

立铣刀的基础



内容

1. 切削加工 和 切削工具
2. 立铣刀的加工
3. 切削作用 和 切削时的现象

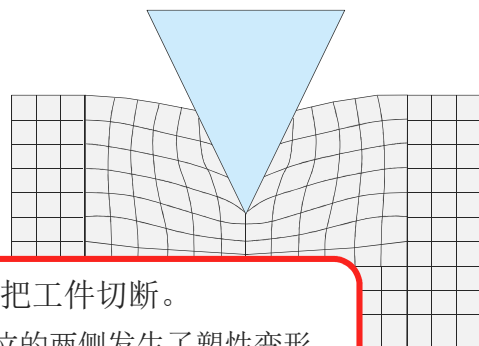
目次

1. 切削加工 和 切削工具
2. 立铣刀的加工
3. 切削作用 和 切削时的现象

切削加工是甚么？

切削加工是甚么？

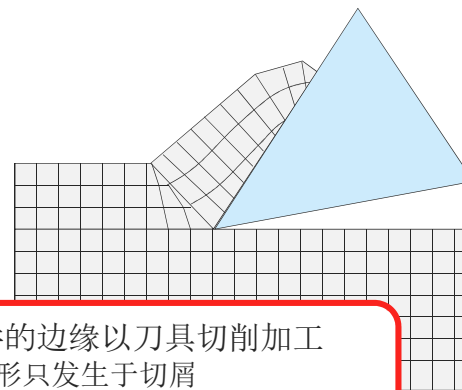
刀具接触工件后移动,使工件内部的局部地方发生了应力以致破裂,而不要的部份被分离为切屑,做成产品所需形状的新表面。



a) 像凿子把工件切断。

- 切断部位的两侧发生了塑性变形
- 塞进时需要很大的推力

※示意图



b) 于工件的边缘以刀具切削加工

- 塑性变形只发生于切屑
- 工件本体并没有产生变形

※示意图

切削加工的对象

- 金属材料
- 木材
- 塑料等 . . .

切削加工的特征

与没有切屑的加工方法相比,可以获得相对较高的精度。

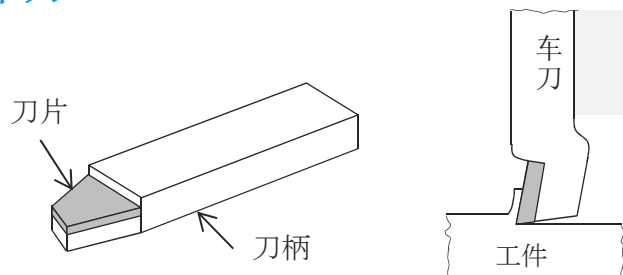
切削加工技术的急速进步・多样化



为了有效活用切削加工,
有系统的了解切削现象是很重要的!

用于切削加工的工具

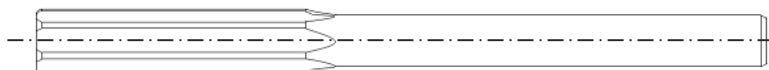
车刀



(バイトによる切削加工イメージ)

