твёрдость** (до **HRC₃ 63...64**), а легирующие элементы и углерод - **прочность на изгиб** (до $\sigma_{и}=3000...3500$ МПа) **由于对高速钢进行了热处理，合金元素使它们具有较高的红色硬度（最高620°C），碳硬度（最高HRC 63 ... 64），合金元素和碳弯曲强度（最高 $\sigma_{и}=3000 ... 3500$ МПа）**. Поэтому **скорость резания** инструментами из быстрорежущих сталей **в 4...6 раз выше** скорости резания инструментами из инструментальных сталей (**$v = 25-50$ м/мин, 600° C**) **因此，高速钢刀具的切削速度比工具钢制成的刀具的切削速度高4... 6倍（v = 25-50 m / min, 600° C）**.

Благодаря **высокой прочности** быстрорежущие стали имеют широкое применение, особенно для изготовления **сложнофасонных инструментов** (сверла, фрезы, резьбонарезные и зуборезные

Инструментальные материалы (продолжение)
При маркировке **быстрорежущих** сталей содержание углерода ($C=0,85...1,2\%$) и хрома ($Cr=3,1...4,4\%$) не указывают. 在标记高速钢时，未标出碳 ($C = 0.85 \dots 1.2\%$) 和铬 ($Cr = 3.1 \dots 4.4\%$) 的含量. После буквы **P** (**Rapid** – быстрый) следует процентное содержание **вольфрама** (**W**), а после букв **M** – молибдена, **Φ** – ванадия и **K** – кобальта在字母P (快速-快速) 之后是钨 (W) 的百分比，在字母M-钼，F-钒和K-钴之后. Красностойкость **600°C** (до появления **синего цвета** стружки), скорость резания $v = 20-80$ м/мин, глубина резания $t=5-0,1$ мм; подача $s = 0,8-0,05$ мм/об **发红600°C** (直到出现蓝筹) · 切削速度 $v = 20-80$ m / min, 切削深度 $t = 5-0.1$ mm ; 进纸 $s = 0.8-0.05$ mm /转.

Наилучшими эксплуатационными **操作** свойствами обладает б/р сталь марки **P18** (C (углерод)= $0,7...0,8\%$, W (вольфрам)= $17...18,5\%$, Cr (хром)= $3,8...4,4\%$, V (ванадий)= $1,0...1,4\%$, Mo (молибден)= 1%). К недостаткам этой стали относятся высокое содержание дефицитного **稀有 вольфрама** и несколько заниженная прочность на изгиб ($\sigma_{и}=2900...3100$ МПа) 这种钢的缺点包括高含量的稀有钨和弯曲强度 ($\sigma_{и}= 2900 \dots 3100$ МПа) 被低估了. Введение молибдена (до $5,5\%$) позволило при тех же режущих свойствах **снизить** содержание **вольфрама** и **повысить прочность на изгиб** до $\sigma_{и}=3300...3400$ МПа 钼的引入 (高达 5.5%) 使得在相同切削性能的情况下可以减少钨含量并提高抗弯强度，使 $\sigma_{и}= 3300 \dots 3400$ МПа. **Наибольшее применение** получила быстрорежущая сталь марки **P6M5** ($C=0,80...0,88\%$, $W=5,5...6,5\%$, $Cr=3,8...4,4\%$, $V=1,7...2,0\%$, $Mo=5,0...5,5\%$), имеющая близкую к стали P18 **теплостойкость**, **повышенные технологические свойства**, но несколько худшую **стойкость** 使用最广泛的高速钢等级P6M5 ($C = 0.80 \dots 0.88\%$, $W = 5.5 \dots 6.5\%$, $Cr = 3.8 \dots 4.4\%$, $V = 1.7 \dots 2.0 \%$, $Mo = 5.0 \dots 5.5\%$)，其耐热性接近钢R18，工艺性能增强，但耐用性稍差. Стали **повышенной теплостойкости** имеют повышенное содержание ванадия (стали марок P6M5Φ3, P12Φ3) и кобальта (стали марок P6M5K5, P9K10, P9M4K8, P18K5Φ2) 耐热性提高的钢中钒 (**R6M5F3**, **R12F3**级钢) 和钴 (**R6M5K5**, **R9K10**, **R9M4K8**, **R18K5F2**级钢) 的含量均增加. Они используются для **резания труднообрабатываемых** материалов, так как благодаря повышенному содержанию кобальта они отличаются высокими износо- и красностойкостью (до **640°C**), а также твердостью (до **HRC₃ 65**) 它们用于切削难以加工的材料，因为由于钴含量高，它们的特点是具有高耐磨性和耐红性 (高达 $640^{\circ}C$) 以及硬度 (高达**HRC₃ 65**) . К технологическим недостаткам этих сталей относятся худшая **шлифуемость**, вызванная повышенным содержанием ванадия, и **пониженная прочность на изгиб** (до $\sigma_{и}=2000$ МПа), вызванная введением кобальта, а также их **высокая стоимость** 这些钢的技术缺点包括：由于钒含量增加而导致的可磨性较差；由于引入钴而导致的弯曲强度降低 (最大 $\sigma_{и}= 2000$ МПа) . 以及成本较高.

Инструментальные материалы (продолжение)

Металлокерамические твердые сплавы - это композиции **成分** из порошков **粉末** тугоплавких соединений **耐火化合物: карбидов** вольфрама, титана, тантала и др., спеченных **烧结** со **связкой**, чаще всего из кобальта, при высоких температурах в вакууме или защитной атмосфере по технологии, напоминающей изготовление изделий из минеральной керамики **硬质合金是由难熔化合物 (钨·钛·碳化钨等) 粉末组成的粉末, 它们与粘合剂 (通常来自钴) 在真空或保护性气氛中高温烧结·使用的技术让人想起矿物陶瓷产品.** Отсюда и произошло название сплавов – металлокерамические **因此, 合金的名称-金属陶瓷.**

Несмотря на высокую стоимость, применяемость инструментов, оснащенных твердосплавными пластинами (в том числе с покрытиями), в настоящее время составляет примерно 55%, а количество стружки, снимаемой этими инструментами, достигает 50...60% от всего объема снимаемой стружки **尽管成本很高, 但配备硬质合金刀具的工具 (包括带有涂层的工具) 的适用性目前约为55%, 这些工具去除的切屑量达到已去除切屑总量的50 ... 60%.** Совершенствование технологии получения **мелкозернистых карбидов** позволило **увеличить предел прочности на изгиб** (до $\sigma_{и}=3500$ МПа), поэтому всё чаще даже **сложнопрофильные мелкогабаритные** инструменты изготавливаются из твёрдых сплавов **对生产细晶粒碳化物的技术的改进使得可以增加弯曲的极限强度 (最大 $\sigma_i=3500$ МПа) , 因此, 越来越多的复杂型小型刀具都由硬质合金制成.**

Благодаря высокой теплостойкости (800...1000°C), твердости (**HRA 87...91**) и износостойкости скорость резания твердосплавными инструментами **$v=150-550$ м/мин**, что в 4...5 раз выше скоростей резания, достигаемых быстрорежущими инструментами **由于具有较高的耐热性 (800 ... 1000) C) , 硬度 (HRA87 ... 91) 和耐磨性, 硬质合金刀具的切削速度 $v = 150-550$ m / min, 比高速刀具的切削速度高4 ... 5倍.** Однако по прочности на изгиб, которая составляет $\sigma_{и}=900...1600$ МПа, твердые сплавы существенно (в 2...3 раза) уступают быстрорежущим сталям **但是, 就抗弯强度而言, $\sigma_i=900 ... 1600$ МПа, 高速钢的性能是硬质合金的显着 (2 ... 3倍) .**

Твердые сплавы условно делят на четыре основные группы **硬质合金通常分为四大类:**

- 1) **однокарбидные вольфрамокобальтовые (ВК)单碳化钨钴 (VK) ;**
- 2) **двухкарбидные титано-вольфрамовые (ТК)二碳化钨钛;**
- 3) **трехкарбидные титано-тантало-вольфрамовые (ТТК)三碳化钛-钽-钨 (ТТК) ;**
- 4) **безвольфрамовые на основе карбида и карбонитрида титана基于碳化物和碳氮化钛的无钨.**

Инструментальные материалы (продолжение)

Металлокерамические **твёрдые сплавы** условно делят на четыре основные группы **烧结硬质合金**
通常分为四大类:

1) **однокарбидные вольфрамокобальтовые (группа ВК, старое название - «победит»)** – для обработки чугуна, титановых сплавов, труднообрабатываемых сплавов и материалов, **цветных металлов и сплавов**, т.к. к ним меньше прилипает стружка **单碳化钨-钴 (VK集团, 旧称“胜利”) -用于加工铸铁, 钛合金, 难加工的合金和材料, 有色金属和合金, 因为刨屑很少粘到他们:**

VK8 (8% кобальта, остальное – карбид вольфрама (WC – 92%) – для черновой обработки **VK8 (8% 钴, 其余为碳化钨 (WC-92%) -用于粗加工;**

VK4 (4% кобальта, остальное – карбид вольфрама (WC – 92%) – для чистовой обработки **VK4 (4% 钴, 其余-碳化钨 (WC-92%) -用于精加工;**

2) **двукарбидные титано-вольфрамовые (группа ТК) – для обработки стали** **碳化钨钛合金 (TK集团) -用于钢铁加工:**

T15K6 – для получистовой обработки и черновой без ударов (6% кобальта, 15% карбида титана (TiC), остальное (79%) – карбид вольфрама (основа) **T15K6-进行无冲击半精加工和粗加工 (6%的钴, 15%的碳化钛 (TiC), 其余的 (79%) -碳化钨 (基体) ;**

T5K10 – для черновой обработки с ударами (но стойкость примерно в 2 раза меньше, чем при T15K6) **T5K10-用于有冲击的粗加工 (但耐用性是T15K6的约2倍) ;**

T30K4 – для чистовой обработки закалённых сталей **T30K4-用于精加工淬硬钢.**

3) **трехкарбидные титано-тантало-вольфрамовые (ТТК)** **三碳化钛-钽-钨 (ТТК) ;**

4) **безвольфрамовые твёрдые сплавы** на основе карбида и карбонитрида титана **基于碳化物和碳氮化钛的无钨硬质合金.**

При черновой обработке незакалённой стали твёрдым сплавом **T15K6:** скорость резания $v = 80-200$ м/мин, глубина резания $t=2-4$ мм; подача $s = 0,8-0,4$ мм/об **用T15K6硬质合金粗加工未淬硬钢时: 切削速度 $v = 80-200$ m / min, 切削深度 $t = 2-4$ mm ; 进纸 $s = 0.8-0.4$ mm /转.**

При получистовой и чистовой обработке незакалённой стали твёрдым сплавом **T15K6:**
 $v = 350-550$ м/мин, глубина резания $t=0,5-0,1$ мм; подача $s = 0,21-0,05$ мм/об **使用T15K6硬质合金对未硬化钢进行半精加工和精加工: $v = 350-550$ m / min, 切削深度 $t = 0.5-0.1$ mm ; 进纸 $s = 0.21-0.05$ mm / rev.**

Инструментальные материалы (продолжение)

Широко используются **износостойкие** одно- и многослойных **покрытия** из карбидов, нитридов и карбонитридов титана, окиси алюминия и др. материалов **碳化物, 氮化物和碳氮化钛·氧化铝和其他材料的耐磨性单层和多层涂层得到了广泛使用**. Оптимальная их толщина 6...10 мкм на твердосплавных пластинах и 2...6 мкм – на быстрорежущих инструментах **其最佳厚度在硬质合金板上为6...10微米, 在高速工具上为2...6微米**. Высокая твердость (микротвердость $HV_1=1180..600$ при температуре 600...1000°C), **износостойкость, химическая инертность惰性** к обрабатываемому материалу и **низкая теплопроводность** позволяет **повысить стойкость инструментов в 2...5 раз** и увеличить скорость резания на 20...60% **高硬度 (在600...1000°C温度下的显微硬度 $HV_1=1180..600$) , 耐磨性, 对加工材料的化学惰性以及低热导率可将刀具寿命延长2到5倍, 并将切削速度提高20到60%.**

В многослойных покрытиях каждый слой имеет собственное функциональное назначение **在多层涂料中, 每一层都有自己的功能目的**. **Наружный слой** кроме **высокой твердости** должен иметь **низкий коэффициент трения** по отношению к обрабатываемому материалу **除了高硬度外, 外层与被加工材料的摩擦系数应低**. Последующие **слои** должны иметь **низкую теплопроводность**, препятствуя **防止** проникновению **渗透** теплоты в инструмент **后续层应具有低导热率, 以防止热量渗透到工具中**. **Внутренний слой** должен обладать хорошей адгезионной **附着** способностью к инструментальному материалу **内层必须与工具材料具有良好的附着力**.

Для нанесения покрытий в настоящее время наибольшее применение получили два метода: **CVD** (*Chemical vapour deposition*) – **высокотемпературный** (900...1000°C) метод, основанный на **химическом осаждении沉积** покрытия из **газовой фазы** **当前最广泛用于涂层的两种方法: CVD (化学气相沉积) -基于涂层化学气相沉积的高温 (900...1000°C) 方法;**

PVD (*Physical vapour deposition*) – **низкотемпературный** (300...800°C) метод, основанный на **физическом осаждении** покрытия из газовой фазы **PVD (物理气相沉积) 是一种低温 (300...800°C) 方法, 它基于气相的涂层物理沉积**.

В большинстве случаев покрытия наносят методом **PVD**. Твердость таких покрытий при любой температуре выше, чем покрытий, полученных методом **CVD** **在大多数情况下, 使用PVD方法涂覆涂料. 这种涂层在任何温度下的硬度都比通过CVD方法获得的涂层高**.

В России наиболее широко применяется низкотемпературный (600°C) метод **катодного напыления и ионной бомбардировки (КИБ)**, осуществляемый на установках типа «Булат-3Т», «Пуск» и др. **在俄罗斯, 最广泛使用的阴极沉积和离子轰击 (CIB) 的低温 (600°C) 方法是在“Bulat-3T”, “Start”等装置上进行的**.

Инструментальные материалы (продолжение)

Минеральная **矿物** **режущая керамика** **陶瓷** в своей основе имеет оксид алюминия Al_2O_3 и получается путем плавления **熔化** глинозема (бокситов) в электрических печах **炉/矿物切割陶瓷基于氧化铝 Al_2O_3 , 是通过在电炉中熔化氧化铝（铝土矿）而获得的**. Это так называемая оксидная или белая (по цвету) керамика, например марки ЦМ332, ВО-100 **这就是所谓的氧化物或白色（彩色）陶瓷，例如品牌CM332, VO-100**. Она имеет очень высокие теплостойкость (до 1400...1500°C) и твердость (HRA 90...92), бóльшую, чем у твердых сплавов, что позволяет обрабатывать ею металлы со скоростью 600 м/мин и более **它具有很高的耐热性（高达1400 ...1500°C）和硬度（HRA 90 ... 92），高于硬质合金，从而使其能够以600 m / min或更高的速度加工金属**.

Основные недостатки минералокерамики заключаются в ее **низкой прочности на изгиб** (320 МПа), которая на порядок меньше прочности на изгиб быстрорежущей стали и в большой нестабильности прочностных свойств. **矿物陶瓷的主要缺点是其低弯曲强度（320 MPa）（比高速钢的弯曲强度小一个数量级）以及强度特性的高度不稳定性。**

В последнее время созданы новые марки режущей керамики на основе нитрида кремния Si_3N_4 , **最近, 基于氮化硅 Si_3N_4 的切割陶瓷已被开发出来** так называемая **нитриднокремниевая (серая) керамика** марок ТВИН-200, ОНТ-20, **силинит Р**, у которой прочность на изгиб увеличена до 800 МПа **TWIN-200, ONT-20, silinit R 品牌的所谓氮化硅（灰色）陶瓷, 其中抗弯强度增加到 800 MPa**. Это позволяет использовать ее не только при чистовом точении высокопрочных сталей и чугунов, но и **при фрезеровании**, для которого характерна ударная нагрузка **这使其不仅可以用于高强度钢和铸铁的精密加工, 还可以用于以冲击载荷为特征的铣削**.

Для повышения прочности в состав минералокерамики вводят различные тугоплавкие **耐火** соединения: карбиды и оксиды вольфрама, молибдена, титана и др. **为了提高强度，将各种耐火化合物引入矿物陶瓷的成分中：钨，钼，钛等的碳化物和氧化物。** Это так называемые **керметы*** - оксидно-карбидная (черная) керамика марок В-3, ВОК-60, ВОК-63, ВОК-200, ТВИН-400 **这些是所谓的金属陶瓷*-V-3, VOK-60, VOK-63, VOK-200, TWIN-400等级的碳氧化物（黑色）陶瓷。** Благодаря указанным добавкам **添加剂**, меньшим зернистости **颗粒感** и пористости **孔隙率**, а также армированию **加强** нитевидными монокристаллами **单晶** карбида кремния SiC черная керамика по сравнению с белой керамикой имеет более высокую изгибную прочность (560...700 МПа), более стабильные свойства, но меньшую износостойкость **由于指定的添加剂，较低的晶粒尺寸和孔隙率以及碳化硅SiC晶须单晶的增强，与白色陶瓷相比，黑色陶瓷具有更高的弯曲强度（560... 700 МПа），更稳定的性能，但耐磨性较低。**

За рубежом керметы (*cermet*) – это группа безвольфрамовых твердых сплавов, состоящих из карбида и карбонитрида титана и цементирующего **胶结** металла (Ni, Co и др.), выполняющего роль связки **在国外，金属陶瓷是由碳化钛和碳氮化物以及用作粘结剂的胶结金属（Ni，Co等）组成的一组无钨硬质合金。**

Инструментальные материалы (продолжение)

Безвольфрамовые материалы. Большое внимание уделяется разработке новых **твердых сплавов**, не содержащих карбидов дорогого и дефицитного вольфрама **新的硬质合金不包含昂贵而稀有的钨的碳化物**, **这引起了人们的广泛关注**. Карбиды вольфрама заменены карбидами титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов **碳化钨被碳化钛所替代, 并添加了钼, 镍和其他难熔金属**. Разработанные сплавы ТМ1, ТМЗ, ТН-30, КТН-16 и др. обладают высокой износостойкостью **开发的合金ТМ1, ТМЗ, ТН-30, КТН-16等具有很高的耐磨性**.

Карбидохромистые твердые сплавы, например КХН-20, КХН-30 (цифры указывают на процентное содержание никеля, остальное – карбиды хрома), хорошо сопротивляются **抗** изнашиванию **磨损** и коррозии **腐蚀**, обладают низкой склонностью к схватыванию **碳化铬硬质合金, 例如ККНН-20, ККНН-30 (数字表示镍的百分比, 其余为碳化铬)**, **它们具有良好的耐磨性和耐腐蚀性能, 低咬合趋势**. Пониженная склонность **趋势** к адгезионному взаимодействию **附着性能** (схватыванию **咬合**) с обрабатываемым материалом снижает износ инструмента по передней поверхности, обеспечивая более низкую шероховатость обработанной поверхности **减少与工件材料的粘附 (咬合) 趋势, 减少了工具在前表面的磨损, 从而降低了表面粗糙度**. Применяются при чистовой и получистовой обработке низколегированных, высокохромистых и хромоникелевых сплавов и цветных металлов вместо **代替** стандартных сплавов Т30К4 и Т15К6 **它们用于低合金, 高铬和铬镍合金以及有色金属的精加工和半精加工, 而不是标准合金Т30К4和Т15К6**.

Сверхтвердые инструментальные материалы (СТМ) – это алмазы (природные и синтетические) и **кубический нитрид бора (КНБ)** - эльбор, кубанит, боразон **超硬工具材料 (STM) 是钻石 (天然和合成) 和立方氮化硼 (CBN) -埃尔堡, cuba石, 硼锌矿**.

Алмаз – самый твердый в природе материал (в 4...5 раз тверже твердого сплава), имеет высокую теплопроводность и низкий коэффициент трения, малую прочность на изгиб ($\sigma_{\text{и}}=210...480$ МПа), низкую красностойкость (800°C) **钻石是自然界中最坚硬的材料 (比硬质合金硬4到5倍), 具有高导热性和低摩擦系数, 低弯曲强度 ($\sigma_{\text{и}}=210 \dots 480$ МПа), 低发红度 (800°C)**. При более высокой температуре алмаз окисляется и графитизируется до СО и С **在更高的温度下, 金刚石氧化并石墨化为СО和С**. Алмаз весьма **хрупок脆弱** и это сильно снижает области его применения в металлообработке **钻石非常易碎, 这极大地减少了其在金属加工中的使用范围**. Крупный недостаток алмаза заключается и в его **химическом сродстве с железом** **钻石的主要缺点在于它对铁的化学亲和力**. Поэтому кристаллы природного алмаза не применяют для обработки сталей, а используют только при тонком точении цветных металлов и сплавов на высоких скоростях резания **因此, 天然金刚石晶体不用于加工钢, 而仅用于在高速切削时对有色金属和合金进行高速车削**.

Синтетические алмазы имеют малые размеры и в основном применяются для изготовления абразивных инструментов и композиционных материалов **人造金刚石尺寸小, 主要用于制造研磨工具和复合材料**.

Кубический нитрид бора (КНБ) – это синтетический материал со сложной алмазоподобной кристаллической решеткой, не имеет природного аналога. **立方氮化硼 (CBN) 是一种合成材料, 具有复杂的类钻石晶格, 没有天然类似物.** КНБ синтезирован как и искусственный алмаз при температуре 1360...2000 °С и давлении 6000...9000 МПа. из так называемого «белого графита» - химического соединения бора и азота. **CBN像人造钻石一样在1360 ... 2000°C的温度和6000 ... 9000 MPa的压力下合成。来自所谓的“白色石墨”-硼和氮的化合物.** На основе плотных **密集** модификаций **改性** кубического нитрида бора создан ряд инструментальных материалов, носящих название композиционных (композиты). **基于立方氮化硼的密集改性, 已创建了许多仪器材料, 这些材料称为复合材料 (复合材料).** **Композиты** делят на **две группы**: материал с массовой долей КНБ от 95 % и выше и массовой долей КНБ 75 % с различными добавками (например, Al_2O_3). **复合材料分为两组: CBN质量分数为95%以上的材料和CBN质量分数为75%的各种添加剂 (例如 Al_2O_3) 的材料.**

К **первой группе** относят эльбор Р (композит 01), бельбор (композит 02), гексанит (композит 10) и др. **第一组包括立方氮化硼 R (复合材料01), belbor (复合材料02), 六氮化物 (复合材料10) 等.** Материалы этой группы различаются технологией изготовления и исходным сырьем. **原材料**, поэтому имеют разные названия. **该组的材料在制造技术和原材料上有所不同, 因此名称不同.**

По твердости **эльбор** близок к алмазу, но обладает более высокой теплостойкостью, доходящей до 1200°С. Эльбор **химически инертный** материал и поэтому пригоден для обработки металлов самого разного состава. **在硬度方面, Elbor接近钻石, 但具有更高的耐热性, 最高可达1200°C. Elbor是一种化学惰性材料, 因此适用于加工各种成分的金属.** Благодаря высокой твердости и износостойкости его применяют для резания очень твердых материалов, закаленных сталей и даже твердых сплавов. **由于其高硬度和耐磨性, 它用于切割非常硬的材料, 硬化钢甚至硬质合金.**

Эльбор выпускают **в виде порошков** **粉末**, применяемых для изготовления абразивных инструментов и композиционных материалов, а также **в виде поликристаллов** **多晶** - пластин диаметром 4...40 мм, которые используются для оснащения резцов и фрез. **Elbor以粉末形式生产, 用于制造研磨工具和复合材料, 以及多晶形式-直径为4 ... 40 mm的板, 用于装备切割机和切割机.** Поликристаллы марок Композит 01, 02, 03, 05, 09, 10 (гексанит-Р) в зависимости от состава и технологии изготовления имеют прочность на изгиб 470...1200 МПа. **复合材料01、02、03、05、09、10级的多晶体 (hexanite-R), 根据成分和制造技术而定, 其抗弯强度为470 ... 1200 MPa.**

Ко **второй группе** композитов относятся: композит 05, состоящий из КНБ и двуокиси алюминия Al_2O_3 ; композит 09, представляющий собой поликристаллы твердого нитрида бора (ПТНБ). **第二组复合材料包括：复合材料05，由CBN和氧化铝 Al_2O_3 组成；复合材料09，是固态氮化硼（PTNB）的多晶。Композит 09** используется для оснащения **装备** инструмента, работающего **в условиях ударных нагрузок**. **复合材料09用于装备在冲击载荷条件下运行的工具。** Для обработки резанием используется также силинит-Р – материал на основе нитрида кремния (SiN) и не содержит дефицитных **稀有** элементов. **硅石也用于切割，这是一种基于氮化硅（SiN）的材料，不含稀有元素。** Для силинита-Р характерно отсутствие склонности к адгезии по отношению к большинству сталей, сплавов на основе меди, алюминия. **Silinite-R的特点是与大多数钢，铜，铝基合金相比没有粘附倾向。** Он обладает более высокими прочностью, ударной вязкостью и теплопроводностью, чем инструменты из минералокерамики. **比矿物陶瓷工具具有更高的强度，韧性和导热性。** Силинит-Р имеет достаточно высокие эксплуатационные **操作** свойства при точении и фрезеровании чугуна, а также при точении закаленных сталей. **Silinit-R在车削和铣削铸铁以及车削淬硬钢时具有相当高的性能。**

Композиты обладают большой хрупкостью, поэтому для увеличения прочности инструменты из них имеют **отрицательный передний угол (до -20°)** и небольшие углы в плане (от 10 до 30°). **复合材料非常易碎，因此，为了提高强度，工具的前角为负（最大 -20° ），进入角较小（从 10 到 30° ）。**

Двухслойные композиционные материалы в виде пластин, у которых верхний слой толщиной $0,5 \dots 1,0$ мм получают методом спекания при высоких температурах порошков из **эльбора** или синтетического алмаза, а **подложка** изготовлена из **твердого сплава**, имеют большие размеры и их удобнее крепить механическим способом. **板状的两层复合材料，其上层厚度为 $0.5 \dots 1.0$ mm，是通过高温烧结来自elbor或合成金刚石的粉末而获得的，而基底由硬质合金制成，具有较大的尺寸，并且更易于机械固定。**

Инструменты, оснащенные **СТМ** (**Сверхтвердые инструментальные материалы**), успешно работают в основном на **высокоточных и высокоскоростных станках с ЧПУ** и обрабатывающих центрах на **чистовых операциях** со скоростью резания, достигающей до **2000 м/мин**, и обеспечивают высокое качество обработанной поверхности, благодаря чему исключается операция шлифования. **配备STM的刀具主要在高精度和高速CNC机床以及加工中心上以高达 2000 m / min的切削速度在精加工操作中成功工作，并提供高质量的加工表面，从而消除了磨削操作。**

Инструментальные материалы (продолжение)

За рубежом обозначение твердых сплавов производится по **ISO 513**, который подразделяет твердые сплавы на **шесть групп** в зависимости не от состава, как в нашей стране, а от обрабатываемого материала, типа образующейся стружки и других факторов. **在国外, 硬质合金的名称是根据ISO 513进行的, 该标准将硬质合金分为六类, 这不仅取决于我国的成分, 还取决于要加工的材料, 形成的切屑的类型以及其他因素.**

Буквенное обозначение (цвет) → **Области применения** **代码字母 (颜色)** → **应用**

P (синий) → Обработка сталей, стального литья и некоторых ковких чугунов (сливная стружка) **P (蓝色)** → **加工钢, 铸钢件和一些球墨铸铁 (排屑)**

M (желтый) → Обработка нержавеющей сталей, жаропрочных и титановых сплавов (стружка скалывания) **M (黄色)** → **加工不锈钢, HRSA和钛合金 (切屑)**

K (красный) → Обработка серых чугунов с шаровидным графитом, ряда ковких чугунов, а также закаленных сталей, цветных металлов и пластмасс (элементная стружка) **K (红色)** → **加工球墨铸铁, 一系列球墨铸铁以及淬硬钢, 有色金属和塑料 (碎屑)**

N (зеленый) → Обработка алюминия и цветных металлов **N (绿色)** → **铝和有色金属的加工**

S (светло-коричневый) → Обработка жаропрочных и титановых сплавов **S (浅棕色)** → **加工耐热钛合金**

H (светло-серый) → Обработка закаленных сталей и чугунов **H (浅灰色)** → **加工淬硬钢和铸铁**

В зависимости от вида обработки (точение, сверление, фрезерование и др.) области применения твердых сплавов могут изменяться **根据加工类型 (车削, 钻孔, 铣削等)**, **硬质合金的应用领域可能有所不同**

В свою очередь группы твердых сплавов делятся на подгруппы, которые обозначаются индексами: 01, 10, 20, ..., 50. **反过来, 硬质合金的组又分为子组, 它们由索引01、10、20, ..., 50表示** Чем меньше индекс, тем меньше сечение срезаемого слоя и больше скорость резания, а инструментальный материал характеризуется высокой износостойкостью **指数越低, 切削层的截面越小, 切削速度越高, 刀具材料的耐磨性高.** С увеличением индекса растут подача и глубина резания, а у инструментального материала – прочность **随着索引的增加, 进给和切削深度增加, 对于刀具材料, 强度增加.** Например: **P 05** – означает, что твердый сплав предназначен для чистовой обработки стали; **P 50** – для черновой обработки стали; **M 25** – для получистовой обработки нержавеющей стали и т.д. **例如: P 05-表示硬质合金用于精加工钢; P 50-用于粗钢, M 25-用于半精加工不锈钢等.**

Прочность режущих инструментов **切削工具的强度**

Потеря формы режущего клина может произойти либо из-за хрупкого **разрушения**, пластической **деформации** под действием высокой температуры и больших контактных напряжений, либо из-за **износа** клина по **передней** и **задней** поверхностям, **округления** режущей кромки **可能由于脆性断裂, 在高温和高接触应力的作用下发生塑性变形, 或者由于楔子沿前后表面的磨损, 切削刀的倒圆而导致切割楔形的损失.**

Хрупкое разрушение режущего клина происходит в виде мелкого **выкрашивания** **碎裂** режущих кромок, **отслаивания** **剥落** инструментального материала на отдельных участках лезвий **片** или крупных сколов **碎块/切削楔的脆性断裂以切削刃的细小碎屑, 刀具材料在某些区域以片状或大块状的剥落的形式发生.** Такие разрушения характерны для инструментов из инструментальных материалов, обладающих наименьшей пластичностью и прочностью на изгиб, таких, как, например, **твердые сплавы**, **минералокерамика** и **СТМ** **对于由延展性和弯曲强度最低的工具材料制成的工具 (例如硬质合金, 矿物陶瓷和STM) 来说, 这种断裂是典型的.**

Выкрашивание режущих кромок происходит обычно при работе с ударами и переменной нагрузкой, имеющей место при врезании и выходе инструмента из контакта с заготовкой, а также связано с поверхностными дефектами **缺陷** инструментального материала, остаточными напряжениями **残余应力** и микротрещинами **微裂纹**, вызванными пайкой **焊接** и заточкой **锐化** инструмента **切削刃的崩裂通常在冲击和交变载荷下发生, 这在工具进入和离开工件时发生, 并且还 与工具材料的表面缺陷, 由于工具的焊接和锐化引起的残余应力和微裂纹有关.**

Отслаивание инструментального материала характерно для **твердых сплавов** **工具材料的崩刃在硬质金属中很常见.** Оно возникает из-за дефектов структуры твердого сплава под действием больших сил **адгезии** **附着力** со стороны сходящей стружки и особенно при активном наростообразовании **它是由于硬质合金的结构缺陷而产生的, 这种缺陷是在脱落的切屑侧面产生的高粘附力的作用下产生的, 尤其是在积聚的情况下.**

Сколы режущей части инструмента обычно включают объёмы режущей пластины **за пределами площадки контакта стружки** с инструментом, когда микротрещины, увеличиваясь под действием внешних нагрузок, сливаются в магистральную макротрещину, приводящую к разрушению режущего клина **工具切削部分的切屑通常包括切削刀片在切屑与工具之间接触区域之外 (二次变形之外) 的体积, 当微裂纹在外部载荷的作用下增加时, 合并成一个主要的大裂纹, 导致切削楔的破坏.** Сколы режущей части инструмента наиболее опасны, так как ведут к большим потерям инструментального материала и браку изделия **有缺陷的产品/刀具切削部分的切屑最危险, 因为它们会导致刀具材料和产品报废的大量损失.**

Расчёт на прочность методом конечных элементов有限元法强度分析

Сущность **实质** метода конечных элементов (МКЭ) заключается в том, что рассматриваемая область разбивается **被划分** на большое число отдельных элементов простой геометрической формы, связанных в узловых точках налагаемыми **被放置** связями. **有限元方法 (FEM) 的实质** 在于, 将要考虑的区域划分为大量简单几何形状的单元素, 这些元素在节点处通过强力连接进行连接. Каждому элементу предписываются конкретные свойства, неизменные внутри каждого элемента **为每个元素分配了特定的属性, 这些属性在每个元素内均保持不变**. На узлы, являющимися общими для выделенного **分出** элемента и остальным **其余的部分** телом инструмента, налагаются необходимые **связи** **必要的链接** **将放在** **所选元素和工具主体其余部分共有的节点**. К элементам рабочих поверхностей прикладываются **施加** **контактные нагрузки**, после чего определяются деформации и напряжения в каждом элементе **将接触载荷施加到工作表面的各个元素上, 然后确定每个元素中的变形和应力**. ANSYS - одно из основных программных обеспечений численного анализа МКЭ **ANSYS是用于数值有限元分析的主要软件之一**.

Основные этапы использования программы:

- 1) Создание 3D модели;
- 2) Задание внешних связей (опорных поверхностей) **设置外部链接 (参考表面)**;
- 3) Приложение внешних нагрузок **施加外力**;

3) Расчёт распределения напряжений, деформаций, температур, их анализ **计算应力, 应变, 温度分布及其分析**.

