

铣工技术

第一章 铣削原理

目 录

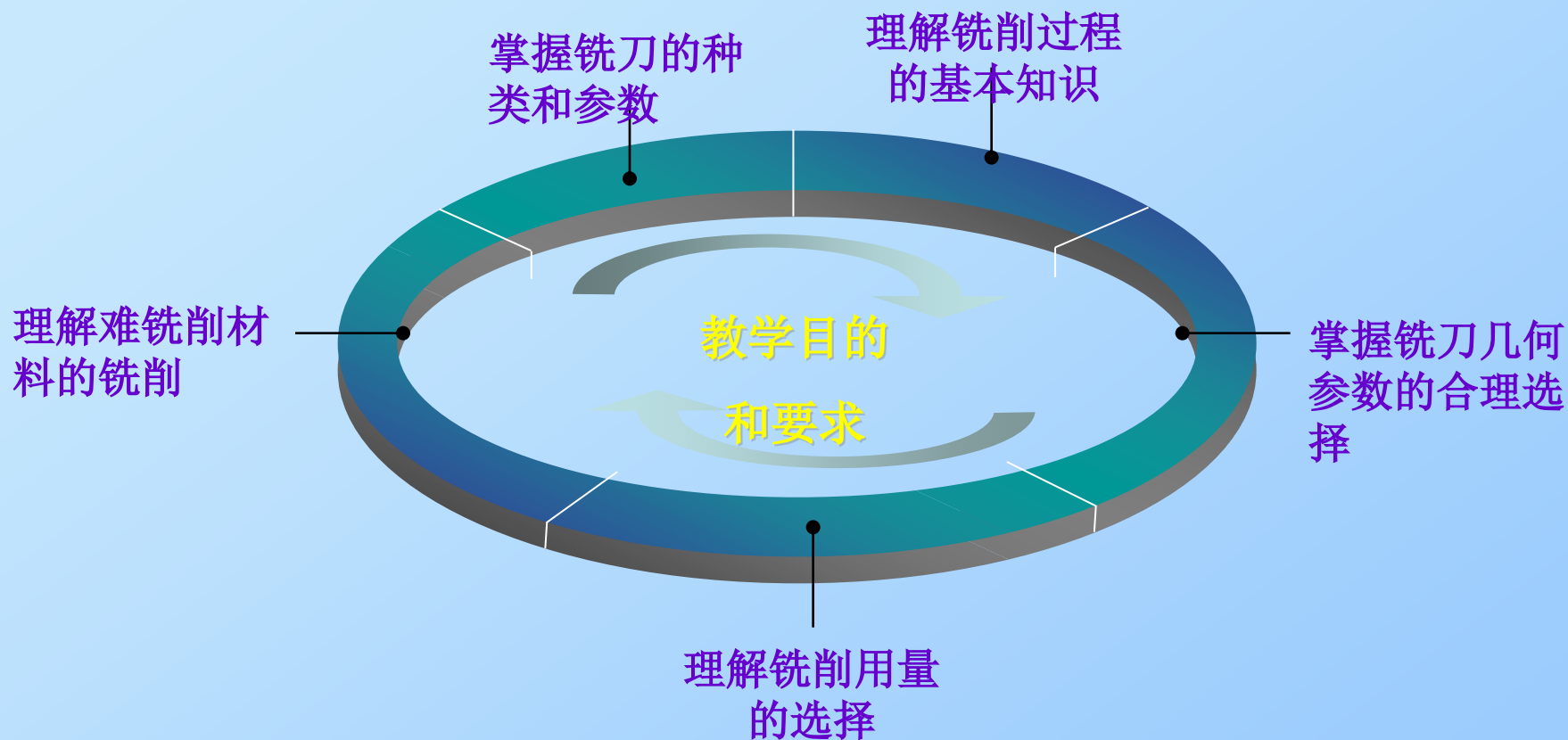
1.1 铣刀简介

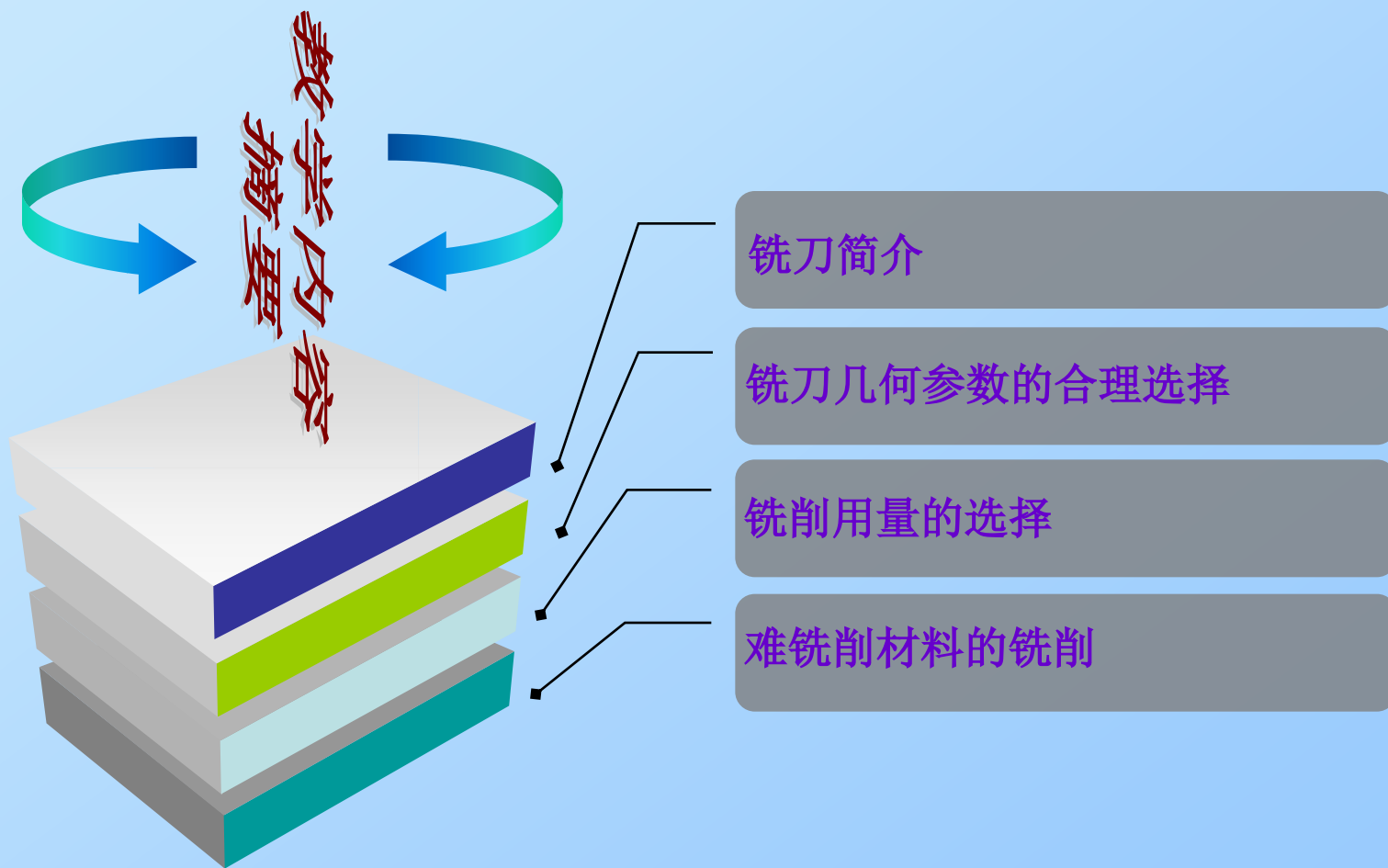
1.2 铣削过程的基础知识

1.3 铣刀几何参数的合理选择

1.4 铣削用量的选择

1.5 难铣削材料的铣削





教学重点难点



铣刀的种类、铣刀几何参数的合理选择、铣削用量的选择、难铣削材料的选择

教学方法和教具



讲授、现场教学、课件

学时数



5学时

铣削，就是在铣床上以铣刀旋转做主运动，工件做进给运动的切削加工方法。刀具材料铣削性能的优劣和铣刀角度的合理选择将直接影响切削加工的生产率和加工表面的质量。

1.1 铣刀简介

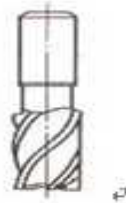
在铣削加工中，应根据铣床的情况和加工需要合理地选择和使用铣刀。

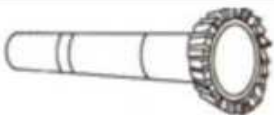
1.1.1 铣刀的种类

1. 按用途分类

按照用途的不同，可将铣刀分为铣削平面用铣刀、铣削直角沟槽用铣刀、铣削特种沟槽用铣刀和铣削特形面用铣刀等，具体见表1-1。

表1-1 按用途分类的铣刀