用于车床，刨床，镗床等的切削刀具

铰刀



把钻头等孔加工工具加工的孔壁进行精加工，提升光洁度和精度的切削刀具

《各工具的特征》

切削刃数量少的刀具→制造和再磨成本低廉

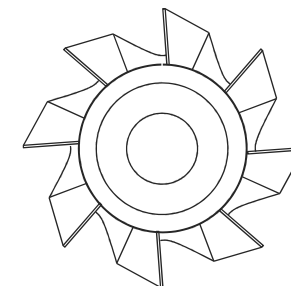
具有多个切削刃的刀具→切削效率较高



为了经济高效地进行切削，必须充分了解切削动作以及每种刀具的特性。

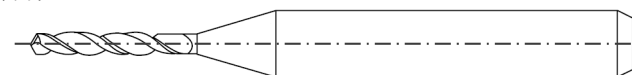
侧铣刀

在圆柱体/圆锥体的外周和端面上具有许多切削刃的旋转切削刀具



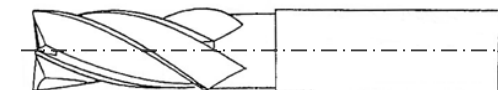
钻头

用于钻孔的切削刀具
仅前端具有切削刃

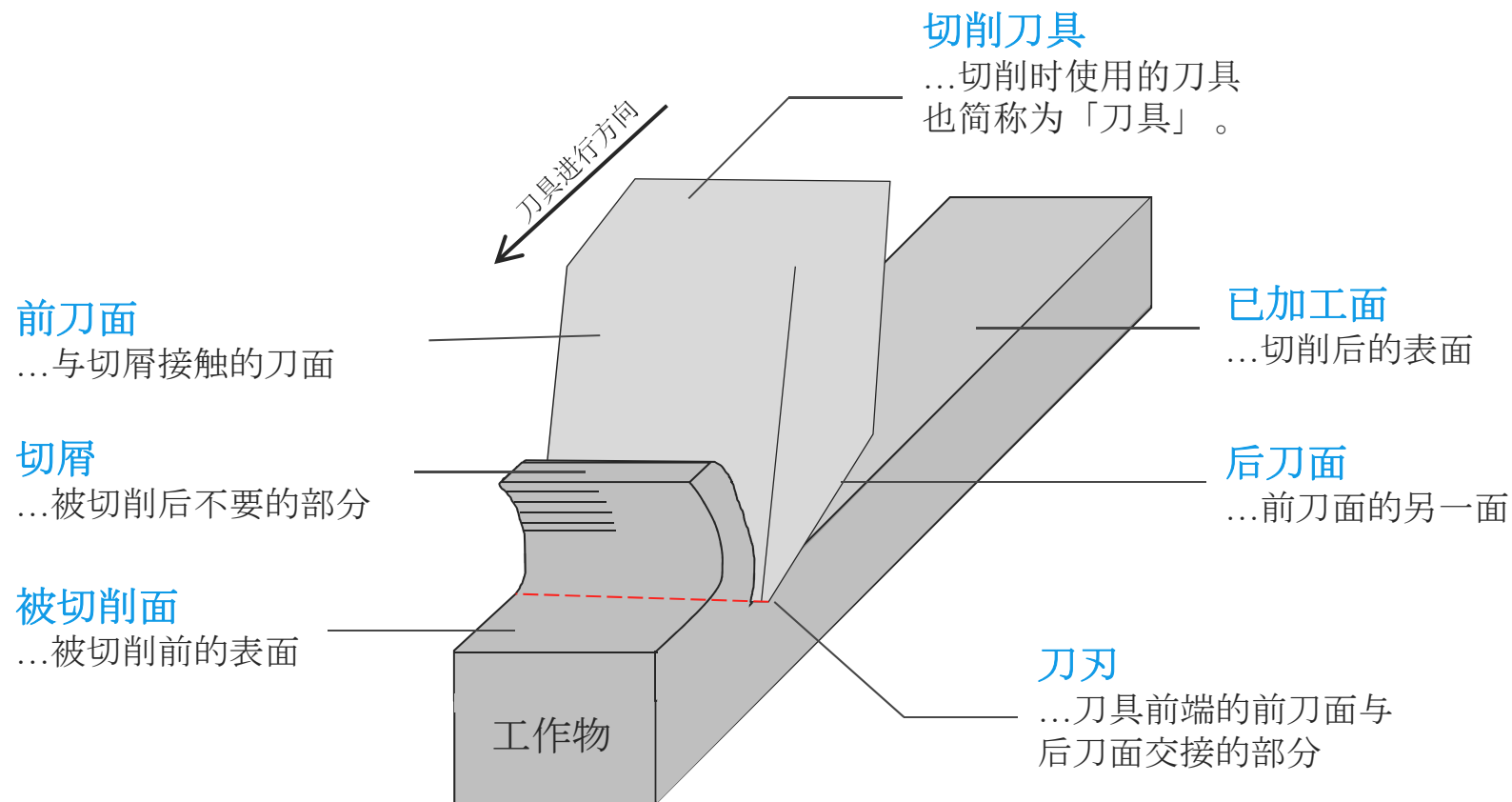


立铣刀

外周和端面均带有刀刃的多功能刀具。可进行外形，曲面，甚至钻孔等加工。



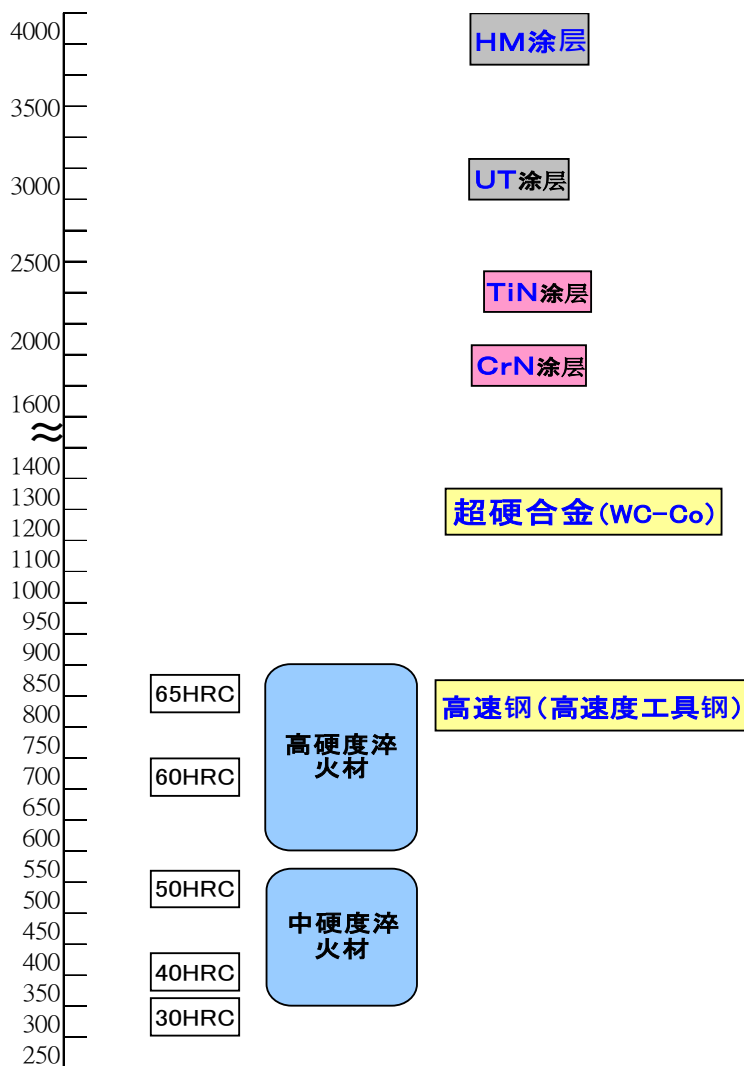
切削加工的关键部分及名称



加工材料 vs 工具材料 硬度比较

维氏系数

洛氏硬度



- 以维氏系数换算，刀具材料的硬度需在
被加工材料的3倍（4倍）以上
- 超合金可以切削30HRC以内的加工材料。
40HRC会有困难。用高速钢切削淬火材料则有些困难。



涂层（增强刀具表面的硬度）

假设 涂层工具材料硬度 $\geq$ 加工材料硬度 $\times 4$

40HRC淬火材 $\Rightarrow$ 工具材料硬度必须要在1600Hv以上

- CrN (稍显困难)
- TiN (有切削可能性)

50HRC淬火材 $\Rightarrow$ 工具材料硬度必须要在2000Hv以上

- TiN (实际上切削存在困难)
- UT涂层 (有切削可能性)

65HRC淬火材 $\Rightarrow$ 工具材料硬度必须要在3300Hv以上

- HM涂层则 (有切削可能性)

UT自主涂层

HM涂层：调质钢 $\sim$ 高硬度淬火材用途镀膜

UT涂层：生料 $\sim$ 中硬度淬火材用途镀膜

涂层要求及特性

1. 硬度

针对被切削的加工材料, 涂层需要具有非常高的硬度

* 实际上, 所需的特性为『高温硬度』, 但由于测定上的困难, 一般用『常温硬度』代替。

2. 耐热性

切削时不会因刀刃附近的温度（高温）而发生变质, 具有非常高的耐热性（耐酸化性）

3. 韧性

韧性可防止切削时刀刃受冲击而造成崩刃

* 不存在评测方法、无法用数值来表现。

4. 润滑性

润滑性可减少切削时加件与刀具之间摩擦

促进排屑、降低切削热度、防止被切削材料的粘着

一般情况下, 硬度与韧性呈反比。按照涂层的用途、需考虑两者间的平衡。

成膜方法与特征

成膜方法		处理温度 ℃	成膜速度 μ m/Hr	密着性	膜的细致度	膜表面粗糙度
PVD 物理性蒸镀	真空镀敷	~600	1~10	○	○	○
	喷镀法	~600	0.1~1	○~◎	◎	○
	离子电镀	~600	1~5	◎	◎	△~○
CVD 化学性蒸镀	热CVD	700~1200	0.5~5	◎	○	△~○
	等离子体CVD	~600	1~5	○	◎	○

在陶瓷涂层中，除了舍弃式铣刀等使用CVD法成膜以外，主要都使用PVD法。

在PVD方法中，AIP法（离子电镀的一种）是工具成膜的主要方法。

小结

切削加工是

刀具接触工件后移动, 使工件内部的局部地方发生了应力变化以致破裂, 而不要的部份被分离为切屑, 做成产品所需形状的新表面。

切削加工的优点

切削加工能针对广泛的材料种类, 相对地能达到较高的精度。

切削加工和工具

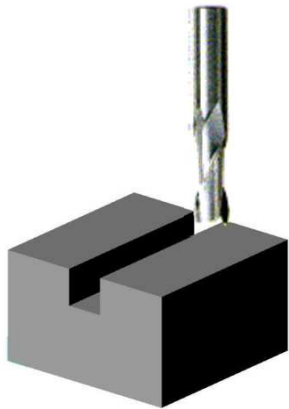
了解各刀具的特征及适切的使用, 对能否经济高效地进行切削加工是很重要的。刀具的硬度是必需要是被加工材料的3倍(4倍)以上。

目次

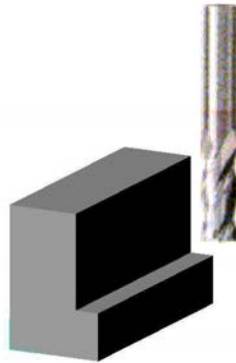
1. 切削加工 和 切削工具
2. 立铣刀的加工
3. 切削作用 和 切削时的现象