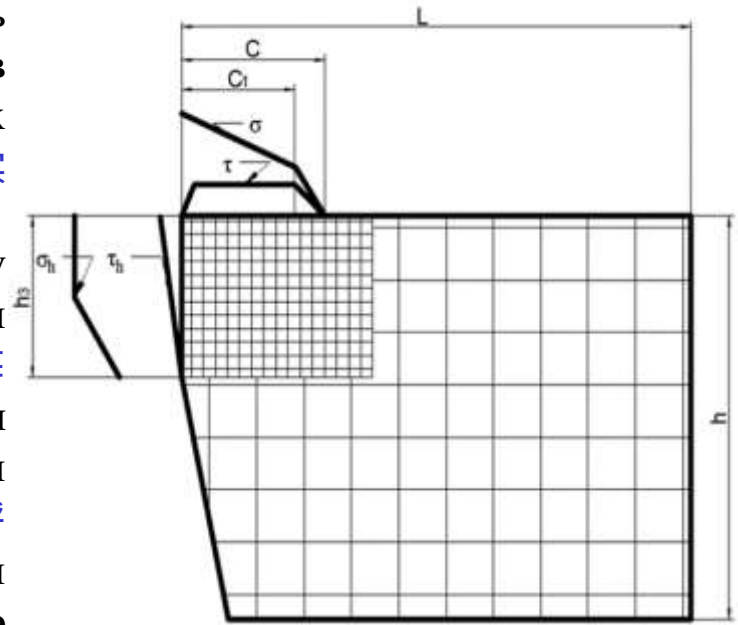
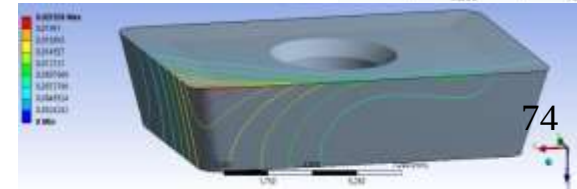
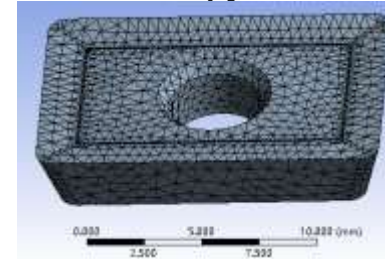
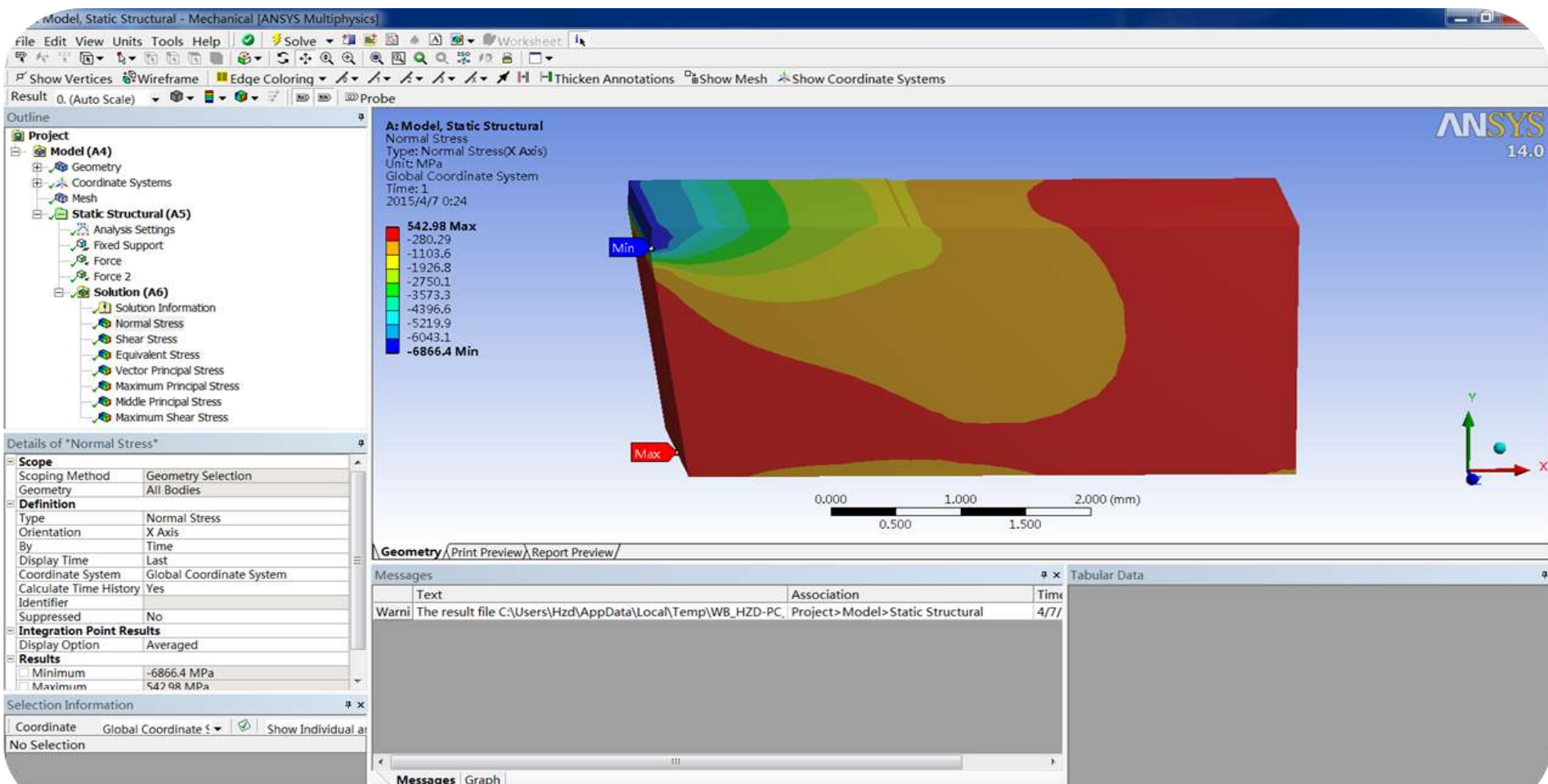


Рис.1. Разбивка тела резца на конечные элементы с применением внешних распределённых нагрузок



Расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) (распределение внутренних напряжений и деформаций) в режущем клине резца методом конечных элементов (МКЭ)

用有限元方法 (FEM) 计算刀具切削楔中的应力-应变状态 (SSS) (内部应力和应变的分布)



Результаты расчёта распределения внутренних напряжений в режущем клине резца методом конечных элементов (МКЭ) (FEM)通过有限元法 (FEM) 计算刀具的切削楔中的内部应力分布的结果。

Используемое программное обеспечение - программа «ANSYS»使用的软件-ANSYS软件

Запас **余量** прочности режущего инструмента **刀具的安全裕度**

Для учёта влияния всех внутренних напряжений и температуры в зоне НДС (**напряжённно-деформированного состояния**) рассчитывается **эквивалентное напряжение σ_{η}** **等效应力**. **考虑到应力应变状态区域内所有内部应力和温度的影响，计算了等效应力 σ_{η}** Учитывая изменчивость свойств инструментальных материалов с ростом температуры, В.А.Остафьев рекомендует следующие критерии **标准** предельного состояния для сплавов группы WC-Co (BK8, BK4), когда температура $\theta < 870 \text{ K}$ **考虑到工具材料的特性随温度升高的变化性，V.A. Ostafiev建议使用以下标准来确定WC-Co组合金的极限状态，即温度 $\theta < 870 \text{ K}$:(σ_{123} 三个方向的主应力 (**гравная нормальная напряжения**))**

$$\sigma_{\eta} = 0,24 \cdot \sigma_i + 0,76 \cdot \sigma_1 \cdot 0,8^{1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_1}} \leq \sigma_{\hat{a}} \quad (1)$$

интенсивность напряжений в рассматриваемой точке **研究点的应力强度**:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (2)$$

Запас прочности инструментального материала **工具材料的安全裕度**:

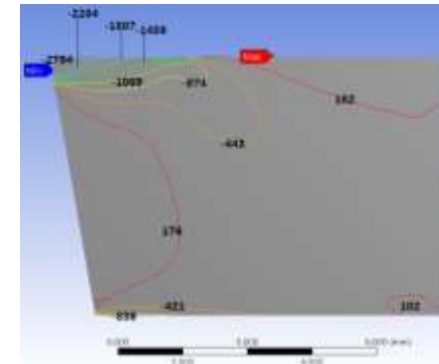
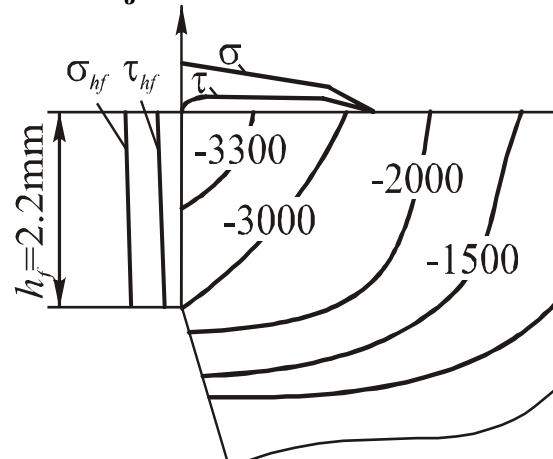
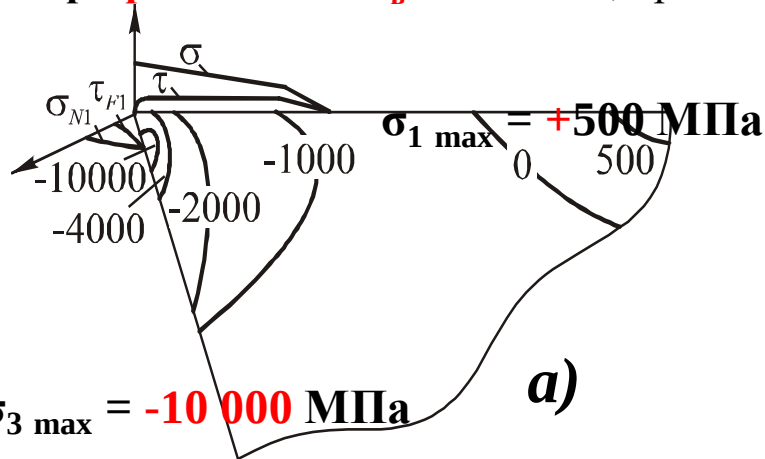
$$n = \sigma_{\epsilon} / \sigma_{\eta} \quad (3)$$

Для твердого сплава **BK8** (8% кобальта, остальное – карбид вольфрама (WC – 92%)) с размером зерна **晶粒** от 1 до 2 мкм пределы прочности: при **растяжении $\sigma_{\text{в}} = 780 \text{ МПа}$** , при сжатии **$\sigma_{\text{с}} = 4200 \text{ МПа}$** , предел прочности на изгиб **$\sigma_{\text{и}} = 1200 \text{ МПа}$** **对于VK8硬质合金 (8%钴，其余为碳化钨 (WC-92%))，晶粒尺寸为1至2μm极限强度：拉伸 $\sigma_{\text{w}} = 780 \text{ МПа}$ ，压缩 $\sigma_{\text{b}} = 4200 \text{ МПа}$ ，极限强度弯曲 $\sigma_{\text{i}} = 1200 \text{ МПа}$** . При уменьшении размера зерна до 0,1 мкм **$\sigma_{\text{и}} = 3500 \text{ МПа}$** **晶粒尺寸减小至 $0.1 \mu\text{m}$ $\sigma_{\text{i}} = 3500 \text{ МПа}$** .

Прочность режущих инструментов (продолжение)

За пределами площадки контакта стружки с передней поверхностью на расстоянии 1-5 длин контакта действуют **растягивающие напряжения (+ σ)**在切削与前表面的接触区域之外, 拉伸应力 (+ σ) 作用于1-5个接触长度的距离. Они создают благоприятные **有利的** условия для зарождения **产生** и развития трещин, что, в конечном счете, приводит к сколу крупных частей клина или к полному разрушению инструмента **它们为裂纹的产生和发展创造了有利的条件, 最终导致楔子的大部分碎裂或工具的完全破坏**. При этом точка **максимума растягивающих напряжений** отстоит от режущей кромки на расстоянии 2,0...2,5 длины контакта **在这种情况下, 最大拉应力点与切削刃之间的距离为接触长度的2.0 ... 2.5**. Фактическое разрушение может не совпадать с этой точкой, так как на него влияет местоположение **位置 дефекта缺陷**, дающего начало магистральной **主** трещине **实际断裂可能与此点不重合, 因为它受缺陷位置的影响而产生主裂纹**. Поэтому место разрушения относительно режущей кромки может находиться левее и правее указанной точки и носит **случайный, вероятностный характер**因此, 相对于切削刃的破坏位置可以位于指定点的左侧和右侧, 并且具有随机, 概率性.

При **растяжении $\sigma_{\text{в}} = 780$ МПа**, при сжатии **$\sigma_{\text{с}} = 4200$ МПа**.



в) $h_f = 0,5$ мм

Распределение главного внутреннего напряжения σ_1 в режущем клине резца при прямоугольном свободном точении диска из **титанового сплава ВТЗ-1**. [Козлов В.Н.]

ВТЗ-1 - ВК8, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $v=1$ м/с, подача s (f) = 0.21 мм/об $\rightarrow$ толщина среза $a = 0.21$ мм.

а – острозаточенный резец; **б** – длина фаски износа на задней поверхности $h_f = 2.2$ мм; **в**) $h_f = 0,5$ мм.

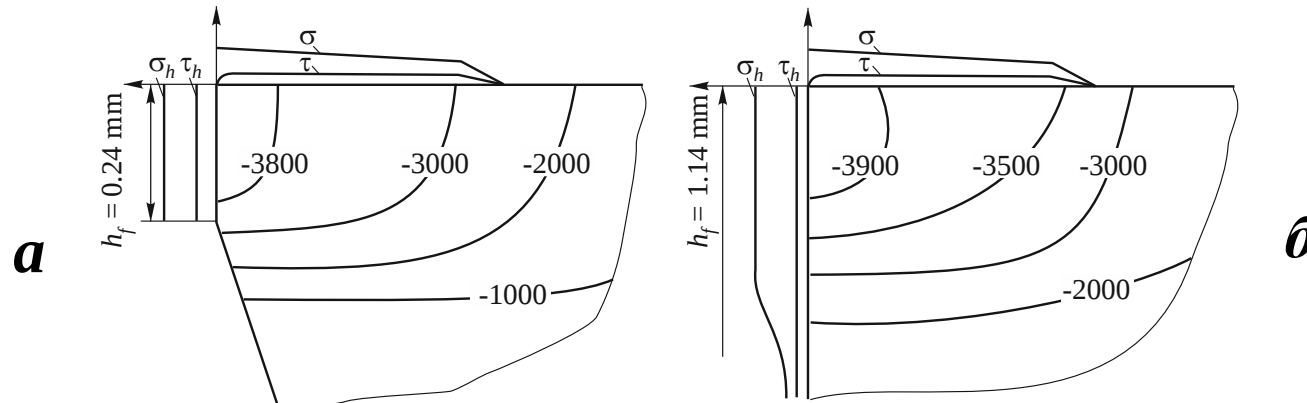
钛合金**ВТЗ-1**制成的圆盘在矩形自由转动时, 刀具的切削楔中的主要内部应力 σ_1 的分布。[Kozlov V.N.]

ВТЗ-1-ВК8, $\square=0^\circ$, $\square_h=0^\circ$, $\square=10^\circ$, $v=1$ м/с, 进料s (f) = 0.21 мм / rev $\rightarrow$ 切片厚度a = 0.21 мм。

-锋利的刀具 ; б-侧面倒角的长度 $h_f = 2.2$ мм ; в) $h_f = 0.5$ 毫米

Прочность режущих инструментов (продолжение)

Из параметров режима резания наибольшее влияние на величину растягивающих напряжений оказывает **толщина среза a** , с увеличением которой растут контактные напряжения. В **切削模式的参数中, 剪切厚度 a 对拉应力的影响最大, 接触应力增加**. Значение предельно допустимой толщины среза, при которой может произойти хрупкое разрушение режущего клина, зависит как от **свойств обрабатываемого материала**, так и от **величины угла заострения (β)** режущего клина. **切削楔可能发生脆性断裂的最大允许剪切厚度的值既取决于所加工材料的性能, 也取决于切削楔的角度**. На величину этого угла влияет в **основном только передний угол**, так как задний угол на резцах изменяется в небольших пределах, а именно: при черновой обработке $\alpha=6...8^\circ$, а при чистовой обработке $\alpha=8...12^\circ$. **该角度的值主要受前角的影响, 因为刀具的后角在很小的范围内变化, 即: 粗加工时 $\alpha=6...8^\circ$, 精加工时 $\alpha=8...12^\circ$** . Передний угол изменяется в более широких пределах от $\gamma=+35^\circ$ и до отрицательных значений ($\gamma=-10...-35^\circ$). **前角在从 $\gamma=+35^\circ$ 到负值 ($\gamma=-10...-35^\circ$) 的较大范围内变化**. В последнем случае, а также **при износе по задней поверхности** на передней поверхности режущего клина создаются благоприятные **напряжения сжатия**, но значительно **возрастают сила резания и температура резания**. **在后一种情况下以及在侧面磨损期间, 在切削楔的前表面上会产生有利的压缩应力, 但是切削力和切削温度会大大提高**.



Распределение главного внутреннего напряжения σ_1 в режущем клине резца при прямоугольном свободном точении диска из титанового сплава BT3-1. [Козлов В.Н.]

BT3-1 - BK8, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $v=1$ м/с, подача $s(f)=0,41$ мм/об $\rightarrow a=0,41$ мм.

$a - h_f = 0,24$ мм; $b - h_f = 1,14$ мм **钛合金BT3-1制成的圆盘在矩形自由转动时, 刀具的切削楔中的主要内部应力 σ_1 的分布。**

[Kozlov V.N.] BT3-1-BK8, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $v=1$ м/с, 进给 $s(f)=0.41$ мм/rev $\rightarrow a=0.41$ мм. $a-h_f=0.24$ 毫米; $b-h_f=1.14$ 毫米

Прочность режущих инструментов (продолжение)

Применение твердых сплавов показало, что на передней поверхности режущего клина весьма целесообразно создавать упрочняющую фаску под углом $\gamma_f = 0 \dots -5^\circ$, а за ней - положительный передний угол. 硬质合金的使用表明, 在切削楔子的前表面非常方便地以 $\gamma_f = 0 \dots -5^\circ$ 的角度创建硬化倒角, 在其后方为-正前角. Для повышения прочности твердосплавных пластин их толщина должна быть больше толщины срезаемого слоя примерно в 10 раз ($h_{\text{пласт}}$ от 4 до 5 мм) 为了增加硬质合金板的强度, 其厚度应约为切割层厚度的10倍 (h_{plast} 为4至5 mm). Увеличение толщины режущей пластины более 6 мм нецелесообразно, т.к. при незначительном увеличении прочности пластины происходит существенное увеличение её стоимости 将切削刀片的厚度增加到6 mm以上是不切实际的, 因为板的强度略有增加, 其成本就会大大增加.

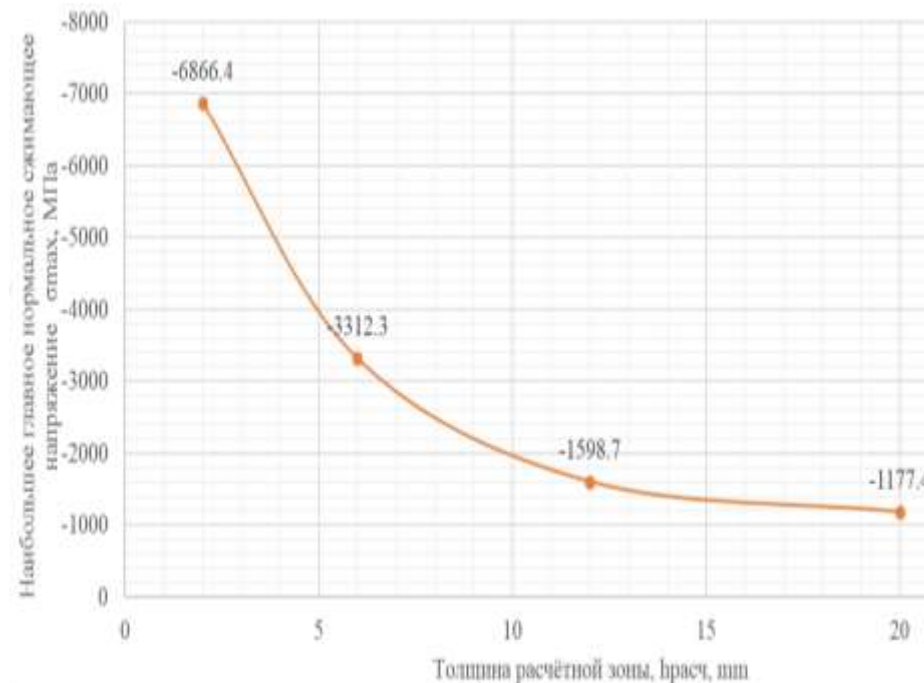
Исключение – черновая обработка

труднообрабатываемых материалов 唯一的例外是粗加工难以加工的材料, когда требуется

твёрдосплавная опорная

пластина? (модуль упругости

Юнга твёрдого сплава ($E = 54 \cdot 10^{11}$ МПа) в 2 раза больше, чем у стали) и толщина режущей пластины от 6 до 12 мм (см. рисунок) 需要硬质合金底板且刀片厚度为6到12毫米时 (请参见插图)



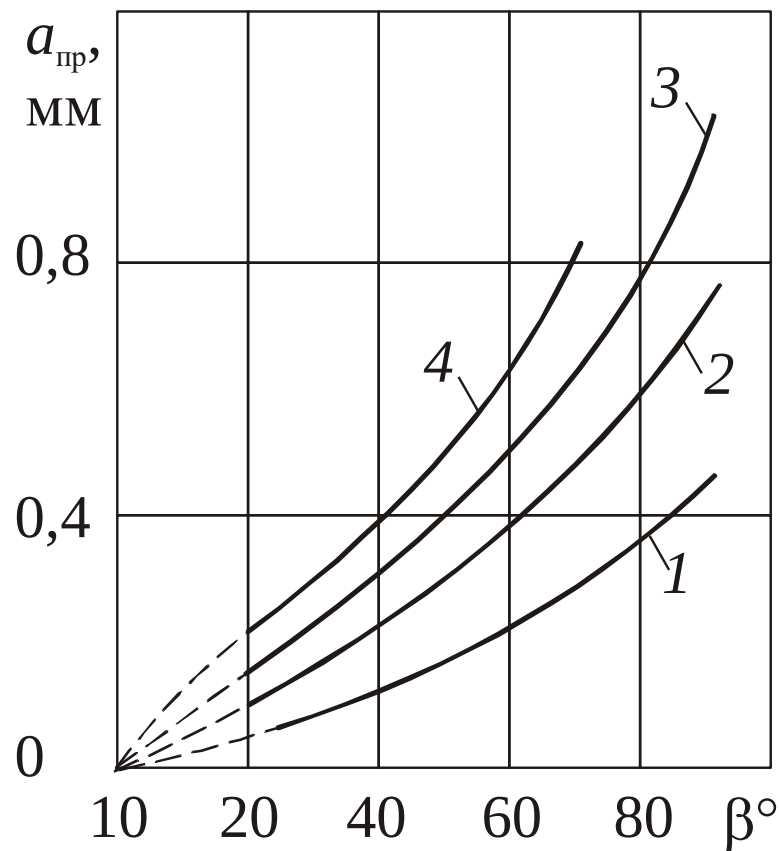
Влияние толщины режущей пластины $h_{\text{пластины}}$ (мм) на величину наибольшего сжимающего нормального напряжения в режущем клине $\sigma_{3\max}$ (МПа). ВТЗ-1 – ВК8, $\gamma = 0^\circ$, $v = 1$ м\с, $s = 0,21$ мм\об, $h_z = 0,2$ мм [Чжан Ц., Хуан Ч., Козлов В.Н.] 切割板的厚度 h (mm) 对切割楔中最大压缩法向应力 $\sigma_{3\max}$ (MPa) 的值的影响. ВТЗ-1-ВК8, $\gamma = 0^\circ$, $v = 1$ м / с, $s = 0.21$ мм / rev, $h_z = 0.2$ мм [Zhang Ts., Huang Ch., Kozlov VN]

Прочность режущих инструментов (продолжение)

На хрупкое разрушение большое влияние оказывает число циклов нагружения при прерывистой **断断续续的** обработке, и изменение напряжений при врезании и выходе режущего клина **脆性断裂在很大程度上受/断断续续的加工过程中的加载循环次数/以及/切入和退出切削楔期间的应力变化影响**.

С ростом числа циклов нагружения снижается усталостная прочность инструментального материала и увеличивается вероятность хрупкого разрушения режущего клина. Поэтому **при фрезеровании**, для которого характерна прерывистая обработка с ударами, **предельная толщина среза a в 2...3 раза меньше**, чем при **точении** **随着加载循环次数的增加, 工具材料的疲劳强度降低, 并且切削楔的脆性断裂的可能性增加**. 因此, 在铣削 (其特征在于具有冲击的间歇加工) 时, **极限切削厚度 a 比车削时小2到3倍**.

Следует отметить, что кроме этих причин **отрицательное влияние** на прочность твердосплавных пластин оказывает также их **переточка** **应该注意的是, 除了这些原因之外, 它们的重车也对硬质合金刀片的强度产生负面影响**. В этом преимущество **сменных многогранных пластин (СМП)** **这是可更换多面体板 (PMP) 的优势**.



Влияние угла заострения режущего клина на предельную толщину срезаемого слоя при точении:

1 – сталь 110Г13Л; 2 – сплав ХН60ВТ;
3 – сталь 12Х18Н10Т; 4 – сталь ШХ15 (ВК8)

Износ режущего инструмента **切削刀具磨损**

Износ режущего инструмента есть результат трения стружки о переднюю поверхность инструмента и его задней поверхности об обработанную поверхность **切削刀具的磨损是切屑在刀具的前表面和后表面在加工表面之间摩擦的结果**. Это процесс, протекающий при высоких температурных и контактных нагрузках **这是在高温和接触负载下发生的过程**. По сравнению с износом деталей в машинах при резании удельные давления выше в 300...400 раз, а температура - в 15...20 раз **与切削过程中机器零件的磨损相比, 比压力高300到400倍, 温度高15到20倍**. Кроме того, при резании износ происходит на очень малых площадках контакта, верхние слои которых могут испытывать пластические деформации **另外, 在切割时, 磨损会在很小的接触区域上发生, 其上层会发生塑性变形**.

Различают **четыре основных вида износа** режущих инструментов **切削工具的磨损主要有四种**: 1) механический **机械**; 2) адгезионный **粘着的**; 3) диффузионный **弥漫的**; 4) химический (окислительный) **化学 (氧化)**. (这些都在哪里发生?)

Механический (абразивный) износ происходит в результате резания - трения твердых включений инструментального и обрабатываемого материалов (упрочненные частицы нароста, карбиды, нитриды, интерметаллиды* и др.) о переднюю и заднюю поверхности инструмента **切削会导致机械 (磨料) 磨损-刀具前后表面的刀具和工件材料之间固体夹杂物 (硬化的堆积颗粒, 碳化物, 氮化物, 金属间化合物*等) 的摩擦**. Особенно много указанных включений находится в чугунах, а также в высоколегированных сталях и сплавах **尤其是在铸铁以及高合金钢和合金中发现了许多此类夹杂物**. Например, в алюминиевых сплавах этими частицами являются высокотвердые частицы кремния **硅**. **例如, 在铝合金中, 这些颗粒是高硬度的硅颗粒** Интерметаллические соединения — химические соединения металлов с металлами **金属间化合物-金属与金属的化合物**, например, CuAl_2 , MgZn_2 , Al_2CuMn . Входят в структуру большого числа промышленных металлических сплавов, обеспечивая им упрочнение **它们是大量工业金属合金结构的一部分, 可使其硬化**

Износ режущего инструмента (продолжение)

В наибольшей степени **механический (абразивный) износ** проявляется при работе инструментов из быстрорежущих сталей и наблюдается в виде **царапин**划痕, канавок凹槽 и других микронеровностей微观不平整 на передней и задней поверхностях инструмента在最大程度上, 机械(磨料)磨损会在高速钢制成的工具运行过程中表现出来, 并且在工具的前表面和后表面上均会以划痕, 凹槽和其他微粗糙度的形式出现. В меньшей степени механический износ наблюдается на твердосплавных инструментах из-за более высокой твердости и износостойкости твердых сплавов在较小程度上, 由于硬质合金的较高硬度和耐磨性, 在硬质合金刀具上观察到机械磨损.

Адгезионный износ является результатом действия сил адгезии, то есть сил межмолекулярного взаимодействия ювенильных少年的 (новых, юных - химически чистых, очищенных от окислов) свежееобразованных刚形成的 поверхностей стружки и заготовки при их контакте с поверхностями инструмента в процессе совместного трения粘着磨损是粘着力作用的结果, 即在接合摩擦过程中, 当/刚形成的切屑和工件表面/与/工具表面接触时, 少年(新的, 年轻的化学纯的, 无氧化物的)分子间相互作用的力.

Диффузионный износ происходит в результате взаимного переноса (диффузии) атомов контактирующих инструментального и обрабатываемого материалов接触工具和工作材料的原子相互转移(扩散)会导致扩散磨损. Скорость диффузионных процессов зависит от подвижности атомов, которая, в свою очередь, определяется температурой резания扩散过程的速率取决于原子的迁移率, 而迁移率又取决于切割温度. Диффузия становится заметной при температуре резания свыше 800...900°C, т.е. в области применения твердых сплавов и СТМ在超过800 ...900°C的切削温度下, 即当温度升高时, 扩散变得明显. 在硬质合金和STM的应用领域.

При резании твердосплавными инструментами материалов на основе железа наиболее быстро диффундирует углерод, имеющий наименьший радиус атомов, и значительно медленнее кобальт, вольфрам и титан当使用硬质合金工具切割铁基材料时, 具有最小原子半径的碳扩散速度最快, 而钴, 钨和钛慢得多. В результате поверхность твердого сплава обезуглероживается结果, 硬质合金的表面被脱碳. При этом в твердый сплав проникает железо, ухудшающее его структуру, происходит охрупчивание脆化 и разупрочнение软化 твердого сплава до такой степени, что отдельные участки этих слоев разрушаются и уносятся обрабатываемым материалом и стружкой在这种情况下, 铁渗透到硬质合金中, 从而破坏其结构, 使硬质合金变脆并软化, 以致这些层的各个部分被加工材料和切屑破坏并带走 (Отслаивание73页).

Износ режущего инструмента (продолжение)

При резании стали двухкарбидными сплавами группы ТК карбиды титана растворяются в стали медленнее, чем карбиды вольфрама. **用TK (двухкарбидные титано-вольфрамовые (группа ТК) 66页) 组的两种碳化物合金切削钢时, 碳化钛比钨碳化物在钢中的溶解速度更慢.** Аналогично железо быстрее диффундирует в карбид вольфрама, нежели в карбид титана. **同样, 铁扩散到碳化钨中的速度要快于碳化钛.** Поэтому **двухкарбидные сплавы в меньшей степени подвержены диффузионному износу,** чем **однокарбидные**. **因此, 与单硬质合金相比, 两种硬质合金不易受到扩散磨损的影响.**

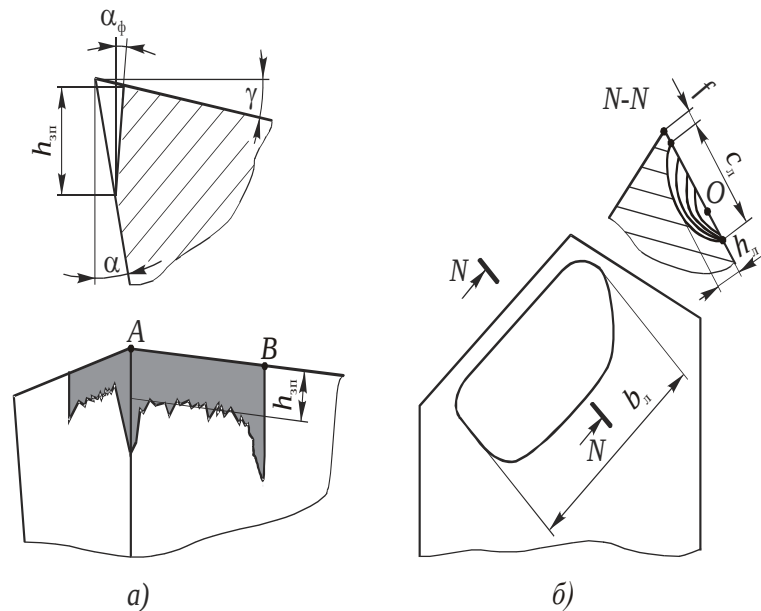
При обработке **чугунов** ($C > 2.14 \dots 4.3\%$) диффузия углерода из твердого сплава замедляется, **температура резания меньше,** чем при резании сталей; поэтому **однокарбидные** сплавы из-за повышенной **прочности** карбидов вольфрама **превосходят двухкарбидные** и по **износостойкости**. **当加工铸铁 ($C > 2.14 \dots 4.3\%$) 时, 碳从硬质合金中的扩散减慢, 切削温度低于切削钢时的温度. 因此, 由于碳化钨的强度增加, 一碳化物合金在耐磨性方面优于二碳化物合金. Однокарбидные** твердые сплавы используют также при резании **цветных металлов** и сплавов, при обработке **титановых сплавов** (из-за химического сродства **亲和力** двухкарбидные сплавы дают худшие результаты) **一碳化物硬质合金还用于切削有色金属和合金, 用于加工钛合金 (由于化学亲和力, 二碳化物合金的效果较差).**

Химический (окислительный) износ происходит за счет окисления при высоких температурах трущихся **摩擦** слоев благодаря высокой проникающей **高渗透** способности кислорода и ускоренного его соединения с ювенильными поверхностями стружки и инструмента. **由于氧气的高渗透能力及其与切屑和工具的表面的加速结合, 在摩擦层的高温下氧化会导致化学 (氧化) 磨损.** Образовавшиеся окисные пленки очень хрупки и поэтому легко разрушаются, оголяя **暴露** нижеследующие слои, которые в свою очередь также окисляются и подвергаются **裸露** разрушению. **形成的氧化膜非常易碎, 因此容易破裂, 暴露出随后的层, 这些层又会氧化并遭受破坏.** Окислительное изнашивание существенно увеличивается **при температуре резания более 700°C** **切削温度超过 700°C 时, 氧化磨损会显著增加.** У твердых сплавов наиболее быстро **окисляется кобальтовая связка,** при разрушении которой нарушается монолитность сплава, **ослабляется связь между зёрнами карбидов** титана и вольфрама. **在硬质合金中, 钴粘合剂的氧化速度最快, 破坏会破坏合金的坚固性, 削弱钛和碳化钨晶粒之间的结合力.** Окислительный износ можно существенно уменьшить за счет применения **инертных газов:** азота, аргона и гелия. **通过使用惰性气体: 氮气, 氩气和氦气, 可以大大减少氧化磨损**

Зоны износа режущего инструмента (продолжение)

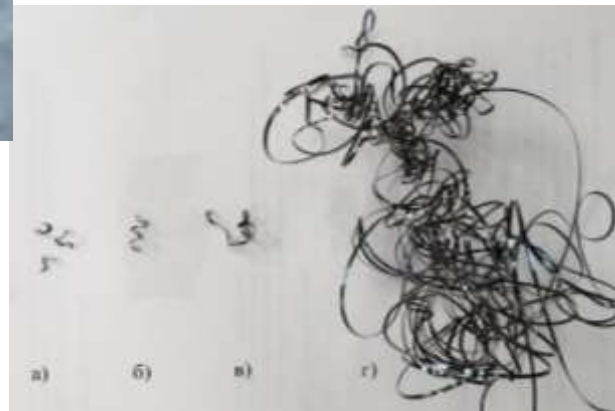
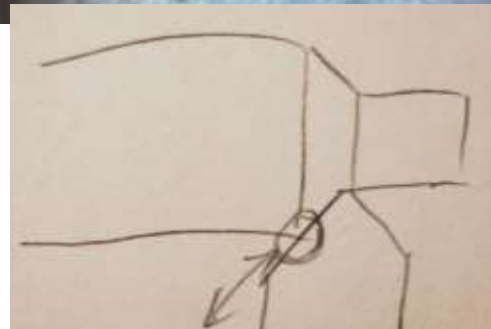
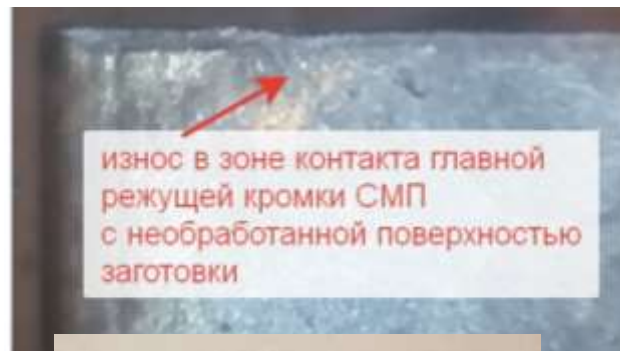
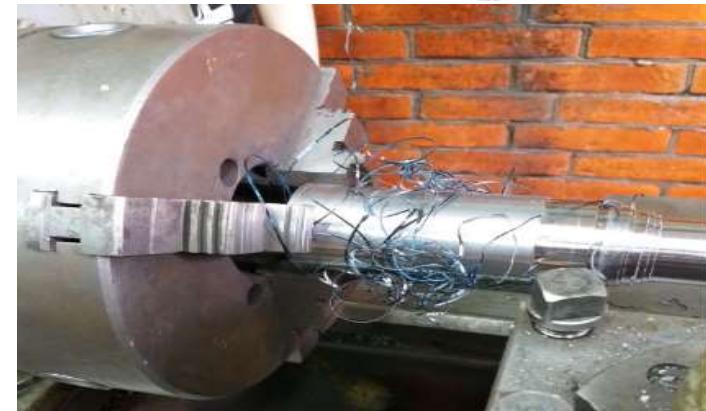
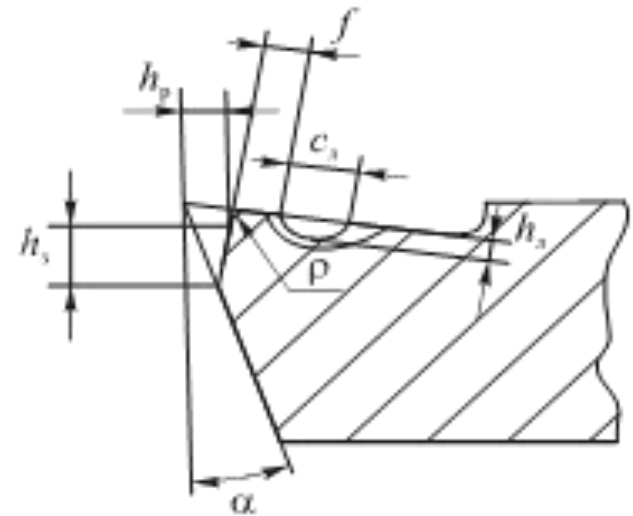
Независимо от типа и назначения режущие инструменты изнашиваются **мелко** прежде всего по **задним поверхностям** **不论类型和用途, 切削刀具主要沿侧面磨损**. Наиболее интенсивно **强烈地** изнашиваются участки задних поверхностей, прилегающих **邻** к режущей кромке, где контактные напряжения особенно высоки **与切削刃相邻的后表面磨损最严重, 这里接触应力特别高**. В результате этого образуется площадка (фаска) износа длиной $h_{зп}$ (h_f) с нулевым ($\alpha_f=0^\circ$) ($\alpha_h=0^\circ$), а в отдельных случаях и с небольшим отрицательным задним углом α_f **结果, 形成长度为h_{zp} (h_f) 的磨损区域 (倒角) 为零 ($\alpha_f=0^\circ$) ($\alpha_h=0^\circ$), 在某些情况下, 并带有较小的负间隙角 α_{ph}** . При несвободном резании ширина (длина) фаски износа $h_{зп}$ вдоль длины режущих кромок неравномерна **使用非自由切削时, 沿切削刃长度的倒角h_{zp}的宽度 (长度) 不均匀**. Она несколько увеличена на вершине резца (точка A), где высокая температура и условия трения наиболее неблагоприятны **在最不利于高温和摩擦条件的刀具尖端 (A点) 处略有增加**. Иногда на **краю** **边缘** площадки (точка B) наблюдается **локальный** **局部** **износ** в виде узкой проточки, из-за упрочненного поверхностного слоя заготовки **有时在平台的边缘 (B点), 由于工件的硬化表面层, 以窄槽的形式观察局部磨损**.

