

金属切削原理

吴岳昆 王景濂 主编



机械工业出版社

目 录

绪论	1
§ 1 本课程的任务	1
§ 2 金属切削原理发展简史	2
第一章 刀具材料	4
§ 1 对刀具切削部分材料的基本要求	4
§ 2 工具钢	5
§ 3 硬质合金	7
§ 4 刀具材料的选择原则	8
第二章 基本定义	10
§ 1 切削时的运动和产生的表面	10
§ 2 车刀切削部分的几何角度	11
§ 3 切削要素	17
§ 4 车刀各截面内角度关系	18
§ 5 车刀的工作角度	20
第三章 切削过程的物理基础	23
§ 1 切屑和已加工表面的形成过程	23
§ 2 切削力	28
§ 3 切削热与切削温度	35
§ 4 刀具的磨损	36
§ 5 刀具钝化标准	40
第四章 刀具耐用度与切削速度	44
§ 1 刀具耐用度	44
§ 2 刀具合理的耐用度	46
§ 3 刀具切削性能允许的切削速度	47
第五章 已加工表面光洁度	51
§ 1 已加工表面上缺陷的类型及其成因	51
§ 2 影响已加工表面光洁度的因素	54

VI

第六章 车刀几何参数的选择	60
§ 1 前角 γ 和前刀面形状的选择	60
§ 2 后角 α 和副后角 α_1 的选择	65
§ 3 导角 φ 和离角 φ_1 的选择	65
§ 4 过渡刀刃的形状及其参数的选择	66
§ 5 刃倾角 λ 的选择	67
第七章 车削用量的选择	70
§ 1 选择车削用量的原则和次序	70
§ 2 选择车削用量的方法	71
第八章 钻削	78
§ 1 麻花钻的组成部分	78
§ 2 麻花钻切削部分的几何参数	78
§ 3 钻削要素	83
§ 4 钻削过程的要点及钻削用量选择	83
§ 5 麻花钻的修磨	89
第九章 铣削	96
§ 1 铣刀的几何参数	96
§ 2 铣削要素	99
§ 3 铣削过程的要点及铣削用量的选择	105
第十章 磨削	111
§ 1 磨削运动	111
§ 2 磨削要素	112
§ 3 砂轮	114
§ 4 磨削过程的特点	120
§ 5 影响磨削表面光洁度的因素	122

绪 论

§ 1 本课程的任务

“金属切削原理”是研究金属切削加工中有关切削过程的基本规律及其应用的科学。凡从毛坯上切去一层多余的金属，以获得符合预定技术要求的工件或半成品的机械加工统称为金属切削加工。切削时，刀具挤压工件，使其上一层金属变成切屑与工件分离而得到所需要的加工表面。这个过程，称为切削过程。

金属切削加工在机械制造中是重要的生产环节之一。凡精度要求较高的机械零件，一般皆需经过切削加工。金属切削原理所要研究的主要问题是刀具的切削能力与工件抵抗切削的能力的矛盾，而研究的目的在于揭示切削过程中产生的许多现象，找出规律，并用于生产，以达到在保证产品质量的前提下，不断提高生产率和降低成本之目的。

机械制造专业与工具制造专业的学生在学习本课程之后，应达到下列基本要求：

1. 对刀具切削部分的几何形状和切削要素具有清楚的认识。尤其是对最常用而且具有代表性的车刀、麻花钻和铣刀的几何形状要认识得透彻；对车、钻、铣、磨的切削用量要素和物理要素要有一个明确的概念。要求能够绘图表示刀具切削部分的几何形状和切削要素。

2. 初步掌握切削过程的基本规律。主要包括切屑和已加工表面的形成过程、切削力、切削热、刀具磨损等规律。

3. 初步学会运用金属切削原理的理论知识解决一些生产实际问题。主要包括会选择刀具切削部分的几何参数和刀具材料；会选择切削用量；能分析与解决一些有关生产率和表面光洁度方