立铣刀加工的种类

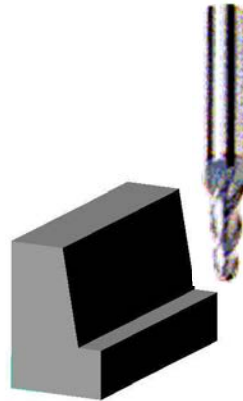
槽加工



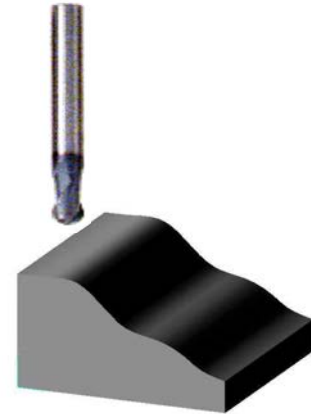
侧面加工



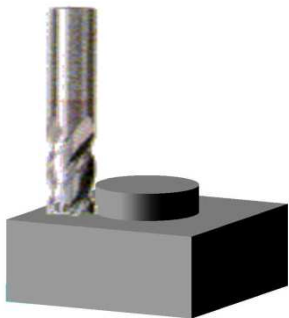
锥面加工



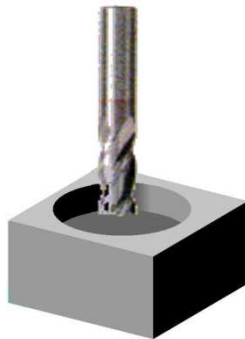
曲面加工



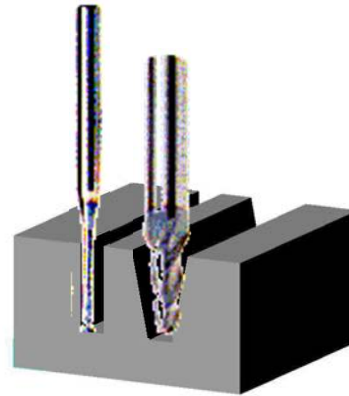
轮廓加工



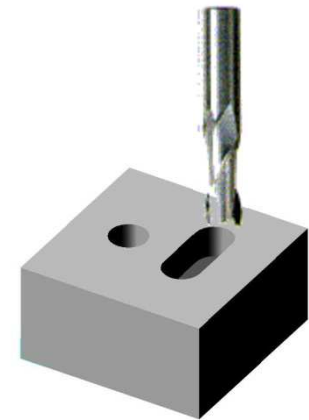
型腔加工



薄片加工



孔加工

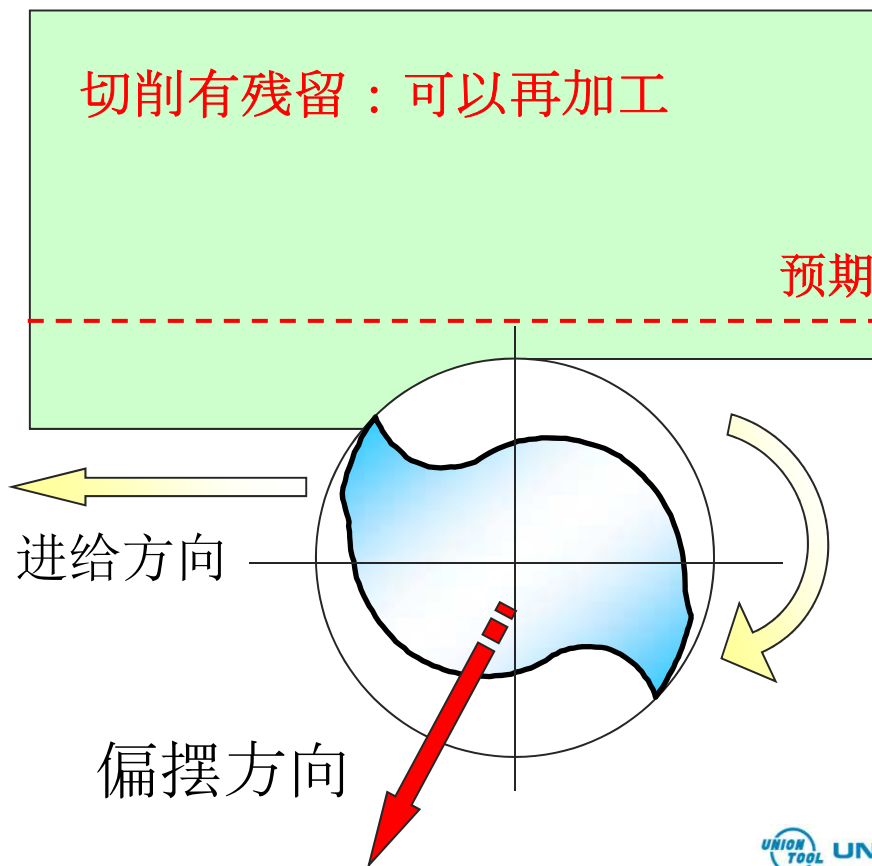