铣 削 直 角 沟 槽 用 铣 刀	立铣刀		立铣刀可 用来铣削沟 槽、螺旋槽、 孔、台阶、 凸轮和内外 曲面
	键槽铣刀		键槽铣刀 主要用于铣 削键槽
	直齿三面刃铣刀		三面刃铣 刀有直齿、 错齿和可转 位式三种， 用于铣削各 种槽、台阶、 工件的侧平 面等
	锯片铣刀		锯片铣刀 用于铣削各 种窄槽和切 断工件

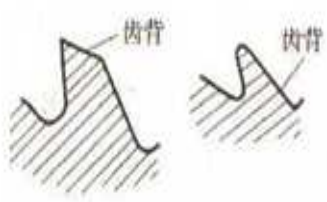
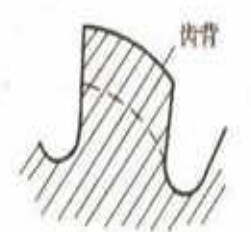
铣削特种沟槽用铣刀	T 形槽铣刀		T 形槽铣刀用来铣削 T 形槽
	燕尾槽铣刀		燕尾槽铣刀用来铣削燕尾槽和燕尾块
	单角铣刀		角度铣刀分为单角铣刀、对称双角铣刀和不对称双角铣刀三种，用
	不对称双角铣刀		

	对称双角铣刀		来铣削斜面、V形槽、尖齿或锯齿离合器等
铣削特形面用铣刀	凸半圆铣刀		凸半圆铣刀铣削半圆槽和凹半圆成形面
	凹半圆铣刀		凹半圆铣刀铣削半圆和凸半圆成形面
	正齿轮铣刀		正齿轮铣刀和指状铣刀铣削渐开线齿轮的齿形
	指状铣刀		

2. 按刀齿构造分类

按刀齿构造的不同，可将铣刀分为尖齿铣刀和铲齿铣刀，具体见表1-2。

表1-2 按刀齿构造分类的铣刀

类别	简图	说明