面的实际问题。

为了很好地完成上述任务，本课程在教学方法上必须贯彻启发式教学，要精讲多练，讲练结合，并且要与其它课程，尤其是要与生产劳动紧密地结合起来，使学生将基本理论知识和基本技能切实学到手。

§ 2 金属切削原理发展简史

十八世纪以前，世界上还没有机械化的金属切削机床。当时的金属切削加工大都是手工操作。例如我国早在 1668 年便曾使用马拉铣床和磨床加工天文仪器上的铜环(图 1)。当时采用的铣刀是镶片式的，铣刀的旋转直径接近两丈，刀片用钝后可以拆下来在脚踏刃磨机上磨砺(图 2)。

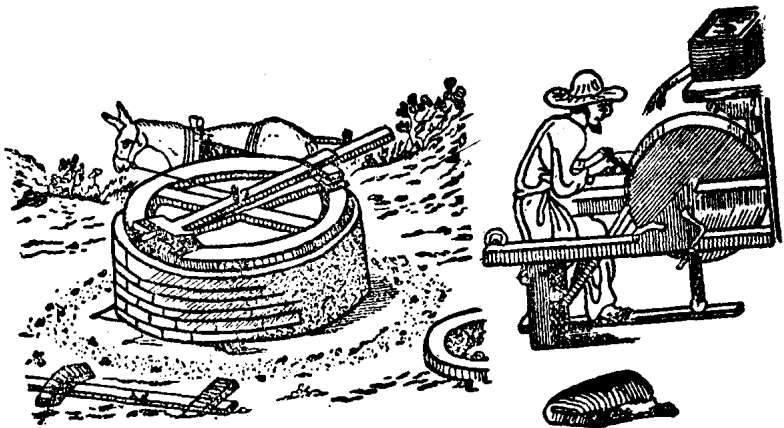


图 1 1668年中国的铣削。 图 2 1668年中国的刃磨法。

从十九世纪初开始出现了各种金属切削机床。刀具材料也由铜、铸铁等发展到炭素工具钢。1868年出现了合金工具钢，当时的切削速度达到 $6\sim 12$ 米/分。为了解决各式机床的设计问题，许多国家开始了切削原理的研究，首先研究的主题是切削力。

1898年高速钢的出现，推进了机械工业的发展，也促进了切削原理的研究工作。

由于切削高合金钢、淬火钢等难加工材料的需要，二十世纪三十年代出现了硬质合金。此后，金属切削加工推进到高速切削时期。

随着机械制造业的发展，对机械零件材料性能和加工精度的要求日益提高了。由于工件材料性能和技术要求不断提高，给刀具的切削性能不断提出了新的要求。反之，由于刀具的不断改进，也在推进着整个机械制造业不断向前发展。由此可见，在金属切削加工的发展过程中，一直贯穿着刀具的切削性能与工件的被切削性能的矛盾，而每一个具体矛盾的解决，都使机械制造业的水平提高了一步。

我国在金属切削加工方面具有悠久的历史，在过去几千年中，劳动人民曾经作出过许多巨大的贡献。但是，由于长期的封建反动统治与帝国主义和官僚买办资产阶级的压迫和掠夺，致使我国机械工业极为落后。因此，解放前我们没有独立的机器制造业，少数工厂也只能从事为帝国主义工业产品作装配修理工作。没有专门的刀具制造厂，绝大部分刀具依赖进口，更谈不上切削原理的研究工作。

解放后，在党中央和毛主席的英明领导下，机械制造业得到了飞跃的发展，金属切削原理的研究也得到很大的发展，广大工人创造了各种先进的和高生产率的刀具和切削方法。切削原理的研究也做了大量的工作。例如，切削热、积屑瘤、润滑冷却液、刀具的磨损、表面质量及钻削、铣削和磨削等，都取得了不少成绩。但是我们还要付出巨大的努力才能赶上和超过世界的先进水平。

让我们在毛泽东思想的光照耀下，积极投入到群众性的阶级斗争、生产斗争与科学实验的三大革命运动中去，为了在不太长的历史时期内，把我国建设成为一个具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的社会主义强国而努力！

