

成形車刀

胡永生編著



机械工业出版社

康 康 本 刊

第 一 期



康 康 本 刊 第 一 期

成形車刀

胡永生編著



机械工业出版社

1959

出 版 者 的 話

成形車刀在机械制造业中应用得很广泛，尤其在大量生产和大批生产中。使用这种車刀加工成形工件时，不仅生产率高、准确度有保证，而且操作简单，易于使工序达到自动化。虽然成形車刀的制造较为复杂、成本高，但刀具的使用寿命很长，此外还有上述的优点，故而还是值得推广的一种先进刀具。

本书叙述了各种成形車刀的构造、使用范围、设计原理及其修正计算和公差等。其内容还丰富，论证较深刻，计算原则均有正确的推导和依据。如第一章之「成形車刀加工之双曲线误差」及第四章之「成形車刀之修正计算」，均分析得较详尽，有参考价值。

本书可作为高等工业学校机械制造或仪表制造专业的教学参考书，亦可供技术人员参考。

NO. 2679

1959年3月第一版

1959年3月第一版第一次印刷

787×1092 1/16 字数 206 千字 印张 9 1/2 0,001— 7,550 册

机械工业出版社(北京阜成门外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业许可证出字第 008 号

定价(10) 1.25 元

目 次

前言	3
第一章 成形車刀的一般原理	5
第一节 成形車刀的用途和种类	5
第二节 成形車刀切削部分的角度	11
第三节 成形車刀加工的双曲线误差	22
第二章 各种成形車刀的使用范围	32
第一节 成形車刀的设计选择步骤	32
第二节 径向成形車刀的工作原理及使用范围	32
第三节 切线成形車刀的工作原理及使用范围	34
第四节 圆体車刀与棱体車刀的选择原则	36
第五节 各种不同结构及安装的成形車刀的使用范围	36
第三章 成形車刀的构造	41
第一节 成形車刀的材料	41
第二节 圆体成形車刀的构造	41
第三节 棱体成形車刀的构造	47
第四章 成形車刀的修正计算	49
第一节 修正计算的原因	49
第二节 修正计算前的准备	51
第三节 修正计算的要求和方法	53
第四节 普通外圆成形車刀	55
第五节 有 λ 角成形車刀	58
第六节 水平斜装 τ 角的成形車刀	64
第七节 水平斜装并有 λ 角的成形車刀	69
第八节 垂直面内斜装 σ 角的成形車刀	73
第九节 螺旋后隙面成形車刀	76
第十节 普通内孔加工成形車刀	78
第十一节 有 λ 角内孔成形車刀	80
第十二节 螺旋后隙面内孔成形車刀	83
第十三节 棱体切线成形車刀	84
第十四节 圆体切线成形車刀	87
第十五节 特殊切线成形車刀	89
第十六节 刨刀和插刀	92
第十七节 圆弧形工件和螺紋	93
第十八节 样板设计	94
第十九节 设计例题	95
附 录 各种刀具形状的求法	102
第五章 成形車刀的制造	108
第一节 圆体車刀端面夹固齿的加工方法	108
第二节 棱体車刀端尾夹固部分加工方法	109
第三节 热处理前成形表面的切削加工	110
第四节 热处理后成形表面的磨削加工	112
第五节 硬质合金成形車刀表面的加工	121
第六节 刀具的刃磨	122
第七节 成形車刀的檢驗	126
第八节 成形車刀的工艺规程	128
第六章 成形車刀的使用	133
第一节 成形車刀的夹固	133
第二节 成形車刀的切削用量	139
第七章 成形車刀的公差	143
第一节 决定成形車刀公差数值的一些根据	143
第二节 成形車刀公差数值的决定法	146
結 語	151
参考文献	152

前 言

金屬切削加工發展之主要方向是提高加工質量（準確度及表面光潔度），提高劳动生產率，使加工过程自动化。要达到这些目的，須从机床、刀具、夹具、加工方法等方面来着手。在机械制造业中常起先鋒作用的金屬切削刀具方面，就应設計生產率高的、準確度好的、易于使加工过程自动化的刀具，而成形車刀就是其中之一。

如用普通車刀来加工成形工件时，主要依靠工人的技术，故是一項艰难的工作。但在采用成形車刀以后，就大大地改进了这种情况。成形工件形状的准确性，可以靠刀具的形状来保證，很易使工件达到互换；同时成形車刀的切削运动很簡單，易使机床自动完成，这就有力地推进了工序的自动化，提高了劳动生產率。在大量生产或大批生产的工业部門如汽車和拖拉机工业、滾珠軸承工业、仪器制造业以及国防工业中，成形車刀都得到广泛的采用。

随着我国大規模經濟建設的發展，大量的新型的机械制造工厂在不断建立，因此系統地介紹成形車刀設計、制造、使用等方面的資料，就非常需要。

本書是著者在哈爾濱工业大学时之研究生結業設計，是在科学指导人苏联專家、斯大林獎金获得者、科学技术碩士、副教授 Л. А. 罗日杰斯文斯基同志指导之下完成的。在进行設計时整理了国内外主要是苏联的書籍及杂志上不同时期所發表的有关成形車刀設計、制造及使用的文献，并参考了一些我国工厂的經驗。內容大部分是根据現有的材料加以整理，其中某些部分作了一些修改和补充，如成形車刀靜止时沿刀刃角度的变化、各类成形車刀的选择方法、成形車刀的修正計算法（如垂直面內斜裝 σ 角和特殊切綫成形車刀的計算法）等。

本書曾承哈爾濱工业大学編譯科于 1955 年 11 月出版，由于圖紙附于最后，閱讀不便，故在本版內作了更正，內容上亦略經修改。因限于著者水平，本書一定有很多缺点，願誠懇接受各方面指正。