Износ по **передней поверхности** протекает с образованием лунки **坑** шириной c_l , длиной b_l и глубиной h_l **沿前表面的磨损发生在形成宽度为 s_l , 长度为 b_l 且深度为 h_l 的坑时**. Здесь точка O наибольшей глубины лунки примерно соответствует максимуму температуры резания на площадке контакта стружки с передней поверхностью **这里, 最大孔深的点O 大约对应于切屑与前表面接触区域的最大切削温度**. Передний край лунки отстоит на небольшом расстоянии f от режущей кромки **槽的前缘与切削刃的距离为 f** . Лунка располагается параллельно режущей кромке, несколько не доходя до вспомогательной режущей кромки **槽平行于切削刃, 比辅助切削刃略短**.



Износ режущего инструмента (продолжение)

Из-за упрочненного поверхностного слоя заготовки происходит **локальный износ** в виде узкой проточки и **округление режущей кромки ρ** 由于工件的表面硬化, 局部磨损会以窄槽和倒圆角 ρ 的形式出现



сменная многогранная пластика

Изменение **формы** стружки **после локального износа** в зоне контакта главной режущей кромки с необработанной поверхностью заготовки (**наматывание стружки** вокруг державки резца и заготовки - рис. б)在主切削刃与工件的原始表面接触区域局部磨损后, 切屑的形状发生变化 (将切屑缠绕在刀架和工件上-图B)



*а) Процесс
стружкообразования.*

$h_3 = 0,08 \text{ мм}$; $v = 180 \text{ м/мин}$;
 $s = 0,13 \text{ мм/об}$; $t = 1 \text{ мм}$ *切屑形成
过程。*

$h_z = 0.08 \text{ 毫米}$; $v = 180 \text{ м / min}$; $s =$
 0.13 毫米/转 ; $t = 1 \text{ 毫米}$



*б) Процесс
стружкообразования после
локального износа.*

$h_3 = 0,14 \text{ мм}$; $v = 180 \text{ м/мин}$;
 $s = 0,13 \text{ мм/об}$; $t = 1 \text{ мм}$ *局部磨损
后形成切屑。*

$h_z = 0.14 \text{ 毫米}$; $v = 180 \text{ м / min}$; $s =$
 0.13 毫米/转 ; $t = 1 \text{ 毫米}$

СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ 切削刀具的耐用度

Продолжительность резания новым или переточенным инструментом до его отказа, то есть до достижения предельно допустимого износа, называется **периодом стойкости** или **стойкостью** инструмента (**T**). 用新的或磨削的刀具进行切削直至其失效（即达到最大允许磨损）的时间称为刀具耐用周期或刀具耐用度（T）。

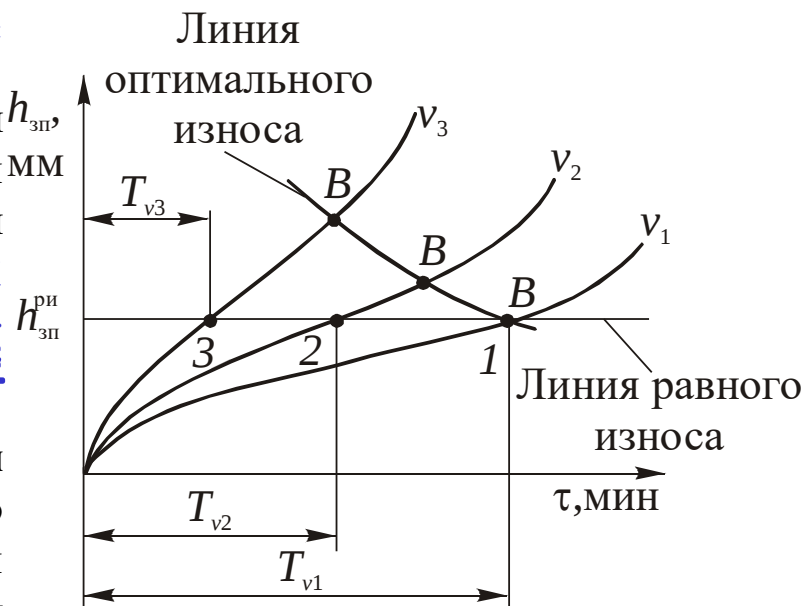
Кроме времени стойкость можно оценивать **площадью обработанной поверхности**, числом обработанных заготовок, отверстий и др. 除了时间以外，还可以通过加工表面的面积，加工工件的数量，孔等来评估耐用性。

От стойкости инструмента зависит производительность процесса резания. Поэтому в теории и практике обработки материалов резанием вопросу повышения стойкости режущих инструментов уделяется большое внимание. 切削过程的生产率取决于刀具寿命。因此，在通过切削加工材料的理论和实践中，增加切削工具的耐久性的问题受到了极大的关注。

Стойкость режущих инструментов обычно определяют по кривым износа. Однако для этого необходимо знать предельно допустимую величину износа, то есть **критерий стандарт затупления钝化**. 刀具寿命通常由磨损曲线确定。但是，为此必须知道最大允许磨损值（最大允许倒角磨损长度），即钝度标准。

На практике чаще всего в качестве этого критерия принимают допустимую для данного инструмента длину **фаски износа по задней поверхности $h_{зп}$** . 在实践中，对于给定的工具，磨损倒角沿侧面 $h_{зп}$ 的允许长度通常被视为该标准。Верхним пределом этой величины $h_{зп}$ является такое ее значение, после которого начинается период катастрофического износа (на типичной кривой это точка перегиба **B**) (0,75...1,25 мм).. 此值的上限是它的值，此后开始一段灾难性磨损（在典型曲线上，这是拐点B）（chan0.75 ... 1.25 mm）。**(B点是曲线拐点，过了B点，再使用同等时间，磨损的倒角长度更长)**

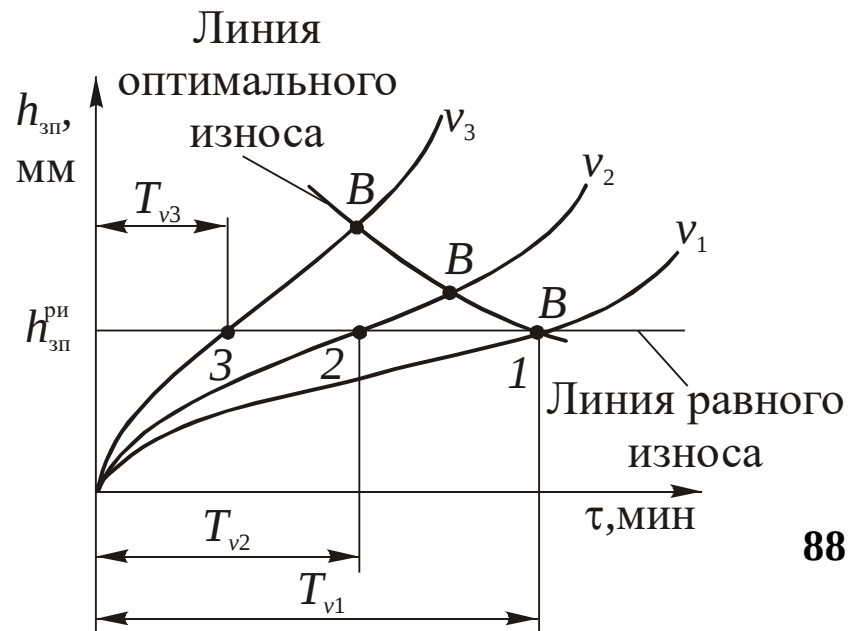
При чистовой обработке радиальная составляющая сила резания P_y становится достаточно большой, и происходит упругая деформация системы СПИД, приводящая к уменьшению точности обработки, поэтому $h_{зп доп}$ меньше (0,25 мм). 在精加工期间，切削力 P_y 的径向分量变得足够大，并且AIDS系统发生了弹性变形，导致加工精度降低，因此 $h_{зп доп}$ 较小 (0.25 mm)。



СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

При построении кривых износа для разных скоростей резания $v_3 > v_2 > v_1$ видно, что с ростом скорости резания кривые становятся круче и происходит смещение точки B в сторону больших допустимых значений $h_{\text{зп}}$, т.е. в этом случае за оптимальный износ, строго говоря, следовало бы принимать для каждой скорости свое значение $h_{\text{зп}}$. 当绘制不同切削速度 $v_3 > v_2 > v_1$ 的磨损曲线时, 可以看出随着切削速度的增加, 曲线变得更陡峭, 并且 B 点朝着 $h_{\text{зп}}$ 的较大允许值移动, 即在这种情况下, 严格来说, 应该将每种速度的值 $h_{\text{зп}}$ 作为最佳磨损。 Однако на практике с целью упрощения износ по задней поверхности $h_{\text{зп}}^{\text{рп}}$ принимают одинаковым (равновеликим) для всего семейства кривых износа и называют его **критерием равного износа**. 但是, 实际上, 为简化起见, 对于整个磨损曲线族, 假定侧面 $h_{\text{зп}}^{\text{рп}}$ 的磨损相同 (相等), 这被称为相等磨损的标准。 (同等磨损的意思是: 倒角磨损长度一样) В ряде случаев, например на автоматических линиях или на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) целесообразно применять более производительный и более экономичный **критерий оптимального износа**, о котором будет сказано далее. 在许多情况下, 例如在自动生产线上或在带有数控 (CNC) 的机床上, 建议使用生产率更高, 更经济的最佳磨损标准, 这将在下面进行讨论。 Численные значения критериев затупления определяют экспериментально. Они зависят от многих условий резания и, главным образом, от сочетания свойств режущего и обрабатываемого материалов. 钝度标准 (倒角最大允许磨损长度) 的数值是通过实验确定的。 它们取决于许多切削条件, 并且主要取决于切削材料和工作材料的性能组合。

Например, при **несвободном точении твердым сплавом сталей и чугунов** наибольшая величина фаски износа измеряется у **вершины резца** в главной секущей плоскости, т.е. в месте с наихудшими условиями теплоотвода. 例如, 在用硬质合金对钢和铸铁进行非自由车削的情况下, 磨削倒角的最大值是在主切削平面中的铣刀尖端处测得的。 在散热条件最差的地方 При этом допустимое максимальное значение фаски износа составляет: при **обработке стали** $h_{\text{зп}} = 0,8 \dots 1,0$ мм, а при обработке чугуна с подачей $s \leq 0,3$ мм/об – $h_{\text{зп}} = 1,4 \dots 1,7$ мм и с подачей $s > 0,3$ мм/об – $h_{\text{зп}} = 0,8 \dots 1,0$ мм. 在这种情况下, 磨损倒角的最大允许值 (长度) 为: 当加工钢时 $h_{\text{зп}} = 0.8 \dots 1.0$ mm, 以及当加工进料 $s \leq 0.3$ mm / rev- $h_{\text{зп}} = 1.4 \dots 1.7$ mm 和 s 的铸铁时 进纸 $s > 0.3$ 毫米/转- $h_{\text{зп}} = 0.8 \dots 1.0$ 毫米。



СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

Зависимость **длины фаски износа по задней поверхности h_3 (мм)** от **времени резания τ (мин)** при обработке стали 40X - WNMG080404-ТМ **с покрытием TiN**.
 $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм; 1 – $v = 180$ м/мин; 2 – $v = 360$ м/мин

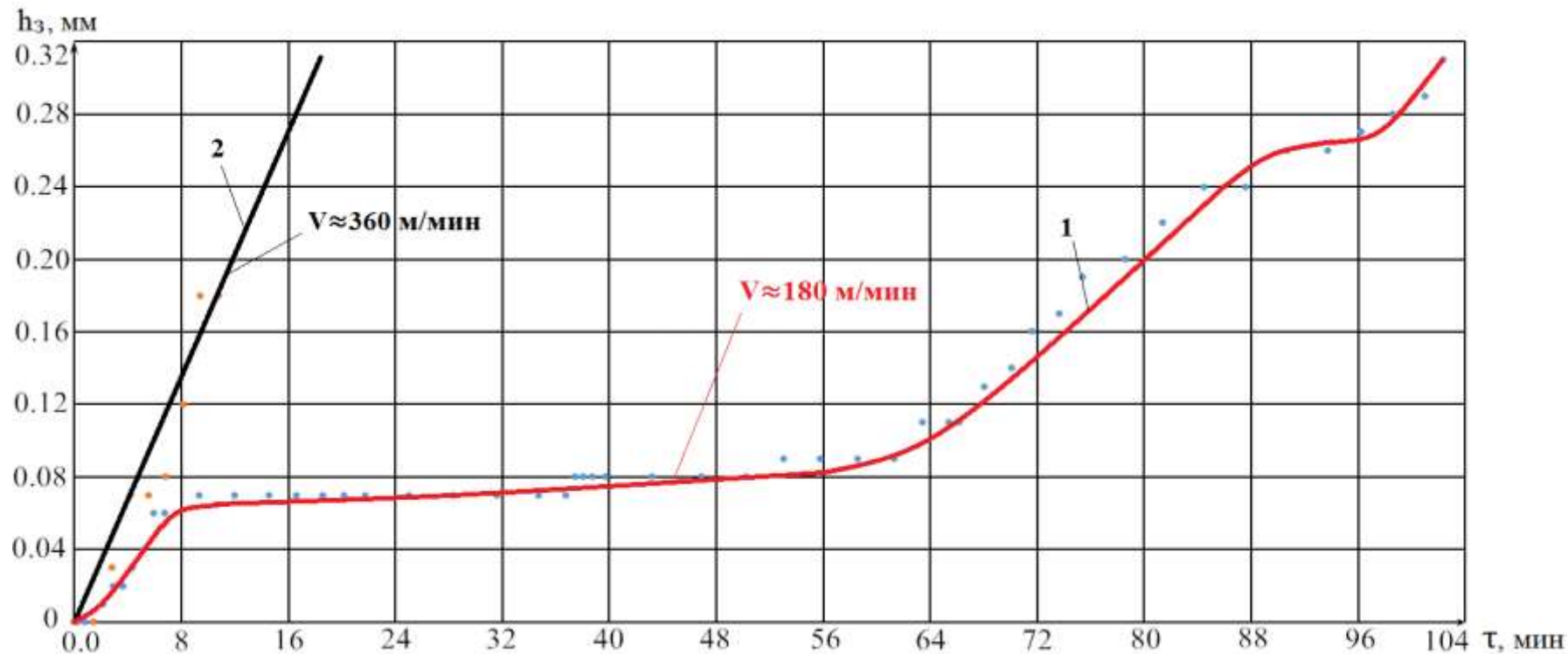
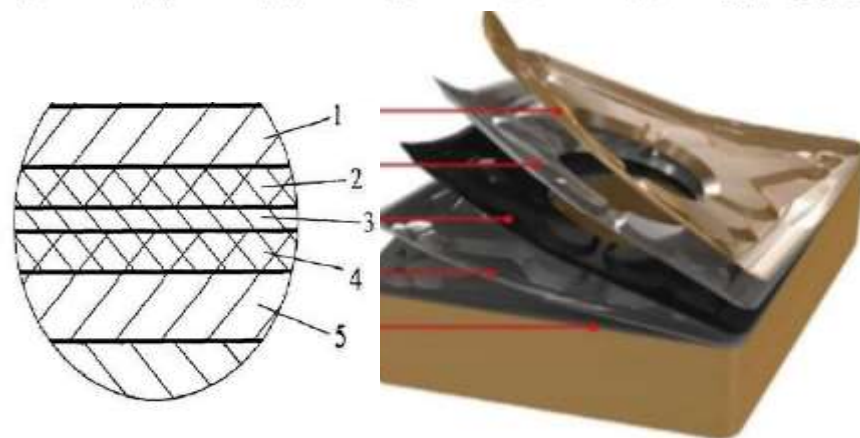


Схема многослойного покрытия на режущей пластине: 1 – износостойкий слой; 2 – верхний промежуточный слой; 3 – барьерный слой; 4 – нижний промежуточный слой; 5 – подложка
切削刀片上的多层涂层方案：1-耐磨层；2-上中间层；3-阻挡层；4-下部中间层；5-基材



СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

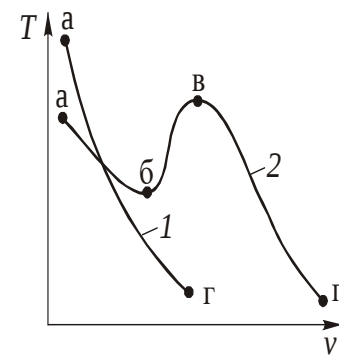
Кривая 2 имеет два перегиба в точках б и в. Эта кривая встречается при резании твердосплавными инструментами легированных сталей и сплавов, в том числе труднообрабатываемых сталей, при изменении скоростей резания в широком диапазоне. 曲线2在点b和c具有两个拐点。当在较大范围内改变切削速度时，使用硬质合金刀具切削合金钢和包括难加工钢在内的合金时，会出现该曲线。 Для удобства построения указанные кривые строят в логарифмических координатах и тогда зависимость - аппроксимируют в виде степенных эмпирических формул типа 为了方便构造，将这些曲线绘制在对数坐标中，然后以幂定律经验公式的形式来近似该类型的依存关系

$$T = \frac{C_1}{v^{m_1}}$$

где C_1 — постоянная величина, зависящая от обрабатываемого и инструментального материалов; C_1 是一个常数，取决于所处理的材料和工具材料；

m - показатель относительной стойкости, зависящий от вида обработки, инструментального и обрабатываемого материалов ($m=0,1 \dots 0,75$). m 是相对耐用性的指标，取决于加工，工具和加工材料的类型 ($m = 0.1 \dots 0.75$)。 Чем больше m , тем быстрее уменьшается стойкость инструмента при увеличении скорости резания. m 越大，刀具寿命随着切削速度的增加而降低的越快。

При проведении стойкостных испытаний и построении зависимостей $T - v$ из-за неоднородности инструментального и обрабатываемого материалов наблюдается значительный разброс экспериментальных данных, поэтому для определения средних, более вероятных, значений стойкости, необходимо многократно повторять опыты. 在进行电阻测试并绘制 $T-v$ 依赖性时，由于仪器和加工材料的异质性，观察到大量分散的实验数据，因此，要确定平均，更可能的电阻值，必须多次重复实验。 Логарифмирование приводит степенное уравнение ($v = a \cdot T^m$) к линейному ($\lg v = \lg a + m \cdot \lg T = \text{const} + m \cdot \lg T$). 取对数可将幂方程 ($v = a \cdot T^m$) 简化为线性方程 ($\lg v = \lg a + m \cdot \lg T = \text{const} + m \cdot \lg T$)。 Для построения линейного графика (прямой) достаточно знать положение только двух точек, что сокращает требуемое количество экспериментов. Поэтому часто стойкостные графики строят в двойных логарифмических координатах. 要绘制线图 (直线)，仅知道两个点的位置就足够了，这减少了所需的实验次数。 因此，寿命图通常以双对数坐标绘制。



СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

Падение стойкости на участке а-б объясняется влиянием адгезионного износа () 82页), который при изменении скорости резания в пределах $v_a \dots v_6$ возрастает. 区域a-b中的电阻下降是由粘合剂磨损的影响解释的, 该磨损随着 $v_a \dots v_b$ 内切削速度的变化而增加。 Увеличение стойкости на участке б-в связывают с уменьшением силы адгезионного (межмолекулярного) взаимодействия, вызванное ростом температуры резания. b-c部分的寿命增加与切削温度升高引起的胶粘剂 (分子间) 相互作用强度降低有关。 При дальнейшем увеличении скорости, когда температура резания составляет более $800 \dots 900^\circ\text{C}$, в пределах $v_6 \dots v_r$ превалирует диффузионный износ. Применение твердосплавных инструментов на скоростях **менее v_6** нецелесообразно. 随着速度的进一步提高, 当切削温度超过800...900℃时, 会在 $v_b \dots v_g$ 范围内扩散磨损。 以低于 v_b 的速度使用硬质合金刀具是不切实际的。

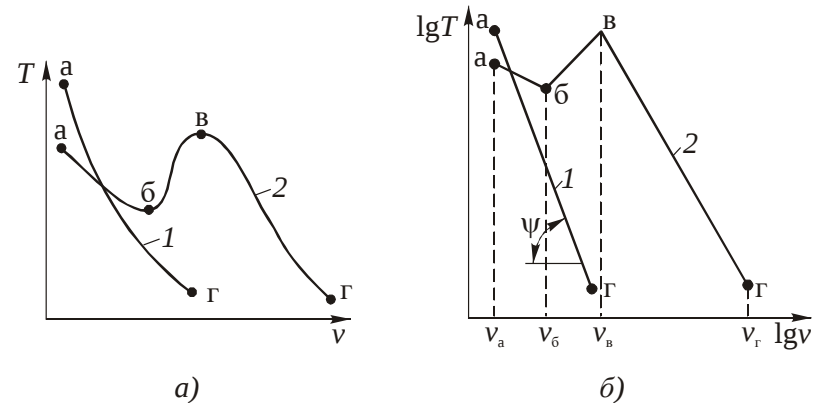
$$T = \frac{C_1}{v^{m_1}}$$

Влияние подачи s и глубины резания t на стойкость инструментов T определяют по той же методике, что и влияние скорости резания. 进给量 s 和切削深度 t 对刀具寿命 T 的影响是通过与切削速度的影响相同的过程确定的。 На основании трех частных зависимостей находят общую зависимость 根据三个特定的依存关系, 找到一个一般的依存关系

$$T = \frac{C_4}{v^{m_1} s^p t^q}$$

При этом из-за влияния режима резания на температуру показатели степени в формуле располагаются в порядке убывания, т.е.

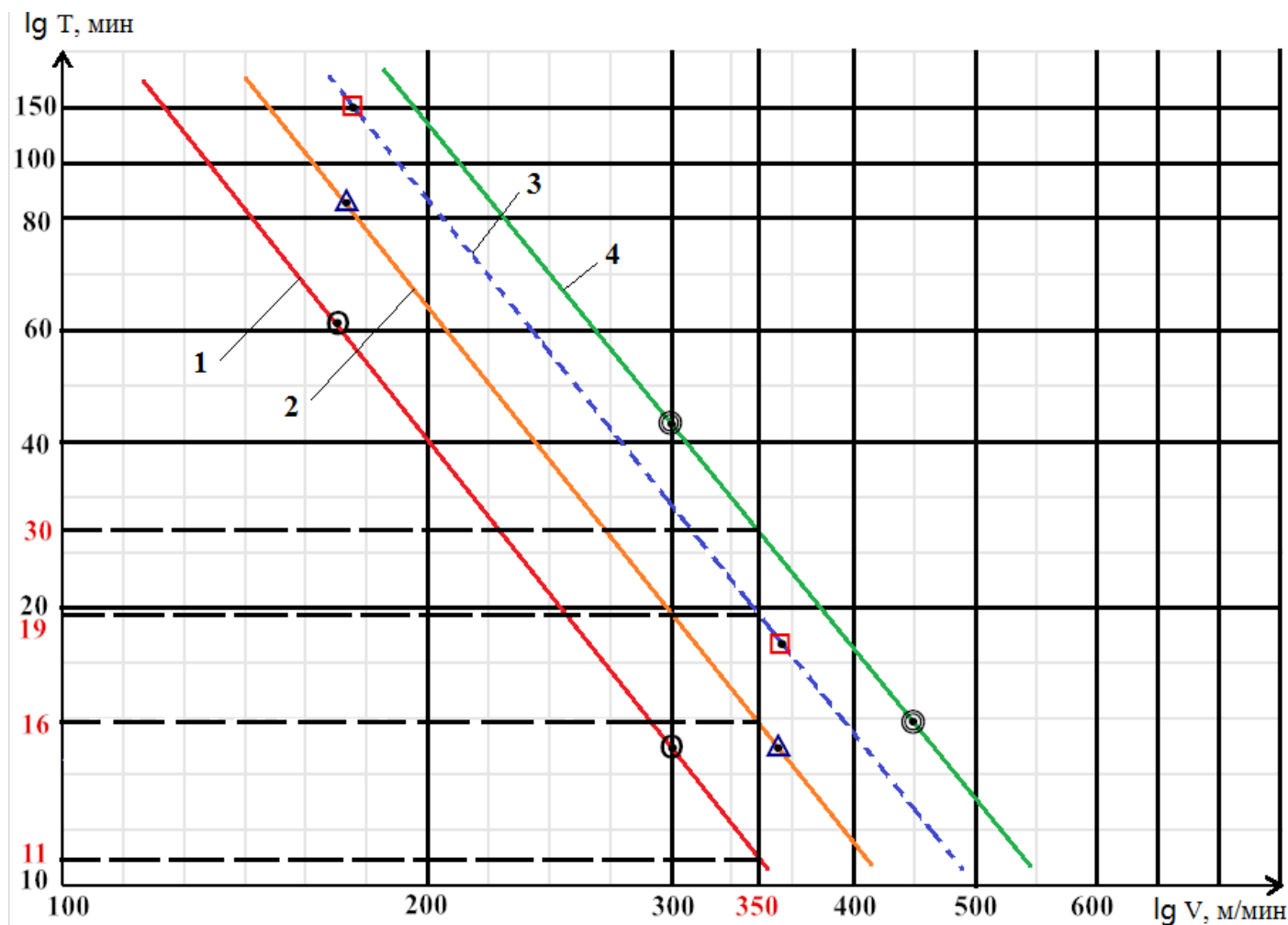
$m_1 > p > q$. 同时, 由于切割方式对温度的影响, 公式中的指数按降序排列, 即 $m_1 > p > q$



Зависимость стойкости инструмента T от скорости резания v : а – в обычных координатах; б – в двойных логарифмических координатах

СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

Зависимость стойкости T (мин) СМП с износостойкими покрытиями от скорости резания V (м/мин) при обработке стали 40Х и $h_3=0,2$ мм: **1**- без покрытия, **2**- с покрытием TiN, **3**- с покрытием AlTiN, **4**- с покрытием TiCN. 在加工40X和 $h_z = 0.2$ mm的钢时, 带耐磨涂层的SMP的耐久性 T (min) 与切削速度 V (m/min) 的关系: 1-不带涂层; 2-带TiN涂层; 3-带AlTiN涂层; 4- TiCN涂层。



$$T = \frac{C_4}{v^{m_1} s^p t^q}$$

СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

Наименьшее влияние на стойкость инструментов оказывает глубина резания t , а **наибольшее влияние** – **скорость резания v** . 切削深度 t 对刀具寿命的影响最小, 切削速度 v 影响最大。 Увеличение подачи s , а, следовательно, и толщины срезаемого слоя a , снижает стойкость инструмента существенно больше, чем увеличение глубины резания t или соответственно ширины среза b . 进给量 s 的增加, 以及切削层 a 的厚度的增加, 与切削深度 t 或切削宽度 b 的增加相比, 明显缩短了刀具寿命。 Поэтому для того, чтобы **стойкость инструмента была выше**, при постоянной площади сечения срезаемого слоя следует **увеличивать ширину среза за счет уменьшения толщины**, т.е. работать с **большим отношением b/a (t/s)**. 因此, 为了使刀具寿命更长, 在切削层的横截面积恒定的情况下, 应通过减小厚度来增加切削宽度, 即以较大的 b/a (t/s) 比率工作。 Это правило носит универсальный характер и справедливо для всех видов режущих инструментов и способов обработки различных материалов 该规则本质上是通用的, 并且适用于所有类型的切削工具和加工各种材料的方法。 .

Расчет скорости резания выполняют формуле
 切削速度的计算通过公式进行

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}}$$

где $m=1/m_1$, $x_v=q/m_1$, $y_v=p/m_1$, $C_v=C_4^{1/m_1}$ при $x_v < y_v < 1$.

Для достижения более высокой скорости резания, а следовательно и **производительности** необходимо работать с **максимальным увеличением отношением b/a (увеличением глубины резания t или уменьшением главного угла в плане ϕ)**. 为了获得更高的切削速度, 从而提高生产率, 必须最大程度地提高 b/a 比率 (增加切削深度 t 或减小进入角 ϕ)。 Показатели степени m , x_v , и y_v не являются постоянными, а зависят от **типа инструмента**, свойств обрабатываемого и инструментальных материалов, а также от подачи и глубины резания 指数 m , x_v 和 y_v 不是恒定的, 而是取决于刀具的类型, 工件和刀具材料的特性以及进给量和切削深度。 .