第一章 刀具材料

学会选择刀具材料是学习金属切削原理与刀具课程的重要目的之一。本章介绍各种常用刀具材料的性能及其适用范围，为学习后继章节打下基础。

§ 1 对刀具切削部分材料的基本要求

在切削过程中，刀具切削部分因承受力、热与摩擦的作用而发生磨损。刀具使用寿命的长短和生产率的高低，首先取决于刀具材料是否具备应有的切削性能。此外，刀具材料的工艺性能对刀具本身的制造与刃磨质量也有显著的影响。因此，刀具切削部分的材料应满足下列基本要求：

一、切削性能方面

1. 高的硬度。至少应高于工件材料的硬度，否则便不能进行切削。
2. 高的耐磨性。
3. 足够的强度和韧性。
4. 高的耐热性。所谓耐热性是指在高温下继续保持上述性能的能力，常用红硬性或粘结温度作为衡量指标，它是评定刀具材料切削性能优劣的主要标志。

二、工艺性能方面

1. 热处理性能好（热处理变形小、脱炭层小和淬透性好等）。这是工具钢应具备的重要工艺性能。
 2. 刃磨性能好，能够磨得光洁锋利。
 3. 其他工艺性能（如焊接性能、被切削加工性能）好。
- 此外，刀具材料尚应具有资源丰富，价格低廉。
- 目前最常用的刀具材料是工具钢和硬质合金。

§ 2 工 具 钢

工具钢分碳素工具钢、合金工具钢和高速钢三大类，其常用牌号和主要化学成分见表 1-1。

表 1-1 工具钢的常用牌号及其主要化学成分

类 别	我 国 牌 号		主 要 化 学 成 分 (%)					
	新 牌 号	旧 牌 号	碳	锰	硅	铬	钨	钒
炭 素 工 具 钢	T7A	ㄉ7H	0.65~ 0.74	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30	—	—	—
	T10A	ㄉ10H	0.95~ 1.04	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30	—	—	—
	T12A	ㄉ12H	1.15~ 1.24	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30	—	—	—
	T13A	ㄉ13H	1.25~ 1.35	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30	—	—	—
合 金 工 具 钢	9SiCr	9ㄉT	0.85~ 0.95	0.30~ 0.60	1.20~ 1.60	0.95~ 1.25		
	CrWMn	ㄉXZ	0.90~ 1.05	0.80~ 1.10	0.15~ 0.35	0.90~ 1.20	1.20~ 1.60	—
高 速 钢	W18Cr4V	△18	0.70~ 0.80	≤0.40	≤0.40	3.80~ 4.40	17.50~ 19.00	1.00~ 1.40
	W9Cr4V2	△9	0.85~ 0.95	≤0.40	≤0.40	3.80~ 4.40	8.50~ 10.00	2.00~ 2.60

一、碳素工具钢 碳素工具钢的含碳量为 0.7~1.3%。它分优质钢和高级优质钢两类，其区别在于后者含硫、磷杂质较少，故在淬火时不易产生裂纹。

碳素工具钢淬火后的硬度为 HRC=59~64。它的红硬性较差，在 200~250°C 时硬度就开始显著下降，所以它容许的切削速度很低 ($v < 10$ 米/分)。此外，它的淬透性差，热处理时变形较大。但它的优点是价格低廉、刀刃容易磨得锋利，故适用于制造手用刀具、形状简单且尺寸较小的低速刀具以及使用次数不多的刀具。碳素工具钢中以 T10A 和 T12A 用得最广泛。

二、合金工具钢 在碳素工具钢中加入一些合金元素（铬、钨、硅、锰等）即成合金工具钢。它比碳素工具钢具有较高的耐热性和韧性，同时，热处理变形较小，淬透性也较好。

合金工具钢淬火后的硬度与碳素工具钢相同，但其红硬性较高，约为 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，故它容许的切削速度可比碳素工具钢提高 $10\sim 40\%$ 。目前采用合金工具钢来制造某些刀具的主要原因是因为它具有较好的热处理工艺性能。