尖齿铣刀		尖齿铣刀的齿背截形为直线或折线，制造和刃磨均较容易，刃口锋利，铣削性能好。 生产中常用的铣刀大多数是尖齿铣刀，如圆柱铣刀、立铣刀和三面刃铣刀。
铲齿铣刀		铲齿铣刀的齿背截形为阿基米德螺旋线，刃磨时只磨前刀面。在刃磨后，只要前角不变，刀齿的刃口形状也不会改变，但是制造费用较大，铣削性能较差。为了刃磨方便，铲齿铣刀的前角一般制作成零度。 铣削特形面的铣刀一般都采用铲齿铣刀，如凸、凹半圆铣刀和正齿轮铣刀等。

1.1.2 铣刀的标记

为了便于识别铣刀的材料、尺寸规格和制造厂家等，铣刀上都刻有标记，标记的内容主要有以下几种。

1. 制造厂家商标

我国制造铣刀的厂家很多，如哈尔滨量具刃具厂、上海工具厂和成都量具刃具厂等，各制造厂都将自己的注册商标标注在其产品上。

2. 铣刀材料

铣刀的材料一般用材料的牌号表示。如HSS表示铣刀的材料为高速钢。

3. 铣刀尺寸规格

铣刀的尺寸规格标注因铣刀形状的不同而略有不同。因铣刀上的标注尺寸均为基本尺寸，在使用和刃磨后会产生变化，所以在使用时应加以注意。

1) 带孔铣刀

带孔铣刀包括圆柱铣刀，三面刃铣刀和锯片铣刀等，一般以外圆直径 $\times$ 宽度 $\times$ 内孔直径来表示尺寸规格。例如，三面刃铣刀上标有 $80\times 12\times 27$ ，表示该铣刀的外圆直径为80 mm，宽度为12 mm，内孔直径为27 mm。