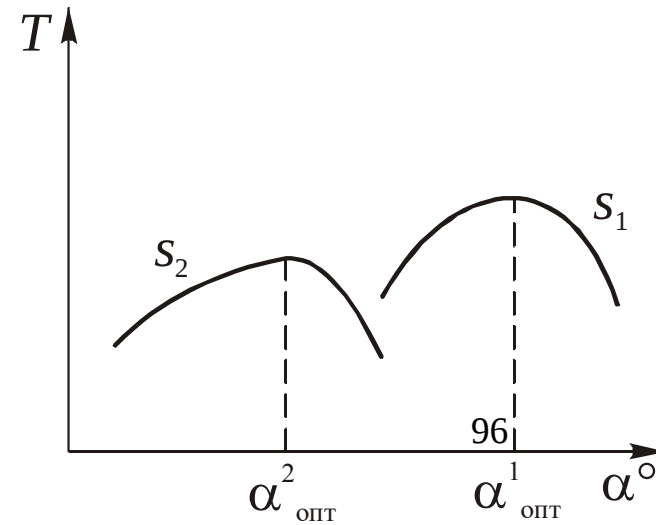
Обрабатываемые материалы	Инструмент. материалы	Глубина t , мм	Подача s , мм/об	C_v	m	x_v	y_v
Конструкцион. сталь, $\sigma_B=735$ МПа	T15K6	1...5	0,3...0,7	350	0,2	0,15	0,35
	P6M5	--	--	22,7	0,3	-- 94	0,5
Серый чугун, HB 186	BK6	1...5	0,4	317	0,2	0,15	0,20

СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

При отрицательных углах γ резко возрастают силы резания, температура и, как следствие, количество выделяемой теплоты. 在负角 γ 处, 切削力, 温度以及因此释放的热量急剧增加。 В результате стойкость инструмента падает, увеличивается вероятность возникновения вибраций и даже разрушения режущих пластин 结果, 刀具寿命减少, 并且振动的可能性甚至切削刀片的破坏都增加了。 Для твердых сплавов используется форма пластины с упрочняющей фаской на передней поверхности под углом $\gamma_{\phi}=0 \dots -5^{\circ}$ и положительным передним углом γ за этой фаской. 对于硬质合金, 使用在前表面上具有硬化倒角的板形式, 其角度 $\gamma_{\phi}=0 \dots -5$, 并且在该倒角之后为正前角 γ 。 Длина (ширина) фаски зависит от толщины среза a и в среднем $f = (1 \dots 2) \cdot a$, т.е. длина (ширина) фаски не должна превышать длину контакта стружки с инструментом. 倒角的长度 (宽度) 取决于切割厚度 a , 平均而言, $f = (1 \dots 2) \cdot a$, 即 倒角的长度 (宽度) 不得超过切屑和刀具之间的接触长度。 В противном случае деформации и силы резания будут определяться величиной переднего угла на фаске γ_{ϕ} . 否则, 变形和切削力将由倒角 γ_{ϕ} 上前角 γ 的值确定。

Задний угол α обеспечивает зазор между заготовкой и задней поверхностью режущего клина и, тем самым, способствует снижению интенсивности износа инструмента и повышению его стойкости. 间隙角 α 在工件和切削楔的侧面之间提供了一个间隙, 从而有助于减少刀具磨损的强度并延长其刀具寿命。 Угол α также как и угол γ влияет на прочность режущего клина через изменение угла заострения β , а также на условия отвода теплоты от вершины инструмента и поэтому зависимость $T-v$ также принимает экстремальный характер. 角度 α 以及角度 γ 通过锥角 β 的变化以及从刀尖除热的条件影响切削楔的强度, 因此 $T-v$ 依赖性也具有极端特征。

На оптимальное значение угла α оказывают влияние толщина среза a , а, следовательно, и подача s и свойства обрабатываемого и инструментального материалов. 角度 α 的最佳值受剪切厚度 a 的影响, 因此受进料 s 以及加工材料和工具材料性能的影响。 При этом, **чем меньше подача s , тем больше оптимальный угол $\alpha_{\text{опт}}$** в этой ситуации, 进给量 s 越小, 最佳角度 $\alpha_{\text{опт}}$ 越大。 При снижении прочности обрабатываемого материала и повышении прочности и износостойкости инструментального материала угол $\alpha_{\text{опт}}$ увеличивают. 随着加工材料的强度的降低以及工具材料的强度和耐磨性的增加, 角度 $\alpha_{\text{опт}}$ 增大。



СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

У проходных резцов $\alpha_{\text{опт}}=6\dots8^\circ$, у отрезных и фасонных резцов, работающих с меньшей подачей, $\alpha_{\text{опт}}=10\dots12^\circ$, а у дисковых фрез, работающих с подачей 0,01 мм/зуб - $\alpha_{\text{опт}}=30^\circ$. 对于直刀, $\alpha_{\text{opt}}=6\dots8^\circ$, 对于低进给率的切断和异形刀, $\alpha_{\text{opt}}=10\dots12^\circ$, 对于进给量为0.01毫米/齿的盘式铣刀- $\alpha_{\text{opt}}=30^\circ$ 。

Главный угол в плане φ определяет отношение b/a ширины срезаемого слоя к его толщине, которое с увеличением угла непрерывно уменьшается, достигая минимума при $\varphi=90^\circ$. 主角度 φ 决定了切割层的宽度与厚度的比值 b/a , 该比值 b/a 随角度的增加而连续减小, 在 $\varphi=90^\circ$ 时达到最小值。Уменьшение угла φ способствует улучшению отвода теплоты от режущей кромки, а, следовательно, и снижению температуры резания и поэтому **стойкость** инструмента монотонно **увеличивается**. 减小角度 φ 改善了从切削刃的散热, 因此降低了切削温度, 因此刀具寿命单调增加。Однако при этом меняется соотношение осевой и радиальной составляющих силы резания P_x/P_y . 然而, 这改变了切削力 P_x/P_y 的轴向分量和径向分量的比率。Причем **увеличение радиальной составляющей P_y** при малых значениях угла φ сопровождается увеличением вибраций. 此外, 在小角度 φ 处径向分量 P_y 的增加伴随着振动的增加。Поэтому оптимальное значение угла φ в основном зависит от жесткости технологической системы, а именно: чем выше жесткость системы, тем меньше угол φ . 因此, 角度 φ 的最佳值主要取决于工艺系统的刚度, 即: 系统的刚度越高, 角度 φ 越小。На практике чаще всего угол $\varphi=45\dots60^\circ$, а на операциях, связанных с подрезкой торцев ступенчатых деталей, угол $\varphi=90^\circ$. 实际上, 通常是角度 $\varphi=45\dots60^\circ$, 在与修整阶梯形零件的端部有关的操作中, 角度 $\varphi=90^\circ$ 。

Угол наклона главной режущей кромки λ , как и передний угол, оказывает влияние на стойкость инструментов через изменения условий стружкообразования и направления схода стружки. 像前角一样, 主切削刃的倾斜角度 λ 通过切屑形成条件和切屑流向的变化影响刀具寿命。При несвободном резании с ударными нагрузками угол λ способствует повышению прочности вершины резца. 当在非自由切削的冲击载荷下时, 角度 λ 有助于增加刀头的强度。При изменении угла λ **температура** увеличивается, а главная составляющая силы резания P_z остаётся неизменной. 当角度 λ 改变时, 温度升高, 并且切削力 P_z 的主要分量保持不变。В тоже время существенное влияние на износ оказывает **возрастающая сила трения вдоль режущей кромки**. 同时, 沿切削刃增加的摩擦力对磨损有重大影响。

СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (продолжение)

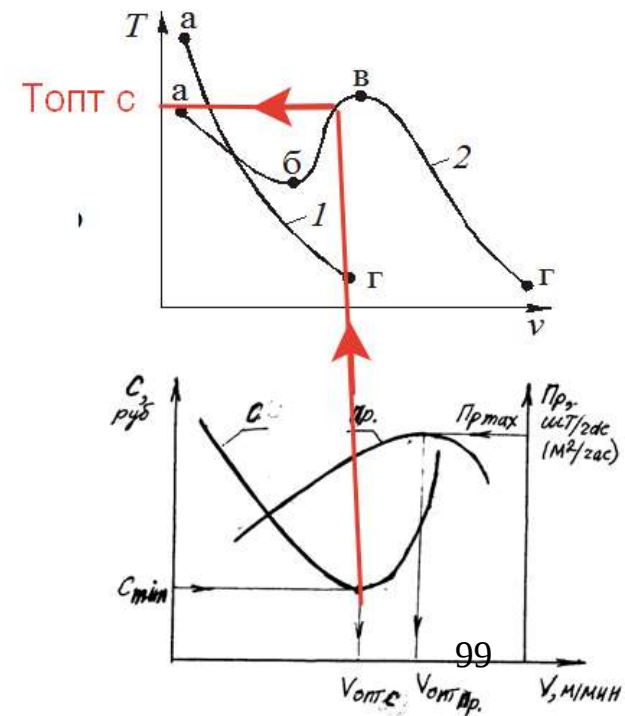
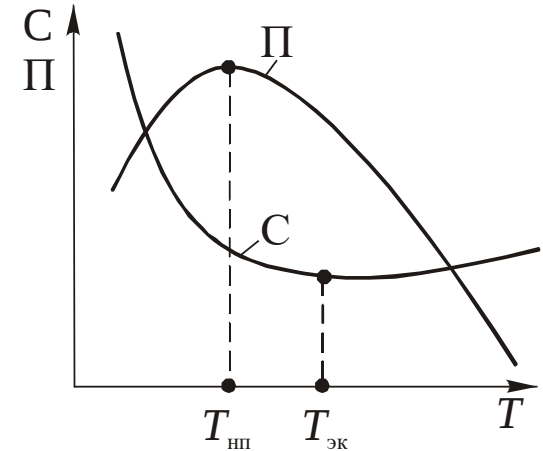
Положительное значение угла λ используют для повышения прочности резца при действии **ударных нагрузок**, при **низкой прочности** инструментальных материалов и **повышенной твердости** обрабатываемых материалов 角度 λ 的正值用于在冲击载荷的作用下提高刀具的强度, 同时工具材料的强度较低, 加工材料的硬度较高. Например, рекомендуется: при работе твердосплавными резцами $\lambda=0\ldots5^\circ$; при точении и строгании с ударами $\lambda=10\ldots15^\circ$; при точении с ударами закаленных сталей $\lambda=30\ldots45^\circ$ 例如, 建议: 当使用硬质合金刀具时 $\lambda=0\ldots5^\circ$; 当转弯和滑行时的影响为 $\lambda=10\ldots15^\circ$; 在淬火钢的作用下转向时, $\lambda=30\ldots45^\circ$ 。

При кинематическом косоугольном резании **круглыми самовращающимися резцами** благодаря значительному **снижению сил трения** и постоянному **обновлению режущей кромки** температура резания и интенсивность износа с **ростом кинематического угла λ_k** снижаются до такого уровня, что позволяет вести обработку быстрорежущими резцами на скоростях, достигаемых при работе проходными твердосплавными резцами. 使用圆形自转刀进行运动型倾斜切削时, 由于摩擦力显著降低并且切削刃不断更新, 因此切削温度和磨损率随着运动角 λ_k 的增加而降低到可以使用高速刀具进行连续 **硬质合金刀具加工时达到的速度的水平。** Однако при этом **увеличивается радиальная составляющая силы резания P_y** , что приводит к уменьшению точности и **вероятности появления вибрации.** 然而, 这增加了切削力 P_y 的径向分量, 这导致精度的降低和振动可能性。

Расчет оптимальной скорости резания

Скорость резания зависит от принятой стойкости инструмента. 切削速度取决于假定的刀具寿命。 При оптимизации режимов резания за основной критерий чаще всего принимают критерии **минимальной себестоимости** и **максимальной производительности**. 优化切削条件时, 通常以最低成本和最高生产率为主要标准. Используют также и другие критерии **标准**, связанные, например, с технологическими требованиями к детали (шероховатость обработанной поверхности, точность размеров и др.). 还使用其他标准, 例如与零件的技术要求 (加工表面的粗糙度, 尺寸精度等) 相关的标准. При использовании первого критерия за оптимальную скорость резания принимают скорость, обеспечивающую минимальную себестоимость операции. 当使用第一标准时, 最佳切割速度被认为是提供最小操作成本的速度. При этом расчет скорости ведут по уравнению с использованием нормативов по режимам резания. 在这种情况下, 速度的计算是使用切削条件的标准根据方程式进行的。

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}}$$



Обрабатываемость **可加工性** (刀加工工件的可能性)

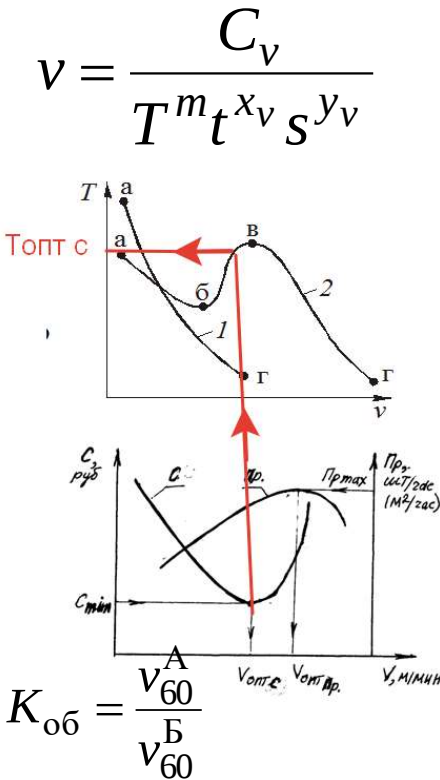
Обрабатываемость материалов (用)резанием - это способность материалов поддаваться обработке резанием или иначе - комплекс свойств материалов, обеспечивающих при их обработке резанием достижение следующих технологических показателей: **切削加工材料的可加工性是指通过切削加工或其他方式加工的材料的能力-一系列材料的性能, 可确保在切削加工过程中实现以下技术指标**: 1) скорость резания при заданной стойкости (например, скорость резания при стойкости = 60 мин); 2) качество обработанной поверхности (шероховатость, наклеп, остаточные напряжения); 3) сила резания и потребляемая мощность; 4) форма стружки, ее транспортабельность и т.д. 1) 在给定刀具寿命下的切削速度 (例如, 刀具寿命下的切削速度=60分钟); 2) 加工表面的质量 (粗糙度, 加工硬化, 残余应力); 3) 切削力和功耗; 4) 切屑的形状, 可运输性等

Обрабатываемость зависит от химического состава обрабатываемого материала, его механических и теплофизических свойств, вида обработки резанием, конструкции инструмента и инструментального материала, режима резания, применяемых СОТС и других факторов. **可加工性取决于所加工材料的化学成分, 其机械和热物理性质, 切削类型, 工具和工具材料的设计, 切削方式, 所用切削液以及其他因素。**

Коэффициент обрабатываемости, под которым понимают отношение ,

где v_{60}^A - скорость резания при $T=60$ мин, характеризующая обрабатываемость исследуемого материала А; $v = 60 \text{ min}$ 时的切割速度, 表征了测试材料A的可切削性; v_{60}^B - скорость резания при $T=60$ мин, характеризующая обрабатываемость **эталонного参考** материала **Б**. **在=60分钟时的切割速度, 代表了参考材料B的可加工性。**

За эталон обычно принимают сталь 45 ($\sigma_B=650$ МПа, HB 180) и поэтому для нее коэффициент обрабатываемости $K_{об}=1$. **通常将钢45作为标准材料** ($\sigma_B=650$ МПа, HB 180), **因此, 其机械加工系数** $K_{об} = 1$. При полусточном точении стали 45 твердосплавным резцом $v=135$ м/мин, а резцом из быстрорежущей стали Р18 - $v=75$ м/мин (**标准值, 因为加工的是钢40X**). **用硬质合金刀具** $v=135 \text{ m / min}$ **和用高速钢P18制成的工具对45钢进行半精加工** - $v=75 \text{ m / min}$. Чем выше значение коэффициента обрабатываемости, тем лучше обрабатываемость материала. **切削性值越高, 材料的切削性越好。**



Обрабатываемость (продолжение)

Обрабатываемость всех углеродистых сталей зависит в основном от содержания в них углерода, с увеличением которого твердость сталей повышается, а скорость резания снижается. **所有碳钢的可切削性主要取决于其中的碳含量，随着碳含量的增加，其硬度会增加，切削速度会降低。**

У **среднеуглеродистых** и низколегированных сталей ($C=0,35\ldots 0,55\%$) коэффициент обрабатываемости колеблется в пределах $K_{об}=0,7\ldots 1,0$. **对于中碳和低合金钢 ($C = 0.35 \dots 0.55\%$)，切削系数在 $K_{об} = 0.7 \dots 1.0$ 范围内波动。** Введение в эти стали в небольшом количестве ($1\ldots 2\%$) легирующих элементов обеспечивает повышение прочности и других механических свойств (предела текучести, относительного удлинения) при небольшом снижении коэффициента обрабатываемости. **向这些钢中引入少量 ($1\ldots 2\%$) 合金元素可提高强度和其他机械性能 (屈服点, 相对伸长率)，而切削系数却略有降低。** Обрабатываемость этих сталей может быть **улучшена за счет изменения структуры** методами дополнительной термообработки (отжиг, нормализация, закалка с последующим отпуском). **这些钢的切削加工性可以通过采用额外的热处理方法 (退火、正火、淬火然后回火) 改变结构来提高。**

Наилучшей обрабатываемостью обладают стали со структурой **перлит-珠光体** (феррит-铁素体+цементит-渗碳体). **具有珠光体组织 (铁素体+渗碳体) 的钢具有最佳的机加工性能。** У пластинчатого перлита цементит, обладающий повышенной твердостью, имеет форму пластин и феррит в виде сетки **在层状珠光体中，渗碳体硬度增加，呈板状，铁素体呈网状。** Путем термообработки пластинчатый перлит **珠光体** может быть превращен в зернистый **粒状** перлит с цементитом **渗碳体** в виде мелких глобулярных (округлых) зерен. **通过热处理，层状珍珠岩可以与渗碳体以小球形 (圆形) 晶粒的形式转化为粒状珍珠岩。** При этом обрабатываемость такой стали существенно улучшается. **在这种情况下，这种钢的可切削性得到显著改善。** Однако с увеличением размеров глобулей шероховатость обработанной поверхности ухудшается. **然而，随着小球尺寸的增加，处理过的表面的粗糙度变差。** Для чистовой операции лучшую обрабатываемость по этому критерию обеспечивает пластинчатый перлит. **对于精加工操作，层状珠光体可根据此标准提供最佳的加工性。** **(原钢-加合金元素-层状珠光体 (精加工) -球状珠光体 (粗加工))**

На обрабатываемость сталей оказывают влияние также некоторые металлургические факторы, в частности **способы литья и прокатки**. **几种冶金因素也影响钢的可加工性，特别是铸造和轧制方法。** Например, **конверторные转炉** низкоуглеродистые стали **обрабатываются лучше**, чем выплавленные в мартеновских и электрических печах, **так как содержат в больших количествах серу и фосфор** **例如，由于低碳转炉钢含有大量的硫和磷，因此其加工工艺比在平炉和电炉中冶炼的钢要好。** **Холоднокатаные** стали, содержащие углерод до **0,3%**, **обрабатываются лучше**, чем горячекатаные, а **при содержании углерода $C>0,4\%$ - хуже**. **含碳量最高为0.3%的冷轧钢比热轧钢更好，碳含量 $C>0.4\%$ -更差。**

Самой худшей обрабатываемостью обладают **высоколегированные коррозионностойкие и жаростойкие** стали, так как содержат в больших количествах легирующие элементы: хром ($15\ldots 18\%$), никель ($8\ldots 11\%$), марганец ($1\ldots 2\%$). Иногда в них входят в небольших количествах титан, вольфрам, молибден, ниобий при некотором снижении содержания хрома и никеля. **高度合金化的耐腐蚀和耐热钢的加工性能最差，因为它们含有大量合金元素：铬 ($15\ldots 18\%$)，镍 ($8\ldots 11\%$)，锰 ($1\ldots 2\%$)。** **有时它们含有少量的钛、钨、钼、铌，并且铬和镍的含量有所降低。**

Обрабатываемость (продолжение)

Чугуны относятся к материалам с относительно низкой прочностью, **не испытывающим пластических деформаций в процессе образования стружки**. 铸铁是强度较低的材料, 在切屑形成期间不会发生塑性变形。 Поэтому силы резания и затрачиваемая при этом мощность ниже, чем при обработке сталей, а из-за малой пластичности чугунов образуется элементная, реже **суставчатая стружка**, снижающая площадь ее контакта с передней поверхностью инструмент. 因此, 在这种情况下下的切削力和消耗的功率低于对钢进行机械加工时的切削力和功率, 并且由于铸铁的延展性较低, 因此形成了单质, 较少见的关节切屑, 从而减少了其与刀具前表面接触的面积。 В результате **контактные напряжения возрастают и концентрируются около режущей кромки**. 结果, 接触应力增加并集中在切削刃周围。 Поэтому при обработке чугунов следует применять более прочные **однокарбидные сплавы группы ВК (Металлокерамические твердые сплавы)**. 因此, 在加工铸铁时, 必须使用更耐用的VK类单碳化物合金。 Температура резания при обработке чугунов ниже, чем при обработке сталей той же твердости, **обрабатываемость их также ниже, чем у стали**. 加工铸铁时的切削温度低于加工相同硬度的钢时的切削温度, 其切削性也低于钢。 Это связано главным образом с высоким **абразивным** действием весьма **твердого цементита**, что интенсифицирует износ и особенно инструментов из быстрорежущих сталей. 这主要归因于非常硬的渗碳体的高磨损作用, 这会加剧磨损, 尤其是高速钢工具的磨损。

Различают белые, серые, ковкие и высокопрочные чугуны. 区分白色, 灰色, 球墨铸铁和球墨铸铁。 Три последних чугуна имеют следующие основы, оказывающие определяющее влияние на их обрабатываемость: ферритная; ферритно-перлитная и перлитная. 最后三个铸铁具有以下基础, 这些基础对其可切削性具有决定性影响: 铁素体; 铁素体-珠光体和珠光体。 Из всей номенклатуры чугунов **наилучшую обрабатываемость** по критерию имеют **ферритные чугуны**, содержащие феррит и графит. 在所有铸铁术语中, 根据该标准的最佳可机加工性是含有铁素体和石墨的铁素体铸铁。 Обрабатываемость перлитных ковких и сверхпрочных чугунов, содержащих перлит и графит, ухудшается. 珠光体球墨铸铁和含有珠光体和石墨的球墨铸铁的可加工性变差。 Самую низкую обрабатываемость имеют **белые чугуны**, содержащие перлит, цементит **渗碳体** и карбиды легирующих элементов (хром, ванадий, молибден). 含有珠光体, 渗碳体和合金元素 (铬, 钒, 钼) 的碳化物的白口铸铁的可加工性最低。 Например, прокатные валки из отбеленного чугуна обрабатывают **твердосплавными** резцами со скоростью резания $v=3...10$ м/мин. 例如, 由漂白铸铁制成的轧辊用硬质合金刀具以切削速度 $v = 3 \dots 10 \text{ m / min}$ 进行加工。 Однако наилучшие результаты при чистовой обработке таких валков дают инструменты, оснащенные эльбором (立方氮化硼) 但是, 配备CBN的工具可提供精加工此类辊时的最佳结果。 . **(серые(ферритные чугуны)>ковкие и высокопрочные чугуны> белые,)**

Обрабатываемость (продолжение)

Титановые сплавы обладают высокими физико-механическими свойствами и широко применяются в авиационном ракетостроении. Титановые сплавы имеют высокие физические и механические свойства, и широко используются в авиации и ракетостроении. Титановые сплавы имеют высокие физические и механические свойства, и широко используются в авиации и ракетостроении.

В целом титановые сплавы при довольно высокой прочности обладают **пониженной пластичностью**, обусловленной наличием в их составе алюминия. **通常, 由于钛合金成分中存在铝, 因此强度较高的钛合金的延展性降低。** **Теплопроводность титановых сплавов в 17 раз меньше, чем алюминия**, а при резании они **склонны к упрочнению**. **钛合金的热导率比铝低17倍, 并且在切割过程中它们往往会变硬。** Срезаемая стружка имеет **малую усадку(延展性低)**, а ширина площадки контакта в 1,5...2,0 раза меньше, чем при резании углеродистых сталей. **切屑的收缩率低, 接触区域的宽度是切碳钢时的1.5至2.0倍。** По этой причине нормальные **контактные напряжения высоки**, хотя силы резания примерно такие же, как и при резании стали. **因此, 尽管切削力与切削钢时大致相同, 但法向接触应力较高。** Из-за **плохой теплопроводности** возникает **высокая температура** в области вершины режущего клина (в 2 раза большая, чем у стали 40), что приводит к **пластической деформации вершины** и опусканию режущей кромки. **由于导热性差, 在切削楔的尖端区域中发生高温 (比钢40的温度高2倍), 这导致尖端的塑性变形和切削刃的降低。**

В зависимости от марки сплава коэффициент обрабатываемости титановых сплавов колеблется в пределах от 0,8 (сплав ОТ4-1) до 0,45 (сплавы ВТ14, ВТ1 и др.).**取决于合金的等级，钛合金的可切削性系数范围从0.8（合金OT4-1）到0.45（合金VT14，VT1等）。** Поэтому для резания титановых сплавов используют инструментальные материалы высокой прочности: быстрорежущие стали повышенной теплостойкости и **однокарбидные твердые сплавы группы ВК.因此，在切削钛合金时，使用了高强度的工具材料：具有更高耐热性的高速钢和VK组的单硬质合金。** Сплавы, содержащие **карбиды титана**, для **обработки титановых сплавов непригодны** из-за химического сродства с обрабатываемым материалом.**含碳化钛的合金由于与加工材料的化学亲和力而不适合加工钛合金。**

Цветные металлы и сплавы на основе меди и алюминия обладают наилучшей обрабатываемостью по сравнению со сталями. Иногда имеются проблемы с прилипанием стружки к заготовке и инструменту (алюминиевая стружка) и стружкозавиванием (медная).与钢相比，以铜和铝为基础的有色金属和合金具有最佳的机械加工性能。有时会出现切屑粘附到工件和工具（铝屑）和切屑缠绕（铜）的问题。

Смазочно-охлаждающие технологические средства **润滑和冷却技术手段**

Знание природы износа необходимо для правильного выбора геометрии режущего инструмента, его материала, режимов резания и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). **要正确选择切削刀具的几何形状, 其材料, 切削条件以及润滑和冷却技术手段 (COTS), 必须了解磨损的性质。**

Цель СОТС – уменьшение интенсивности износа режущего инструмента, улучшение качества обработанной поверхности (уменьшение шероховатости и задиоров, величины и глубины остаточных напряжений), **увеличение производительности обработки**, повышение эксплуатационных характеристик детали. **切削工具的目的是降低切削工具的磨损率, 提高加工表面的质量 (减少粗糙度和刻痕, 残余应力的大小和深度), 提高加工生产率并改善零件的性能。** Улучшение

обрабатываемости материалов при использовании в процессе резания СОТС является результатом их физико-химических воздействий на обрабатываемый материал, основными из которых являются: **смазывающее, охлаждающее, режущее, моющее, защитное и упрочняющее**. **在切削过程中使用切削液时, 提高材料的可加工性是由于其对加工材料的物理化学作用的结果, 主要是: 润滑, 冷却, 切削, 清洗, 保护和硬化。**

СОТС должны не вызывать коррозию **腐蚀** детали, приспособления и оборудования; не оказывать вредного физиологического влияния на рабочего (раздражение кожи и слизистых оболочек, запах); быть **устойчивыми при эксплуатации и хранении; не воспламеняться** при температурах, сопровождающих процесс резания; **не иметь неприятного запаха**. **COTS不应引起零件, 固定装置和设备的腐蚀; 对工人没有有害的生理作用 (刺激皮肤和粘膜, 气味); 在操作和存储过程中保持稳定; 在切割过程中伴随的温度下不会点燃; 没有难闻的气味。**

СОТС делятся на твердые, жидкие, пластичные и газообразные. **COTS分为固体, 液体, 塑料和气体。**

К **твердым** СОТС относятся: **неорганические** материалы со сложной структурой (тальк, слюда, графит, бура, нитрид бора, дисульфиды молибдена, вольфрама и титана, и др.); **твердые органические соединения** (мыло, воск, твердые жиры); **полимерные пленки и ткани** (нейлон, полиамид, полиэтилен и др.); **металлические** пленочные покрытия (медь, латунь, свинец, олово, барий, цинк). **固态COTS包括: 具有复杂结构的无机材料 (滑石, 云母, 石墨, 硼砂, 氮化硼, 钼, 钨和二硫化钛等); 固体有机化合物 (肥皂, 蜡, 固体脂肪); 聚合物薄膜和织物 (尼龙, 聚酰胺, 聚乙烯等); 金属膜涂层 (铜, 黄铜, 铅, 锡, 钼, 锌)。**

Смазочно-охлаждающие технологические средства (продолжение)

Твердые СОТС применяются редко, но обеспечивают **низкий коэффициент трения** (графит - $f=0,04$, дисульфид молибдена - $f=0,03$) и выдерживают **высокие температуры и давления**. 很少使用固体切削液，但它们的摩擦系数低（石墨- $f = 0.04$ ，二硫化钼- $f = 0.03$ ），并且可以承受高温和高压。

К **смазочно-охлаждающим жидкостям (СОЖ)** относятся: водные растворы минеральных электролитов, эмульсии; минеральные, животные и растительные масла; минеральные масла с добавками фосфора, серы и хлора (сульфофрезолы); керосин и растворы поверхностно-активных веществ в керосине; масла и эмульсии с добавками твердых смазывающих веществ; расплавы металла и др. 冷却润滑剂（切削液）包括：矿物电解质水溶液，乳液；矿物，动物和植物油；具有磷，硫和氯添加剂的矿物油（Sulfofresols）；煤油和表面活性剂在煤油中的溶液；具有固体润滑剂添加剂的油和乳液；金属熔体等 Наиболее часто используются **водные и масляные СОЖ.最常用的是水和油切削液。**

Наряду с охлаждающим и смазывающим свойствами СОЖ должна обладать и **моющим действием**, которое заключается в удалении из зоны резания продуктов износа инструмента и заготовки в виде твердых частиц карбидов, мелкой стружки и т.п., усиливающих абразивный износ инструмента и повышающих шероховатость обработанной поверхности. 除具有冷却和润滑性能外，冷却剂还必须具有清洗作用，这包括从切削区去除工具和工件的磨损产物，这些产物以硬质合金，小切屑等形式存在，这会增加工具的磨料磨损并增加加工表面的粗糙度。 Моющее действие улучшается за счет введения в СОЖ **эмульгаторов 乳化剂**, уменьшающих поверхностное натяжение жидкости. 通过将乳化剂引入冷却剂中来改善去污效果，从而降低液体的表面张力。 Молекулы СОЖ при этом активно обволакивают удаляемые частицы, препятствуют их слипанию и облегчают их удаление из зоны резания. Это особенно важно при резании хрупких материалов и абразивной обработке. 在这种情况下，冷却剂分子会主动包裹被去除的颗粒，防止它们粘连，并有助于将其从切削区域中去除。 在切割脆性材料和磨料时，这一点尤其重要。

Наибольшее распространение получили **водосодержащие эмульсии**, которые состоят из **воды** с мельчайшими **капельками масла**.最普遍的是含水乳液, 它由水和最小的油滴组成。Применение **воды** в качестве основного ингредиента **уменьшает стоимость СОЖ** и **повышает её способность отводить тепло**, т.к. вода по сравнению с маслом имеет большую теплопроводность, а теплоёмкость её тоже достаточно высока.使用水作为主要成分可降低切削液的成本并提高其散热能力, 因为与油相比, 水的导热系数高, 热容量也很高。Капельки масла оказывают **антифрикционное** действие, увеличивают **проникающую способность,渗透力** уменьшают **коррозию腐蚀** приспособления и станка.油滴具有减摩作用, 可增加渗透力, 减少夹具和机器的。Для увеличения проникающей способности в СОЖ добавляются вещества, **уменьшающие коэффициент поверхностного натяжения** жидкости и **увеличивающие смачиваемость** поверхностей стружки, заготовки в зоне контакта и инструмента.为了增加冷却剂的穿透力, 添加了降低液体的表面张力系数并增加切屑, 接触区域中的工件和工具的表面的润湿性的物质。Это приводит и к расклинивающему эффекту**楔入效应**, облегчающему стружкообразование.这也导致楔入效应, 其促进切屑形成。Для уменьшения коррозии применяются также специальные присадки (**ингибиторы ржавчины**).为了减少腐蚀, 还使用了特殊的添加剂 (防锈剂)。В качестве ингибиторов коррозии используют также кальцинированную соду, тринатрий фосфат и др., содержание которых составляет 0,5...5,0%. 含量为0.5 ... 5.0%的纯碱, 磷酸三钠等也用作缓蚀剂。Для уменьшения схватываемости применяются присадки, способствующие адсорбированию на ювенильных поверхностях образующихся химических соединений и **появлению защитной плёнки**.为了降低粘附力, 使用添加剂来促进形成的化合物在少年表面上的吸附以及保护膜的出现。Эта плёнка также защищает поверхности инструмента от контакта с кислородом воздуха и **препятствует окислению**.该膜还可以保护工具表面免于与大气中的氧气接触并防止氧化

Специальные вещества вводят в СОТС и для увеличения **пластифицирующего свойства**, т.е. облегчения пластического деформирования металла. **将特殊物质引入到切削液中以增加塑化性能，即 促进金属的塑性变形。** Это приводит к локализации пластической деформации в тонком поверхностном слое обрабатываемого материала, уменьшает трение между стружкой и инструментом, **улучшает качество обработанной поверхности.** **这导致塑性变形在加工材料的薄表面层中定位，减少了切屑和工具之间的摩擦，并改善了加工表面的质量。**

Действие даже **одной капли СОЖ** может сказываться в течении **нескольких минут** при **невысокой скорости резания.** **在低切削速度下，即使是一滴冷却液也可能需要几分钟才能生效。** Для повышения эффективности на высоких скоростях резания и улучшения завивания **改善卷曲** или дробления стружки применяется **подача СОЖ в зону резания под небольшим давлением.** **低压冷却剂用于在高切削速度下提高效率并改善卷曲或断屑。** Образование паровой подушки **蒸气层** уменьшает охлаждающий эффект СОЖ, поэтому желательна её подача струёй с достаточно большим напором. **蒸气层的形成降低了冷却剂的冷却效果，因此希望向其提供具有足够高压力的射流。**

В некоторых случаях в целях **экономии СОЖ** она подаётся в зону резания **в виде тумана薄雾.** **在某些情况下，为了节省冷却剂，它会以薄雾的形式进入切割区域。** При испарении СОЖ температура резания существенно снижается, хотя **охлаждающий эффект** при этом **существенно меньше**, чем при поливе. **当切削液蒸发时，切削温度会显著降低，尽管冷却效果远不如浇水。** Достоинством воздушно-капельной смеси является и меньшее загрязнение станка и приспособления. **液滴混合物的优点还在于减少了对机器和设备的污染**

В зависимости от характера операции эмульсии изготавливают с c_{107} разной концентрацией эмульсола – чем больше нагрузки, тем выше должна быть концентрация (от 0,05 до 20,00%). **根据操作的性质，可以使用不同浓度的乳化剂制备乳液，负载量越大，浓度应越高。(从0.05**

В современных СОЖ та или иная присадка начинает эффективно работать при достижении заранее **определённого температурного диапазона**.在现代切削液中, 当达到预定温度范围时, 一种或另一种添加剂开始有效地起作用。

В состав СОЖ часто вводятся антипенные и антитуманные присадки **消泡剂和防雾剂**, а для **стабилизации СОЖ – антиоксиданты**. Для предотвращения размножения бактерий в СОЖ производится добавка **бактерицидных присадок** (до 0,05...0,15%).通常将消泡剂和防雾添加剂添加到冷却液中, 并使用抗氧化剂来稳定冷却液。为防止细菌在切削液中繁殖, 添加了杀菌添加剂 (最高0.05 ... 0.15%)。

Масляные эмульсии изготавливают на основе концентрата, называемого эмульсолом, который состоит из масляной основы, эмульгатора, а также большого числа противоизносных, противозадирных и других присадок.油乳剂是根据称为乳胶的浓缩物制得的, 该乳油由油基, 乳化剂和大量抗磨剂, 极压和其他添加剂组成。Масляная основа **эмульсола** представляет собой смесь различных минеральных масел, например, индустриального, объемом до 70...85%. Эмульгаторы предотвращают слипание капель масла и играют роль смазочных веществ и ингибиторов (замедлителей) коррозии.乳化剂可防止油滴粘在一起, 并充当润滑剂和腐蚀抑制剂 (抑制剂)。

Масляные (углеводородные) СОЖ состоят из минерального масла, к которому добавляют специальные присадки различного назначения, улучшающие их свойства.油 (烃) 冷却剂由矿物油组成, 在其中添加了各种目的的特殊添加剂以改善其性能。Достоинствами масляных СОЖ являются хорошие смазывающие и **антикоррозионные свойства**, а недостатками – в **5...8 раз более низкая**, чем у водных СОЖ, **охлаждающая способность**, теплопроводность и теплоемкость, более **высокая стоимость** и повышенная **пожароопасность**.油切削液的优点是良好的润滑和防腐性能, 缺点是比含水切削液低5 ... 8倍, 冷却能力, 导热系数和热容量高, 成本高, 着火危险性高。Поэтому масляные СОЖ применяют в основном при резании с **большими контактными давлением и малым тепловыделением**, требующих смазывающего действия СОЖ (резьбонарезание, протягивание, зубонарезание, глубокое сверление).因此, 油切削液主要用于具有高接触压力和低热量产生的切削, 需要冷却液的润滑作用 (螺纹, 拉力, 齿轮切削, 深孔钻削)。