胡永生 1958 年 11 月于北京

第一章 成形車刀的一般原理

第一节 成形車刀的用途和种类

成形車刀是一种刀刃形状由工件形状决定的車刀，用在普通車床、六角車床、半自动車床以及自动車床上加工成形的工件（旋轉体），也可用在刨床插床上加工成形面。成形車刀一般采用于大量生产和大批生产的工厂，成为加工成形工件最基本的刀具。

用普通外圓車刀来加工成形工件时，主要靠工人的技术，生产率很低，同时还不能保证工件形状的一致性（互换性）。用成形車刀来加工时，工件的形状就由刀具来保证，不必靠工人的手艺，不但减轻了工人的劳动，并且提高了工件的准确度。由于工作时的切削运动很简单，故能促进加工的自动化，大大地提高了劳动生产率。

成形車刀是设计、制造都比较复杂的刀具，成本较贵。但一把成形車刀能刀磨的次数很多，使用寿命很长，因此这一缺点并不影响它的广泛采用价值。

成形車刀是多刃刀具之一。很长的切削刃同时切削，能保证很高的生产率及准确度，因此它是近代先进刀具之一。

为了易于准确地了解成形車刀的设计构造及各种概念，必须先了解各种基本定义。以下仅对一些有关的定义作一简略的介绍，如须要更准确、全面的了解这些定义，可参考一般切削原理书籍。

1. 前倾面——与正被切下的金属层起作用的表面，也就是切屑流出去时与刀具上接触的表面。成形車刀的前倾面为简单的平面。

2. 后隙面——刀具上和工件加工表面互相面对的表面，成形車刀后隙面的性质有平面、曲面、旋轉体表面以及螺旋形表面等。

3. 主切削刃——前倾面与后隙面之交线，为一成形曲线。

4. 切削平面——按苏联通用标准 OCT 6898 规定 [具有曲线形状切削刃的成形車刀，切削刃与加工表面相接触，其接触点处工件的切线沿着切削刃移动所形成的曲面称为切削平面。] 切削刃上各点之切线有的垂直于水平线，有的倾斜一个角度。

5. 基面——通过主切削刃上某一点，而又垂直于切削平面的平面，即为刀具上该点的基面。

6. 主截面——垂直于主切削刃在基面上投影的平面。

7. 前角 γ ——是前倾面与基面之夹角（在垂直刀具基准线^②的面内测量）。成形刀刃上各点前角是不相同的（指在主截面内测量）。

^② 刀具基准线对圆体車刀来说就是轴心线（或中心线）。棱体車刀的基准则是切尾形夹固部分的平面，其基准线可理解为该平面与基面之交线。

8. 后角 α ——后隙面与切削平面间的夹角。在主截面内测量时,各点刀刃上之后角数值是不相同的。

9. 楔角 β ——后隙面与前倾面间的夹角, $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$ 。

10. 导角 φ ——主切削刃与走刀方向在基面上投影之夹角。

11. 刃倾角 λ ——基面与前倾面之夹角 (在平行于刀具基准线的基面之垂直面内测量)。

近代机械制造业中常用的成形车刀按外形来说有圆体的及棱体的二类, 平体成形车刀及刮刀为最简单的成形车刀, 也用得很广泛。

圆体和棱体的成形车刀又可分为径向进刀切削及切线方向进刀切削二类, 简称径向成形车刀及切线成形车刀。此外, 还有展成原理的成形车刀, 则比较特殊, 用得较少。

以上各类成形车刀还可分成好几种, 兹将其名称及特征说明如下。

(一) 径向圆体和棱体成形车刀, 由于使用条件不同, 又可分为以下几种不同的结构及安装方法:

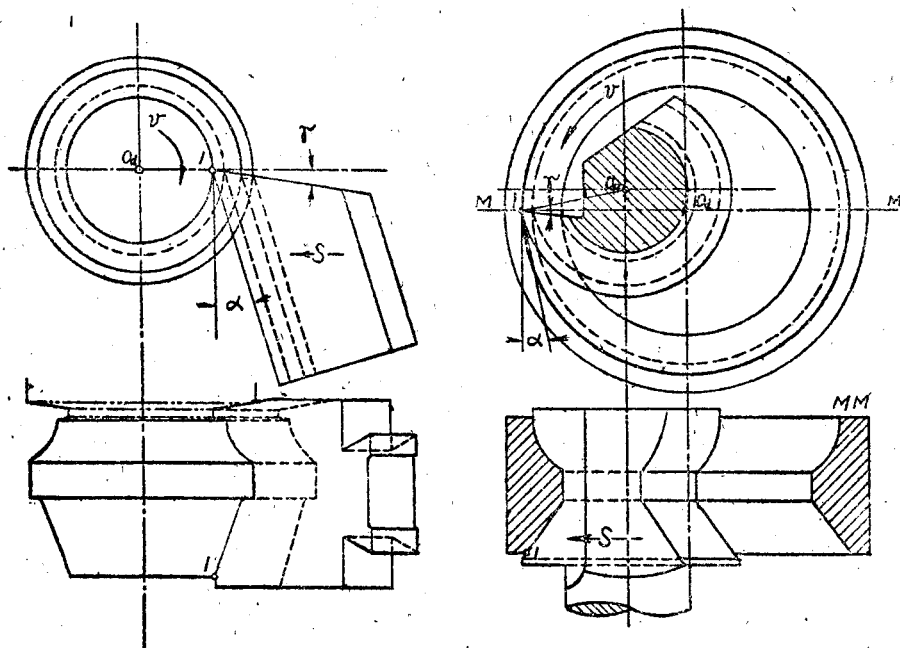


图1 普通成形车刀。

1. 普通成形车刀, 见图1。刀具的前倾面与通过工件中心线之水平面成 γ 角, 在端面图①中只可看到有一点在工件的中心高度, 实际上这一点是代表成形车刀上位于工件中心高度的各点的投影。

2. 有 λ 角成形车刀, 见图2。刀具的前倾面与水平面倾斜相交, 故在刃磨时须调整二个角度 γ ② 与 λ , 即在垂直于刀具基准线方向倾斜 γ 角, 在平行于刀具基准线方向倾斜 λ 角。刀具