9SiCr 和 CrWMn 是两种最常用的合金工具钢。9SiCr 用来制造较刀、丝锥和板牙等。CrWMn 热处理时变形很小，故适用于制造细长刀具，如拉刀、同心较刀和长丝锥等。

三、高速钢 高速钢是一种含钨、铬、钒较多的高合金工具钢。常用高速钢约含 $9\sim 20\%$ 钨， $3\sim 5\%$ 铬， $1\sim 3\%$ 钒。

表 1-2 各种刀具常用的工具钢

刀 具 种 类	炭素工具鋼	合金工具鋼	高 速 鋼
車刀、鏝刀			W18Cr4V、W9Cr4V2
成形車刀			W18Cr4V、W9Cr4V2
麻花钻：			
圆柱柄 $D < 1.5$			W18Cr4V
圆柱柄 $D = 1.5 \sim 20$		9SiCr	W18Cr4V、W9Cr4V2
圆锥柄 $D = 5 \sim 80$		9SiCr	W9Cr4V2、W18Cr4V
扩孔钻		9SiCr	W9Cr4V2
机用较刀			W18Cr4V、W9Cr4V2
手用较刀	T12A	9SiCr	
拉刀		CrWMn	W18Cr4V
尖齿铣刀		9SiCr	W18Cr4V、W9Cr4V2
非磨制镗齿铣刀		9SiCr	
磨制镗齿铣刀			W18Cr4V、W9Cr4V2
非磨制手用丝锥	T12A、T10A	9SiCr	
磨制手用和机用丝锥			W18Cr4V
圆板牙	T12A、T10A	9SiCr	
盘形螺絲铣刀			W18Cr4V
齿輪滾刀、齿輪插齿刀			W18Cr4V

高速钢热处理后的硬度为 $\text{HRC} = 62 \sim 65$ ，但其红硬性较高，

约为 $550\sim 630^{\circ}\text{C}$ 。因此，它所容许的切削速度比炭素工具钢高 $2\sim 4$ 倍。此外，高速钢的耐磨性较好，热处理时变形较小（但其变形比 9SiCr 和 CrWMn 大一些），故已成为最常用的刀具材料之一。

W18Cr4V 和 W9Cr4V2 是两种常用的高速钢，后者含钨量减少一半，故价格略低，但它在低温时耐磨性较差，不易磨得光洁锋利，而且淬火困难（温度要求严格控制），所以只适用于制造刃形简单的中速刀具（如车刀、铣刀、扩孔钻等）。形状复杂、热处理后刃形需要磨制的精密贵重刀具（如拉刀、齿轮刀具等）则应采用 W18Cr4V 。

表 1-2 为各种刀具常用的工具钢牌号。

§ 3 硬质合金

目前常用的硬质合金是用粉末冶金法制成的。它是由硬度与熔点很高的碳化物（碳化钨、碳化钛）的粉末利用粘结剂（钴）粘结而成。

硬质合金的硬度很高（ $\text{HRA} = 87\sim 92$ ，相当于 $\text{HRC} = 70\sim 75$ ），能耐 $900\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 高温。因此它的切削速度比高速钢高 $4\sim 10$ 倍。但它的韧性较差，怕振动。

硬质合金可用于高速切削，并能切削一般工具钢刀具所无法切削的材料（如淬硬钢、玻璃、大理石等）。

常用的硬质合金分成两大类，其主要牌号、化学成分和性能见表 1-3。由表可知，钨钴类硬质合金用字母 YG 表示，其后数字表示含钴的百分率，而其余成分则为碳化钨。钨钴钛类硬质合金用字母 YT 表示，其后数字表示含碳化钛的百分率。