Для уменьшения номенклатуры 名录 масел иногда применяют **многофункциональные СОТС**, которые представляют собой масла, используемые в гидросистемах, для смазки оборудования и как СОЖ при резании. 为了减少油的使用范围, 有时会使用多功能切削液, 它们是液压系统中使用的油, 用于润滑设备以及在切削过程中用作切削液。 Иногда в их состав включается **раствор для очистки заготовок**. 有时它们包括清洁工件的溶液。 В результате их использования детали после лезвийной обработки 刀片加工 остаются совершенно чистыми, а гидросистеме не угрожает попадание воды. 由于其使用, 叶片加工后的零件保持完全清洁, 并且液压系统不受进水的威胁。

В некоторых случаях в качестве СОЖ могут применяться даже **сжиженные газы**, например, азот, который безвреден, но в связи с низкой температурой существенно уменьшает температуру резания и защищает инструмент от окисления, образуя при своём испарении защитную атмосферу вокруг инструмента. 在某些情况下, 即使液化气也可以用作冷却剂, 例如氮气, 这是无害的, 但是由于温度较低, 它可以显著降低切削温度并保护工具免受氧化, 从而在工具蒸发期间在工具周围形成保护性气氛。

Некоторые жидкости существенно улучшают качество обработки, как, например, **четырёххлористый углерод CCl_4** . 某些流体 (例如四氯化碳 CCl_4) 可显著提高加工质量。 Он предотвращает появление нароста, облегчает стружкообразование, но при нагреве происходит **выделение газа фосгена** 光气, что ограничивает его применение только в научных исследованиях с большой осторожностью. 它可以防止积聚, 促进切屑的形成, 但是加热时会释放出光气, 因此仅在科学研究中就格外小心地限制了它的使用。 Некоторые СОТС могут быть использованы только **при защиты органов дыхания и глаз с помощью противогаза** 防毒面具, а иногда при работе в ОЗК. 某些SOTS只能用于带防毒面具的呼吸和眼睛防护, 有时在OZK中工作时也可以使用。

При обработке труднообрабатываемых материалов, например, при сверлении хромоникелевой стали 18X2H4BA (HRC 36-40), могут быть использованы **суспензии**悬浮液 – это взвеси мелкодисперсного порошка**细粉** (5...15%) в водэмульсионной, масляной или иной жидкой среде. 当加工难以加工的材料时, 例如在钴铬镍钢18X2H4BA (HRC 36-40) 时, 可以使用悬浮液-这些悬浮液是细粉 (5 ... 15%) 在水性, 油或其他液体介质中的悬浮液。 При попадании**进入** частиц порошка (**粉**) в зону резания они могут даже расплавляться после выпаривания жидкой составляющей. Наиболее ярко преимущества суспензионных СОТС проявляется при невысоких скоростях резания (5...10 м/мин). 在液体成分蒸发后甚至可能熔化后**粉末**颗粒还能进入切割区域。 悬浮切削液的优势最明显地体现在低切削速度 (5 ... 10 m / min) 下。

К пластичным (пастам) смазочным веществам относятся густые**厚** мазеобразные продукты, занимающие по консистенции промежуточное положение между твердыми и жидкими смазочными веществами.对于塑料 (糊剂) 来说, 润滑剂是稠的油膩产品, 在固体和液体润滑剂之间的稠度中处于中间位置。 Их получают загущением**增稠** минеральных и синтетических масел**它们是通过使矿物油和合成油增稠而获得的**. Применяют в основном четыре вида загустителей: мыльные, углеводородные, неорганические и органические.主要使用四种类型的增稠剂: 肥皂, 碳氢化合物, 无机和有机增稠剂。

Пластичные смазки лучше жидких удерживаются на поверхностях при тяжелых режимах резания и трения, но используются в основном при обработке давлением.在重切削和摩擦条件下, 油脂比液体润滑剂更好地粘附在表面上, 但主要需要压力处理。 При резании они применяются весьма ограничено из-за трудностей введения в зону резания, невозможностью сбора, очистки и повторного использования.切割时, 由于难以引入切割区域, 无法收集, 清洁和重新使用它们, 因此使用非常有限。

Поэтому пластичные смазки применяют в основном **на ручных операциях** с низкими скоростями резания путем периодического смазывания инструмента кистью, шприцами и т.п., например, при нарезании резьбы метчиками и плашками, развертывании, полировании и др.因此, 润滑脂主要用于低切削速度的手动操作中, 例如在使用丝锥和模具穿线, 铰孔, 抛光等时, 定期用刷子, 注射器等对工具进行润滑。

Смазочно-охлаждающие технологические средства (продолжение)

К **газообразным** СОТС относятся активные (**воздух**, азот, двуокись углерода) и инертные газы (азот, аргон); пары поверхностно-активных веществ, распылённые жидкости.对于气态СОТС, 包括活性的(空气, 氮气, 二氧化碳)和惰性气体(氮气, 氩气); 表面活性剂蒸气, 喷雾液体。Наиболее дешёвым и доступным газообразным СОТС является воздух.最便宜, 最易接近的气态切削液是空气。Охлаждение воздушной струёй не требует специального оборудования (на производстве практически всегда имеется компрессор для подачи сжатого воздуха к механизированным приспособлениям), способствует завиванию **卷曲** и дроблению сливной **压碎** стружки, не загрязняет **污染** стружку, но от этого вида охлаждения часто отказываются из-за **сильного шума**.用气流冷却不需要特殊设备(生产中几乎总是有压缩机向机械设备供应压缩空气), 它会促进排屑的卷曲和压碎, 不会污染排屑, 但是由于强烈的噪音, 这种冷却方式经常被放弃。

При снятии тонких стружек часто **полностью отказываются от применения СОТС**, т.к. даже малое округление режущей кромки, связанное с зернистым строением **颗粒状结构** инструментального материала, приводит к вдавливанию **压入** тонкого слоя обрабатываемого материала на поверхности среза под заднюю поверхность.去除细刨花时, 通常完全不使用切削液, 因为与刀具材料的颗粒状结构相关的切削刃即使很小的倒圆也会导致在侧面上的切削表面上压入工件材料的薄层。Стружка при этом не образуется, особенно в период постепенного врезания **切入/在这种情况下, 不会形成切屑, 特别是在逐渐切入期间。**

При **черновой и получистовой обработке**, когда необходимо эффективное охлаждающее действие, применяют водные растворы электролитов и поверхностно-активных веществ, масляные эмульсии.对于粗加工和半精加工, 当需要有效的冷却效果时, 可使用电解质和表面活性剂的水溶液, 油性乳液。

При **чистой обработке**, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, основное значение приобретают смазочные свойства СОТС.精加工时, 当需要获得高质量的加工表面时, 切削液的润滑性能至关重要。В этих случаях применяют чистые и активированные минеральные масла и сульфохрезол.在这些情况下, 将使用纯净和活化的矿物油和磺胺甲酚。При чистой обработке с высокими скоростями резания рекомендуется применять эмульсии с 5—10 %-ным раствором эмульсола.当以高切削速度进行精加工时, 建议使用乳化剂含量为5-10%的乳剂。

Смазочно-охлаждающие технологические средства (продолжение)

Эффективность действия СОЖ в значительной степени зависит *от способа подвода* их в зону резания. **冷却剂作用的效率在很大程度上取决于它们被供应到切割区域的方式**。Наиболее распространенным способом подачи СОЖ является **полив 浇水 свободной струей 喷射** (рис. 1, а). **供应冷却剂的最常见方法是自由流动灌溉 (图1, a)**。Этот метод подачи жидкости в зону резания малоэффективен и обладает следующими недостатками: большой расход жидкости (от 10 до 16 л/мин), разбрызгивание жидкости, слабое смазочное **润滑** действие **这种向切削区域供应流体的方法低效, 并且具有以下缺点: 流体流速高 (从10升至16升/分钟), 液体飞溅, 润滑效果差**

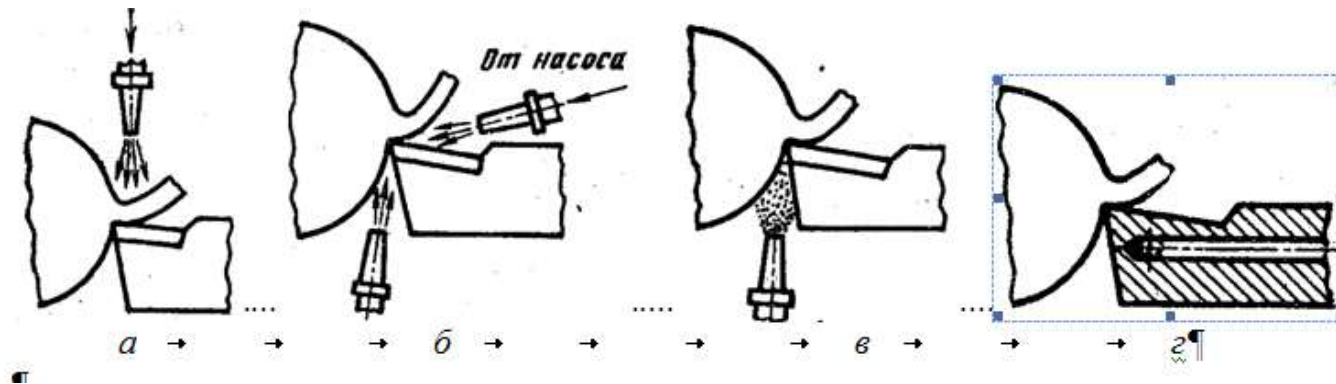


Рис. 1. Способы подвода СОЖ в зону резания: а - полив свободной струей; б - струйное охлаждение; в - охлаждение распыленной жидкостью; г - внутреннее охлаждение резца. **1.向切削区域供应切削液的方法: a-自由流动灌溉; b-喷射冷却; c-喷液冷却; d-刀具的内部冷却。**

Более эффективным является **высоконапорное охлаждение** (рис. 1, б). **高压冷却效率更高 (图1, b)**。Жидкость подаётся под давлением 1,5...2,0 МПа со стороны задней и (или) передней поверхности инструмента через отверстие малого диаметра 0,3...0,5 мм с высокой скоростью струи **从工具的后侧和 (或) 前表面以 1.5 ... 2.0 MPa 的压力通过高喷射速度 (40 ... 50 m/s) 的小直径孔 0.3 ... 0.5 mm 供给液体**。При этом способе расход жидкости меньше, чем при поливе, и составляет примерно 0,5 л/мин. **使用此方法时, 流速小于浇水时的流速, 约为 0.5 l/min**。В результате высокого давления частицы жидкости интенсивнее проникают в микротрещины и зазоры, быстрее превращаются в пар и охлаждают нагретые поверхности. **由于高压, 液体颗粒会更密集地渗透到微裂纹和缝隙中, 更快地变成蒸汽并冷却加热的表面**。Однако высоконапорное струйное охлаждение имеет и недостатки: необходимость **применения насосов; сильное разбрызгивание жидкости, требующее применения специальных защитных устройств; необходимость тщательной очистки жидкости; высокий уровень шума.但是, 高压射流冷却也有缺点: 需要使用泵; 液体飞溅强烈, 需要使用特殊的保护装置; 需要彻底清洗液体; 高噪音水平。**

Смазочно-охлаждающие технологические средства (продолжение)

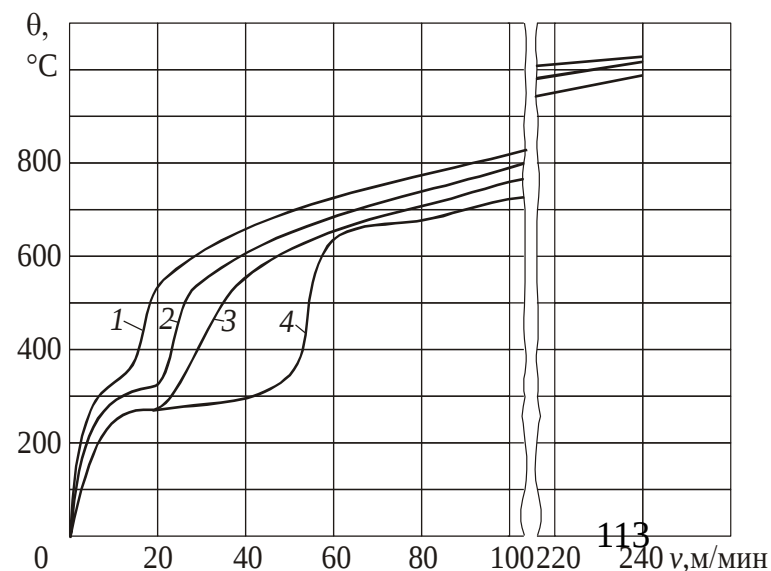
Наиболее эффективным является подвод СОЖ напорной струей со стороны задней поверхности резца. При этом подача воды по сравнению с резанием без применения СОЖ снижает температуру резания в зоне активного наростообразования ($v < 60$ м/мин) на 400°C , эмульсии乳剂 – на 200°C , а масляной СОЖ – на 100°C (рис. 2).最有效的方法是从切刀后表面的侧面以压力射流供应冷却液。在这种情况下, 与不使用冷却剂的切削相比, 供水可将有效积聚区域 ($v < 60$ м / мин) 的切削温度降低 400°C , 将乳剂 (200°C) 和油冷却剂 (100°C) 区域降低 (图2))。За зоной наростообразования (> 60 м/мин) это влияние менее заметно (снижение температуры находится в пределах $50 \dots 100^{\circ}\text{C}$).在集聚区 (> 60 м / мин) 后面, 这种影响不太明显 (温度降落在 $50 \dots 100^{\circ}\text{C}$ 范围内)。Если СОЖ подается поливом, то даже такая сильная охлаждающая среда, как вода, снижает температуру очень слабо, примерно на $50 \dots 80^{\circ}\text{C}$.如果通过灌溉方式提供冷却液, 那么即使是像水这样的强冷却介质, 也会使温度非常微弱地降低约 $50 \dots 80^{\circ}\text{C}$ 。При промышленной скорости резания (более 220 м/мин) способ подачи СОЖ практически не имеет значения. Поэтому обычный полив эмульсии сверху является предпочтительным, и возможна даже обработка без охлаждения, если это не сказывается на качестве обработанной поверхности.在工业切削速度下 (大于220 м / мин), 冷却剂的供应方法实际上是无关紧要的。因此, 常规的乳液顶置浇水是优选的, 并且如果不影响处理过的表面的质量, 甚至可以在不冷却的情况下进行处理。

При резании сталей 45 быстрорежущими резцами ($v < 60$ м/мин) несмотря на небольшое снижение температуры даже при подаче эмульсии поливом, коэффициент обрабатываемости увеличивается на $20 \dots 30\%$ ($K_{об} = 1,2 \dots 1,3$).当使用45台高速铣刀 ($v < 60$ м / мин) 切割钢时, 即使通过灌溉施加乳剂, 温度也会略有下降, 但切削系数却提高了 $20 \dots 30\%$ ($K_{об} = 1.2 \dots 1.3$)。

При напорном охлаждении этот эффект существенно возрастает и тем сильнее, чем более

труднообрабатываемый материал

подвергается обработке резанием.通过压力冷却, 这



Расчет режимов резания (**оптимальной** (рациональной) скорости резания) 切削条件的计算 (最佳 (合理) 切削速度)

Последовательность расчёта **оптимальной** скорости резания при **черновой** обработке:

计算粗加工最佳切削速度的顺序：

- 1) Выбор материала режущей части с учётом обрабатываемого материала, его твёрдости, вида обработки, состояния обрабатываемой поверхности. 选择切削零件的材料时，要考虑到要加工的材料，其硬度，加工类型，加工表面的状态。
 - 2) Назначение геометрии режущей части режущего инструмента ($\phi, \gamma, r, \lambda, \phi_1, \alpha$). 分配切削刀具切削部分的几何形状 ($\phi, \gamma, r, \lambda, \phi_1, \alpha$)。
 - 3) Расчёт и назначение глубины резания $t = (d_1 - d_2)/2 \leq 4$ мм ($t \leq 2$ мм при $d_2 \leq 20$ мм). 切削深度的计算和分配 $t = (d_1 - d_2) / 2 \leq 4$ 毫米 ($t \leq 2$ 毫米, $d_2 \leq 20$ 毫米)。
 - 4) Число проходов $i = 2z_{\max}/t$ (округляется до ближайшего большего числа); 通过次数 $i = 2z_{\max} / t$ (四舍五入到最接近的较高数字)；
 - 5) Выбор подачи по таблицам $s_{\text{табл}}$ (мм/об) исходя из: 根据表 $s_{\text{табл}}$ (毫米/转) 选择进料，基于：
 - а) диаметра заготовки и сечения державки резца; 工件的直径和刀架的截面；
 - б) толщины режущей пластины $h_{\text{пл}}$ и глубины резания t ; 切割板厚度 $h_{\text{пл}}$ 和切割深度 t ；
 - в) требуемой шероховатости обработанной поверхности R_z (мкм) и радиуса при вершине резца r (мм). 所需的加工表面粗糙度 R_z (μm) 和刀尖半径 r (mm)。
 - г) назначение ближайшей меньшей подачи по паспорту станка. 根据机器的护照指定下一个较低的进纸。
 - 6) Выбор подачи по паспорту станка $s_{\text{пасп}} \leq s_{\text{табл}}$ (мм/об). 进料的选择要根据机器的护照纸料 $\leq s_{\text{табл}}$ (mm / rev)。
- $$V = \frac{C_V}{(T^m \cdot t^x \cdot s^y)} \cdot K_V$$
- 7) Расчёт скорости резания $v_{\text{расч}}$ (м/мин): 切削速度的计算 $v_{\text{расч}}$ (m / min)：

где T – это период работы инструмента до затупления (допустимого износа). При многоинструментной обработке период стойкости T следует увеличивать, потому что увеличивается простой станка при замене инструментов. Он зависит прежде всего от одновременно работающих инструментов.

$$V = \frac{C_V}{(T^m \cdot t^x \cdot s^y)} \cdot K_V$$

Расчет оптимальной скорости резания (продолжение)

$$K_V = K_{Mv} \times K_{Iv} \times K_{Iv} \times K_{\varphi v} \times K_{\varphi 1v} \times K_{Rv} \times K_{Qv} \times K_{Ov}$$

где $K_{Mv} = K_r \cdot (750/\sigma_s)^{nv}$ - коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала (прочности) на скорость резания. **考虑加工材料质量 (强度) 对切削速度的影响的系数**。 Для стали 45 предел прочности на растяжение $\sigma_s = 750 \text{ МПа}$, $K_r = 1$, $nv = 1$ [2 (Справочник технолога-машиностроителя под ред. Косиловой А.Г., Т.2, 1985г.), **стр. 261-262**], поэтому $K_{Mv} = 1 \cdot (750/750)^1 = 1$; **对于45号钢, 抗拉强度 $\sigma_s = 750 \text{ МПа}$, $K_r = 1$, $nv = 1$ [2 (《机械工程师手册》, 由Kosilova A.G.编辑, 第2卷, 1985年), 第261-162页) , 因此 $K_{Mv} = 1 \cdot (750/750)^1 = 1$;** $K_{Iv} = 0,9$ - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки [2, стр. 263, **табл.5**]; **考虑到工件表面状态的系数[2, 第263页, 表5];**

K_{Iv} - коэффициент, учитывающий материал режущей части. Для режущей пластинки из твердого сплава Т15К6 $K_{Iv} = 1$ [2, стр. 263, **табл.6**]; **系数考虑了切削零件的材料。对于由Т15К6硬质合金制成的切割板, $K_{Iv} = 1$ [2, 第263页, 表6];**

$K_{\varphi v} = 1,0$ - коэффициент, учитывающий геометрические параметры резца (главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$) [2, **стр. 271, табл.18**]; **考虑到刀具几何参数的系数 (平面中的主角度 $\varphi = 45^\circ$) [2, 第271页, 表18];**

$K_{\varphi 1v} = 1$ - коэффициент, учитывающий геометрические параметры резца (вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 10^\circ$) [2, **стр.271, табл.18**]; **考虑刀具几何参数的系数 (平面中的辅助角 $\varphi_1 = 10^\circ$) [2, 第271页, 表18];**

$K_{Rv} = 1$ - коэффициент, учитывающий геометрические параметры резца (радиус при вершине резца R) [2, **стр.271, табл.18**]; **考虑到刀具几何参数的系数 (刀具R尖端的半径) [2, 第271页, 表18];**

$K_{Qv} = 1,12$ - коэффициент, учитывающий поперечное сечение державки **табл.16** [1]; **系数考虑到支架台16 [1]的横截面;**

$K_{Ov} = 1$ - коэффициент, учитывающий вид обработки. **系数要考虑到加工的类型。**

$$K_V = 1 \times 1 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,12 \times 1 = 1,0.$$

$$V = \frac{C_V}{(T^m \cdot t^x \cdot s^y)} \cdot K_V = \frac{350}{(60^{0,2} \cdot 1,95^{0,15} \cdot 0,5^{0,35})} \cdot 1$$

$$= 178 \text{ м/мин.} \quad \frac{1000 \cdot 178}{\pi \cdot 35}$$

8) Расчёт скорости вращения шпинделя $n_{\text{расч}} = 1000 \cdot v_{\text{расч}} / \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 35 = 1620 \text{ об/мин.}$

9) Выбор скорости вращения шпинделя **по прочности станка** $n_{\text{расч}} \leq n_{\text{доп}}$ ($n_{\text{расч}} = 1620 \text{ об/мин}$) **主轴转速的计算**

Расчет мощности станка

Для расчёта **мощности** станка необходимо рассчитать составляющую силы резания P_z . Для наружного продольного точения [2 (Справочник технолога-машиностроителя под ред. Косиловой А.Г., Т.2, 1985г.), **стр. 271**]为了计算机器的功率，必须计算切削力 P_z 的分量。对于外部纵向车削[2 (技术员-机械工程师手册，Kosilova A.G.编辑，第2卷，1985年)，第271页]

$$P_{z,y,x} = C_P \times t^x \times s^y \times V^n \times K_P, [H], \quad (1)$$

где C_P – коэффициент, зависящий от обрабатываемого и режущего материала;系数取决于加工和切割材料
 K_P – поправочный коэффициент.校正因子。

$$K_P = K_{Mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{Rp}, \quad (2)$$

где K_{Mp} - коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала (прочности) на силу резания. Для стали 45 предел прочности на растяжение $\sigma_s=750\text{МПа}$, поэтому $K_{Mp}=1$ [2, **стр. 264, табл. 9**];考虑到加工材料的质量（强度）对切削力的影响的系数。对于钢45，抗拉强度 $\sigma_w=750\text{МПа}$ ，因此 $K_{Mp}=1$ [2, p. 264, 选项卡。九];

$K_{\varphi p}$ - коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане φ на силу резания [2, **стр. 275, табл. 23**];考虑了平面 φ 中的主角度对切削力的影响的系数[2, p. 275, tab. 23];

$K_{\gamma p}$ - коэффициент, учитывающий влияние главного переднего угла в главной секущей плоскости γ на силу резания;考虑主割平面 γ 中的主前角对切削力的影响的系数；

$K_{\lambda p}$ - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главной режущей кромки λ на силу резания;考虑主切削刃 λ 的倾斜角度 λ 对切削力的影响的系数；

K_{Rp} - коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине резца R на силу резания;系数，考虑到刀具 R 尖端的半径对切削力的影响；

Расчет мощности станка (продолжение)

Для чернового точения наружной поверхности Ø31,1h11 наибольшая глубина резания $t = t_{max} = 1,95$ мм. Коэффициенты и показатели степеней, найденные в табл. 22 [2, стр.273], заносим в табл.1. Рассчитываем составляющие силы резания 为了粗加工Ø31.1h11的外表面, 最大切削深度为 $t = t_{max} = 1.95$ mm。表中找到的系数和指数。22 [2, 第273页], 我们将其输入表1。我们计算切削力的分量

$$\bullet P_z = 10 \times 300 \times 1,95^1 \times 0,5^{0,75} \times 178^{-0,15} \times 1,0 = 3478 \text{ Н};$$

$$\bullet P_y = 10 \times 243 \times 1,95^{0,9} \times 0,5^{0,6} \times 178^{-0,3} \times 1,0 = 618 \text{ Н};$$

$$\bullet P_x = 10 \times 339 \times 1,95^1 \times 0,5^{0,5} \times 178^{-0,4} \times 1,0 = 588 \text{ Н};$$

Таблица 1. Расчет составляющих силы резания при черновой обточке диаметра Ø31,1h11

Компонента	$C_{p\alpha}$	$x\alpha$	$y\alpha$	$n\alpha$	$K_{Mp\alpha}$	$K_{\phi p\alpha}$	$K_{\gamma p\alpha}$	$K_{\lambda p\alpha}$	$K_{Rp\alpha}$	$K_{p\alpha}$	$P_{z,y,x}, \text{ Н}$
$P_z\alpha$	300	1	0,75	-0,15	1	1,0	1,0	1	1	1,0	3478
$P_y\alpha$	243	0,9	0,6	-0,3	1	1,0	1,0	1	1	1,0	618
$P_x\alpha$	339	1	0,5	-0,4	1	1,0	1,0	1	1	1,0	588

Мощность резания рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \text{ [кВт]}$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания (совпадающая по направлению с вектором скорости резания), Н; 切削力的切向分量 (与切削速度矢量的方向一致), Н; V – скорость резания, м/мин.

В нашем примере при черновой обточке Ø31,1h11: $N_o = \frac{3478 \cdot 164,8}{1020 \cdot 60} = 9,3 \text{ кВт}$

Рассчитываем требуемую мощность **станка** $N_{ct} = N_o \cdot K$, кВт, (3)

где K – коэффициент, учитывающий к.п.д. коробки скоростей, потери на коробку подач, увеличение силы резания при износе инструмента 考虑效率的系数 变速箱 · 每个进给箱的损耗 · 切削力随刀具磨损的增加而增加。

Обычно $K = 1,2 \dots 1,5$.

В примере: $N_{ct} = N_o \cdot K = 9,3 \times 1,3 = 12,09 \text{ кВт}$. По этой мощности выбираем станок.

Расчет мощности станка (продолжение)

Если предлагаемое оборудование **менее мощное** чем рассчитанное, то приходится **уменьшать частоту вращения** шпинделя, что уменьшит скорость резания, а значит и производительность. **Если** **рекомендуемые** **функции** **оборудования** **не соответствуют** **расчетным** **параметрам**, **то** **необходимо** **уменьшить** **скорость** **резания**, **что** **приведет** **к** **снижению** **производительности**. **Если** **это** **не** **помогает**, **то** **уменьшают** **подачу**. В исключительных случаях необходимо **уменьшать** **глубину** **резания**, т.к. это вызовет необходимость выполнять обработку **за несколько проходов**, что ещё больше уменьшит производительность. **Если** **таким** **образом** **не** **удается** **достичь** **требуемой** **производительности**, **то** **необходимо** **уменьшить** **подачу**. В исключительных случаях необходимо **уменьшать** **глубину** **резания**, т.к. это вызовет необходимость выполнять обработку **за несколько проходов**, что ещё больше уменьшит производительность. **Если** **таким** **образом** **не** **удается** **достичь** **требуемой** **производительности**, **то** **необходимо** **уменьшить** **подачу**. В исключительных случаях необходимо **уменьшать** **глубину** **резания**, т.к. это вызовет необходимость выполнять обработку **за несколько проходов**, что ещё больше уменьшит производительность.

Необоснованно увеличенный запас мощности принятого оборудования приведёт к **увеличению стоимости оборудования** и затрат электроэнергии, требуемой площади для размещения станка, хотя и увеличит технологические возможности. **Если** **таким** **образом** **не** **удается** **достичь** **требуемой** **производительности**, **то** **необходимо** **уменьшить** **подачу**. В исключительных случаях необходимо **уменьшать** **глубину** **резания**, т.к. это вызовет необходимость выполнять обработку **за несколько проходов**, что ещё больше уменьшит производительность.

При **получистовом** (по 10...8 качеству) и **чистовом** (по 7...6 качеству) точении припуск на обработку небольшой ($2z = 0,6...0,1$ мм), поэтому он удаляется **за один рабочий ход** (проход) с небольшой глубиной резания ($t = 0,3...0,05$ мм). **Полуфинишная** (10 ... 8-й классы) и **финишная** (7 ... 6-й классы) обработка при **небольшой** **глубине** **резания** ($t = 0,3...0,05$ мм). **Полуфинишная** (10 ... 8-й классы) и **финишная** (7 ... 6-й классы) обработка при **небольшой** **глубине** **резания** ($t = 0,3...0,05$ мм). **Полуфинишная** (10 ... 8-й классы) и **финишная** (7 ... 6-й классы) обработка при **небольшой** **глубине** **резания** ($t = 0,3...0,05$ мм). При выборе подачи учитывают требуемую шероховатость поверхности ($Ra = 3,2...0,63$ мкм) и радиус при вершине резца (обычно $r = 0,5-0,8$ мм). **Выбор** **подачи** **учитывают** **требуемую** **шероховатость** **поверхности** ($Ra = 3,2...0,63$ мкм) и **радиус** **при** **вершине** **резца** (обычно $r = 0,5-0,8$ мм). **Выбор** **подачи** **учитывают** **требуемую** **шероховатость** **поверхности** ($Ra = 3,2...0,63$ мкм) и **радиус** **при** **вершине** **резца** (обычно $r = 0,5-0,8$ мм).

Несмотря на большую скорость резания ($V=350...550$ м/мин), мощность станка требуется небольшая из-за сравнительно **малых сил резания**, поэтому **мощность резания, как правило, не рассчитывается**. **Если** **таким** **образом** **не** **удается** **достичь** **требуемой** **производительности**, **то** **необходимо** **уменьшить** **подачу**. В исключительных случаях необходимо **уменьшать** **глубину** **резания**, т.к. это вызовет необходимость выполнять обработку **за несколько проходов**, что ещё больше уменьшит производительность.

При **небольшом диаметре** заготовки (менее 20 мм) проблемой становится обеспечить требуемую высокую скорость резания, т.к. требуется частота вращения шпинделя более 3000 об/мин. **Если** **таким** **образом** **не** **удается** **достичь** **требуемой** **производительности**, **то** **необходимо** **уменьшить** **подачу**. В исключительных случаях необходимо **уменьшать** **глубину** **резания**, т.к. это вызовет необходимость выполнять обработку **за несколько проходов**, что ещё больше уменьшит производительность.