① 端面图是指垂直工件轴心线之平面内的视图, 平面图则指平行于工件轴心线的平面内的视图。

② 实际应为 $\gamma + \alpha$, 见下一节。

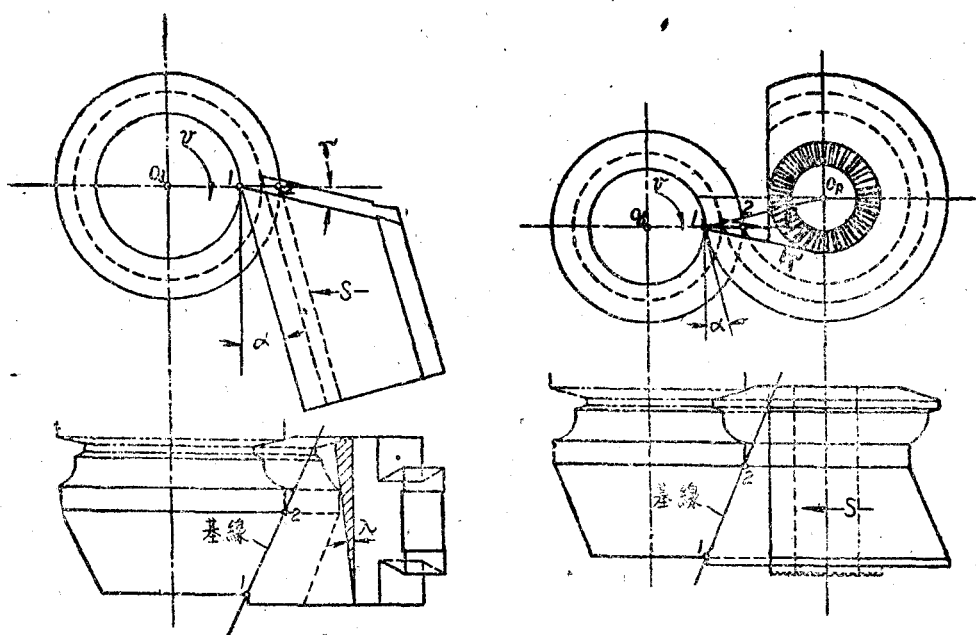


圖 2 有 λ 角成形車刀。

有 λ 角之原因是要使刀刃上加工工件圓錐體之直綫部分位于工件之中心高度。通过此直綫刀刃部分可作一基綫，基綫上各点皆位于工件之中心高度，故此类刀具亦称作基綫位于工件中心高度上的成形車刀。但这种刀具在切削时刀刃上之其他部分有的則比工件中心高，有的就比中心低。

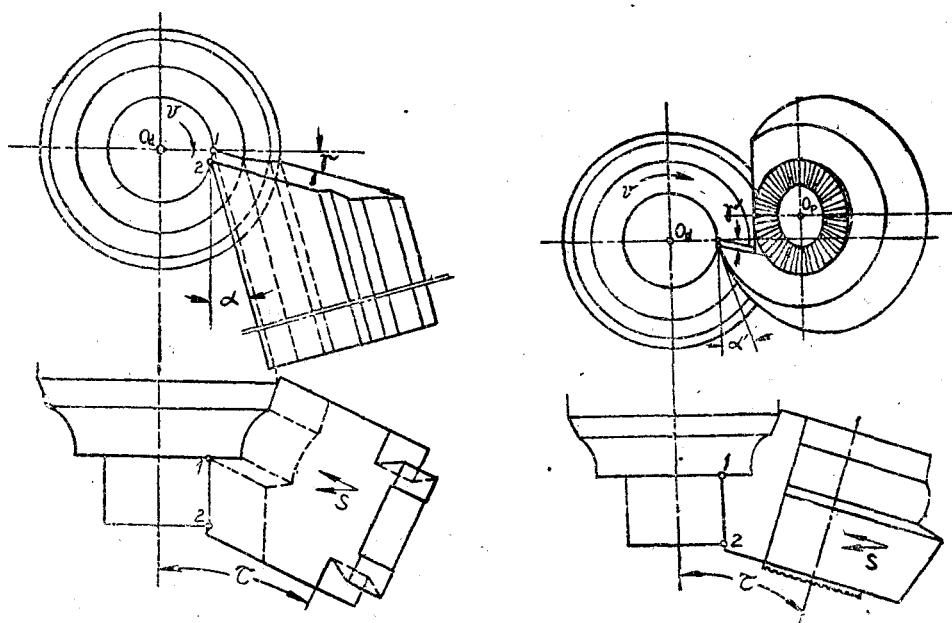


圖 3 斜裝 τ 角成形車刀。

3. 斜装的成形車刀。棱体車刀的夹固基准面或圓体車刀的軸心綫可以平行于工件的軸心綫，如圖1和圖2，也可斜装一个 τ 角如圖3（ τ 角在水平面內測量）。有时圓体車刀之軸心綫与工件之軸心綫可互相垂直（指在平面內之投影）見圖4。除此之外，在垂直面內也可轉動一个 σ 角，使刀具之側面傾斜，見圖5。