一、钨钴类硬质合金 它由碳化钨和钴构成。常用牌号为 YG3、YG6 和 YG8。含钴量愈多，则其韧性愈大，愈不怕冲击。但钴的增加会使硬度和耐热性下降。

二、钨钴钛类硬质合金 它由碳化钨、碳化钛和钴构成。常

用牌号为 YT5、YT 15 和 YT 30。硬质合金中加入钛之后，提高了它与钢的粘结温度，减少了摩擦系数，并略增其硬度，但它的抗弯强度降低，性质变脆。

表 1-3 常用硬质合金牌号、成分及其性能

类 别	我 国 牌 号	合 金 概 略 组 成 %			物 理 机 械 性 能		
		碳化钨	钴	碳化钛	抗弯强度 (公斤/毫米 ²)	硬 度 HRA	比 重 (克/厘米 ³)
钨	YG3	97	3	—	105	89.5	14.9~15.3
	YG6	94	6	—	140	89.5	14.6~15.0
钴	YG8	92	8	—	150	89	14.4~14.8
钨	YT5	85	10	5	130	88.5	12.5~13.2
钴	YT15	79	6	15	115	91	11.0~11.7
钛	YT30	66	4	30	90	92.8	9.35~9.7

根据上述分析可知，YG 类硬质合金的韧性较好，但它与钢的粘结温度较低，故适用于切削铸铁、有色金属及其合金以及非金属材料等。YT 类硬质合金性脆，怕冲击，但它与钢的粘结温度较高，故适用于切削炭素钢和合金钢等。在有冲击载荷或切削淬火钢等难加工材料时，也应采用 YG 类硬质合金。含钴量多的硬质合金韧性好，适用于粗加工；含钨或钛量多的硬质合金所容许的切削速度高，适用于半精加工或精加工。

§ 4 刀具材料的选择原则

根据以上所述可知，各种刀具材料的切削性能与工艺性能是各不相同的。它们的价格也有高低之别。此外，由于各种刀具的结构、制造方法和工作条件不同，对刀具材料的要求也是有区别的。因此，应该按照具体问题、具体分析的原则，从具体条件出发，针对主要要求选择合适的刀具材料。以下几点可供参考：

1. 手用刀具与低速简单刀具，如手用铰刀、手用丝锥、板牙等，用炭素工具钢或合金工具钢制造。

2. 中速机用刀具（其切削温度在 600°C 以下），如车刀、钻

头、铣刀、机用铰刀、机用丝锥等，用高速钢制造。

3. 切削速度虽然不高，但刃磨较复杂、精度要求较高的精密贵重刀具，如拉刀、齿轮刀具等，应采用高速钢，而且要用W18Cr4V制造。

4. 用于高速切削的刀具或要求耐磨性很高的刀具应采用硬质合金。目前，硬质合金用得最多的是车刀与铣刀，其它刀具也应尽量推广。

5. 大尺寸的刀具，如大直径的铰刀、铣刀、重型机床上用的车刀等应作成装配式，其切削部分用高速钢或硬质合金，刀体部分用结构钢制造。

第一章 复 习 题

1. 对刀具切削部分材料的基本要求是什么？为什么？
2. 高速钢与其它工具钢相比具有哪些优缺点？它为什么是目前最常用的刀具材料之一？
3. 用高速钢制造手用铰刀，用合金工具钢制造齿轮滚刀，用炭素工具钢制造拉刀，是否可能？是否合理？为什么？
4. 钨钴类和钨钴钛类硬质合金各适用于加工什么材料？为什么？
5. 常用的硬质合金牌号有哪些？其化学成分与适用范围如何？

第二章 基本定义

金属切削原理是研究刀具与工件这个矛盾统一体的运动规律的一门科学。为了掌握金属切削的理论知识，必须先对所要研究的对象有一些感性的认识。本章以车削为代表，介绍有关刀具、工件和切削要素方面的基本定义，以便为学习后继章节打下基础。读者应通过对实物的仔细观察和反复练习，切实掌握本章所讲的全部内容。