Совершенствование инструментов и способов обработки 工具和加工方法的改进

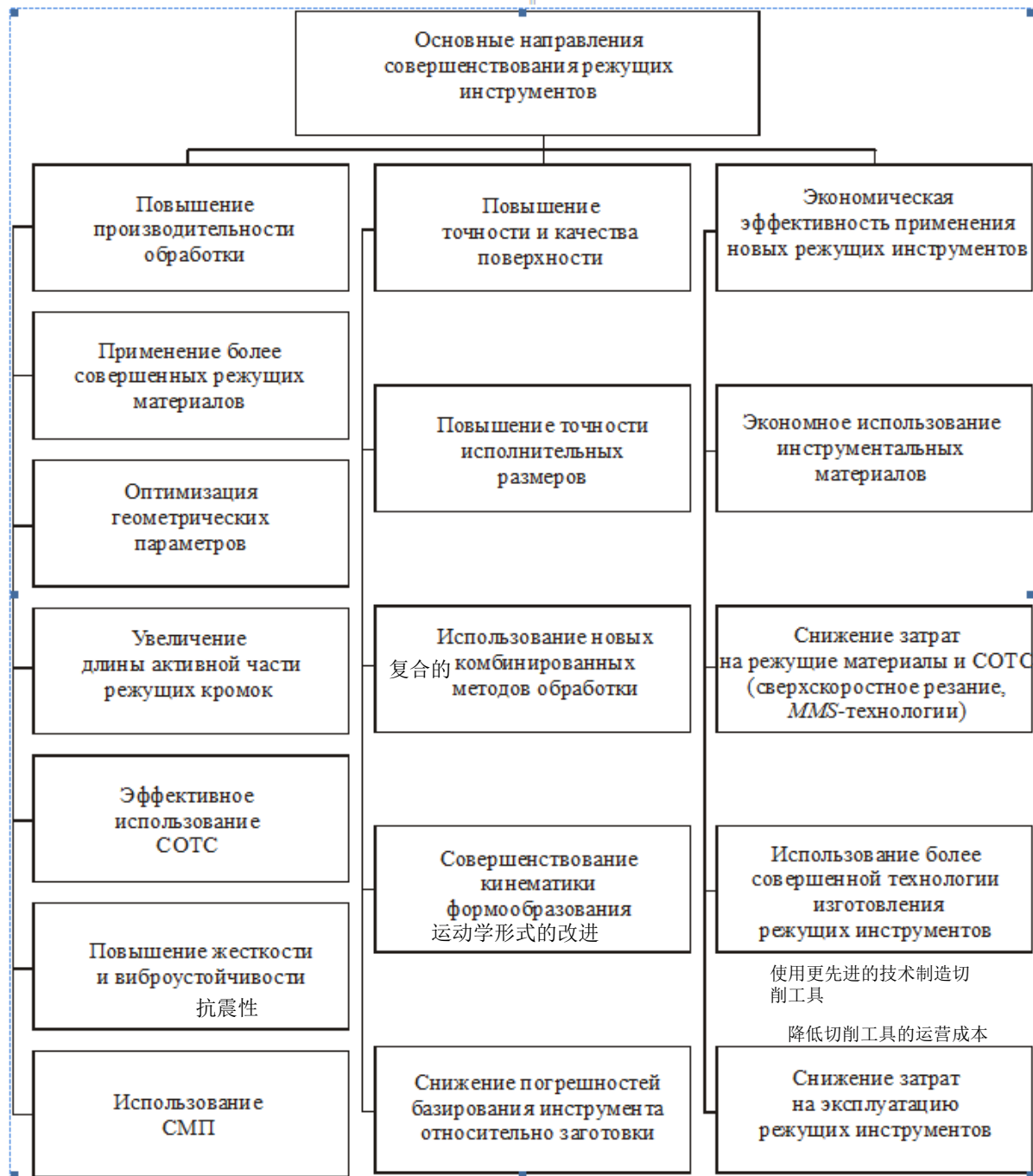
Вставки и ножи из конструкционных сталей с инструментальными материалами. 带工具材料的结构钢刀片和刀具。

Внедрение **сверхскоростного резания** ($v > 800$ м/мин) без СОТС. При сверхвысоких скоростях интенсивность износа снижается, но это возможно лишь для новых видов инструментальных материалов и при использовании более совершенных станков ($n > 5000$ об/мин). 引入无需切削液的超高速切削 ($v > 800$ м / min)。在超高速下, 磨损率会降低, 但这仅适用于新型工具材料以及使用更高级的机床 ($n > 5000$ rpm) 时。

MMS-технология

(Minimalmengenschmierung) - охлаждение зоны резания **небольшим количеством СОЖ**, подаваемой под давлением до 0,6 МПа с помощью потока воздуха. Расход СОЖ (аэрозоль), обычно не превышает 80 мл/ч. Исключаются затраты на СОЖ и **очистку стружки**. MMS-технология (Minimalmengenschmierung) - 使用少量的冷却剂通过空气流在压力高达0.6 MPa的情况下冷却切割区域。冷却液消耗量 (气溶胶) 通常不超过80毫升/小时。消除了冷却液和切屑清洁的成本。

Горячее **пластическое деформирование** (прокатка,



Токарная обработка. Резцы

Резцы являются одними из самых распространенных режущих инструментов. **刀具是最常见的切削工具之一。** Они применяются при работе на токарных, расточных, строгальных, долбежных и других типах станков при обработке наружных и внутренних поверхностей самых разнообразных форм. **它们用于加工各种形状的内外表面的车床, 镗床, 刨床, 开槽和其他类型的机器上。** Резцы можно классифицировать, например, по следующим основным признакам: **例如, 可以根据以下主要特征对刀进行分类:**

- 1) тип станка – токарные, расточные, строгальные и др.; **机器类型-车削·镗削, 刨削等;**
- 2) вид операции – проходные, подрезные, отрезные, фасонные, резьбонарезные **切螺纹的** и др.;
- 3) направление подачи – радиальные, тангенциальные;
- 4) конструкция – цельные, сборные: сварные, с напайкой или механическим закреплением режущих пластин; **结构-一件式, 预制: 焊接·切割板的焊接或机械固定;**

5) материал режущей части – быстрорежущие, твердосплавные, с пластинами из керамики или сверхтвердых материалов (алмаз, эльбор и др.). **切削零件材料-高速硬质合金·并用陶瓷或超硬材料(金刚石·elbor等)制成的板。** **60...70%** инструментальных материалов приходится на **быстрорежущие стали**, **20...30%** – на **твердые сплавы**, **5...10%** – на остальные материалы. **60 ... 70%的工具材料是高速钢, 20 ... 30%-硬质合金, 5 ... 10%-其他材料**

Высокий процент применяемости быстрорежущих сталей объясняется главным образом их прочностными и технологическими свойствами, обеспечивающими высокую надежность и универсальность инструментов. **高速钢的高应用率主要是由于其强度和技术性能, 从而确保了工具的高可靠性和多功能性。** Вторыми по применяемости являются твердые сплавы, на долю которых благодаря их высоким режущим свойствам приходится более половины объема снимаемой стружки. **就适用性而言, 第二个是硬质合金, 由于其高切削性能, 其占切屑体积的一半以上。** В последнее время с появлением **супермелкозернистых твёрдых сплавов** увеличивается ассортимент **свёрл и фрез малого диаметра** за счёт HSS. **近来, 随着超细晶粒碳化物的出现, 由于HSS, 小直径钻头和铣刀的种类增加了。**

4. нитридная керамика
5. черная керамика (металлокерамика)
6. оксидная (белая керамика)
7. кубический нитрид бора

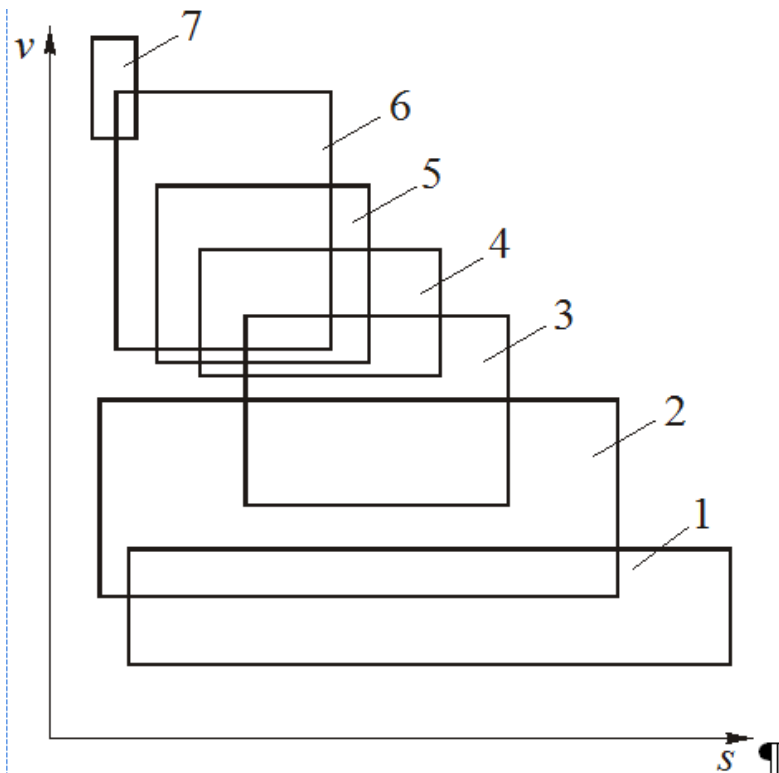


Рис. 1. Области применения режущих материалов по скорости резания v и подаче s :
1 — быстрорежущие стали; 2 — твердые сплавы; 3 — твердые сплавы с покрытиями; 4 — нитридная керамика; 5 — черная керамика (керметы); 6 — оксидная (белая) керамика; 7 — кубический нитрид бора

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Рис. 1. Типы резцов:

a – подрезной (проходной отогнутый правый);

б – подрезной (проходной упорный правый);

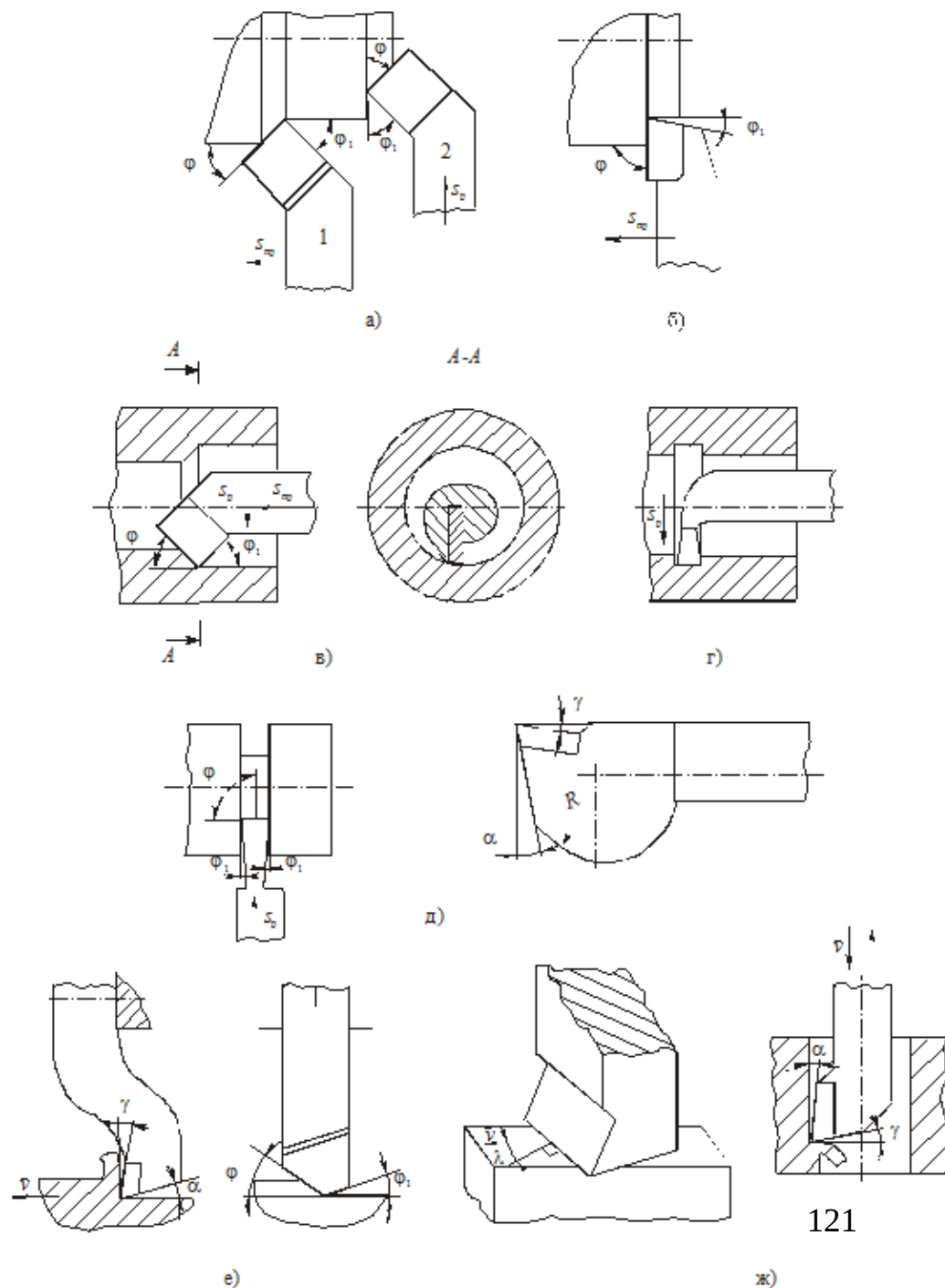
в – расточной для сквозных 贯通的 отверстий;

г – расточной канавочный 槽的;

д – отрезной;

е – строгальный;

ж – долбежный 插齿.



Токарная обработка. Резцы

Инструменты, **оснащенные СМП**, по сравнению с напайными имеют следующие преимущества:**与焊接工具相比, 配备有SMP的工具具有以下优点:**

- 1) более высокая прочность, надежность и стойкость (при работе **без ударов**);更高的强度, 可靠性和耐久性 (在无冲击的情况下工作) ;
- 2) меньше **расходы на смену** и утилизацию пластин;**减少更换和处置印版的费用;**
- 3) **меньше простои оборудования при замене и наладке инструмента**, что особенно важно при эксплуатации современных дорогостоящих станков с ЧПУ и автоматических линий;**更换和调整工具时减少设备的停机时间, 这在操作现代昂贵的CNC机床和自动生产线时尤其重要;**
- 4) более благоприятные условия для **нанесения на пластины износостойких покрытий**, что позволяет значительно (до 4...5 раз) повысить их стойкость, а следовательно, и производительность процесса резания;**用于在板上涂覆耐磨涂层的更有利条件, 这可以显著 (最多4到5倍) 提高其耐用性, 从而提高切割过程的生产率;**
- 5) меньше потери остродефицитных материалов (вольфрама, кобальта, тантала и др.) за счет увеличения **возврата пластин на переработку**.**通过增加加工板材的回收率, 减少高度稀缺材料 (钨, 钴, 钽等) 的损失。**

Недостатки инструментов, оснащенных СМП:

- 1) **высокая стоимость** из-за их высокой точности, а следовательно, высокой трудоемкости изготовления пластин и инструмента в целом;**由于其准确性高, 因此成本高, 因此通常制造板和工具的劳动强度大;**
- 2) **повышенные габариты корпусов инструментов** из-за необходимости размещения в них элементов крепления пластин;**由于需要在其中放置板形紧固元件, 因此增加了工具主体的尺寸;**
- 3) **невозможность полного обеспечения оптимальной геометрии режущей части инструмента** из-за заданной формы пластин и условий их крепления. **由于板的给定形状及其安装条件, 不可能完全确保工具切削部分的最佳几何形状 ($\alpha\gamma$)。**

Геометрические параметры инструментов, оснащенных СМП, определяют **в статике** при изготовлении пластин и **корректируют修正 при их закреплении в корпусе** (державке) инструмента **с учетом кинематики станка** и условий резания.配备SMP的刀具的几何参数是在制版过程中静态确定的, 并在将其固定在工具主体 (夹具) 中时进行校正, 并考虑到机床的运动特性和切削条件。

Токарная обработка. Резцы

СМП по геометрическим параметрам делятся на: а) негативные ($\gamma=0^\circ$, $\alpha = 0^\circ$); б) позитивные ($\gamma=0^\circ$, $\alpha > 0^\circ$); в) негативно-позитивные ($\gamma>0^\circ$, $\alpha = 0^\circ$) (рис. 2 б) **根据几何参数, SMP分为: a) 负数 ($\square=0^\circ$, $\square=0^\circ$) ; б) 正数 ($\square=0^\circ$, $\square>0^\circ$) ; в) 负-正 ($\square>0^\circ$, $\square=0^\circ$) (图2б) .** **Задний** угол α при установке **негативных** и **негативно-позитивных** пластин создается **за счет их поворота** при креплении в державке резца. **当安装正负刀片时, 通过将正负刀片安装在刀架中时产生间隙角 α 。** При этом у **негативных** пластин передние углы становятся отрицательными, т.е. $(-\gamma)=\alpha$, у **негативно-позитивных** пластин угол γ **уменьшается на величину угла α** . **在这种情况下, 负极板的前角变为负值, 即 $(-\square) = \square$, 对于正负刀片, 角度 $\square$ 减小角度 α 的值。** У **позитивных** пластин угол γ **равен углу поворота пластины** по часовой стрелке, а **угол α уменьшается** на эту же величину. **对于正极板, 角度 $\square$ 等于正极板的顺时针旋转角度, 并且角度减小相同的量。**

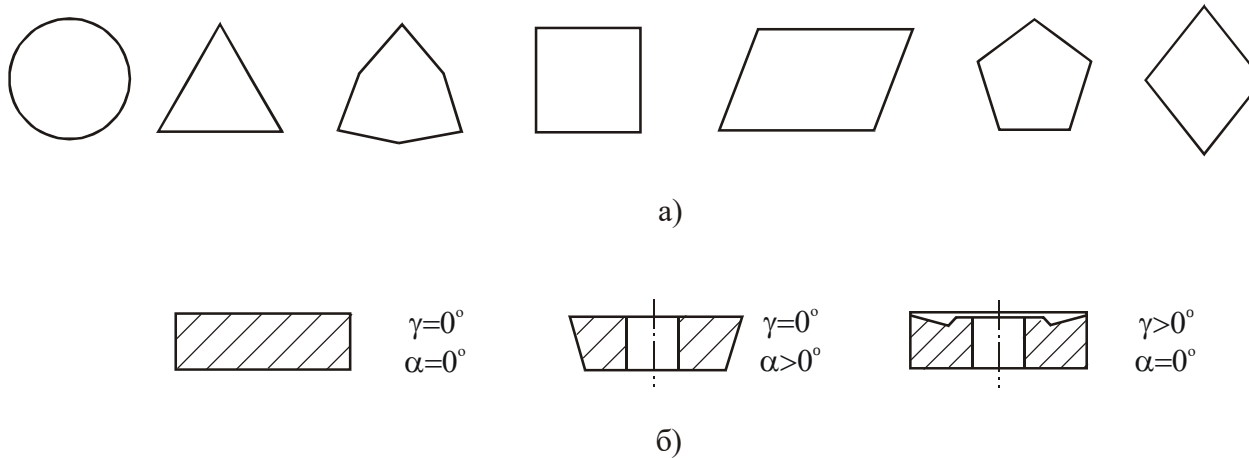
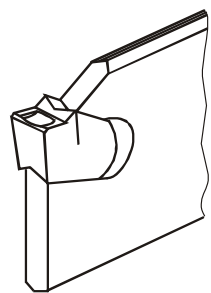
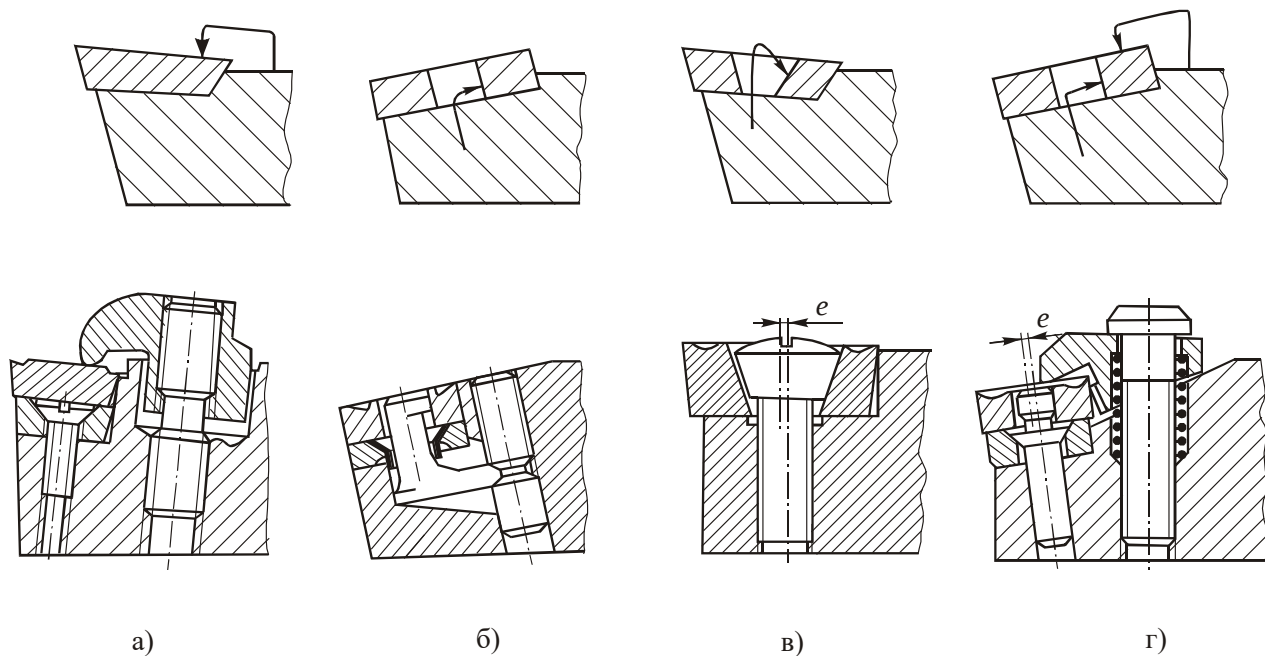


Рис. 2. **Твердосплавные сменные многогранные пластины (СМП)**: а – формы пластин; б – геометрические параметры пластин (**негативных**, **позитивных**, **негативно-позитивных**). **整体硬质合金可替换多面体板 (SMP) :**
b-平板的几何参数 (负, 正, 负-正) 。

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Пластины **негативные** и **негативно-позитивные** крепятся чаще всего **прихватом сверху** (схема **а**) или по схеме **2. 负极板和负极板通常从上方 (方案a) 或根据方案d握紧**. Последняя обеспечивает более надежное крепление, **не требуется поднимать прихват**. 后者提供了更可靠的紧固, 无需提起夹具。 Крепление винтом (схема **в**) используется для **малонагруженных** пластин и является простым и компактным. **螺钉固定 (图c) 用于轻载板, 简单而紧凑**.

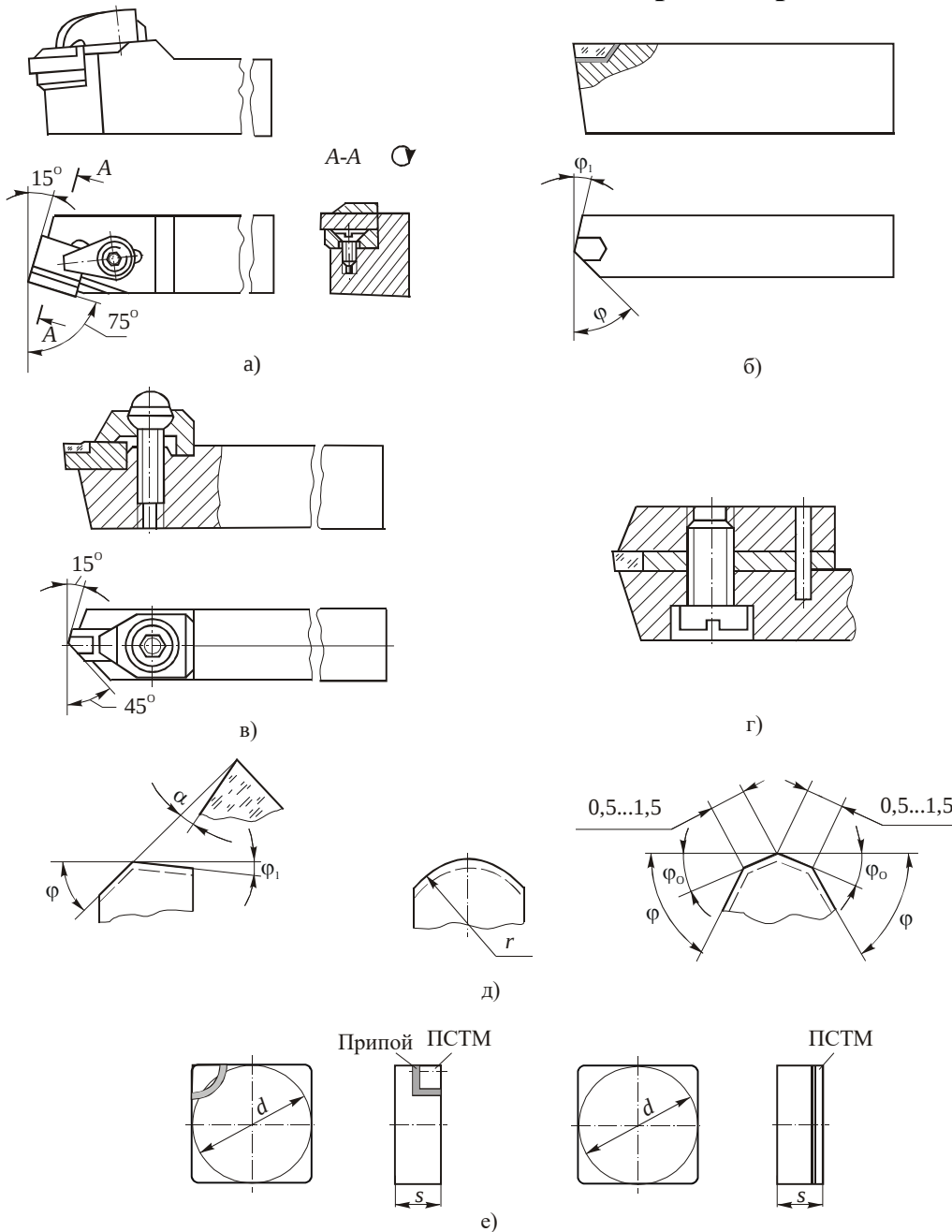


У резцов наибольшее распространение получили **пластины с отверстием**. 对于车刀, 带孔的板是最常见的。 Благодаря этому обеспечиваются свободный сход стружки по передней поверхности и значительно **меньшие габариты элементов крепления**, размещаемых в корпусе державки, **пластина не выпадает из гнезда (паза)**. 这样可确保切屑沿前表面自由流动, 并确保放置在刀柄主体中的紧固元件的尺寸明显减小, 刀片不会从插座 (槽) 中掉出来。

Но при черновой обработке **отверстие является концентратором напряжений**, поэтому может приводить к разрушению СМП. 但是在粗加工时, 孔是一个应力集中点, 会导致 СМП 的破坏。

Рис. 3. Схемы механического крепления твердосплавных СМП: **а** – прихватом сверху; **б** – рычагом через отверстие; **в** – винтом с конической головкой; **г** – штифтом через отверстие и прихватом сверху; **д** – за счет упругой деформации стенки паза **机械固定硬SMP的方案**: **a**-顶部有手柄; **b**-用杠杆穿过孔; **c**-带有锥形头的螺钉; **d**-用销

Токарная обработка. Резцы (продолжение)



Резцы, оснащенные **керамикой и синтетическими сверхтвёрдыми материалами** обеспечивают значительное повышение производительности и стойкости, высокие точность и качество обработанной поверхности. **配备陶瓷和合成超硬材料的刀具**可显著提高生产率和刀具寿命, **高精度和表面质量**。

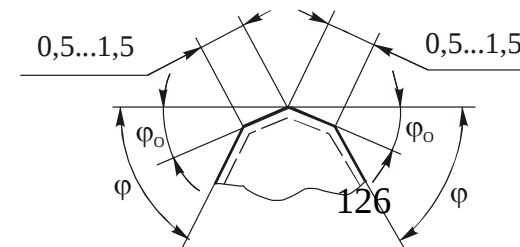
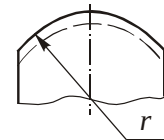
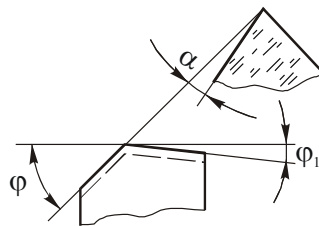
Их недостатком является **низкая прочность** режущего клина, которая ограничивает область их применения. **它们的缺点是切割楔的强度低, 这限制了它们的应用范围**。Наибольшую эффективность они показали при **чистовом точении сталей**, особенно **закаленных, чугунов различной твердости и даже твердых сплавов** с содержанием кобальта выше 25%. **它们在精加工钢, 特别是淬硬钢, 各种硬度的铸铁甚至钴含量超过25%的硬质合金时表现出最高的效率**。Обработка на высокоточных, **жестких, скоростных** и мощных станках с ЧПУ. **在高精度, 刚性, 高速和强大的CNC机床上加工**。

Рис. 4. Сборные токарные резцы с керамикой и STM **装配有陶瓷和STM的车刀** : : **a – с механическим креплением пластины из керамики**; **a-机械固定陶瓷板** ; **б – с припаянным кристаллом алмаза**; **b-带有焊接的钻石晶体** **в – с промежуточной вставкой** **中间插入**; **г – с механическим креплением кристалла алмаза**; **机械固定钻石晶体** **д – формы режущих кромок алмазных резцов** (прямолинейная, радиусная, фасеточная) **金刚石刀具的切削刃形式** (直线·半径·刻面) ; **е – СМП с напайками** **焊接** из **ПСТМ** (**поликристаллические сверхтвёрдые материалы**) **具有焊接PSTM的SMP** (多晶超硬材料)

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Так как алмазы и эльбор имеют очень малые размеры, то их крепление осуществляется пайкой, зачеканкой или механическим путем. 由于钻石和氮化硼非常小, 因此可以通过焊接, 铸造或机械方式将其固定。 Крепление алмаза пайкой осуществляется либо непосредственно в державку (рис. 4, б), либо с применением промежуточных вставок (рис. 4, в)可以通过将焊料直接焊接到支架中 (图4, б) 或使用中间插件 (图4, в) 来固定钻石。 В последнем варианте вставка **вставляется** и спекается вместе с алмазом методом порошковой металлургии. 在后一种形式中, 刀片通过粉末冶金与金刚石一起被压制和烧结。 Вершина резца **в плане** выполняется **со скруглением** $r=0,2 \dots 0,8$ мм или с несколькими фасками (**фасетками**) (рис.4, д). **в плане** резца, **铣刀的顶部**以 $r = 0.2 \dots 0.8$ mm的倒圆角或多个倒角 (小平面) 进行加工 (图4, е) 。 В сечении, нормальном к режущей кромке, **радиус скругления режущего клина** достигает величины **$\rho < 1$ мкм**. 在垂直于切削刃的部分中, 切削楔形圆角的半径达到 $< 1 \mu\text{m}$ 。 Благодаря этому алмазное точение позволяет **снизить шероховатость** обработанной поверхности до $Ra\ 0,08 \dots 0,32$ мкм и **повысить точность обработки** до $IT\ 5 \dots 7$. 因此, 进行金刚石车削可以将加工表面的粗糙度降低到 $Ra\ 0.08 \dots 0.32 \mu\text{m}$, 并将加工精度提高到 $IT\ 5 \dots 7$ 。 При точении и растачивании цветных металлов, пластмасс и композиционных материалов стойкость алмазных резцов во много раз выше стойкости твердосплавных резцов. 在车削和镗削有色金属, 塑料和复合材料时, 金刚石刀具的耐用性是硬质合金刀具的许多倍。 Алмазные резцы могут работать более **$200 \dots 300$ ч без подналадок** и смены инструмента, что особенно важно для автоматизированного производства. 金刚石切割机可以工作200到300个小时以上, 而无需重新调整和更换工具, 这对于自动化生产尤为重要。 При этом алмазы массой $0,5 \dots 0,6$ карата допускают $6 \dots 10$ переточек. 在这种情况下, 重0.5到0.6克拉的钻石可以再磨6到10次。 Для обработки закалённой стали резцы также оснащаются поликристаллическими сверхтвёрдыми материалами (**ПСТМ**) из **кубического нитрида бора** трехгранной, круглой, квадратной и ромбической форм небольших размеров с диаметром вписанной окружности $d = 4 \dots 12,7$ мм, толщиной $3 \dots 5$ мм ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 0 \dots 11^\circ$). 为了加工淬硬钢, 刀具还配备了多晶超硬材料 (PSTM), 该材料由小尺寸的三面体, 圆形, 正方形和菱形立方氮化硼制成, 内切圆直径 $d = 4 \dots 12.7$ mm, 厚度 $3 \dots 5$ mm ($\square = 0^\circ$, $\square = 0 \dots 11^\circ$)。

В последние годы стали применяться **двухслойные** пластины, которые представляют собой **твердосплавную пластину** с нанесенным слоем поликристаллов **кубического нитрида бора** на ее наружной поверхности или с **напайками** по ее углам при $\varphi = 45^\circ$ (рис.4, е). 近年来, 已经开始使用两层板, 这是一种硬质合金板, 在其外表面涂有一层立方氮化硼多晶体, 或在其角处的焊料在 $\varphi = 45^\circ$ 处 (图4, ф) 。 Такие пластины имеют более крупные размеры и их можно крепить механическим путем в державках, применяемых для крепления твердосплавных пластин. 这些刀片较大, 可以机械方式安装在用于固定硬质合金刀片的刀架中。



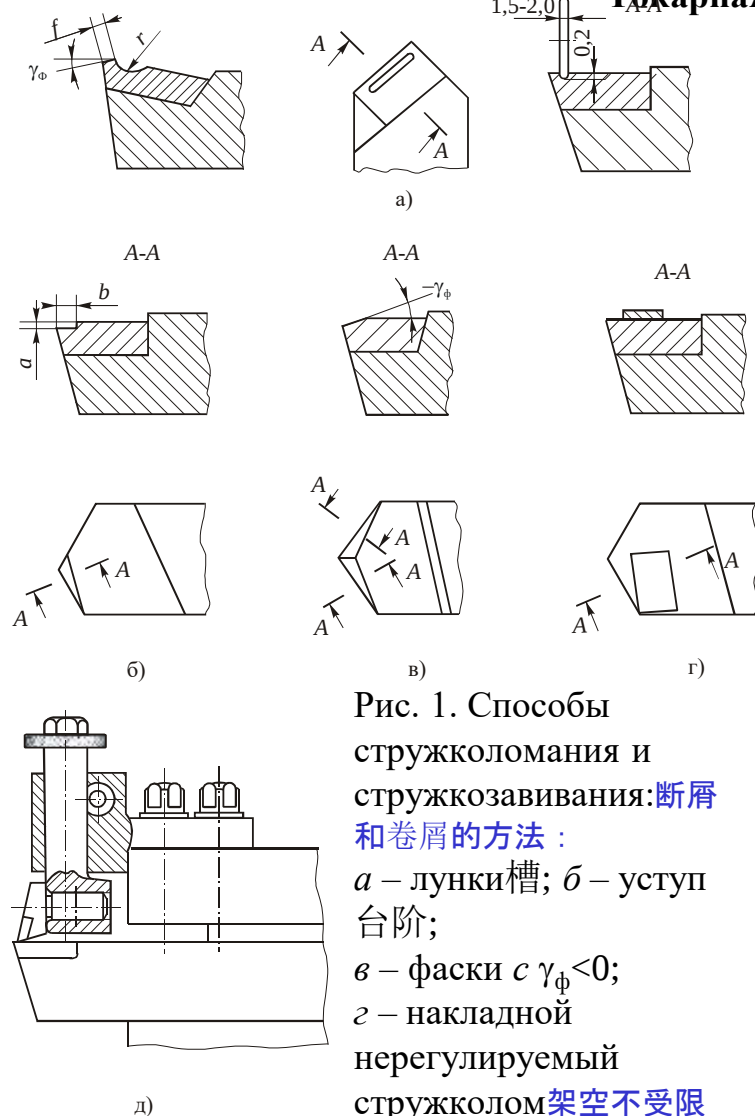
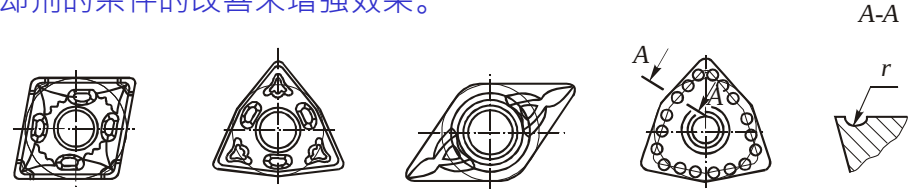


Рис. 1. Способы стружколомания и стружкозавивания: **断屑和卷屑的方法**:
 а – лунки **槽**; б – уступ **台阶**;
 в – фаски с $\gamma_{\phi} < 0$;
 г – накладной **нерегулируемый стружколом** **架空不受限制的断屑槽**;
 д – регулируемый **стружколом** **可调断屑槽**

Проблема надежного удаления стружки из зоны резания имеет наиболее острое значение при использовании твердосплавных резцов и особенно при обработке пластичных материалов, когда из-за резко возросших скоростей резания значительно увеличивается объем образующейся стружки и изменяется ее форма. 当使用硬质合金刀具时, 尤其是在加工塑料材料时, 由于切削速度的急剧提高, 产生的切屑的体积显著增加并且其形状发生变化, 从切削区域可靠地去除切屑的问题尤为重要。 Нагретая до высоких температур стружка в виде непрерывной ленты наматывается на заготовку и резец, портит обрабатываемую поверхность и представляет собой серьезную опасность для рабочих. 以连续带的形式加热到高温的切屑缠绕在工件和切刀周围, 损坏工作表面并严重危害工人。 Поэтому станочнику приходится часто останавливать станок для ее удаления. 因此, 机器操作员经常不得不停止机器以将其移除。 Для получения транспортабельной формы стружки в виде отдельных кусочков, сегментов, колец, коротких завитков или сплошной пружины применяют специальные способы стружкозавивания и стружколомания. 为了获得切屑的可移动形状, 其形式为单独的碎片, 节段, 环, 短卷或实心弹簧, 使用了特殊的切屑缠绕和断屑方法。 Обычно для этого на передней поверхности резца на пути сходящей стружки создают специальные препятствия в виде лунок, канавок, сферических выступов или углублений вдоль режущей кромки, а также накладных нерегулируемых уступов и регулируемых стружколомов. 通常, 为此, 在切削屑的路径上会在切削刃的前表面上形成特殊的障碍物, 例如沿切削刃的凹坑, 凹槽, 球形凸起或凹陷以及高架的不可调节壁架和可调节断屑槽。

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Лунки и уступы на **напайных пластинах** получают путем **вышлифовывания** алмазными кругами у проходных резцов с напайными твердосплавными пластинами. **钎焊板上的孔和壁架是通过用金刚石轮在带有钎焊硬质合金板的直刀处磨削而获得的**。 Они **не универсальны**, для каждого обрабатываемого материала и определенного режима резания требуется определять опытным путем их параметры, обеспечивающие нужную форму стружки. **它们不是通用的；对于每种要处理的材料和特定的切割模式，都需要凭经验确定提供所需切屑形状的参数**。 У резцов, оснащенных **СМП** получают методом **прессования**. **装有MPS的切刀可通过压制获得**。 Принимают порой экзотический вид с использованием лунок, канавок и уступов переменной глубины, высоты и ширины. **有时，它们会使用深度，高度和宽度可变的孔，凹槽和壁架的异型**。 Эффект стружкодробления достигается как за счет **изменения ширины площади контакта стружки с передней поверхностью резца**, так и за счет силового воздействия на сходящую стружку. **断屑的效果既可以通过改变切屑与切刀前表面的接触区域的宽度来实现，也可以通过对脱落的切屑进行有力的作用来实现**。 Кроме того, эффект усиливается за счет **изменения по длине режущей кромки условий контакта стружки с передней поверхностью резца и улучшения условий подвода СОЖ в область контакта**. **另外，通过沿着切屑的长度沿切屑与刀具的前表面的接触条件的改变以及用于向接触区域供应冷却剂的条件的改善来增强效果**。