2) 指状铣刀

指状铣刀包括立铣刀和键槽铣刀等，尺寸规格一般只标注外圆直径。如锥柄立铣刀上标有 $\Phi 18$ ，则表示该立铣刀的外圆直径是18 mm。

3) 盘形铣刀

角度铣刀和半圆铣刀等盘形铣刀，一般以外圆直径 $\times$ 宽度 $\times$ 内孔直径 $\times$ 角度（或圆弧半径）表示。例如，角度铣刀的外圆直径为80 mm，宽度为22 mm，内孔直径为27 mm，角度为 60° ，则标记为 $80 \times 22 \times 27 \times 60^\circ$ 。同样道理，在半圆铣刀的末尾标有 $8R$ ，则表示铣刀圆弧半径为8 mm。

1.1.3 铣刀的主要参数

铣刀是一种多切削刃的刀具，在了解铣刀的组成和几何角度时，可把铣刀看做是由多把简单的切刀组合而成的，如图1-1（a）所示。如图1-1（b）所示为铣刀各部分名称及相关的辅助平面。

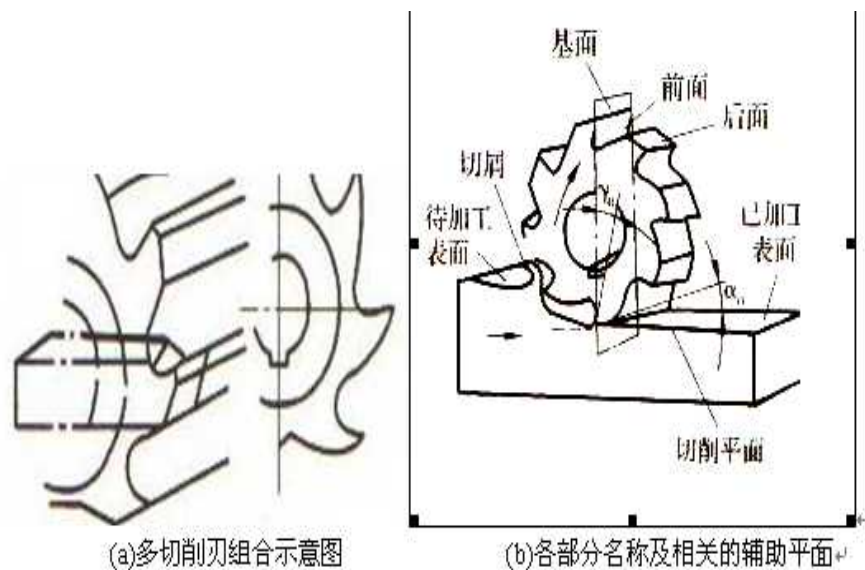


图 1-1 铣刀各部分名称及辅助平面

1. 待加工表面

待加工表面是工件上有待切除的表面。

2. 已加工表面

已加工表面是工件上经刀具切削后产生的表面。

3. 过渡表面

工件上由当前切削刃形成或者由下一切削刃切除的表面，它在刀具或工件的下一转里被切除，又称为切削表面。

4. 前面

前面是指刀具切屑流过的表面，又称前刀面。

5. 后面

后面是指与已加工表面 相对的表面，又称后刀面。

6. 前角 γ_0

前面与基面间的夹角。

7. 后角 α_0

后面与切削平面间的夹角。

1.1.4 铣刀的材料及选用

1. 高速钢

高速钢是一种含钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）等合金元素较多的高合金工具钢，通常其碳的质量分数在1%左右，W的质量分数为8%~20%，Cr的质量分数为3%~5%。高速钢抗弯强度 $\sigma_b \approx 3\ 500\ \text{MPa}$ ，冲击韧度 $a_K \approx 0.30\ \text{MJ/m}^2$ 。高速钢的强度与韧性好，能承受冲击，又易于刃磨，加工性好，价格便宜；但其耐热性、硬度较低，热处理后硬度为62~65 HRC，耐热温度为550~600 °C，耐磨性也较低。由于受耐热温度的限制，高速钢刀具不能用于高速铣削。高速钢是国内最常用的机械铣削加工刀具材料。我国常用的高速钢牌号有W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2和W9Mo3Cr4V等。由于W18Cr4V等含W量较多的高速钢价格较贵，其生产和使用已经减少。