立铣刀的加工方法 顺铣加工 VS 逆铣加工

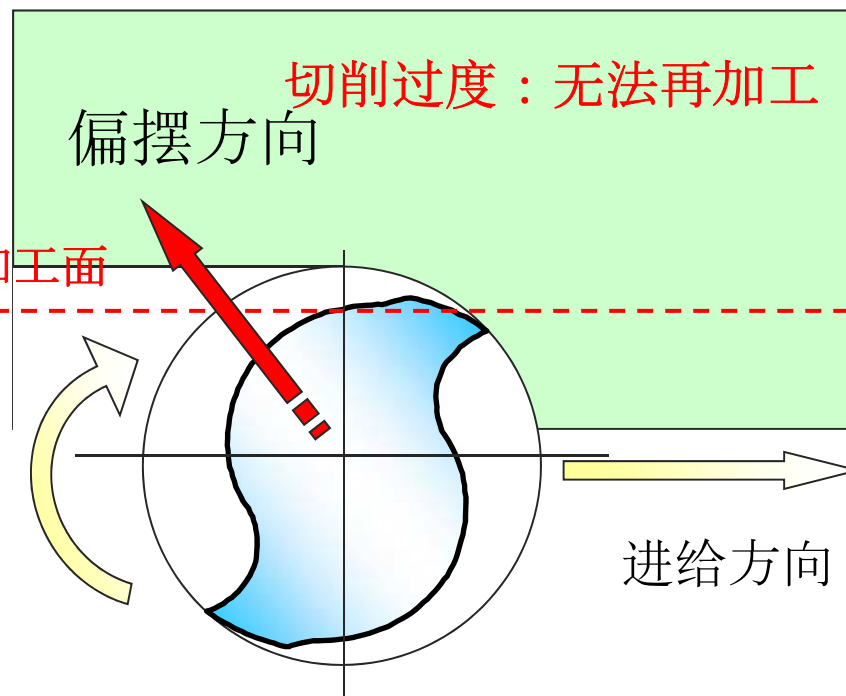
一般情况下推荐顺铣加工

※ 一般而言，在金属加工中除偏摆方向以外还会考虑到加工面的品质，虽然推荐顺铣加工，但加工树脂类材料时，逆铣加工的加工面品质更高。

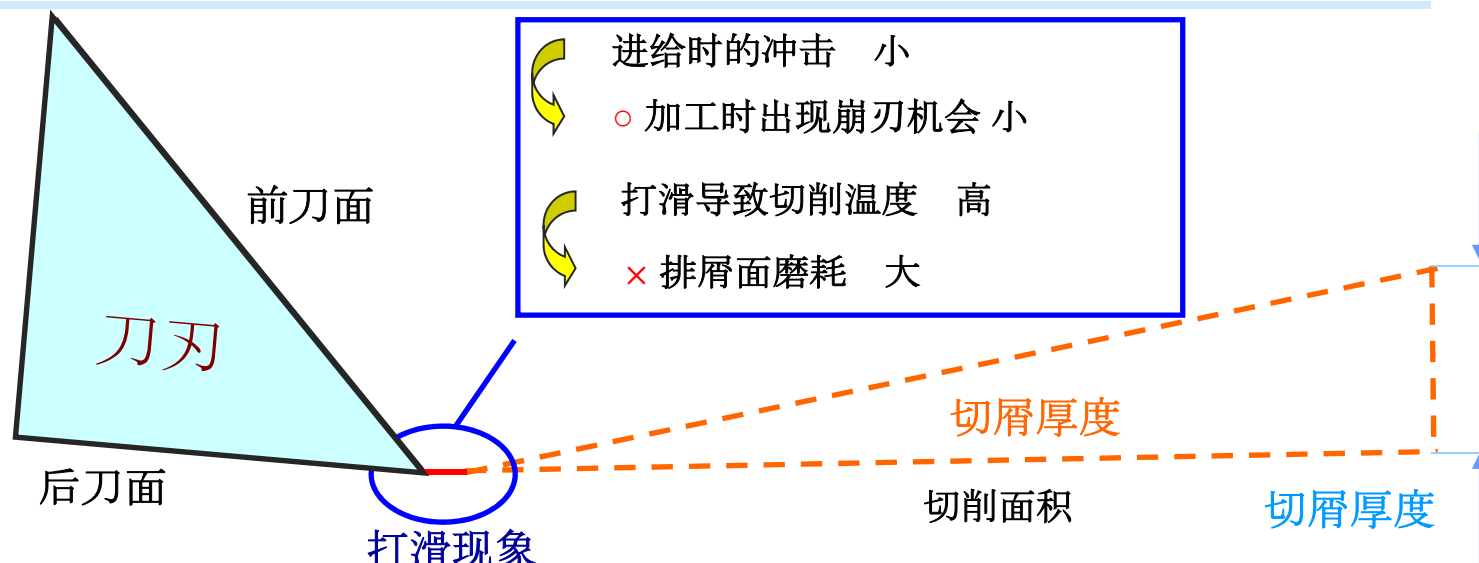
顺铣加工



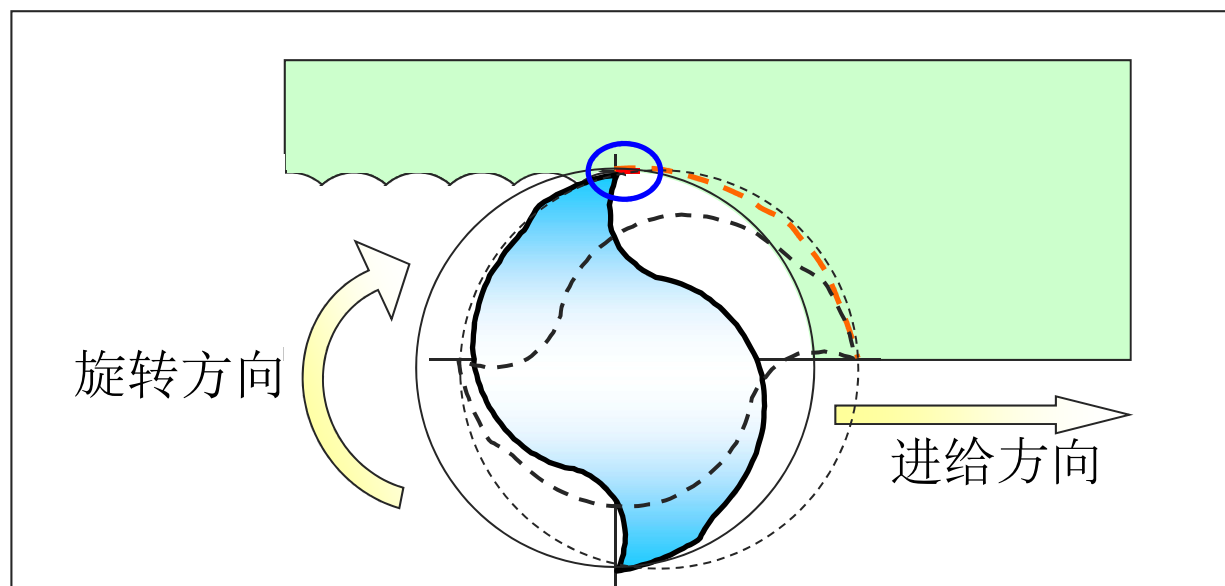
逆铣加工



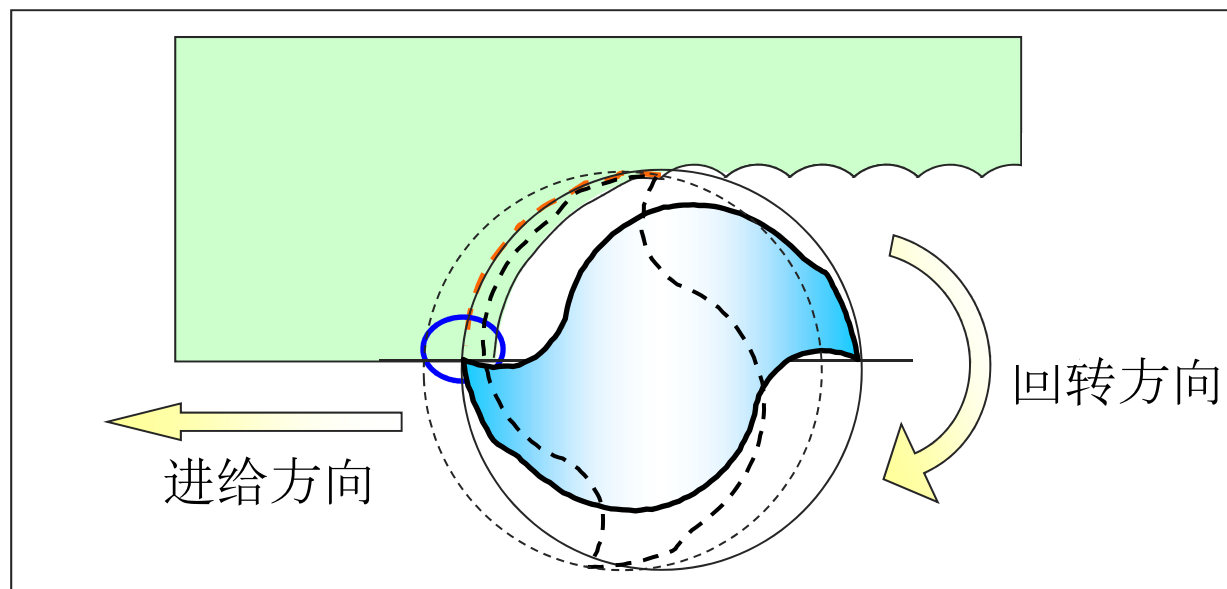
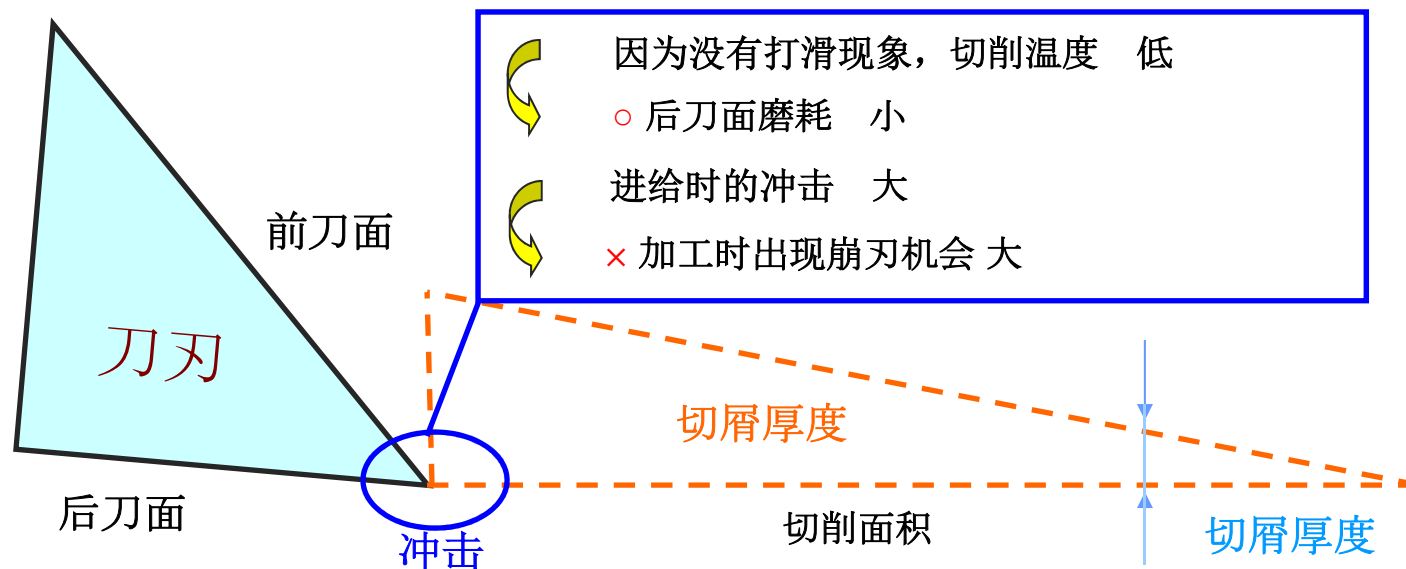
逆铣加工