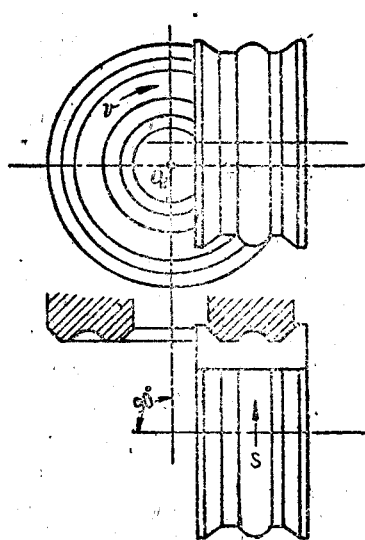


圖4 端面成形車刀。

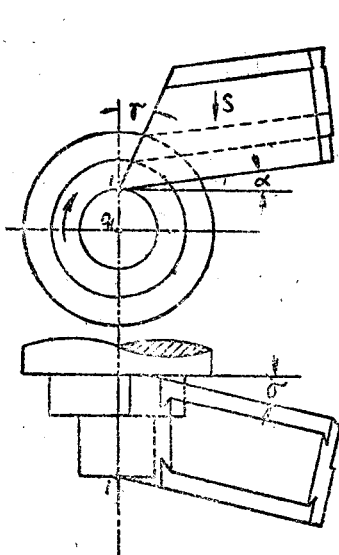
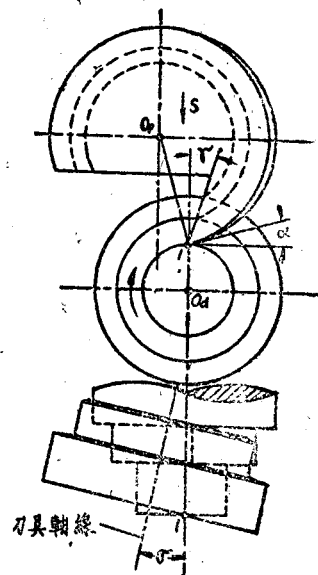


圖5 在垂直面內斜装 σ 角的成形車刀。



4. 螺旋后隙面成形車刀。圓体成形車刀本身成形表面的性質可以是旋轉体，即成形表面由一成形的母綫按刀具軸心綫旋轉而形成，如圖1、2、3，但也可螺旋形表面，如圖6，称螺旋后隙面成形車刀。

圓体車刀可用來加工外圓或內孔（見圖1），棱体車刀一般只能加工外圓，見以上各圖。

（二）切綫圓体和棱体成形車刀（見圖7）：

常用者为棱体成形車刀。切綫成形車刀的外形与徑向成形車刀无很大差別，但刀具之安装与进刀方法不同。切綫成形車刀安装在机床上时，刀刃离工件之垂直中心綫有一定之距离，然后垂直此綫作直綫形进刀，进刀之方向，切于成形表面，即是此类刀具名称之由来。这种刀具只能加工外圓。在工作时，刀刃在水平面上之投影一般与工件之軸心綫成 λ 角。

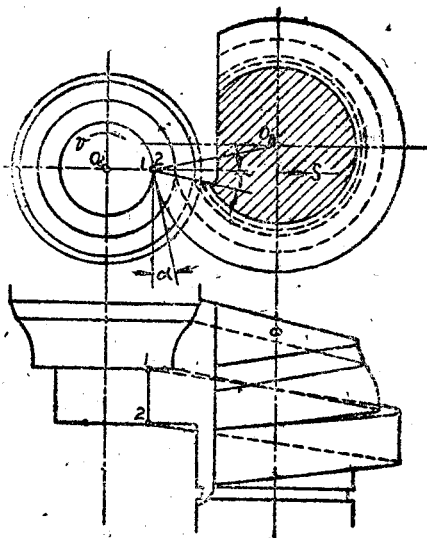


圖6 螺旋后隙面成形車刀。

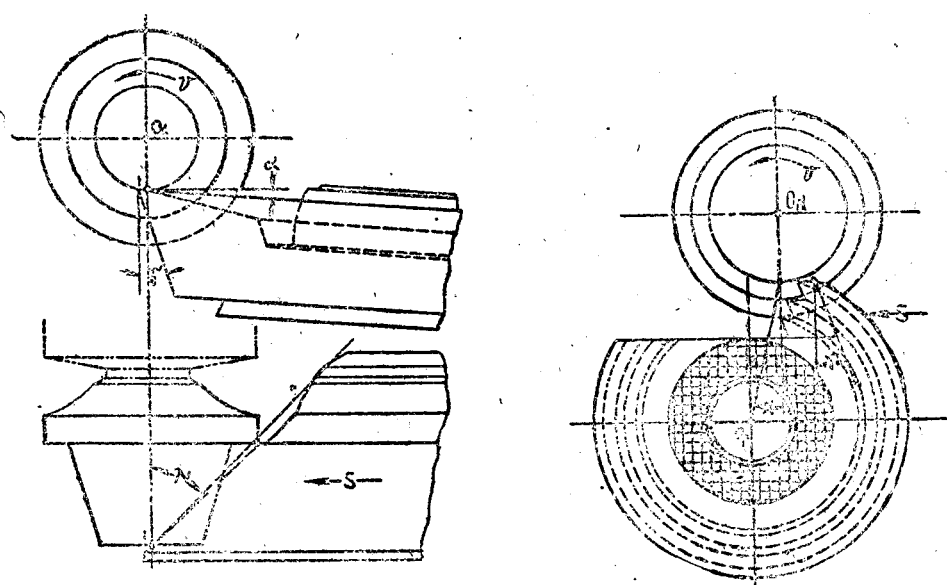


圖 7 切綫方向進刀的成形車刀。

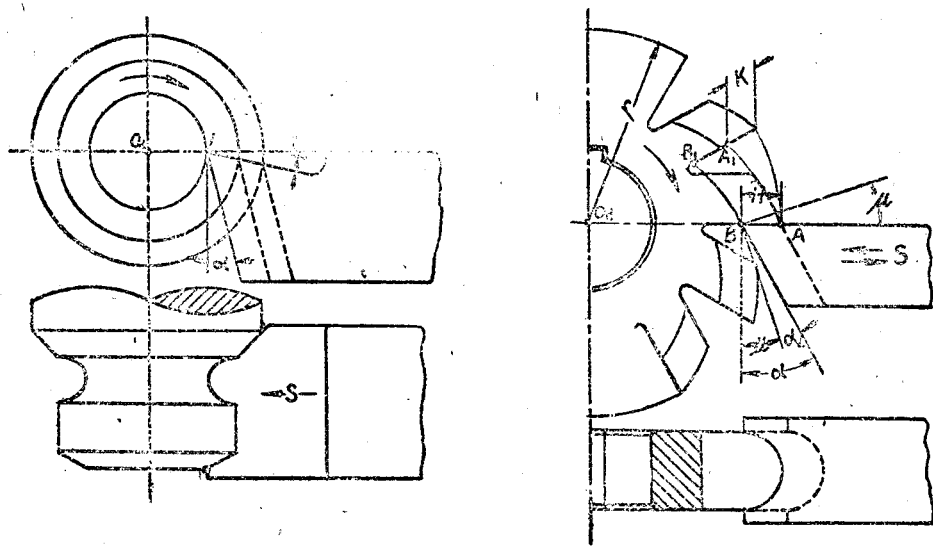


圖 8 平體成形車刀。

(三) 平體成形車刀 (圖 8):