W2Mo9Cr4V2Co8是引进的超硬高速钢，它的高温硬度和抗氧化能力比上述高速钢好，可铣削难加工材料，适用于较高的铣削速度。我国生产的超硬高速钢牌号是W6Mo5Cr4V2A1，它的价格比W2Mo9Cr4V2Co8便宜得多，只是热处理工艺性要求较高。

现在常用物理气相沉积法在高速钢刀具的切削表面上沉积 $2\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 的TiN薄膜（也称涂层，呈金黄色），可提高刀具寿命 $2\sim 5$ 倍。

2. 硬质合金

硬质合金是利用粉末冶金的方法将高硬度、高熔点的碳化钨（WC）、碳化钛（TiC）、碳化钽（TaC）、碳化铌（NbC）和钴（Co）黏结、压制、烧结而成。它的常温硬度为 $88\sim 93\text{ HRA}$ ，耐热温度为 $800\sim 1\text{ }000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。与高速钢相比，其硬度、耐磨性、耐热性要好得多。因此，硬质合金刀具允许的铣削速度比高速钢刀具大 $5\sim 10$ 倍。但它的抗弯强度只有高速钢的 $1/4\sim 1/2$ ，冲击韧度仅为高速钢的几十分之一，故硬质合金塑性和韧性差，怕冲击和振动。另外，它的工艺性比高速钢差，刃磨时比高速钢难磨削得多，而且不易制成整体刀具和成形刀具，一般是制成刀片焊接在刀体上使用，或用机械方法装夹、固定在刀体上使用。

我国目前常用的硬质合金有以下三类

1) 钨钴类硬质合金

钨钴类硬质合金（代号YG）由WC和Co组成，主要用于加工铸铁、有色金属等脆性材料和非金属材料。常用牌号有YG3、YG6和YG8。牌号中的数字表示含Co的百分比，其余为含WC的百分比。硬质合金中Co起黏结作用，含Co量越多的硬质合金韧性越好，硬度和耐磨性越差，所以YG8适于粗加工和断续铣削，YG6适于半精加工，YG3适于精加工和连续铣削。

2) 钨钛钴类硬质合金

钨钛钴类硬质合金（代号YT）由WC、TiC和Co组成，由于TiC比WC还要硬、脆、耐磨、耐热，所以YT类合金比YG类合金硬度和耐热温度更高，耐冲击和振动性差。加工钢材时，被加工材料塑性变形很大，切屑与刀具摩擦很剧烈，铣削温度很高，但由于其切屑呈带状，铣削过程较平稳，所以YT类硬质合金适于加工钢材等塑性材料。钨钛钴类硬质合金常用牌号有YT30、YT15和YT5。牌号中的数字表示含TiC的百分比。TiC含量越多的硬质合金韧性越差，硬度和耐磨性越高，所以YT30适于对钢材的精加工和连续铣削，YT15适于半精加工，YT5适于粗加工和断续铣削。

3) 钨钛钽（铌）类硬质合金

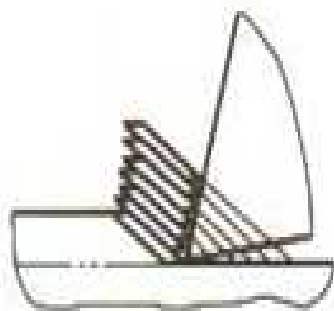
钨钛钽（铌）类硬质合金（代号YW）是在YT类硬质合金中加入少量的TaC或NbC。YW类硬质合金的硬度、耐磨性、耐热温度、抗弯强度和冲击韧性均比YT类高一些，其后两项指标与YG类相仿。因此，YW类硬质合金既可以加工钢，又可以加工铸铁和有色金属，所以又称为通用硬质合金。常用牌号有YW1和YW2，前者用于半精加工和精加工，后者用于粗加工和半精加工。