§ 1 切削时的运动和产生的表面

一、切削时的运动 为了从工件上切去一层金属，必须具备两种运动，即主运动和进给运动(图 2-1)。

主运动——切去金属所必需的运动。车削时的主运动是工件的旋转运动。

进给运动——使新的金属层继续投入切削的运动。车削时的进给运动是刀具的连续移动。

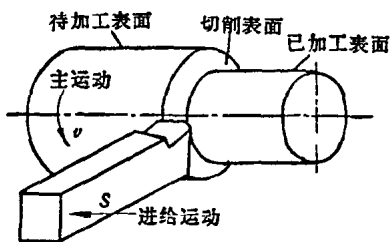


图 2-1 切削时的运动和产生的表面。

二、切削时产生的表面

在每次行程中，工件上会出现下列三种表面(图 2-1)：

待加工表面——工件上即将切去切屑的表面。

已加工表面——工件上已经切去切屑的表面。

切削表面——工件上直接由主刀刃形成的表面，亦即已加工表面和待加工表面之间的过渡表面。

§ 2 车刀切削部分的几何角度

一、车刀的组成部分 如图 2-2 所示, 车刀是由刀头和刀杆所组成的。刀头用来切削, 故又称切削部分。刀杆是用来将车刀夹固在刀架或刀座上的部分。

车刀的切削部分一般是由三个表面、二个刀刃和一个刀尖组成的。

前刀面——刀头上与切屑相接触的表面, 又称前面。

后刀面——刀头上面对着切削表面的表面, 又称主后面。

副后刀面——刀头上面对着已加工表面的表面, 又称副后面。

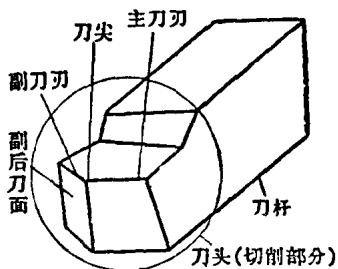


图 2-2 车刀的组成部分。

主刀刃——前刀面和后刀面的交线, 又称主切削刃。

副刀刃——前刀面和副后刀面的交线, 又称副切削刃。

刀尖——主刀刃和副刀刃的交点。

任何刀具都具有上述的表面、刀刃和刀尖, 但其数目不完全相同, 例如切断刀就有二个副刀刃和二个刀尖。

二、辅助平面 为了确定上述表面和刀刃的空间位置, 需要选择坐标平面和测量平面, 即切削平面、基面、主截面和副截面, 称为辅助平面。

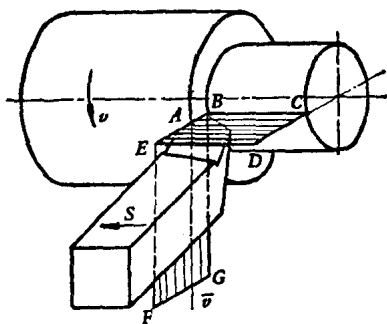


图 2-3 切削平面与基面。

切削平面: 刀刃上任一点的切削平面是通过该点又切于切削表面的平面。如图 2-3 中的 $BEFG$ 平面即是 A 点的切削平面。

基面: 刀刃上某一点的基面是通过该点而又垂直切削速度的平面。如图 2-3 中的 $BC'D'E$

平面即是 A 点的基面。由上述定义可知，基面与切削平面互相垂直。

如果切削时只存在主运动，车刀的主刀刃与水平面平行，且刀尖对准工件中心，则基面与刀杆底面平行，切削平面与刀杆底面垂直。它们是标注车刀角度以及刃磨与测量车刀角度的坐标平面。