与普通外圓車刀形狀相似，只刀刃部分根據工件之形狀磨成。在刀具制造工业中鏟成形銑刀，齒輪滾刀成形表面所用之鏟刀即屬之。其他如螺紋刀具也常做成平體的。

(四) 刨刀，插刀:

有圓體、棱體或平體的，加工成形直綫表面，工作時的切削運動為直綫，如圖 9。

(五) 展成原理的成形車刀 (圖 10):

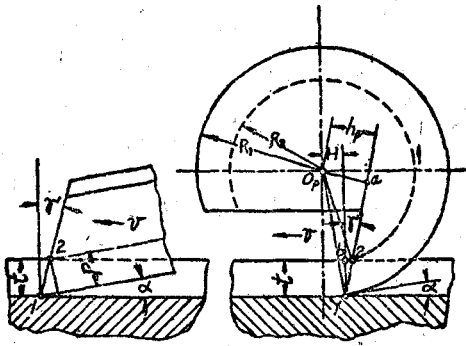


圖9 刨刀、插刀。

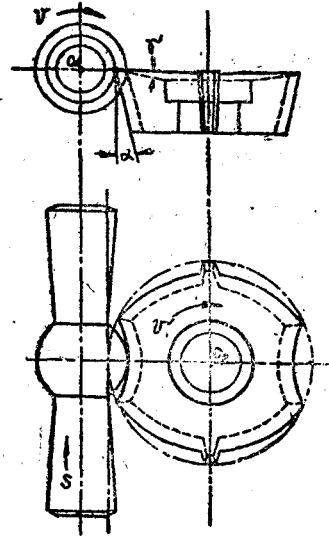
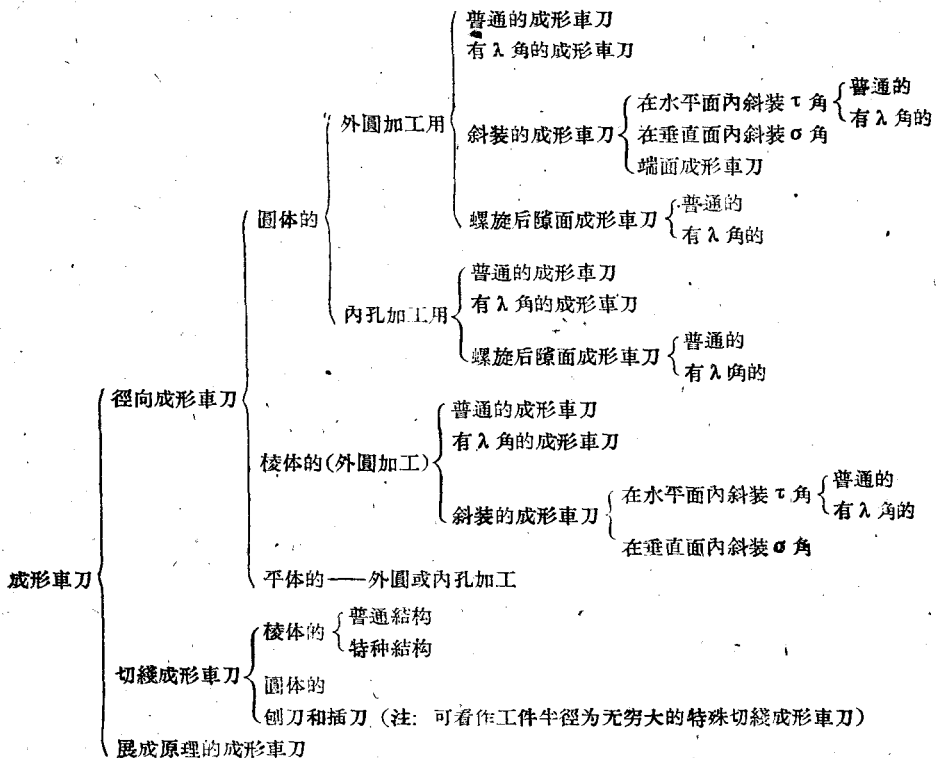


圖10 展成原理成形車刀。

在工作时有刀具与工件之迴轉运动，以及工件或刀具之进刀运动。工件与刀具之相对进刀运动和刀具之轉动間須具有一定之关系，这种成形車刀的刀刃为一封閉曲綫，由圓錐形前傾面和后隙面相交所形成，使刀具具有 γ 角及 α 角，其外形如碗狀。此类刀具由于形成成形工件之表面时为展成运动，牽涉問題較為專門，故在本書內不作詳述。此方面資料可参考 H. A. 富拉依凡立特：展成原理刀具，苏联机械工业出版社，1948 年版。

各类成形車刀还可以刀具材料、整体或鑲体来分，詳見第三章。

为了清楚起見我們將各种成形車刀，归納成下表：



为什么成形车刀在生产中会出现各种不同结构（指有 λ 角的，螺旋后隙面的等）及各种不同安装方法（指水平面内或垂直面内斜装）呢？在以下研究成形车刀的切削部分角度和双曲线误差理论时可以找到答案。