现在常用化学气相沉积法在硬质合金刀具表面上沉积 $5\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 的TiC薄膜（呈银灰色），也有沉积TiC、TiN双层薄膜或沉积TiC、Al₂O₃和TiN三层薄膜的，复合涂层用得更多。硬质合金刀具经过气相沉积后，寿命可提高2~10倍。

1.2 铣削过程的基础知识

1.2.1 铣削过程中的变形

刀具在金属切削过程的实质是被切削金属在刀具切削刃和前刀面的挤压作用下，产生剪切滑移的变形过程，如图1-2所示。在刀具切削力的作用下，被切割的金属层首先产生压缩弹性变形，当剪应力超过材料屈服极限后，在与受力方向成 45° 方向上产生最大剪应力，金属内部晶格发生滑移，即在剪切面上产生塑性变形。刀具继续前进，切削力增大，由于切削刃的刀楔作用，产生应力集中，使切削刃附近金属剪应力超过强度极限而被剥离。切削层产生塑性变形的同时，在切削刃附近剥离，形成切割作用。变形后剥离的金属层在刀具前刀面的挤推作用下，沿前刀面流出，即产生切屑。



(a) 切屑形成理想模型



(b) 切屑形成实际情况



(c) 切削过程三个变形区

图 1-2 切屑形成过程及切削过程三个变形区

从图1-2中可以看出，由于刀具和工件的相互作用，切削层及其附近金属产生 I、II、III 这三个变形区。

1

第 I 变形区是切削刀前方工件上的切削层产生塑性变形的滑移变形区。它是切屑形成过程中的主要变形区域，也是三个变形区中变形量最大的区域。

2

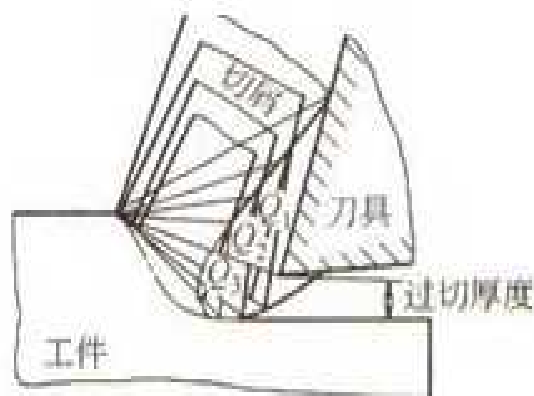
第 II 变形区是切屑底层与刀具前刀面接触的区域。切削层金属经过剪切滑移后，切屑流经前刀面时受前刀面挤压和摩擦的作用，底层金属流动小于切屑上层金属流动，形成滞留层。

3

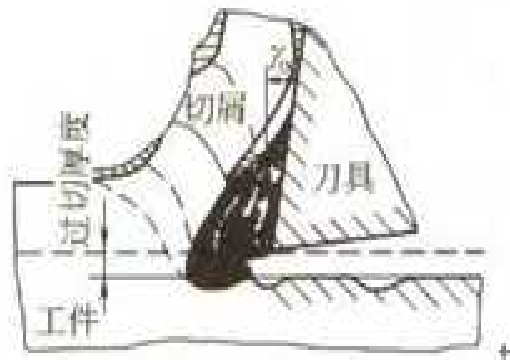
第 III 变形区是刀具后刀面与工件已加工表面的接触区。由于刀具切削刃和刀具后刀面对加工表面的挤压和摩擦，使工件已加工表面产生晶粒纤维化和加工硬化，并伴有一定的残余应力。

1.2.2 积屑瘤

当刀具对某些塑性金属进行切削加工时，在某一段切削速度范围内，切屑底层中的一部分金属容易被黏结或冷焊在前刀面，形成硬度很高的楔块，从而代替刀面和切削刃进行切削，这一个小楔块称为积屑瘤，如图1-3所示。一般情况下，积屑瘤的硬度可达工件材料硬度的2~3.5倍。