主截面——垂直于主刀刃在基面上的投影所作的截面。如图 2-4 中的 $N-N$ 截面即是。

副截面——垂直于副刀在基面上的投影所作的截面。如图 2-4 中的 N_1-N_1 截面即是。

车刀的切削平面、基面和主截面的空间位置见图 2-5。

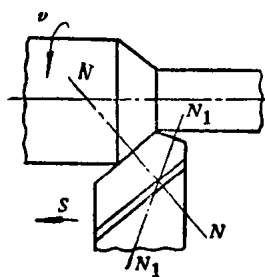


图 2-4 主截面与副截面。

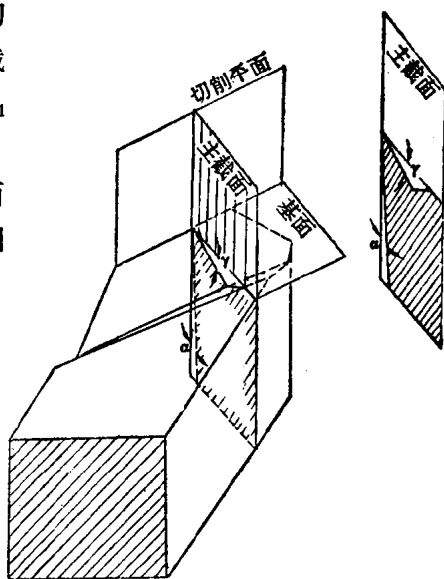


图 2-5 切削平面、基面和主截面的空间位置。

三、车刀切削部分投影图的画法 为了用平面图表示出车刀切削部分的几何形状，一般选择二个视图和二一个剖面图。

通常选择与基面平行的和与切削平面平行的两个平面作为投影面，在它们上面的投影作为主视图和斜视图。另外取主截面和副截面作为剖截面，画出其截面图（图 2-6）。

四、车刀切削部分几何角度的定义 车刀的几何角度是用来表示切削部分的几何形状的。现分述如下：

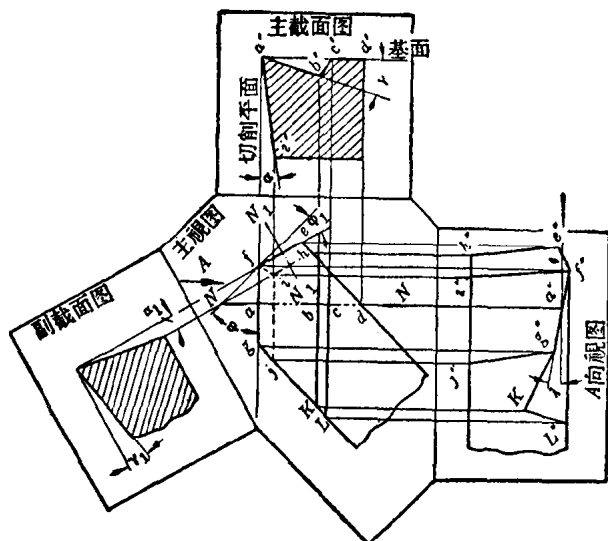


图 2-6 车刀切削部分的投影画法。

1. 在主截面内度量的角度 (图 2-7)

前角 γ ——在主截面内，前刀面与基面的夹角。

前角影响切屑形

成与流出的难易程度、切削力的大小和刀具强度。前角愈大则切屑愈易流出，切削力愈小，但同时刀具强度也愈差。前角 γ 可为正值或负值，也可等于零度。高速钢车刀通常取 $\gamma = 12^\circ \sim 30^\circ$ ；硬质合金车刀通常取 $\gamma = 8^\circ \sim -10^\circ$ 。

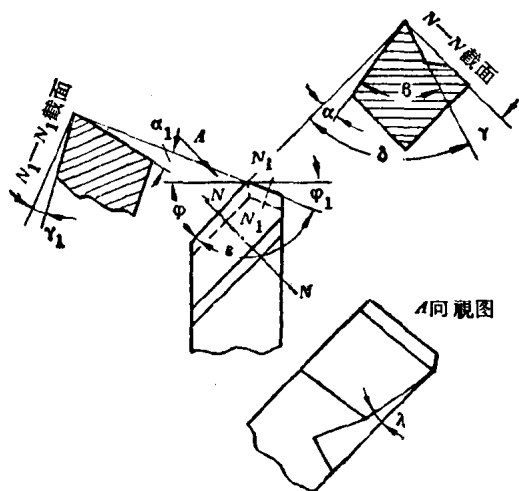


图 2-7 车刀切削部分的几何角度。