第二节 成形车刀切削部分的角度

§1. 刀具前角与后角的形成

成形车刀与其他切削刀具相同，应具有合理的前角与后角，才能正常有效地工作。成形车刀的前角与后角是如何得到的呢？图11甲表示一把未装上机床前的棱体成形车刀，刀具的前倾面与水平面倾斜成 $\alpha + \gamma$ 角，当将此刀安装到机床上时，夹固基准面与垂直面倾斜 α 角，前倾面与水平面（即切削平面之垂直面）则成 γ 角。由此可见，棱体成形车刀的前角与后角是一次刀磨出来，在安装到机床上后才形成，与普通车刀是不相同的。圆体成形车刀又是怎样呢？在刀磨时，我们将刀具前倾面磨成离刀具中心线之距离为（图12） h_p ， h_p 之大小由以下公式决定：

$$h_p = R_1 \sin(\alpha + \gamma)。$$

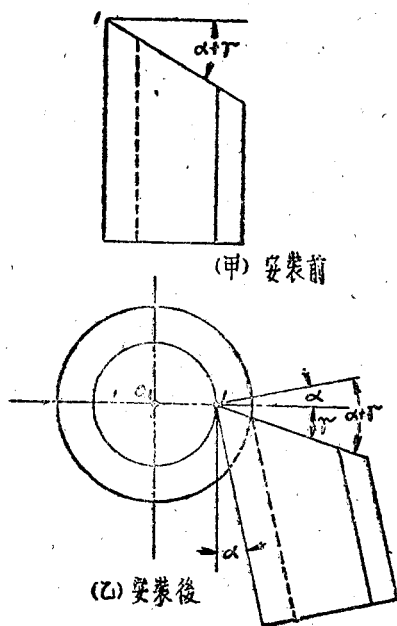


图11 棱体车刀后角及前角的形成。

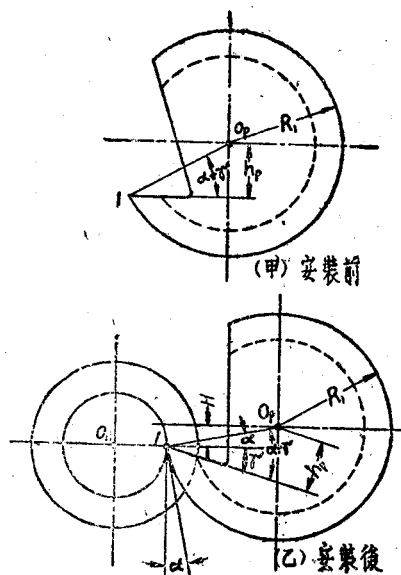


图12 圆体车刀后角及前角的形成。

其中 R_1 为加工工件上1点刀具之半径，图中为外径。

将刀具装上机床时（图12乙），我们将刀具之中心线相对工件之中心线装高一距离 H ， H 由下式决定：

$$H = R_1 \sin \alpha。$$

则刀具上1点在工作时，具有后角为 α ，前角为 γ 。如刀具之前角为零度时，则情况就更简单， $H = h_p$ 。

§2 前角与后角的合理数值

(一) 前角: 与其他刀具相同, 成形車刀的前角大小主要是根据加工材料的性質来决定的。加工脆性材料則前角要小; 加工韧性材料, 前角之数值就要大。用高速鋼材料制造的成形車刀常采用之前角数值見表 1。

表 1 根据工件材料选择前角之大小

加 工 材 料 名 称	前角 γ°
青銅, 很硬鑄鉄	0°
很硬鋼 ($\sigma_b \geq 80$ 公斤/公厘 ²), 硬鑄鉄 ($H_B = 180 \sim 220$)	5°
硬鋼 ($\sigma_b = 60 \sim 80$ 公斤/公厘 ²) 軟鑄鉄 ($H_B = 160 \sim 180$)	10°
中硬鋼 ($\sigma_b = 50 \sim 60$ 公斤/公厘 ²)	15°
軟鋼 ($\sigma_b < 50$ 公斤/公厘 ²)	20°
鋁, 紫銅	25°~30°

注: 用硬質合金刀具来加工鋁时, 可照表中数值減 5°。

在仪器制造工业中常須加工各种有色金屬之合金, 前角可按表 2 选择。

表 2 加工有色金屬时成形車刀的前角数值

合金名称	牌号(苏联的)	化 学 成 分 (%)				前 角 γ°
		銅	鉛	其他元素	鋅	
鉛 黃 銅	JIC51-1	51	0.8~1.9	—	其余都是	0°
鉛 黃 銅	JIC59-1	57~60	0.8~1.9	—	其余都是	0°~5°
錳鋁銅合金	JIMA57-3-1	55~58.5	—	2.5~3.5錳 0.5~1.5鋁	其余都是	0°~5°
黃 銅	J162	60.5~63.5	—	—	其余都是	0°~5°
鋁 銅 合 金	JIAH59-3-2	57~60	—	2.5~3.5錳 2.3錳	其余都是	0°~5°
黃 銅	J168	67~70	—	—	其余都是	10°~15°
黃 銅	J180	78~81	—	—	其余都是	15°~20°
黃 銅	J190	88~91	—	—	其余都是	20°~25°
黃 銅	J196	95~97	—	—	其余都是	20°~25°

(二) 后角: 根据切削原理, 刀具的耐用度最大时, 合理后角的选择, 应按以下公式选取:

$$\alpha_{\text{opt}} = \sin^{-1} \frac{C}{a K_{\text{max}}},$$

其中: α_{opt} ……合理之后角数值 (度); a_{max} ……最大切削層之厚度 (公厘);

C 与 K 为常数, 由經驗求得。用硬質合金或高速鋼刀具加工鋼、鑄鉄、輕金屬时 $C = 0.13$,

$K = 0.3$ 。

通常成形車刀的走刀量很小 (< 0.10 公厘/轉), 故 a_{max} 也就很小, 如用以上公式計算合理后角应大于 18°。事实上, 倘使我們选用这样大的后角, 則刀刃就变得很弱。同时我們一般所称