(a) 积屑瘤成长模型



(b) 积屑瘤成长的实际情况

图 1-3 积屑瘤的成长和切削状态的变化

1. 积屑瘤的形成

在一定的切削速度范围内，切屑底层金属与前刀面发生强烈的挤压和摩擦，破坏了前刀面上的氧化膜和吸附膜，使其与前刀面的接触面积逐渐增大。同时，在巨大的压力和摩擦力作用下，切屑底层出现滞留现象，切削底层金属的流动速度较切屑的上层金属缓慢得多，并沿前刀面产生较大的变形。在适当的压力和温度作用下，切屑底层金属填满前刀面的微观凹谷，发生冷焊现象而形成冷焊层。冷焊层具有较大的强度和硬度，能抵御切削力的作用，形成第一层积屑瘤 Q_1 。由于切屑还在继续流动，与第一层积屑瘤接触的切屑底层金属又重复上述的变形和冷焊过程，堆积在第一层积屑瘤上面，形成第二层积屑瘤 Q_2 。如此不断堆积，致使积屑瘤不断长大。由于积屑瘤改变了前刀面和切削刃的实际形状，使切屑与前刀面的接触条件和受力情况发生变化，当积屑瘤长到一定高度时便不再继续增大，从而形成一个完整的积屑流。

2. 积屑瘤对切削加工影响

积屑瘤冷焊在刀具切削刃和前刀面的前端，其形成后便可代替切削刃和前刀面进行切削，从而保护了切削刃和前刀面。但是积屑瘤的稳定性较差，当积屑瘤达到一定高度时，常因冷焊接的破裂而脱落（部分或全部），有可能把刀具前刀面靠近刀尖的表面金属带走一部分，反而容易加剧刀具的磨损。

积屑瘤在切削过程中的产生和脱落，还常常将积屑瘤碎片黏结在已加工表面上，增大了已加工表面的粗糙度。积屑瘤表面粗糙会使已加工表面产生误差复映

随着积屑瘤的增大，实际工作前角 γ_{oe} 有所增大，导致切削变形减小，切削力降低。当积屑瘤最高时，实际工作前角 γ_{oe} 可达 30° 左右。

如图1-4所示，积屑瘤前端伸出切削刃之外，伸长量为 Δa_c ，这种过切厚度改变了加工尺寸。同时，由于积屑瘤的不断产生和脱落，导致加工尺寸不稳定，影响了加工零件的尺寸精度。存在有利于粗加工而不利于精加工。