Накладные регулируемые стружколомы закрепляются на суппорте станка. **高架可调节断屑槽已连接至机床滑台**。 Напайная твердосплавная пластина-уступ устанавливается в определенном положении относительно режущей кромки, которое обеспечивает надежное дробление или завивание стружки. **硬质合金肩部焊块相对于切削刃定位，以可靠地压碎或卷曲切屑**。 Устройство позволяет регулировать положение такого уступа относительно режущей кромки при смене режимов резания. **使用该设备，可以在更改切削条件时相对于切削刃调整此类肩部的位置**。 Недостатком уступа является сложность и громоздкость конструкции, ухудшающие условия отвода стружки. **壁架的缺点是结构的复杂性和笨重性，这恶化了去除切屑的条件**。

В автоматизированном производстве **кинематический способ** дробления стружки за счёт принудительных колебаний резца в направлении подачи. **在自动化生产中，这是一种由于切刀在进给方向上的强制振动而导致切屑破碎的运动方法**。 При этом толщина стружки меняется и стружка распадается на отдельные кусочки. **在这种情况下，切屑的厚度会发生变化，并且切屑会破碎成单独的碎片**。 Следует отметить, что этот метод несколько **снижает стойкость инструмента и требует применения специальных устройств**, встраиваемых в механизм подачи станка, что усложняет конструкцию последнего. **应当指出，这种方法在某种程度上减少了工具的寿命，并且需要**

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Для обработки коротких (до 50 мм), но **сложных поверхностей** используются **фасонные резцы**, позволяющие использовать станки с простой кинематикой: на станках-автоматах и revolverных станках в условиях крупносерийного или массового типа производства.为了加工较短（最大50毫米）但复杂的表面，使用成形刀具，从而允许使用具有简单运动学的机器：在大规模或批量生产条件下的自动机器和旋转机器上。В качестве заготовок деталей чаще всего используют калиброванный прокат в виде прутка.棒状的校准轧制坯料最常用作零件的毛坯。Преимущества: 1) обеспечивают **идентичность формы** детали и высокую **точность размеров**, не зависящую от квалификации рабочего;优点：1) 不论工人的资历如何，都能提供零件形状的标识和较高的尺寸精度；2) обладают **высокой производительностью** за счет большой длины активной части режущей кромки由于切削刃有效部分的长度较大，因此具有很高的生产率；；3) имеют **большой запас** на переточку;有大量的再生料；4) **простая переточка по плоскости передней** поверхности;沿前表面的平面进行简单的重新研磨；5) **не требуют больших затрат времени на наладку и настройку станка**不需要花费很多时间来调整和设置机器。

Недостатки фасонных резцов: 1) **сложность изготовления** и **высокую стоимость**;1) 制造的复杂性和高成本 2) это **резцы специальные**, так как они пригодны для изготовления деталей только заданного профиля2) 这些是特殊的刀具，因为它们仅适用于制造给定轮廓的零件；；3) **большие радиальные нагрузки** у резцов, работающих с радиальной подачей, вызывают вибрации и упругие деформации нежестких заготовок, что требует снижения подачи и уменьшает производительность;使用径向进给的刀具上的较大径向载荷会引起非刚性工件的振动和弹性变形，这需要减少进给并降低生产率；4) **кинематические передние и задние углы** фасонных резцов в процессе резания **меняются по длине режущих кромок** в большом диапазоне, существенно отличаясь от оптимальных значений.异形刀具在切削过程中的运动前后角度沿切削刃的长度在很大范围内变化，与最佳值有很大差异。

Стержневые резцы подобны призматическим, но имеют малый запас на переточку. Они применяются в основном для затылования фрез, а также для нарезания резьбы轴铣刀类似于棱柱形铣刀，但重新磨边度较小。它们主要用于铣刀的铲齿和螺纹切削。Крепление в суппорте станка **подобно креплению токарных резцов**.机器滑架中的固定类似于车削工具的固定。

Призматические тангенциальные резцы позволяют обрабатывать детали малой жесткости, но требуют специальных станков и поэтому на практике применяются очень редко.棱柱形切线刀具可以加工低刚度的零件，但是它们需要特殊的机械，因此在实践中很少使用。Их недостатком также является переменность передних и задних углов в процессе снятия припуска.它们的缺点还在于在去除余量的过程中前后角度的可变性。

Круглые резцы более технологичны и с большей точностью.圆刀技术更先进，精度更高。Но меньший запас на переточку и меньшая жесткость крепления, так как у насадных резцов диаметр оправки зависит от диаметра резца: не более 100 мм из-за **ухудшения качества быстрорежущей стали**.但是，由于在安装切刀的情况下芯棒的直径取决于切刀的直径，因此再磨的余量较小，紧固的刚性也较低：由于高速钢质量的下降，不超过100 mm。Призматические резцы имеют

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

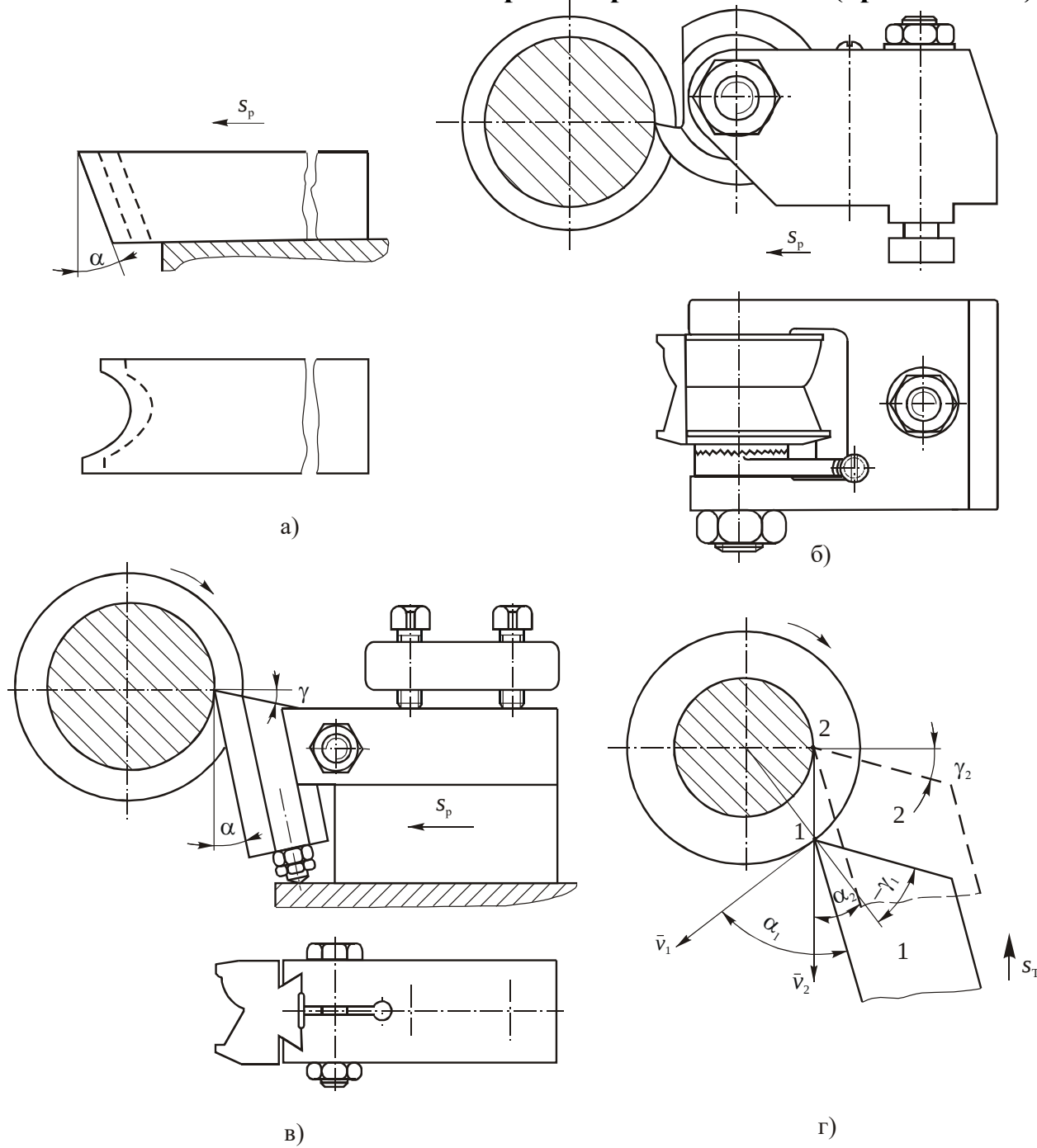


Рис. 2. Типы
фасонных резцов:
а – стержневой;
б – круглый;
в – призматический;
г – призматический
тангенциальный 棱形
切线

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Для обработки внутренних фасонных поверхностей используются только круглые фасонные резцы с креплением на станке с помощью хвостовика, выполненного за одно целое с резцом. 对于内表面的加工, 仅使用圆形刀具, 并使用与刀具一体成型的刀柄将其固定在机器上。

Особенностью фасонных резцов, работающих с радиальной подачей, является переменное значение передних и задних углов по длине режущей кромки. 径向进给的异形刀具的特点是沿切削刃长度的前, 后角的可变值。

У круглых резцов задний угол α создается за счет превышения центра резца O_p над центром детали O_d на величину h , а передний угол γ – за счет выреза по плоскости передней поверхности, отстоящей от центра на величину H (рис.2.10). 对于圆形刀具, 由于刀具 O_p 的中心在零件 O_d 的中心上超出了值 h 而形成了间隙角,,而由于沿前表面的平面进行的切削而产生的前角created则形成了后角, 该角度与中心间隔了值 H (图2.10) 。 При этом точки режущей кромки на наружной окружности резца (точки 1 и 3) лежат на линии оси центров станка在这种情况下, 刀沿外缘上的切削刃点 (点1和点3) 位于机器中心轴的直线上. R – радиус наружной окружности резца, r – радиус заготовки. R 是刀具的外周半径, r 是工件的半径。 В других точках режущей кромки углы α и γ в сечении, перпендикулярном к оси резца, зависят от положения координатных плоскостей (основной и резания) и касательных к задней и передней поверхностям. 在切削刃的其他点, 垂直于刀具轴的截面中的角度 α 和 γ 取决于坐标平面 (主平面和切削平面) 的位置以及前后表面的切线。

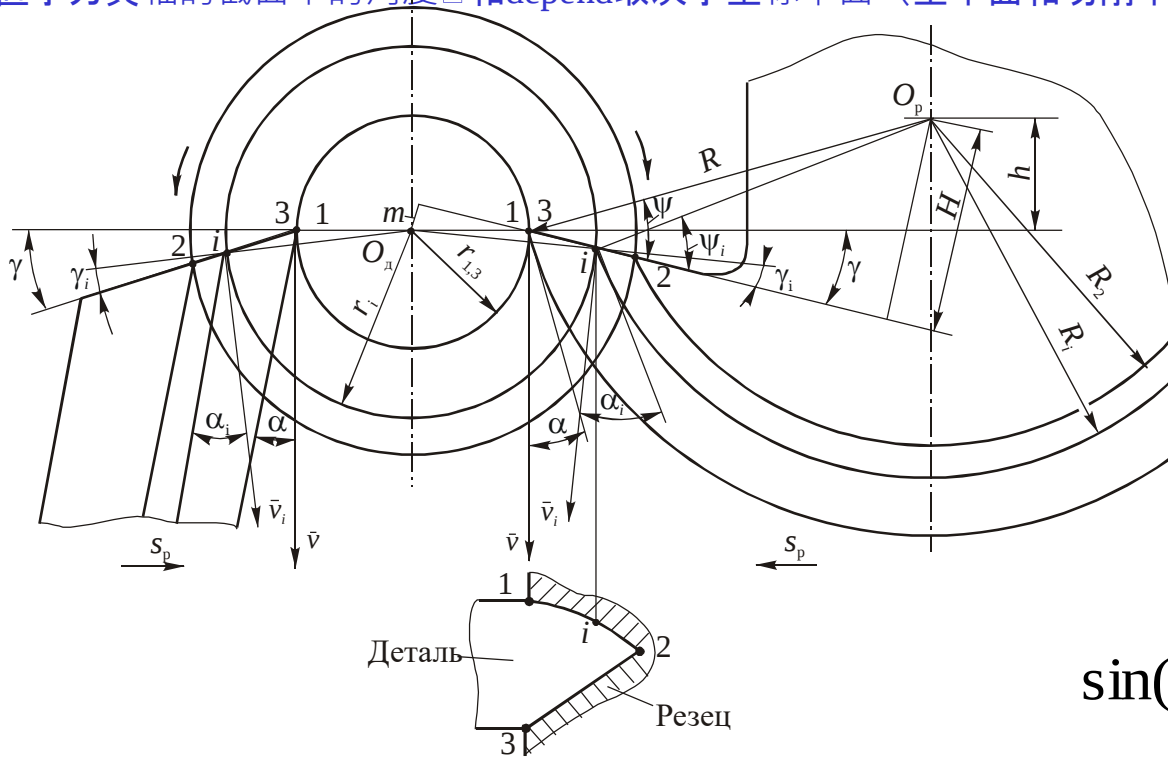


Рис. 3. Геометрические параметры круглых (справа) и призматических (слева) фасонных резцов с радиальной подачей 径向进给的圆形 (右) 和棱柱形 (左) 刀具的几何参数

$$\sin \alpha = h / R;$$

$$\sin(\alpha + \gamma) = \sin \psi = H / R,$$

Токарная обработка. Резцы (продолжение)

Исходные данные для **расчета профиля резца**: обрабатываемый материал и профиль детали, задаваемый радиусами окружностей, проходящих через **узловые точки** $r_1, r_2, \dots, r_i$, и осевыми размерами $a_1, a_2, \dots, a_i$. **Используется для расчета начальных данных: материалы и детали, обрабатываемые резцами, определяются радиусами $r_1, r_2, \dots, r_i$ и осевыми размерами $a_1, a_2, \dots, a_i$. По рекомендациям [23 и др.] выбирают углы γ и α у вершинной точки и радиус наружной окружности резца R_1 (наибольший диаметр резца) согласно [23 и др.], выбирают угол α и радиус R_1 (наибольший диаметр резца). Требуется рассчитать радиусы окружностей R_i , на которых лежат точки резца, соответствующие узловым точкам профиля детали. Нужно рассчитать радиусы R_i , на которых лежат точки резца, соответствующие узловым точкам профиля детали. Определяют параметры вершины резца (точка 1, соответствующая самой глубокой точке профиля детали (наименьшего диаметра r_1) и лежащей на линии центров станка: $h = h_1 = R_1 \cdot \sin \alpha$; **определяют параметры вершины резца (точка 1, соответствующая самой глубокой точке профиля детали (наименьшего диаметра r_1) и лежащей на линии центров станка: $h = h_1 = R_1 \cdot \sin \alpha$; $m = r_1 \cdot \sin \gamma$; $\psi_1 = \alpha + \gamma$; $A_1 = r_1 \cdot \cos \gamma$; $H = R \cdot \sin \psi_1$; $B_1 = R \cdot \cos \psi_1$.** Для **i -й точки** профиля находят последовательно:**

$$\sin \gamma_i = m/r_i;$$

$$C_i = r_i \cdot \cos \gamma_i - A_1;$$

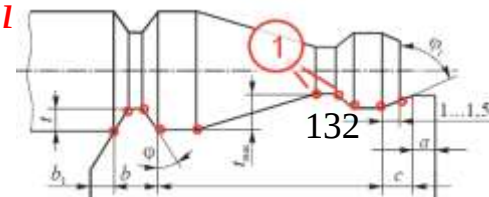
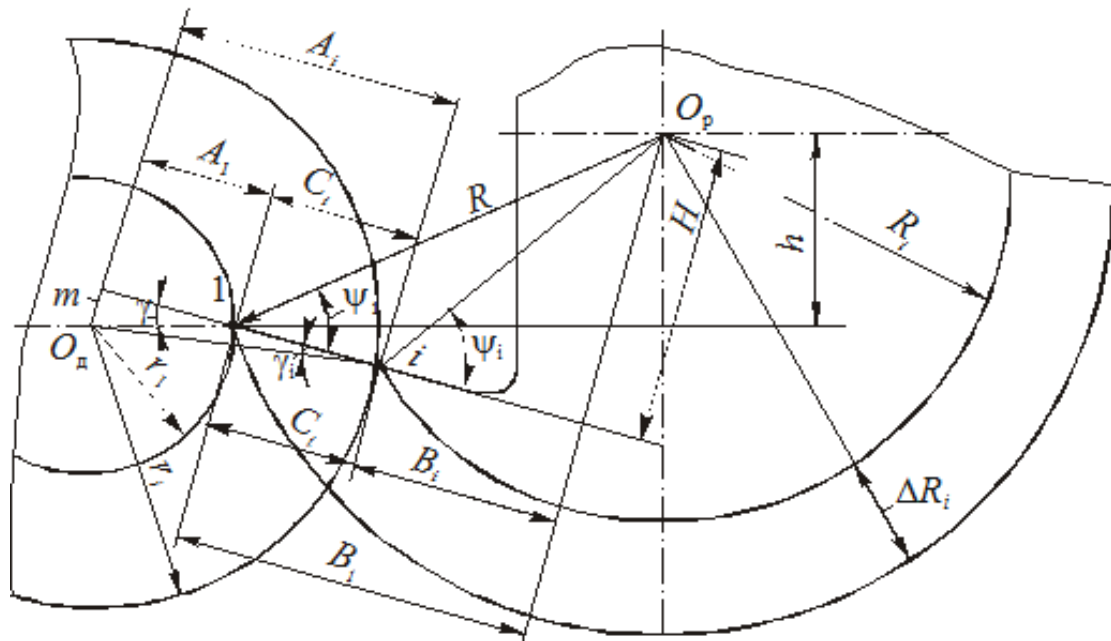
$$B_i = B_1 - C_i;$$

$$\operatorname{tg} \psi_i = H/B_i;$$

$$R_i = H/\sin \psi_i;$$

$$\Delta R_i = R - R_i.$$

$$\psi_i = \alpha_i + \gamma_i$$

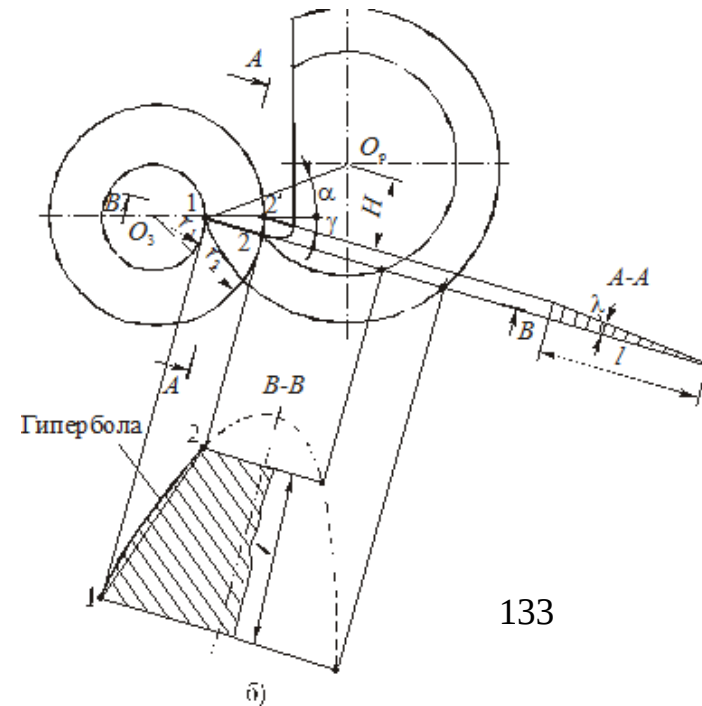
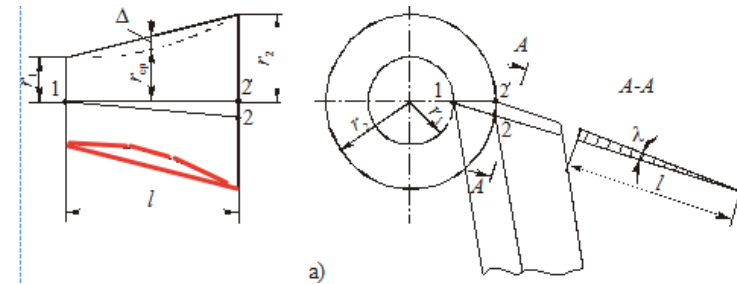


Токарная обработка. Резцы (продолжение)

По найденным координатам узловых точек в указанных сечениях на рабочих чертежах фасонных резцов вычерчивают профиль, обычно в увеличенном масштабе. 根据在成形刀具的工作图上指示部分中找到的节点的坐标, 通常以放大比例绘制轮廓。 При этом **прямолинейные участки** профиля получают **соединением прямой двух крайних точек**, а **криволинейные** – **по лекалу через точки отдельных отрезков**, на которые предварительно разбивают заданный профиль детали. 在这种情况下, 轮廓的直线部分是通过将两个极点的直线和弯曲的极点的直线连接起来而形成的-沿着穿过各个段的点的图案进行连接, 零件的指定轮廓被初步划分为该直线。 Обычно берут **не менее трех–четырёх точек**.

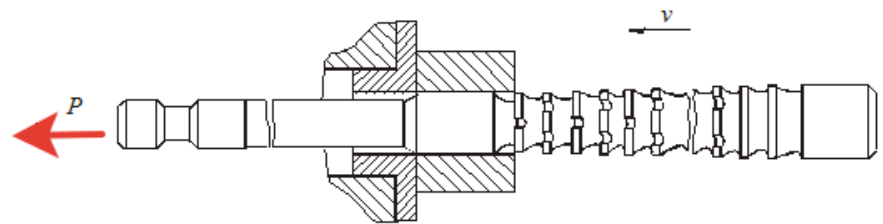
Погрешности возникают **при обработке конических участков** детали из-за несовпадения режущей кромки с образующей конуса. 在加工零件的锥形部分时, 由于切削刃与圆锥形母线的不匹配而产生错误。 При обточке усеченного конуса призматическим резцом режущая кромка 1...2 скрещивается в пространстве с осью конуса и при вращении ее относительно оси детали образуется не конус, а **однополостной гиперболоид**, показанный штриховыми линиями. 当使用棱柱形刀具旋转截头圆锥体时, 切削刃1 ... 2在空间上与圆锥体的轴线相交, 并且当其绕零件的轴线旋转时, 未形成圆锥体, 而是形成了虚线所示的单面双曲面。 Наибольшее отклонение фактического профиля от конического Δ приходится на точку профиля с радиусом $r_{cp} = (r_1 + r_2)/2$. 实际轮廓与圆锥□的最大偏差落在半径为 $r_{av} = (r_1 + r_2) / 2$ 的轮廓点上。 В случае применения **призматических резцов** ее можно свести до нуля, заточив **磨尖** переднюю грань дополнительно **под углом λ** . 在使用棱形刀具的情况下, 可以通过以□角度额外锐化前边缘将其减少到零。 При этом режущая кромка резца займет положение 1...2', т.е. будет совпадать с образующей конуса. Такой прием не дает возможности получить точный конический профиль детали при использовании **круглых фасонных резцов**. 在这种情况下, 切刀的刀刃将处于位置1 ... 2□, 即将与圆锥的母线重合。 使用圆形刀具时, 该技术无法获得零件的精确圆锥形轮廓。 При пересечении конического тела резца плоскостью передней грани, проходящей параллельно оси, получается криволинейная режущая кромка в форме гиперболы. 当刀具的圆锥形体与平行于轴线的正面平面相交时

可获得双曲线形式的弯曲切削刃。 Дополнительная заточка передней



Протяжки

Протяжки — это многозубые высокопроизводительные инструменты, нашедшие широкое применение в серийном и особенно в массовом производствах. **拉刀是多刃高性能工具，已在批量生产中尤其是批量生产中得到广泛应用。** Они относятся к инструментам с конструктивной подачей (движение подачи отсутствует). **它们属于具有建设性进给（无进给运动）的工具。** Деление припуска между зубьями протяжки осуществляется за счет **превышения по высоте** или **ширине каждого последующего зуба** относительно предыдущего. **由于每个后续牙齿的高度或宽度相对于前一个牙齿的高度或宽度过大，因此进行了拉刀牙齿之间的余量分配。** Превышение по высоте, определяющее толщину срезаемого слоя a_z , называется **подъемом** или **подачей на зуб**. **决定切割层az厚度的高度过高称为每齿提升量或进给量。** Деление припуска **по ширине** осуществляется с целью облегчения процесса резания и используется в протяжках с групповой схемой резания. **为了方便切割过程进行余量沿宽度的划分，并用于具有成组切割模式的拉刀。** Протяжки, применяемые для обработки отверстий различных форм, называются **внутренними протяжками**. **用于加工各种形状的孔的拉刀称为内部拉刀。** Для обработки наружных поверхностей, т.е. поверхностей с открытым незамкнутым контуром, применяют **наружные протяжки**. **对于外表面的处理，即如果表面具有开放的非封闭轮廓，则使用外部拉刀。** Главное движение протяжки, обеспечивающее процесс резания, чаще всего прямолинейное, поступательное. **保证切割过程的拉刀的主要运动通常是直线的，平移的。** Реже встречаются протяжки с вращательным или винтовым главным движением. **不太常见的是带有旋转或螺旋主运动的拉刀。** Процесс протягивания осуществляется на специальных **горизонтальных** или **вертикальных протяжных станках**. **拉削过程在特殊的水平或垂直拉床上进行。**



Достоинства процесса протягивания: **拉削工艺的优点：** 1) **высокая производительность**. При этом активная длина режущих кромок очень большая, хотя скорость резания невелика (6...12 м/мин). **1) 高性能。在这种情况下，尽管切削速度较低（6 ... 12 m / min），但切削刃的有效长度非常大。** При протягивании отверстия диаметром 30 мм одновременно пятью зубьями ширина срезаемого слоя составляет около 470 мм. **用五个齿同时拉出直径为30毫米的孔时，切割层的宽度约为470毫米。** В целом **производительность при протягивании в 3...12 раз выше**, чем при других видах обработки; **通常，拉削生产率是其他类型加工的3到12倍；** 2) **высокая точность (JT 7... JT8) и низкая шероховатость** (Ra 0,32...2,5 мкм) обработанных поверхностей благодаря наличию черновых, чистовых и калибрующих зубьев, а в некоторых конструкциях протяжек еще и выглаживающих зубьев. **2) 由于存在粗加工，精加工和上浆，加工表面的精度高 (JT 7...JT8)，粗糙度低 (Ra 0.32...2.5 μm)，在某些拉刀设计中还使牙齿光滑。**

Протяжки (продолжение)

3) высокая стойкость инструмента, исчисляемая несколькими тысячами деталей. Это достигается благодаря оптимальным условиям резания и большим запасам на переточку; **刀具寿命长, 达到数千个零件。这是由于最佳的切割条件和大量的再研磨储备而实现的**; 4) **простота конструкции станков** (станки не имеют коробок подач, а главное движение осуществляется с помощью силовых гидроцилиндров). **机器设计简单 (机器没有进纸箱, 主运动使用液压动力缸进行)**。

Недостатки протяжек: 1) **высокие трудоемкость и стоимость инструмента** из-за сложности конструкций протяжек и высоких требований к точности их изготовления; **1) 由于拉刀设计的复杂性及其对制造精度的高要求, 导致工具的劳动强度和成本较高**; 2) протяжки – это **специальные инструменты**, предназначенные для изготовления деталей только одного типоразмера; **2) 拉刀是专用于仅制造一种标准尺寸零件的专用工具**; 3) **высокие затраты на переточку из-за** сложности конструкций. **由于结构的复杂性, 重新研磨的成本很高。**

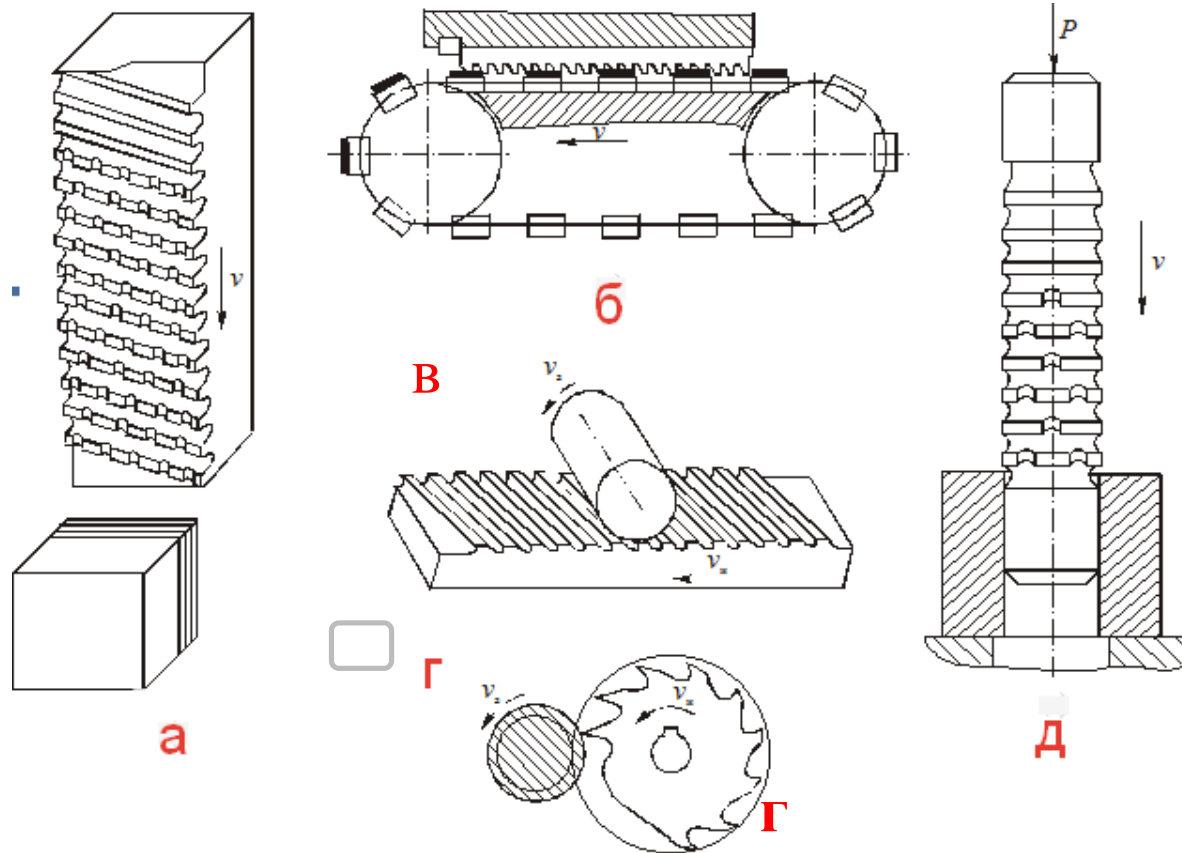
Экономическая эффективность применения протяжек достигается лишь **в массовом и серийном производствах**. **使用拉刀的经济效率只有在批量生产和批量生产时才能实现**。 Однако даже на предприятиях с единичным и мелкосерийным производствами протяжки могут дать значительный экономический эффект при обработке **сложных фасонных отверстий**, если формы обрабатываемых поверхностей и их размеры имеют узкие допуски. **然而, 即使在具有单一规模和小规模生产的企业中, 如果加工的曲面的形状及其尺寸的公差都较窄, 则在加工复杂形状的孔时, 拉刀也可以产生显著的经济效果**。 Например, при протягивании многошлицевых отверстий экономически оправдано применение протяжек даже при партии 50 деталей в год, а круглых отверстий – не менее 200 деталей. **例如, 在拉削多槽孔时, 经济上合理的理由是, 即使每年批处理50个零件, 也要使用圆孔, 并且至少要有200个圆孔。**

1) Протяжки испытывают очень большие растягивающие нагрузки, поэтому внутренние протяжки обязательно **проверяют на прочность по наиболее слабым сечениям**; **拉刀承受很大的拉伸载荷, 因此, 必须检查内部拉刀沿最薄弱部分的强度**。 2) срезаемая при протягивании **стружка должна свободно размещаться в стружечных канавках** в течение всего времени нахождения режущих зубьев в контакте с заготовкой и свободно выходить из канавки после прекращения процесса резания: **在拉动过程中切掉的切屑在切削齿与工件接触的整个过程中应自由地位于切屑凹槽中, 并在切削过程停止后自由离开凹槽**; 3) при протягивании круглых отверстий **не допускаются кольцевые стружки**, потому что для освобождения от них протяжек потребовались бы большие затраты времени; **在拉圆孔时, 不允许刨花, 因为要花费很长时间才能将拉刀从孔中释放出来**; 4) длина протяжек должна **быть меньше рабочего хода протяжного станка**; **拉刀的长度应小于拉床的工作行程**;

5) учитывать возможности оборудования для их **термической и механической обработки**. При этом протяжки должны иметь достаточную жесткость при изготовлении и эксплуатации, поэтому при протягивании иногда используют люнеты и другие приспособления. **考虑设备的热处理和机械处理能力。在这种情况下, 拉刀在制造和操作过程中必须具有足够的刚度, 因此, 在拉刀时, 有时会使用中心架和其他装置。**

Протяжки (продолжение)

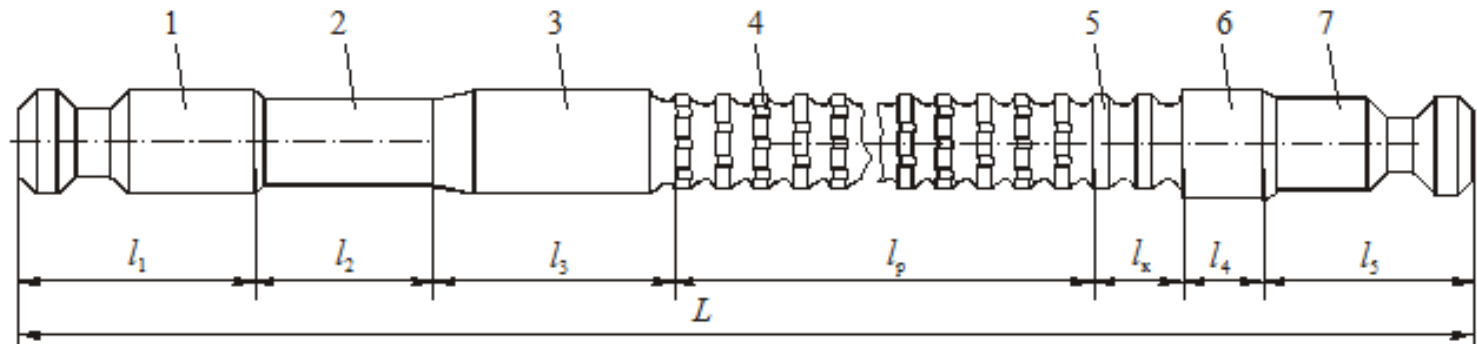
При обработке отверстий **прошивками** (рис. **д**) сила приложена к торцу инструмента и прошивки работают на сжатие. 当用穿孔机加工孔时 (图E), 力作用在工具的端面上, 穿孔机以压缩状态工作。 Для обеспечения продольной устойчивости прошивок их длина не должна превышать **15 диаметров**. 为确保穿孔的纵向稳定性, 其长度不应超过15个直径。 По конструкции прошивки **压刀** подобны протяжкам. 从设计上讲, 固件类似于拉刀。