※打滑现象：因为切量极小、刀刃不能切进工件而类似擦蹭的加工现象

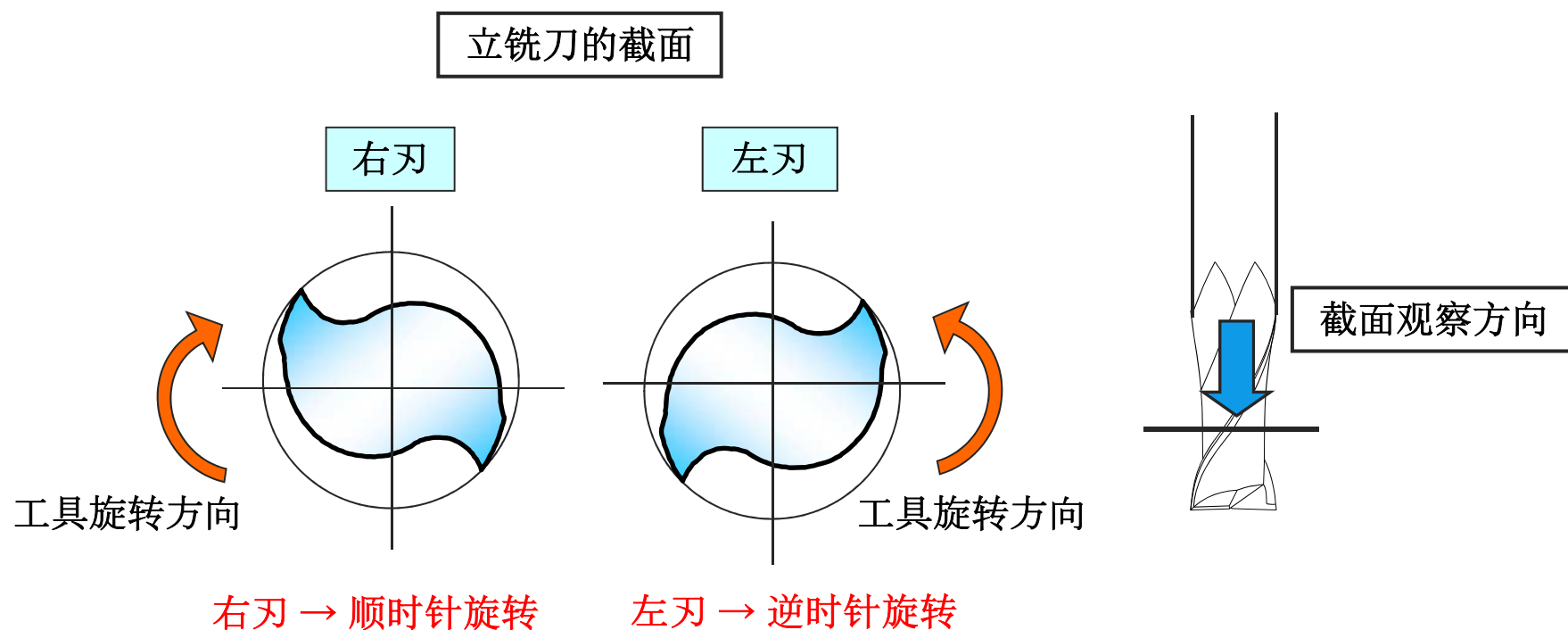


顺铣加工



右刃/左刃的差异

刀刃的方向不同，切削的旋转方向也发生变化



点评

顺时针旋转进行切削的被称为「右刃」。

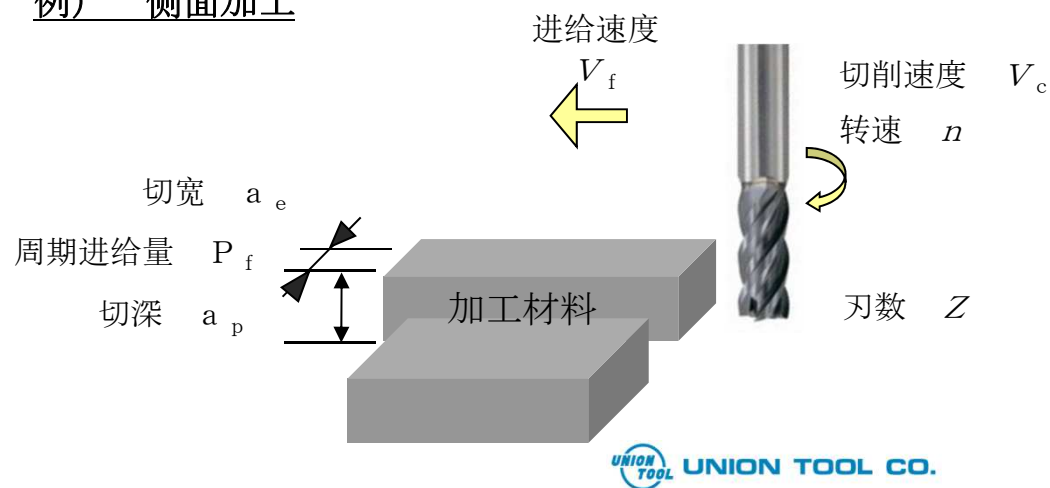
相反，逆时针旋转的则被称为「左刃」。

普通的立铣刀都是「右刃」。「左刃」立铣刀极其少见。

与切削条件相关的要素(1)

要素	以往表示	推荐表示	单位	含义
切削速度	V	V_c	m/min	圆周上的1点在单位时间（1分钟）内移动的距离
进给速度	F	V_f	mm/min	单位时间（1分钟）内向加工进行方向移动的距离
每刃切削量	Sz	f_z	mm/t	下一个刀刃到位之前的横向移动量
进给量	f	f	mm/rev	每回转1次的横向移动量（工具完成1次回转时的横向移动量）
刃数	Z	Z	(刃)	工具切刃的枚数
切深	Ad	a_p	mm	坐标轴方向的切入量
切宽	Rd	a_e	mm	横向切入量
周期进给量	Pf	P_f	mm	横向切入量
转速	N	n	min^{-1}	1分钟内的回转数

例) 侧面加工



与切削条件相关的要素(1)

1. 切削速度（周速） V_c 单位：[m/min]

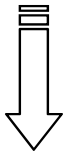
圆周上的1点在单位时间（1分钟）内移动的距离

直径 D [mm] : 从旋转中心的距离（半径）的 2 倍
转速 n [min^{-1}] : 每分钟的旋转数
圆周率： π

○ 圆周长 = 直径 $\times$ 圆周率 : πD [mm]

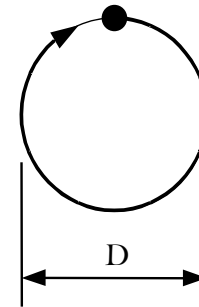
○ 切削速度（周速） V_c : 每1分钟的移动距离 = 圆周长 $\times$ 转速

$$V_c = \frac{\pi \times D [\text{mm}] \times n [\text{转}]}{1 [\text{min}]} \quad [\text{mm} / \text{min}]$$