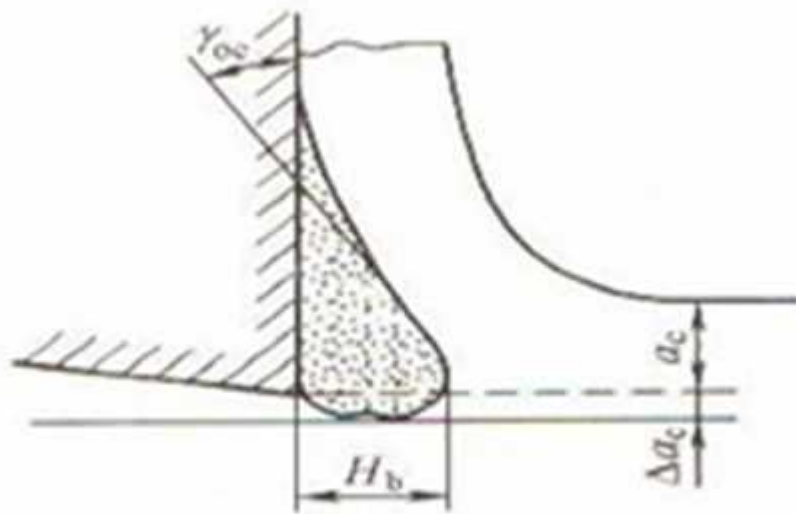


图 1-4 积屑瘤前角 γ_{oe} 和伸长量 Δa_c

影响积屑瘤形成的主要因素

•硬度 and 塑性

当工件材料硬度低、塑性大时，切削过程中金属变形大，切屑与前刀面间的摩擦系数和接触长度都较大，故容易产生积屑瘤。

•切削速度

切削速度主要是通过切削温度和摩擦系数来影响积屑瘤的。

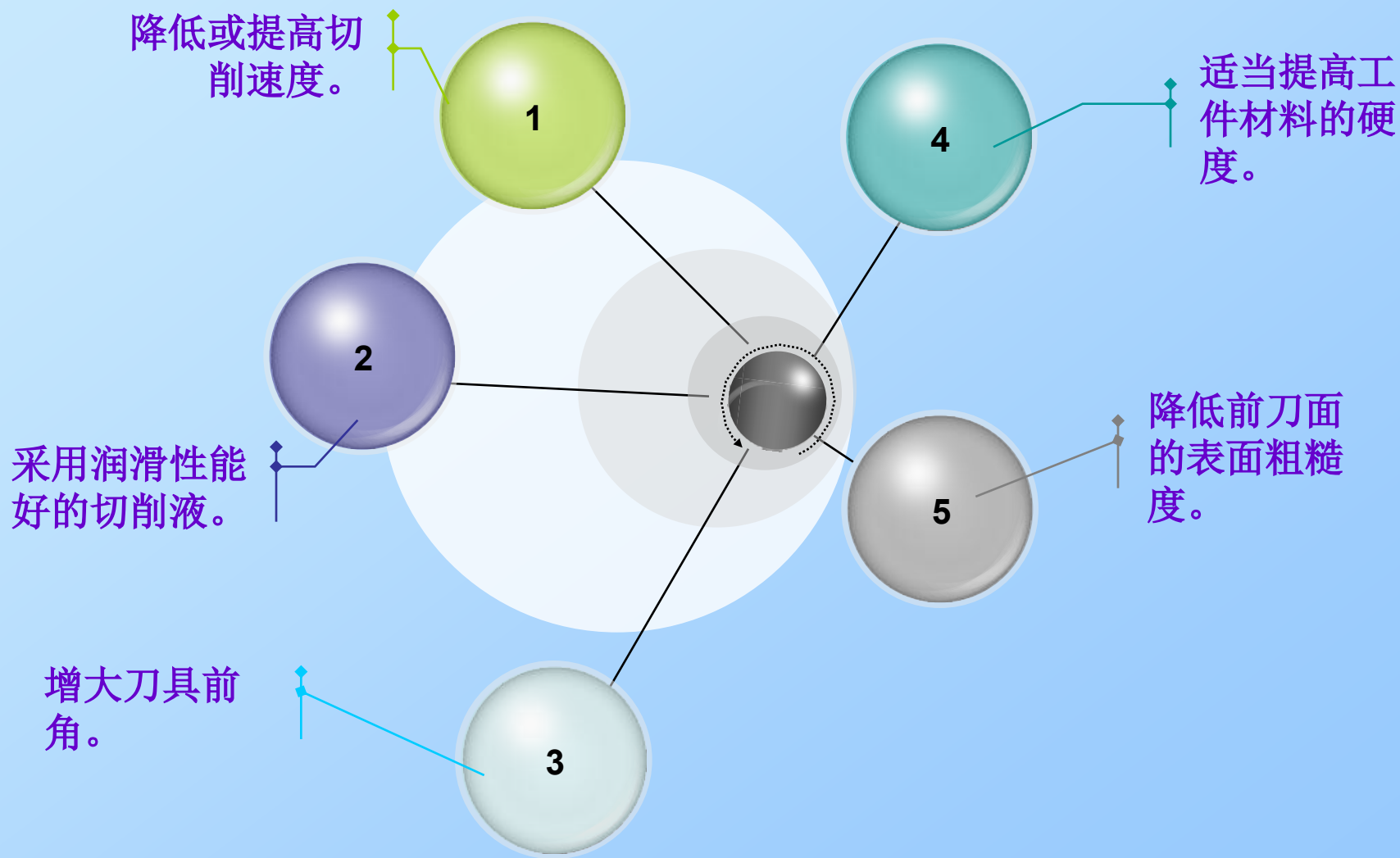
•进给量

进给量增加时，切削厚度增大，切削温度上升。切削厚度越大，刀具与切屑的接触长度越长，积屑瘤的高度越大。

•前角

刀具前角增大时，切削力减小，切削温度降低，切削变形减小，刀具与切屑的接触长度变短，从而减小积屑瘤的形成基础。

2) 防止积屑瘤形成的措施



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/136053101134010032>