刀具的前角及后角是指刀刃上位于工件中心高度处之角度。刀刃上其他各点比工件中心高度低者，后角还要比上者大，下面就将讨论。因此我们选用的后角就只能比合理数值小，常用的数值如下：

圆体车刀 $\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$;

棱体车刀 $\alpha = 12^\circ \sim 17^\circ$ 。

圆体车刀之后角比棱体车刀之后角取得小之原因，是由于同样的前角及后角，圆体车刀之刀刃比棱体车刀的刀刃弱。从图13很易看出，二把车刀重合画在一起时，棱体车刀在刀刃下部之金属多，强度、刚度以及传热等问题都比圆体车刀好。另一方面圆体车刀沿刀刃之角度变化亦较棱体车刀厉害。

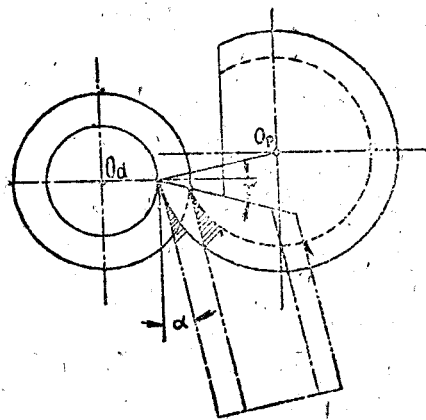


图13 同样角度的棱体车刀与圆体车刀刀刃强度的比较。

§3 静止时前角与后角沿刀刃的变化

把成形车刀当作一个静止的几何物体看待，根据前角及后角的定义二者都应在主截面内测量，我们可发现前角与后角在刀刃上各点是不相同的，因为后角对刀具的切削情况影响很大，故此处只研究后角之变化。

现在先看垂直刀具轴心线之平面内角度之变化：图14上部之圆体车刀中，1点比刀具中心 O_p 低 $R_1 \sin \alpha_1$ ，形成该点之后角为 α_1 ，前角为 γ ；2点为刀刃上任意一点，其半径为 R_2 ，它比刀具中心低 $R_2 \sin \alpha_2$ ，故2点之后角应为 α_2 。今求 α_2 与 α_1 之关系：

$$\text{从 } \triangle 12O_p, \quad \angle O_p 21 = 180^\circ - (\gamma + \alpha_2)$$

从正弦定律：

$$\frac{R_1}{\sin [180^\circ - (\gamma + \alpha_2)]} = \frac{R_2}{\sin (\alpha_1 + \gamma)} \circ$$

$$\text{故 } \sin (\alpha_2 + \gamma) = \frac{R_1}{R_2} \sin (\alpha_1 + \gamma),$$

或

$$\alpha_2 = \sin^{-1} \frac{R_1}{R_2} \sin (\alpha_1 + \gamma) - \gamma,$$

倘使 $\gamma = 0^\circ$ ，则

$$\sin \alpha_2 = \frac{R_1}{R_2} \sin \alpha_1$$

棱体成形车刀，可看作半径为无穷大的圆体车刀，即 $R_1, R_2 \rightarrow \infty$ ；

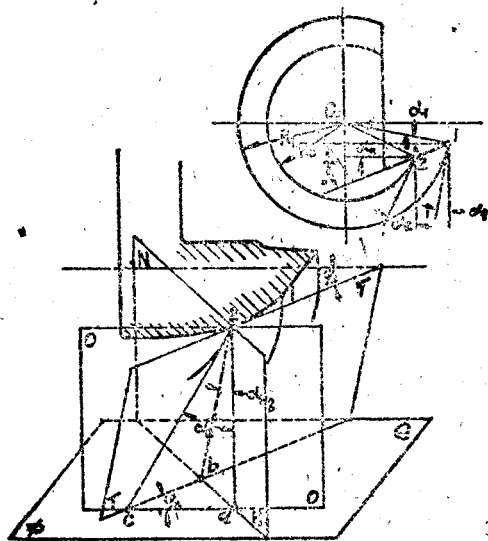


图14 静止时沿刀刃角度之变化。

則
$$\lim_{\substack{R_1 \rightarrow \infty \\ R_2}} \frac{R_1}{R_2} \left(= \frac{R_1}{R_1 - c} \right) = 1,$$

故
$$\sin(\alpha_2 + \gamma) = 1 \times \sin(\alpha_1 + \gamma),$$

即
$$\alpha_2 = \alpha_1.$$

現在再看主截面內角度之關係，在圖 14 之立體圖中，作刀具之基面 QQ 。2 為曲綫形刀刃上之任意一點，其在基面上之投影為 a 點，故 $2a \perp QQ$ 面。 OO 為通過 2 點之垂直刀具軸心綫之平面； TT 為 2 點後隙面之切面； NN 為 2 點之主截面，垂直於 QQ 面。 TT 面與 OO 面之交綫為 $2c$ ， $\angle c2a = \alpha_2$ 為垂直刀具軸心綫面內（走刀方向）的後角。 NN 面與 TT 面交於 $2b$ 綫， $2b$ 綫在 NN 面內切於後隙面，故 $\angle b2a = \alpha_{N2}$ ，即 2 點主截面內之後角。

$\angle bca = \varphi_2$ 角，為 2 點之導角，即 2 點刀刀在基面上投影之切綫與走刀方向的夾角。

從
$$\triangle 2ac, \quad ca = 2a \operatorname{tg} \alpha_2;$$

$$\triangle 2ab, \quad ab = 2a \operatorname{tg} \alpha_{N2};$$

故
$$\frac{ca}{ab} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_{N2}}.$$

因
$$\angle cba = 90^\circ, \quad ab = ca \sin \varphi_2,$$

故
$$\operatorname{tg} \alpha_{N2} = \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \varphi_2.$$

α_{N2} 與 α_1 之關係為：
$$\operatorname{tg} \alpha_{N2} = \operatorname{tg} \left[\sin^{-1} \frac{R_1}{R_2} \sin(\alpha_1 + \gamma) - \gamma \right] \sin \varphi_2.$$