单位换算：1mm = 1/1000 m 所以
 $D [\text{mm}] = D / 1000$ [m]

$$V_c = \frac{\pi \times D [m] \times n [\text{转}]}{1000 \times 1 [\text{min}]} \quad [m / \text{min}]$$



与切削条件相关的要素(3)

2. 每刃切削量 f_z [单位: mm/t]

相关数值 . . . {

进给速度 V_f [mm/min] : 每 1 分钟的横向进给量 (机械轴移动量)

回转速度 n [min⁻¹] : 每 1 分钟的回转数 [回转数/min (1 分)]

$[min^{-1}] = [rpm ; \text{revolutions per minute}]$

刃数 Z [t] : 切刃的枚数

○ 每 1 次回转的横向移动量 f [mm/rev] ? (注: rev = revolution : 回转)

$$f = \frac{V_f \text{ [mm/min]}}{n \text{ [回転/min]}} = \frac{V_f \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \times \left[\frac{\text{min}}{\text{rev}} \right]}{n} = \frac{V_f}{n} [\text{mm/rev}]$$

- 每刃的横向进给量 f_z [mm/t] ?
用旋转 1 次的横向进给量 f , 除以每转一次切削所用切刃的数量, 即刃数, 求得

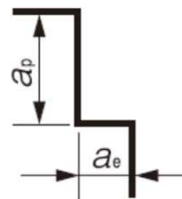
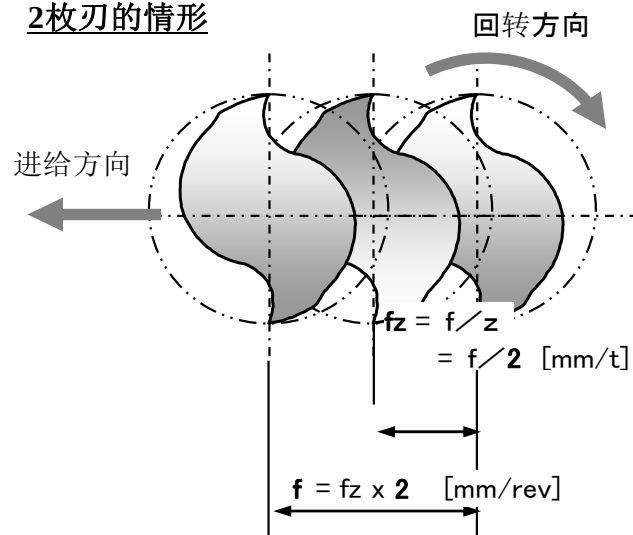
$$f_z = \frac{f \text{ [mm/rev]}}{Z} = \frac{V_f}{n \times Z} [\text{mm/t}]$$

其他「与切削条件相关的要素」

* 切宽: a_e

* 切深: a_p

2枚刃的情形

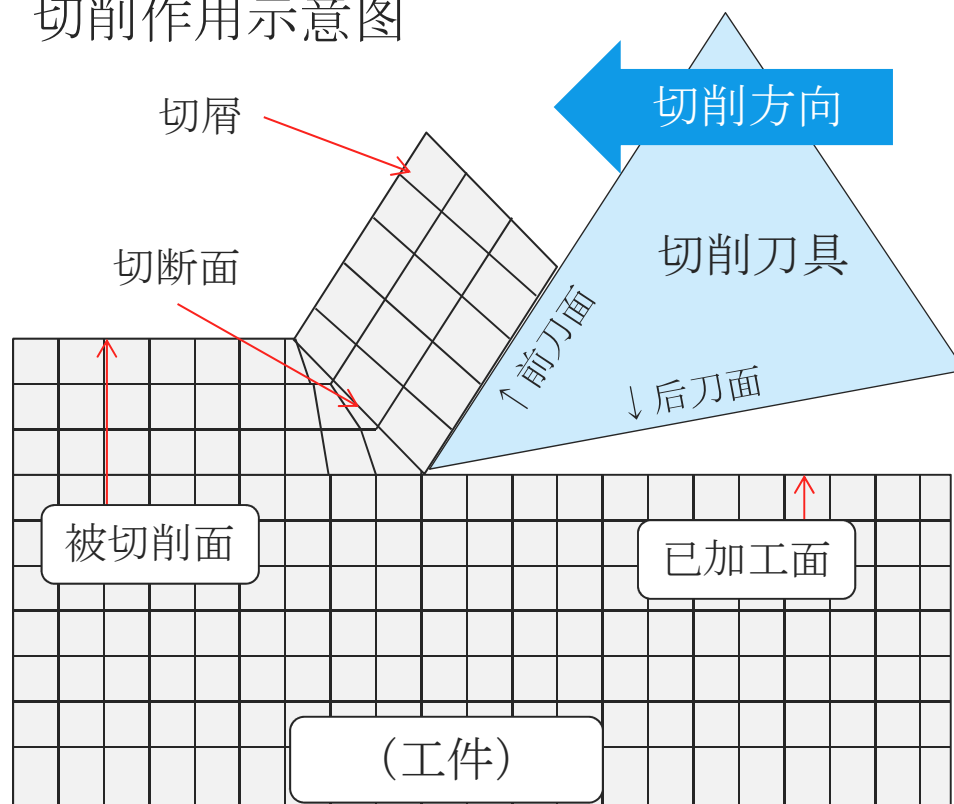


目次

1. 切削加工 和 切削工具
2. 立铣刀的加工
3. 切削作用 和 切削时的现象

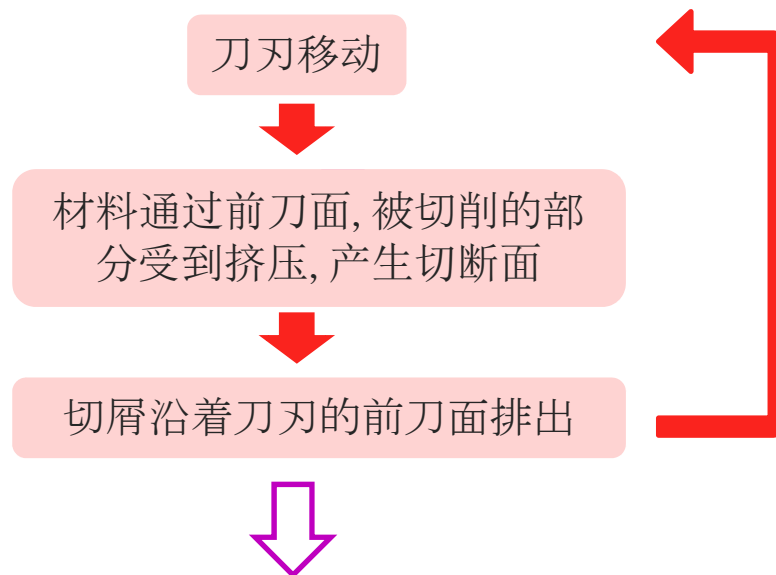
切削作用

切削作用示意图



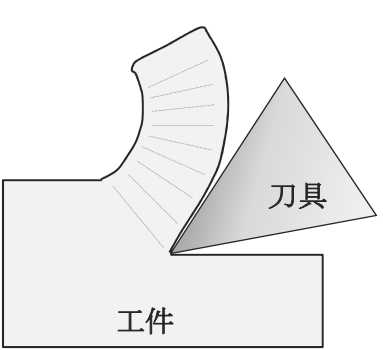
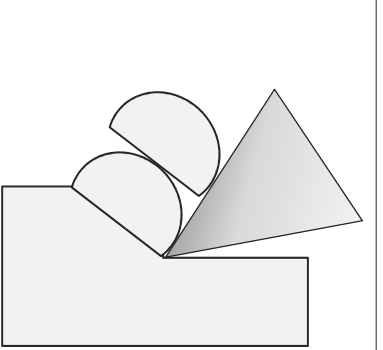
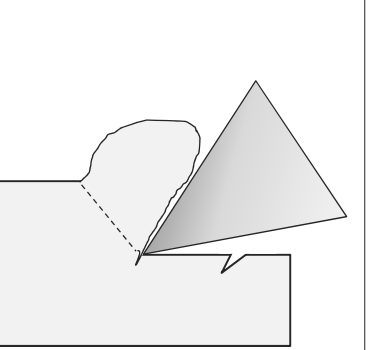
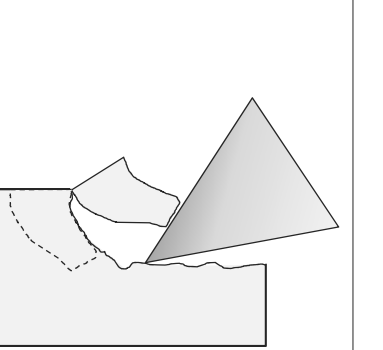
※工作物のふちに近い部分を削っている状態