Схемы протягивания: **а** – плоскостей; **б** – непрерывное протягивание наружной поверхности; **в** – обработка цилиндрической поверхности плоской протяжкой; **г** – круглой протяжкой; **д** – обработка отверстия прошивкой

Протяжки (продолжение)

Основные части круглой внутренней протяжки: **хвостовик 1** служит для присоединения протяжки к патрону станка, диаметр хвостовика должен быть **меньше диаметра отверстия под протягивание на $1...2\text{ мм}$** . 圆形内部拉刀的主要部件: 柄1用于将拉刀连接到机器的卡盘, 柄的直径必须比拉削孔的直径小 $1...2\text{ мм}$. **Шейка 2** и следующий за ней **переходный конус** выполняют вспомогательную роль. 颈部2及其后的过渡锥起到辅助作用。 Их длина должна обеспечивать возможность присоединения протяжки к патрону перед началом протягивания. 它们的长度应确保在开始拉削之前可以将拉刀连接到卡盘。 Переходный конус обеспечивает свободное вхождение передней направляющей в протягиваемое отверстие. 过渡锥可让前导杆自由进入拉孔。 **Диаметр шейки берется меньше диаметра хвостовика на $0,3...1,0\text{ мм}$** . 颈部直径应比杆部直径小 $0.3...1.0\text{ мм}$. **Передняя направляющая 3** служит **для центрирования оси заготовки относительно оси протяжки** перед протягиванием, чтобы исключить перекос заготовки. 前导引件3用于在拉动之前使工件轴线相对于拉削轴线居中, 以防止工件歪斜。 Длина передней направляющей должна быть равна длине L_0 протягиваемого отверстия, а при больших длинах – не менее $0,6L_0$. 前导板的长度必须等于要拉出的孔的长度 L_0 , 对于更长的长度-至少应为 $0.6L_0$. Форма передней направляющей должна соответствовать форме отверстия в заготовке, а **допуск на диаметр** направляющей берется по **e8**. 前导板的形状必须与工件中孔的形状相对应, 并且导板直径的公差根据e8进行。 **Задняя направляющая 6** предохраняет протяжку от перекоса при выходе ее калибрующей части из обработанного отверстия. 当后导板6的校准部分从机加工孔中出来时, 后导板6可防止拉刀歪斜。 По длине она несколько меньше длины передней направляющей, а ее **диаметр** равен по номиналу диаметру отверстия, но с допуском по **f7**. 在长度上, 它略小于前导板的长度, 并且其直径等于孔的公称直径, 但公差为f7. Форма задней направляющей должна быть такой же, как у протянутого отверстия. **Задний хвостовик 7** необходим для автоматического возврата протяжки в исходное положение после протягивания, 后导轨的形状应与拉出孔的形状相同。 需要后柄7在拉削后自动将拉刀返回到其原始位置,



Конструктивные элементы протяжки для обработки отверстий: **1 – хвостовик;**
2 – шейка; 3 – передняя направляющая; 4 – режущая часть; 5 – калибрующая часть;
6 – задняя направляющая; 7 – задний хвостовик

Протяжки (продолжение)

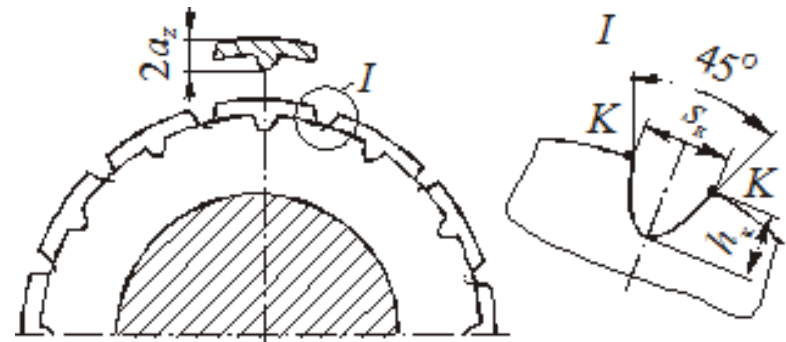
Режущая (рабочая) часть 4 протяжки служит для удаления припуска и формирования поверхности протянутого отверстия. **拉刀的切削(工作)部分4用于去除余量并形成延伸孔的表面。** Она содержит **черновые** и **чистовые**, а при групповой схеме резания еще и **переходные зубья**, располагаемые на ступенчато-конической поверхности. **它包含粗加工和精加工, 并当具有成组的切削方案, 以及位于阶梯状圆锥面上的过渡齿。** Длина режущей части равна произведению числа зубьев на их шаг, который, в свою очередь, зависит от требований к точности протягиваемого отверстия, шероховатости его поверхности и величины снимаемого припуска. **切削部分的长度等于齿数乘以齿距, 然后又取决于对被拉孔的精度, 其表面粗糙度和要去除的余量的要求。** Диаметры зубьев рассчитывают исходя из принятой схемы резания. **齿的直径是根据采用的切削方式算出的。**

Калибрующая часть 5 содержит 4...10 зубьев одинакового диаметра, равного диаметру последнего чистового зуба, и служит для калибровки отверстия, уменьшения рассеивания его размеров, а также является запасом на переточку: по мере износа чистовых зубьев калибрующие зубья заточкой могут быть переведены в чистовые. **量具零件5包含4...10个相同直径的齿, 其直径等于最后一个精加工齿的直径, 并用于校准孔, 减小其尺寸分散度, 还用作重新研磨的储备: 随着精加工齿的磨损, 可将量具齿磨成精加工齿。** Тем самым увеличивается общий срок службы протяжки. **这增加了拉刀的整体寿命。**

Калибрующие зубья припуск не срезают, а удаляют микронеровности поверхности, остающиеся после прохода чистовых зубьев, и обеспечивают направление протяжки в отверстии. **规齿不切出余量, 而是去除精加工齿通过后残留的表面的微观粗糙度, 并在孔中提供拉刀的方向。**

Конструкция режущей части протяжки определяется принятой **схемой резания**, под которой понимают принятый порядок последовательного срезания припуска. **拉刀的切削部分的设计由采用的切削方案确定, 该方案被理解为连续切削余量的采用顺序。** Различают следующие **схемы резания**: а) по **способу деления припуска** по толщине и ширине – **одинарная** и **групповая**; **通过将余量除以厚度和宽度的方法-单和组**; б) по **способу формирования обработанной поверхности** – **профильная**, **генераторная** и **комбинированная**. **根据形成被处理表面的方法-轮廓, 生成器和组合。**

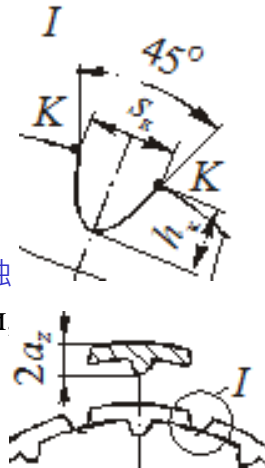
Одинарная схема резания характерна тем, что каждый зуб протяжки срезает припуск определенной толщины **по всему периметру** обрабатываемого отверстия за счет того, что **диаметр каждого последующего зуба больше диаметра предыдущего** на величину $2a_z$, где a_z – **подъем** или **подача на зуб** ($a_z = s_z$). **单一切割方式的特征在于, 每个切削齿都沿待加工孔的整个圆周切出一定厚度的余量, 这是因为随后的每个齿的直径都比前一个齿的直径大 $2a_z$, 其中 a_z 是每齿的升力或进给量 ($a_z = s_z$)。**



Так как кольцевая стружка недопустима, то для **деления стружки по ширине** на режущих кромках необходимо делать стружкоделительные **канавки V-образной формы**, которые располагают **в шахматном порядке** при переходе от одного зуба к другому. **由于环形切屑是不可接受的, 因此要在切削刃公差度将切屑分开 有必要制作V形切屑分离槽 当从一个齿移动到另一个齿时 该切槽会错开**

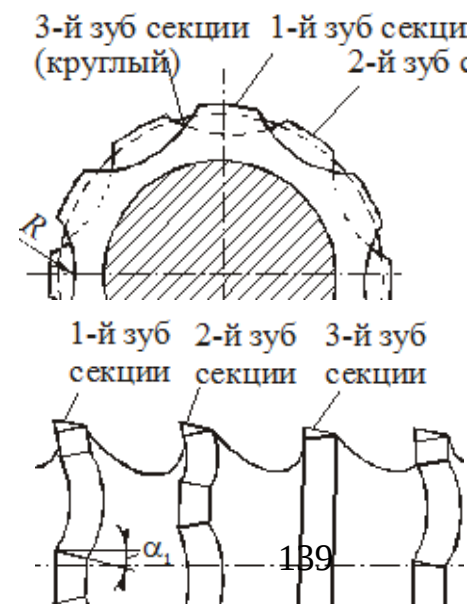
Протяжки (продолжение)

Стружкоделительные канавки имеют глубину $h_k = 0,4 \dots 1,0$ мм и ширину $s_k = 0,6 \dots 1,2$ мм в зависимости от диаметра протяжки. **切屑分离槽的深度** $h_c = 0.4 \dots 1.0$ mm, **宽度** $s_k = 0.6 \dots 1.2$ mm, **具体取决于拉刀直径**. Снимаемые каждым зубом стружки получаются в виде отдельных частей **с ребром жесткости** толщиной $2a_z$ за счет того, что на участке канавки предыдущего зуба стружка не снимается. **由于没有在前一个齿的凹槽部分中去除切屑的事实, 每个齿去除的切屑均以具有厚度为 $2a_z$ 的加劲肋的独立部件的形式获得**. Ребро жесткости **ухудшает свертываемость стружки** в канавках между зубьями из-за чего приходится значительно **снижать величину подачи на зуб**. **加强肋会削弱牙齿之间凹槽中的切屑凝结**, 这需要显著降低每颗牙齿的进给量. Это приводит к нежелательному **увеличению длины протяжки**. **这导致牵引长度的不期望的增加**. Толщина среза: при обработке сталей – $a_z = 0,02 \dots 0,04$ мм; чугуна – $a_z = 0,03 \dots 1,0$ мм; алюминия – $a_z = 0,02 \dots 0,05$ мм; бронзы и латуни – $a_z = 0,05 \dots 0,12$ мм. **切片厚度**: **加工钢材时** $a_z = 0.02 \dots 0.04$ mm; **铸铁** $a_z = 0.03 \dots 1.0$ mm; **铝** $a_z = 0.02 \dots 0.05$ 毫米; **青铜和黄铜** $a_z = 0.05 \dots 0.12$



Жесткость стружки мешает ее завиванию во впадине между зубьями – она упирается в дно впадины, в результате чего возможны ее заклинивание. **刨花的刚度可防止其在牙齿之间的空腔中卷曲-它靠在空腔底部, 因此可能会卡住**. Канавки прорезают шлифовальным кругом при небольшом ($2 \dots 3^\circ$) **поднятии заднего центра** протяжки для **создания заднего угла по дну канавки**. **用砂轮切割凹槽, 在拉刀的后部中心略微上升 ($2 \dots 3^\circ$), 以沿凹槽底部形成一个间隙角**. При этом ослабляются режущие кромки зубьев в точках **K** пересечения канавок с задней поверхностью и приводит к более интенсивному износу зубьев на этих участках. **同时, 在凹槽与侧面的相交点K处, 牙齿的切削刃被削弱, 并导致这些区域中牙齿的更强烈的磨损**.

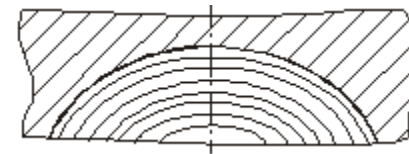
Схема группового резания отличается от одинарной тем, что все **режущие зубья** делятся на **группы** или **секции, состоящие из $2 \dots 5$ зубьев**, в пределах которых зубья **имеют одинаковый диаметр**. **分组切割方案与单个切割方案的不同之处在于, 所有切割齿都分为2到5个齿组成的组或部分, 其中齿的直径相同**. Припуск по **толщине** **делится между группами зубьев**, а по **ширине** – между зубьями группы **благодаря широким выкружкам**, выполненным в шахматном порядке. **由于以棋盘状图案制成的宽圆角, 厚度公差在齿组之间划分, 宽度公差在齿组之间划分**. Каждый зуб снимает отдельные части припуска участками режущей кромки, где нет выкружек. **每个锯齿都会在没有圆角的切削刃部分去除余量的各个部分**. Благодаря большой ширине выкружек снимаемая **стружка не имеет ребер жесткости**, хорошо скручивается в канавках между зубьями, даже при увеличении толщины среза до $a_z = 0,4$ мм при обработке стали и до $a_z = 1,2$ мм – при обработке чугуна. **由于大的圆角宽度, 去除的切屑没有加强肋, 即使在切削钢时将切削厚度增加到 $a_z = 0.4$ 毫米, 在加工铸铁时将 $a_z = 1.2$ 毫米, 切削齿也可以在齿之间的凹槽中很好地扭曲**. За счет этого при групповой схеме резания возможно существенное **сокращение длины режущей части** протяжки **因此, 利用成组的切割模式, 可以显著减小拉刀的切割部分的长度**.



Широкие выкружки на зубьях при **групповой** схеме резания обеспечивают увеличение угла стыка выкружек и режущих кромок до $130...150^\circ$. **具有成组切削模式的牙齿上宽的圆角可增加圆角和切削刃的接合角, 最大可达 $130...150^\circ$** . Это в сочетании с задними углами $\alpha_1 = 4...6^\circ$ на вспомогательных режущих кромках, полученными при вышлифовывании выкружек, обеспечивает **повышение стойкости протяжек** в $2...3$ раза по сравнению с одинарной схемой резания. **与在圆角磨削过程中获得的辅助切削刃上的游隙角 $\varphi_1 = 4...6^\circ$ 相结合, 与单一切削方案相比, 拉刀的耐用性提高了 $2...3$ 倍**.

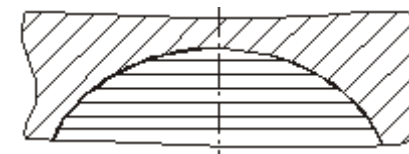
Последний зуб в группе, не имеющий выкружек и выполняющий роль **зачистного**, делают с **занижением на $0,02...0,04$ мм** по диаметру относительно других зубьев. **该组中的最后一颗没有倒角并用作脱模齿的牙齿, 相对于其他牙齿, 其直径被低估了 $0.02...0.04$ mm**. Это необходимо, чтобы **избежать образования кольцевых стружек**, возможных **при упругом восстановлении** обработанной поверхности после прохода прорезных зубьев. **为了避免在开槽的齿通过之后在机械加工的表面的弹性恢复期间可能形成环形屑, 这是必要的**. **Недостатком** групповой схемы является **повышенная трудоемкость изготовления** протяжки по сравнению с одинарной схемой. **分组方案的缺点是与单一方案相比, 拉削加工的劳动强度增加**.

Форма режущих кромок зубьев определяется схемой формирования обработанной поверхности. **齿的切削刃的形状由形成加工表面的图案确定**. При **профильной схеме контур всех режущих кромок подобен профилю протягиваемого отверстия**. **使用轮廓图案时, 所有切削刃的轮廓都与被拉孔的轮廓相似**. Окончательное **формирование обработанной поверхности** выполняют только **последние зубья**, а остальные служат для удаления припуска. **加工表面的最终形成仅由最后的齿完成, 其余的用于去除余量**. При **сложной форме отверстий** использование такой схемы **нецелесообразно**, так как усложняет изготовление протяжки. Профильная схема применяется **при формировании простых по форме поверхностей** (круглых или плоских). **在孔的形状复杂的情况下, 使用这种方案是不切实际的, 因为这会使拉刀的制造复杂化**. **轮廓方案用于形成形状简单的表面 (圆形或平面)**.

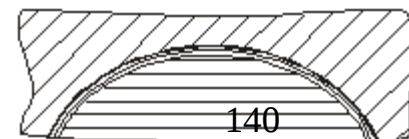


профильная схема

При **генераторной схеме** форма режущих кромок не совпадает с формой обработанной поверхности, которая формируется последовательно всеми зубьями. **在发生器电路中, 切削刃的形状与加工表面的形状不一致, 加工表面的形状由所有齿依次形成**. В этом случае **упрощается изготовление** протяжки путем **шлифования напроход** всех зубьев абразивным **кругом одного профиля**. **在这种情况下, 通过用一个轮廓的砂轮磨削所有的齿, 简化了拉刀的制造**. Однако при этом на обработанной поверхности возможно **появление рисков** (ступенек) вследствие погрешностей заточки зубьев, что ухудшает качество обработанной поверхности. **然而, 在这种情况下, 由于磨齿的误差而导致在处理表面上出现痕迹 (台阶), 这恶化了处理表面的质量**.

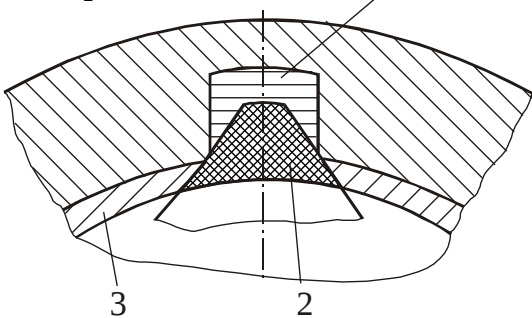


генераторная схема

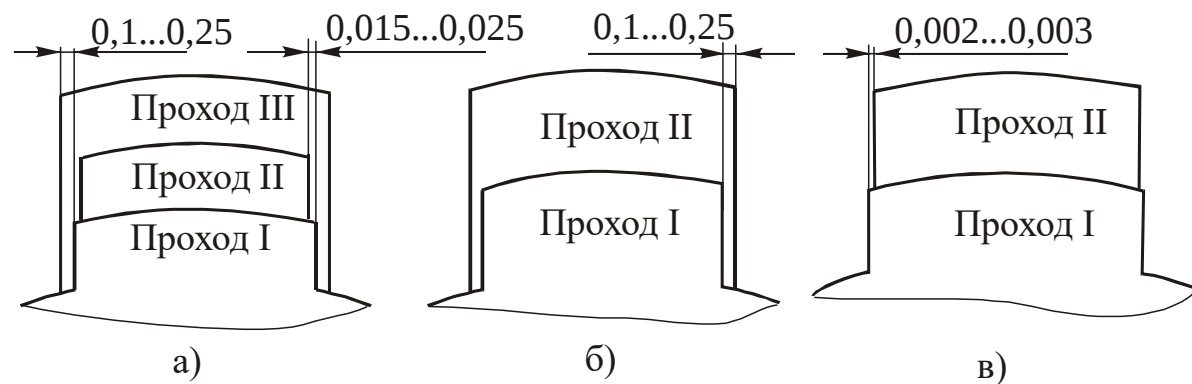


комбинированная схема

Шлицевые отверстия широко распространены в машиностроении. **开槽孔在机械工程中很普遍**。 Они используются для обеспечения **подвижных** и неподвижных соединений типа «вал – втулка» и **передачи больших крутящих моментов**. **它们用于提供可移动和固定的轴套连接并传递高扭矩**。 Из-за **сложной формы шлицевых отверстий** обработка их **протягиванием предпочтительнее** других способов (долбление, строгание и т.д.), так как обеспечивает более высокие производительность, точность размеров и взаимного расположения поверхностей. **由于长孔的形状复杂, 因此通过拉孔进行加工比其他方法(凿, 刨等)更好, 因为它可提供更高的生产率, 尺寸精度和表面的相对位置**。 Шлицевые протяжки внешне похожи на шлицевые валы, шлицы которых превращены в режущие зубья путем прорезания стружечных канавок и создания передних и задних углов. **花键拉刀的外观类似于花键轴, 其花键已通过切削切屑槽并产生前角和游隙角而转换为切削齿**。 Для удаления срезаемого припуска во впадинах шлицев высота зубьев h переменна. **为了去除花键槽中的切除余量, 齿的高度 h 是可变的**。 При использовании одинарной схемы резания каждый последующий зуб выше предыдущего на величину подъема a_z . **当使用单个切削模式时, 每个后续的齿比上一个齿高一个提升量 a_z** 。 В зависимости от глубины пазов, определяющих толщину срезаемого припуска, шлицевые протяжки изготавливаются комплектами из двух, трех и более штук. **根据确定切割余量厚度的凹槽深度, 将开槽的拉刀制成两件, 三件或更多件的组合**。 При больших размерах шлицевых пазов (по высоте и длине) используют комплект из 3-х протяжек (допуск на ширину паза менее 0,05 мм). **对于大尺寸的开槽凹槽(高度和长度), 使用一组3个拉刀(凹槽宽度的公差小于0.05毫米)**。 Окончательная ширина паза обеспечивается последней протяжкой комплекта, а предыдущие протяжки для снижения сил трения и облегчения работы делаются по ширине зуба зауженными. **最终的凹槽宽度由该组的最后一个拉刀提供, 并且先前的拉刀沿齿的宽度变窄, 以减小摩擦力并简化工作**。 При этом можно увеличить подъем на черновых зубьях до $a_z = 0,12 \dots 0,30$ мм.¹



Припуск, снимаемый зубьями комбинированной шлицевой протяжки: 1 – шлицевыми; 2 – фасочными; 3 – круглыми



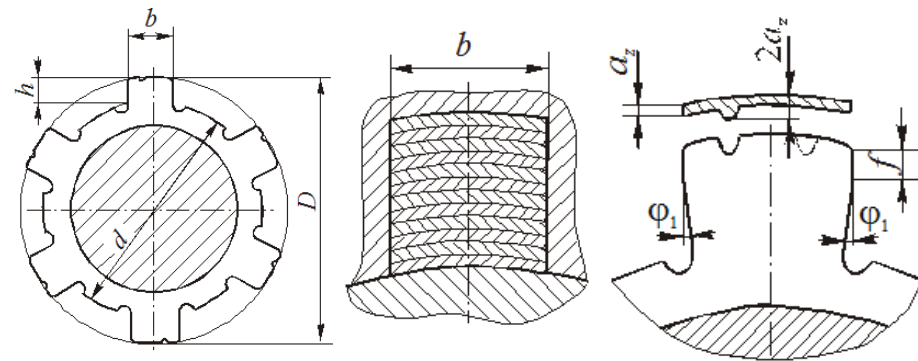
Распределение припуска между шлицевыми протяжками комплекта из: а – трех протяжек; 141 б – двух протяжек; в – двух протяжек ($\Delta b > 0,06$ мм)

Протяжки (продолжение)

Отверстие под протягивание **шлицевых отверстий** получают сверлением, последующим растачиванием, зенкерованием или развертыванием. **通过钻孔, 然后进行镗孔, counter孔或铰孔, 可得到用于拉花键孔的孔。** Образование пазов по **наружному диаметру** производится по **профильной схеме** резания, а по **боковым сторонам** – по **генераторной схеме**. **沿着外径的凹槽的形成根据轮廓切割图案进行, 并且沿着侧面的形成-根据发电机方案进行。** При **ширине шлицевого паза свыше 6 мм** на главных режущих кромках при переходе от одного зуба к другому в шахматном порядке выполняют **одну или две стружкоразделительные канавки**. **当花键槽的宽度大于6 mm时, 在从一个齿过渡到另一个齿的过程中, 在主切削刃上会形成一个或两个切屑分离槽。** У шлицевых протяжек **стружкоразделительные канавки** **делаются на всех режущих и даже на калибрующих зубьях**. **使用花键拉刀时, 在所有切削齿上, 甚至在测量齿上均设有切屑分离槽。** Для снижения трения шлицевых выступов зубьев протяжки о боковую поверхность пазов выполняется **вспомогательный угол в плане на боковых сторонах зуба $\phi_1 = 1^\circ 30' \dots 2^\circ$** с оставлением **фаски шириной $f = 0,8 \dots 1,0$ мм** для лучшего направления протяжки в отверстии. **为了减少拉刀齿的花键突起在凹槽侧面上的摩擦, 在平面上在齿的侧面形成一个辅助角 $\phi_1 = 1^\circ 30' \dots 2^\circ$, 留出一个倒角, 宽度为 $f = 0.8 \dots 1.0$ mm, 以使孔中的拉刀方向更好 ...** Это делается в том случае, когда высота зуба больше 1,5 мм. Такой конструкции шлицевой протяжки свойственны те же недостатки, что и круглым протяжкам с одинарной схемой резания. **当齿高超过 1.5毫米时, 将执行此操作。** **花键拉刀的这种设计具有与具有单个切割图案的圆形拉刀相同的缺点。** В частности, наличие ребра жесткости на срезаемой стружке ухудшает ее свертываемость и не позволяет увеличивать подъем на зуб. **特别地, 在切下的切屑上存在加强肋会削弱其凝结并且不允许增加每颗牙齿的升力。** **Групповая схема** резания применяется если **число шлицев больше 6...8**, длина отверстия $L_0 > 30$ мм, а глубины пазов большие. Такие протяжки изготавливаются диаметром до 450 мм. **如果样条的数量大于6...8, 孔长 $L_0 > 30$ mm, 且槽深较大, 则使用成组切割方案。此类拉刀的直径最大为450毫米。**

Наружным протягиванием обрабатывают различные поверхности с незамкнутым, открытым контуром: плоскости, уступы, пазы, **вогнутые и выпуклые цилиндрические и сложные фасонные поверхности**, например впадины зубчатых колес и т.п. **外部拉拔加工具有开放轮廓的各种表面: 平面, 壁架, 凹槽, 凹凸圆柱面和复杂形状的表面, 例如齿轮的凹口等。** Чаще всего используется одинарная схема резания,

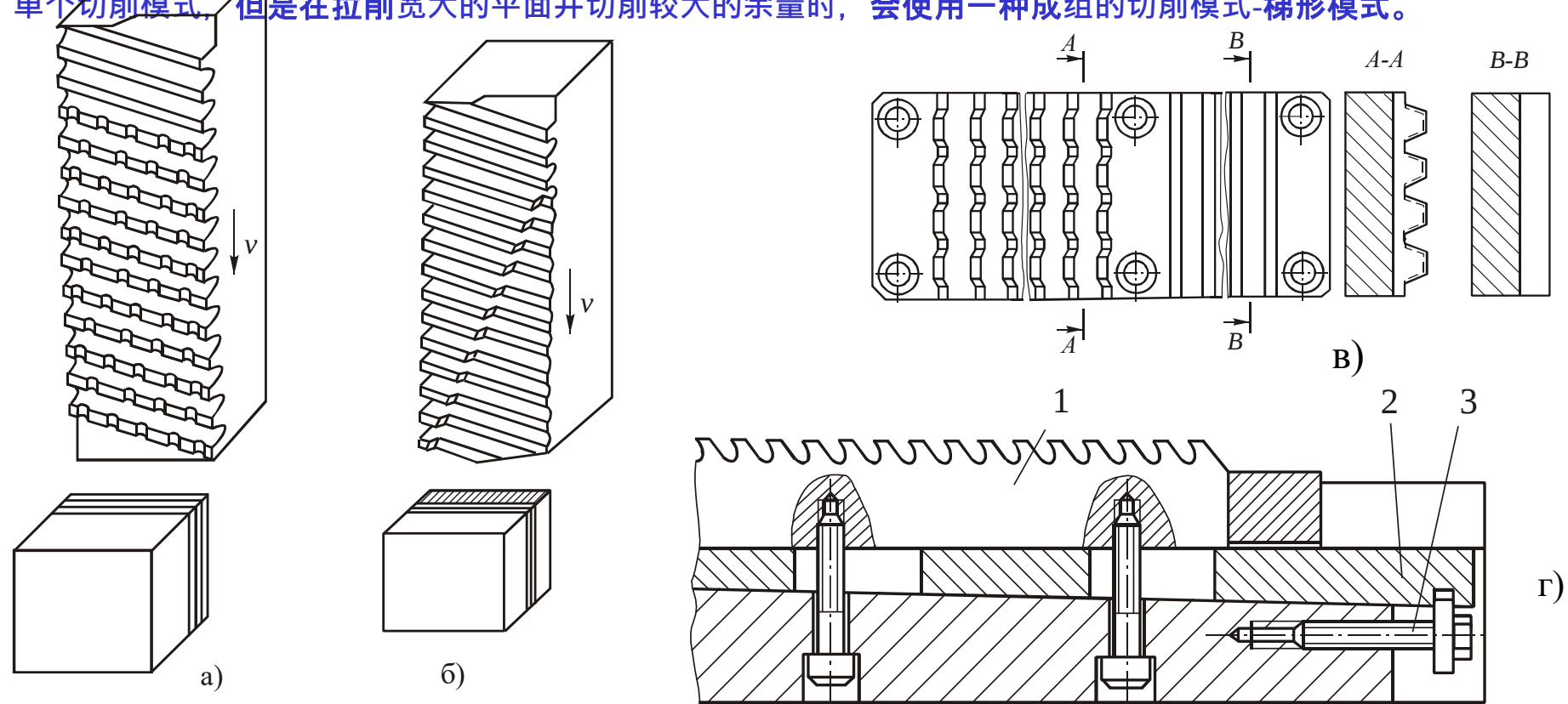
но при протягивании широких плоских поверхностей и срезании больших припусков



Шлицевая протяжка с одинарной схемой резания и зуб шлицевой протяжки

Протяжки (продолжение)

Наружным протягиванием обрабатывают различные поверхности с незамкнутым, открытым контуром: плоскости, уступы, пазы, **вогнутые и выпуклые цилиндрические и сложные фасонные поверхности**, например впадины зубчатых колес и т.п. **外部拉拔加工具有开放轮廓的各种表面：平面，壁架，凹槽，凹凸圆柱面和复杂形状的表面，例如齿轮的凹口等。** Чаще всего используется одинарная схема резания, но при протягивании широких плоских поверхностей и срезании больших припусков используется разновидность **групповой** схемы резания – **трапецеидальная схема**. **大多数情况下，使用单个切削模式，但是在拉削宽大的平面并切削较大的余量时，会使用一种成组的切削模式-梯形模式。**



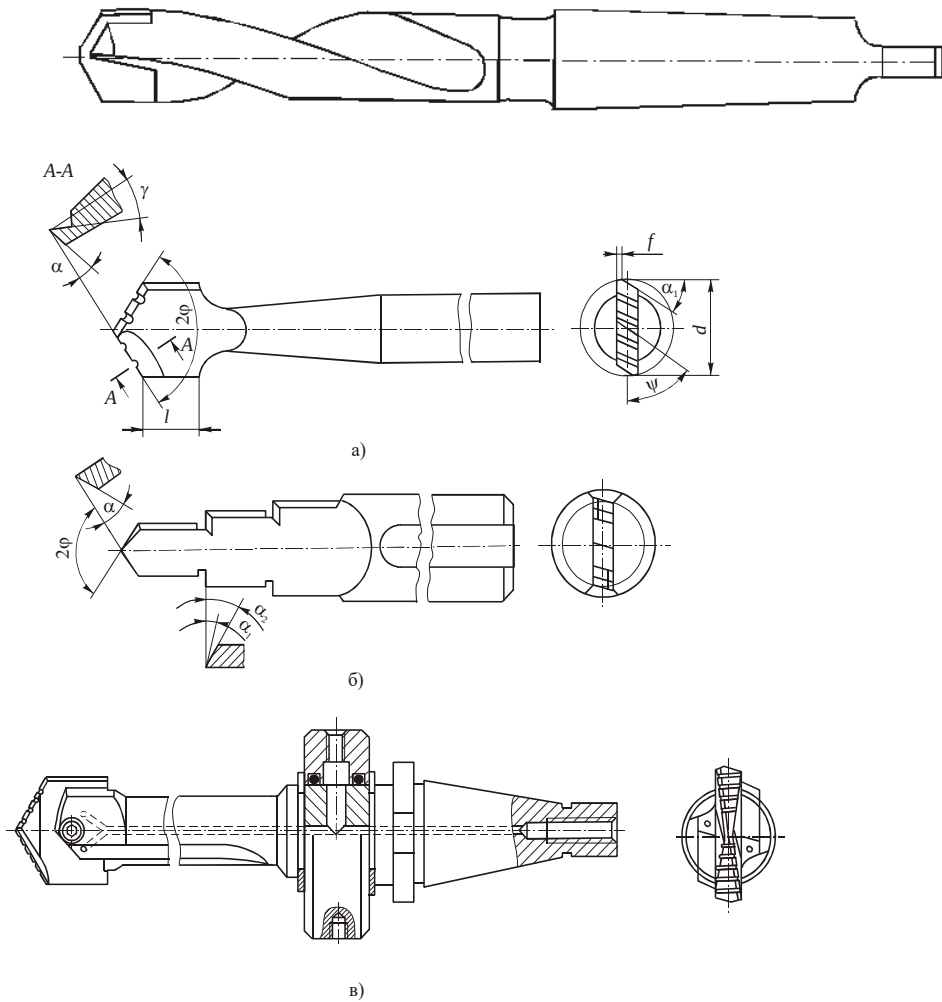
Схемы резания, применяемые при протягивании наружных поверхностей: *а* – профильная; *б* – генераторная с чистовыми зубьями, выполненными по профильной схеме; *в* – трапецеидальная схема **梯形方案**; *г* – регулирование по высоте секции сборной наружной протяжки с помощью клина **用楔子调节预制外部拉刀部分的高度**

Мерные режущие инструменты – это инструменты, при применении которых диаметр отверстия равен диаметру инструмента (свёрла, зенкеры, развёртки и т.п.).量具的切削工具是指使用中的孔径等于工具直径的工具（钻头，沉头孔，铰刀等）。

Свёрла – это осевые режущие инструменты, предназначенные для **образования отверстий в сплошном материале**, а также для обработки (рассверливания) отверстий, предварительно изготовленных ковкой, штамповкой, литьем или сверлением.钻头是轴向切削工具，设计用于在固体材料上打孔，并用于加工（定孔）先前通过锻造，冲压，铸造或钻孔制成的孔。 Они широко применяются в машиностроении, занимая по этому признаку второе место после резцов.它们被广泛用于机械工程中，在此基础上仅次于刀具。 Кинематика процесса сверления состоит из двух движений: главного – вращательного вокруг оси инструмента (заготовки) и поступательного – движения подачи вдоль той же оси. 钻孔过程的运动学包括两个运动：主要的运动-绕刀具（工件）轴线旋转，而平移运动-沿同一轴线运动。 По

конструктивному исполнению сверла отличаются большим разнообразием, которое можно свести к следующим основным типам: 通过设计，演习非常多样化，可以简化为以下几种主要类型： 1) **перовые** (лопаточные); 羽毛（肩甲骨）； 2) **спиральные** (с винтовыми канавками); 螺旋形（带有螺旋形凹槽）； 3) **специальные** (для сверления глубоких отверстий, кольцевые, комбинированные и др.).特殊（用于钻深孔，环形，组合式等）。

Мерные режущие инструменты. Свёрла



Продолжение Мерные режущие инструменты **см. в части 1-2**