對稜體車刀來說，因 $\alpha_2 = \alpha_1$ ，故 $\operatorname{tg} \alpha_{N2} = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \varphi_2$ 。

§4 工作時刀具的前角與後角沿刀刃的變化

普通車刀在工作時，由於進刀量的關係，引起前角及後角有一定之變化。但對成形車刀來說，因走刀量很小，故由於刀具與工件相對運動關係，引起之刀具角度的變化可以不考慮（鏟刀及切綫車刀除外）。但成形車刀是一種多刃刀具，在工作時由於本身構造上之特點，會使切削角度發生以下複雜的變化。

（一）在垂直刀具軸心綫（即端面內）之平面內看角度之變化 圖 15 及 16 表示稜體及圓體成形車刀外圓加工成形工件時的情況。刀刃的 1 點在工件中心高度上，由於 γ 角使 2 點低於工件之中心綫。1 點之切削平面為鉛直平面，2 點之切削平面則與垂直面成 ψ 角，圖中 ψ 角等於 $\angle 1O_2$ 。因此 2 點之前角 γ_2 就比 1 點小。對圓體車刀及稜體車刀來說，二者之變化相同，可用下式表示：

$$\gamma_2 = \gamma_1 - \psi,$$

其中

$$\psi = \gamma_1 - \theta = \gamma_1 - \sin^{-1} \left(\frac{r_1}{r_2} \sin \gamma_1 \right).$$

但後角的變化，稜體車刀與圓體車刀的變化就不相同了，2 點處之後角用下式表示：

稜體車刀
$$\alpha_2 = \alpha_1 + \psi;$$

圓體車刀
$$\alpha_2 = \alpha_1 + \psi + \omega;$$

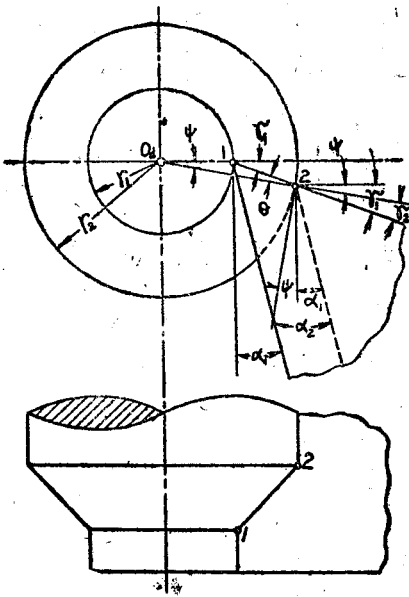


圖15 工作时棱体外圓車刀角度之变化。

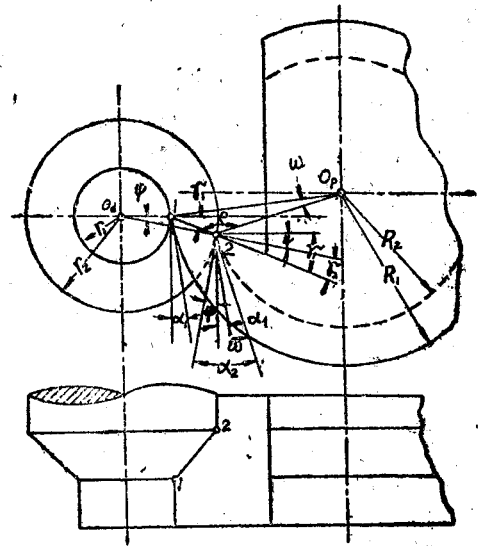


圖16 工作时圓体外圓車刀角度之变化。

其中

$$\omega = 180^\circ - \alpha_1 - \gamma_1 - \rho, \text{ 而 } \rho = \sin^{-1} \left[\frac{R_1}{R_2} \sin(\alpha + \gamma) \right].$$

从以上关系可以看出，在端面内刀具角度变化的主要原因，是由于低于工件中心线之切削刃，其切削平面与垂直面倾斜成 ψ 角。对圆体車刀来说，因刀刃各点之半径不同，使2点后隙面之切面又产生另一个倾斜的 ω 角。

在内孔圆体車刀加工时，如图17，由于刀具与工件之中心在同边，低于工件中心之2点，前角就反而增加了， $\gamma_2 = \gamma_1 + \psi$ 。

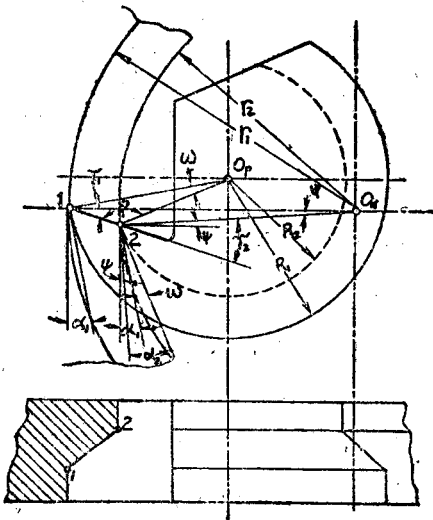


圖17 工作时圓體內圓車刀角度之变化。

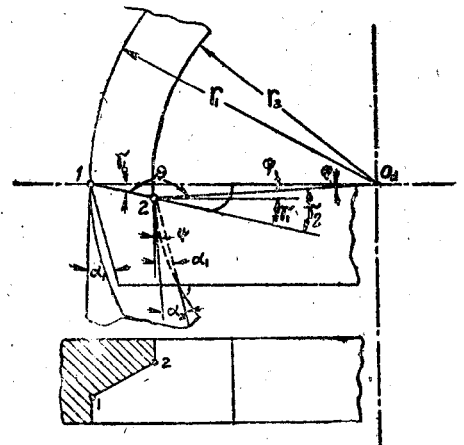


圖18 工作时平體內圓車刀角度之变化。