切削过程



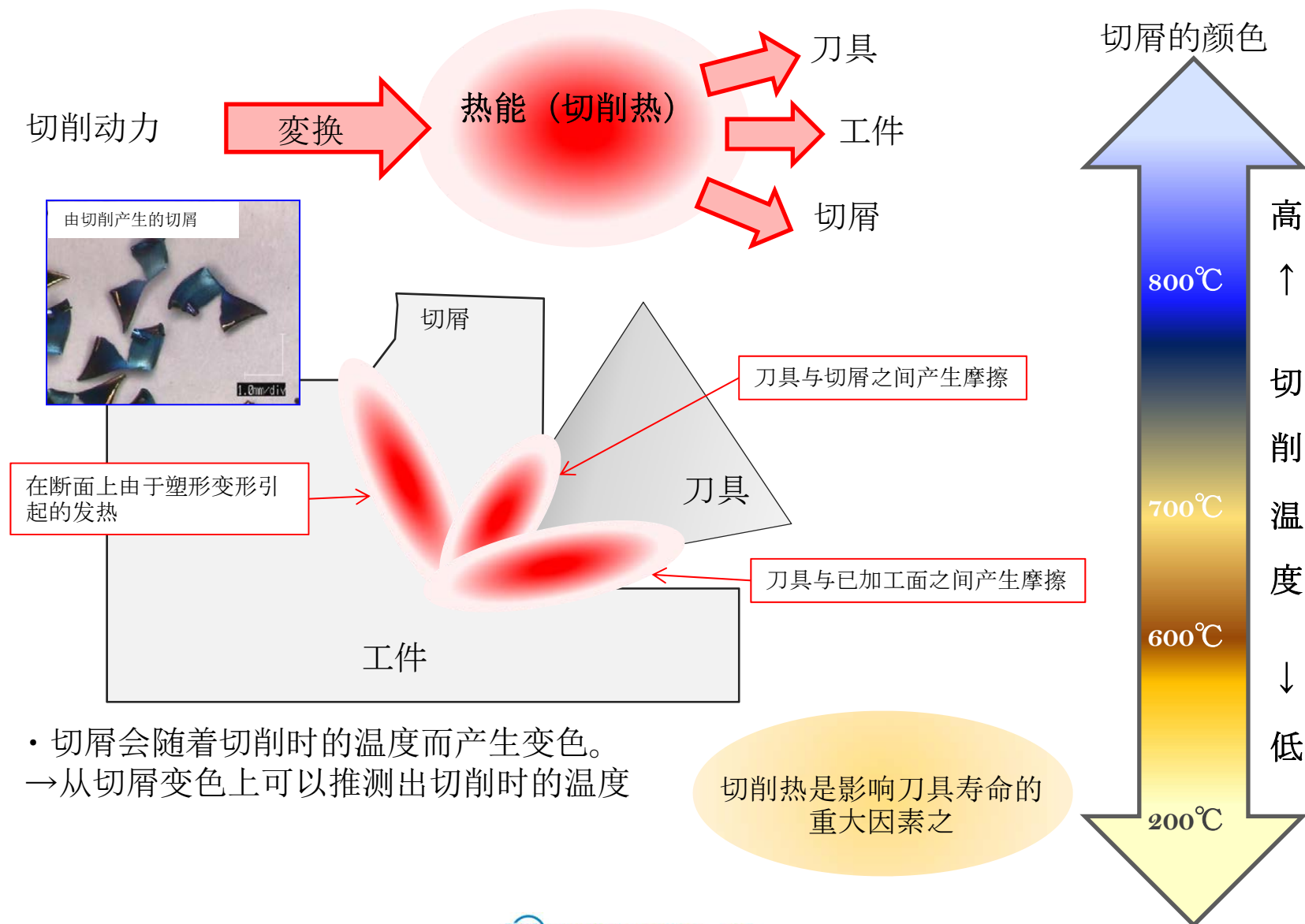
- 塑性变形只于切屑上见到, 工件基本上见不到变形。
- 切屑会因应切削时的不同条件而改变其形态。

切屑形态 —切屑的形状—

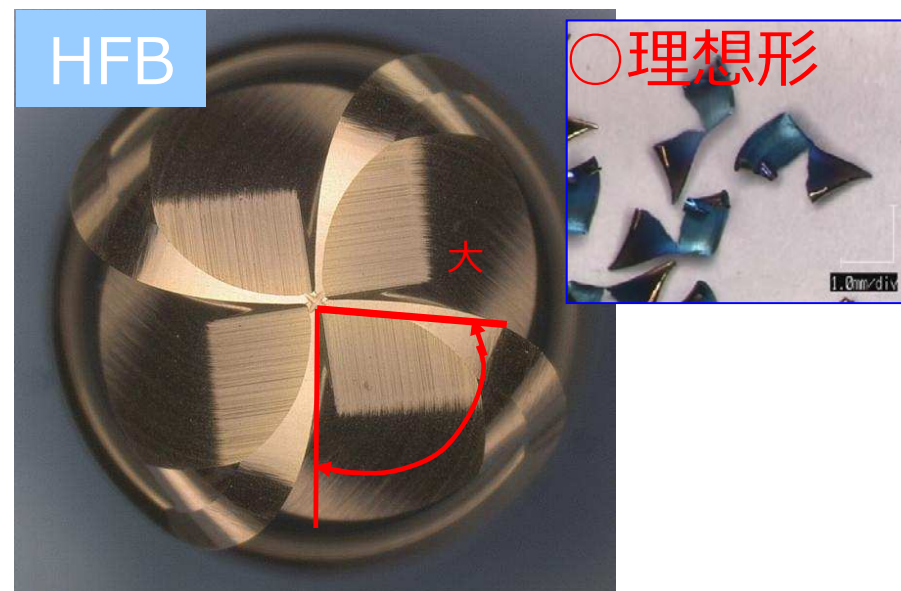
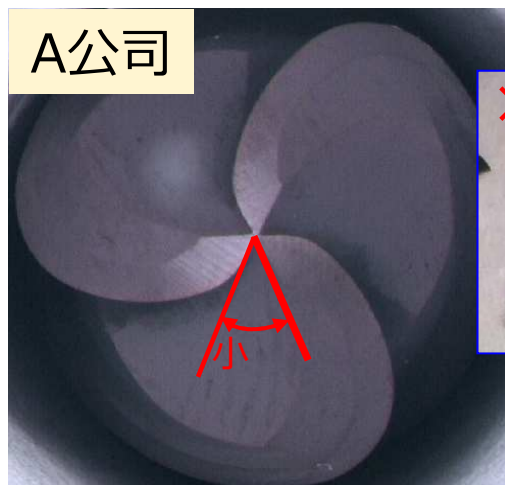
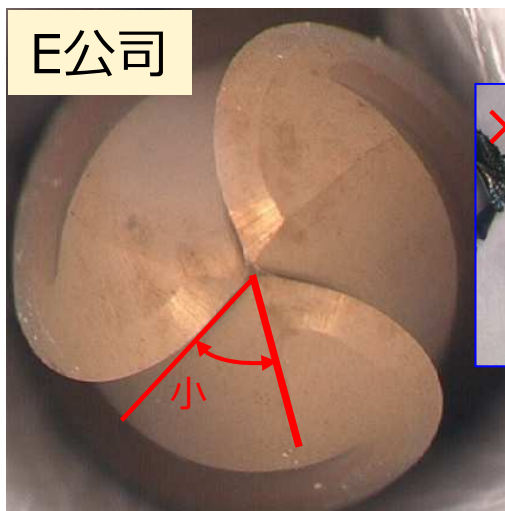
	带状形	单元形	挤裂形	崩碎形
模式图				
特征	- 切屑连续通过刀刃的前刀面流动形成的 - 施加于刀刃的压力稳定, 能获得顺滑的加工面 - 是理想的形态 ※如切屑的长度没有适合的断裂, 它们可能会卡在刀具中, 阻碍切削。 →需要一些手段使切屑能在适当的长度断裂 (刀具形状, 切削油)	- 切屑部分的变形 → 重复切断 - 相比带状形, 加工面较差	- 切屑部分于刀具上堆積, 最终导致撕裂和断裂 - 加工面会留有裂纹	- 切屑变形时, 工件与被切离的材料分开并产生裂纹 - 裂纹会严重破坏机加工表面
原因		- 工件材料较脆 - 工件材料的导热率较低	工件材料的延展性较高。	工件材料较脆
对策		增加切削速度	减少切深、增加切削速度	增加切削速度, 降减每刃的切削量

切屑形态是切削方式的信息来源

切屑的形态 —切削热的产生与切削温度—



与其他公司产品比较 请注意切屑形状



其他公司产品前端部的排屑腔小，
切屑排出性能差。

设定加工条件

用HMS样本条件的切屑



为了抑制切削热的同时
提升切削效率

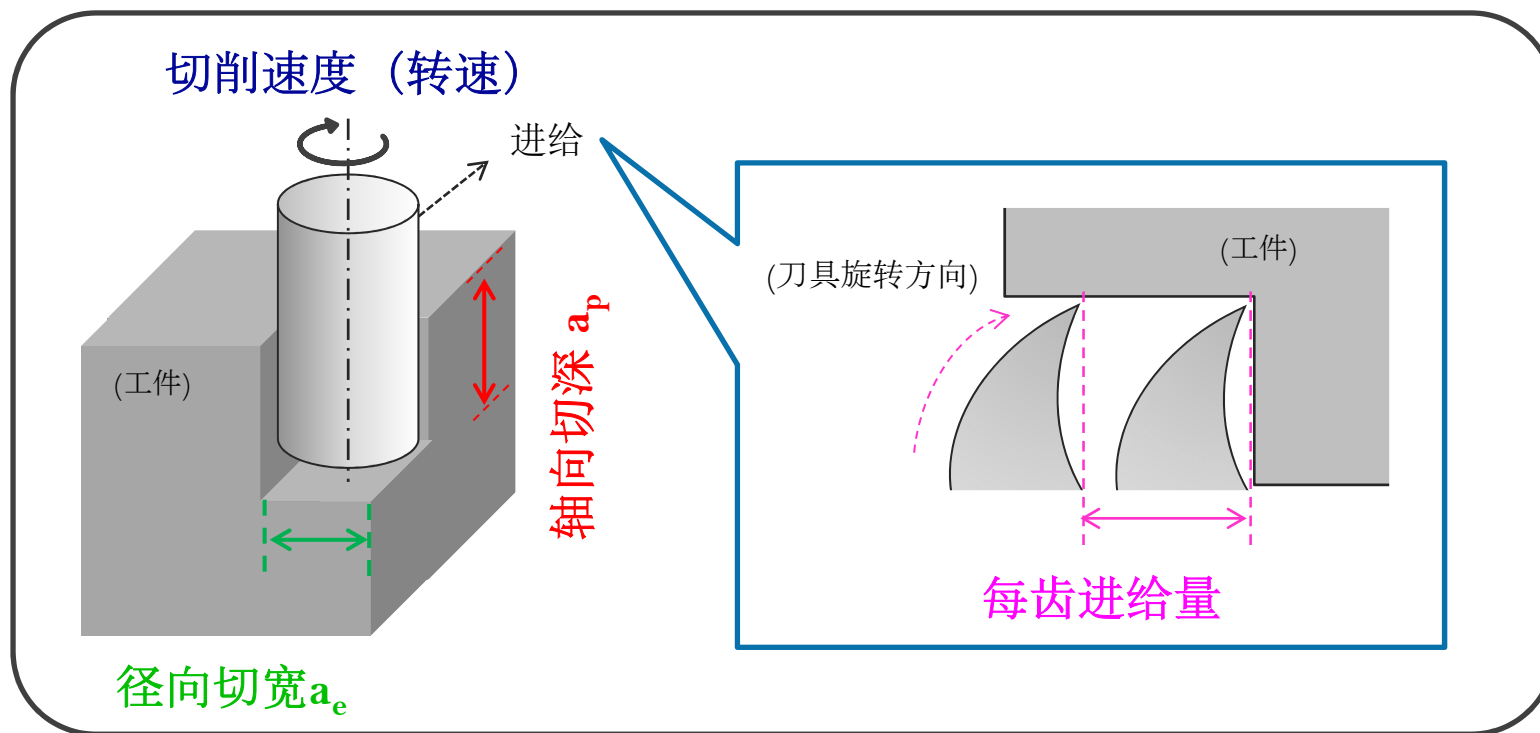
切削速度（刀具转速）

每齿进给量

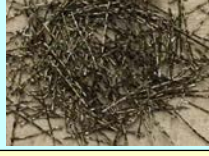
径向切宽 a_e

轴向切深 a_p

究竟应该变更哪个参数呢？

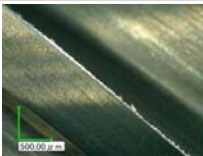
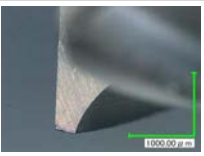
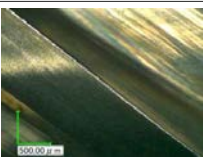
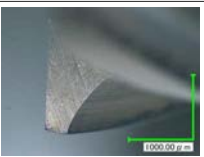
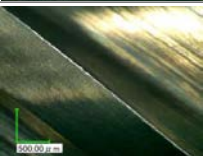
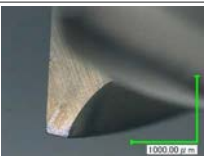
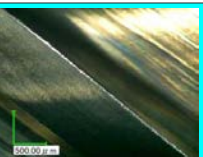
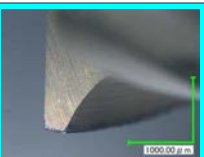
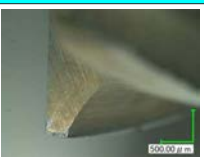
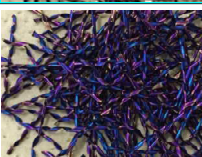


HMS SKH51 最优化的加工条件

		n min ⁻¹	切削速度 m/min	Vf mm/min	每齿进给量 mm/t	Ap mm	Ae mm	效率 mm ³ /min
条件1		4000	125.6	1350	0.0563	10	0.15	2025
条件2		3000	94.2	1000	0.0556	10	0.15	1500
条件3		2000	62.8	675	0.0563	10	0.15	1013
条件4		2000	62.8	675	0.0563	20	0.2	2700
条件5		2000	62.8	1000	0.0833	20	0.2	4000
条件6		2000	62.8	1000	0.0833	20	0.4	8000

HMS SKH51 最优化的加工条件

各加工条件下加工后的刀具 条件1～3 加工9000mm³、
条件4～6 加工50000mm³后的状态。（条件5是加工20分钟以后）

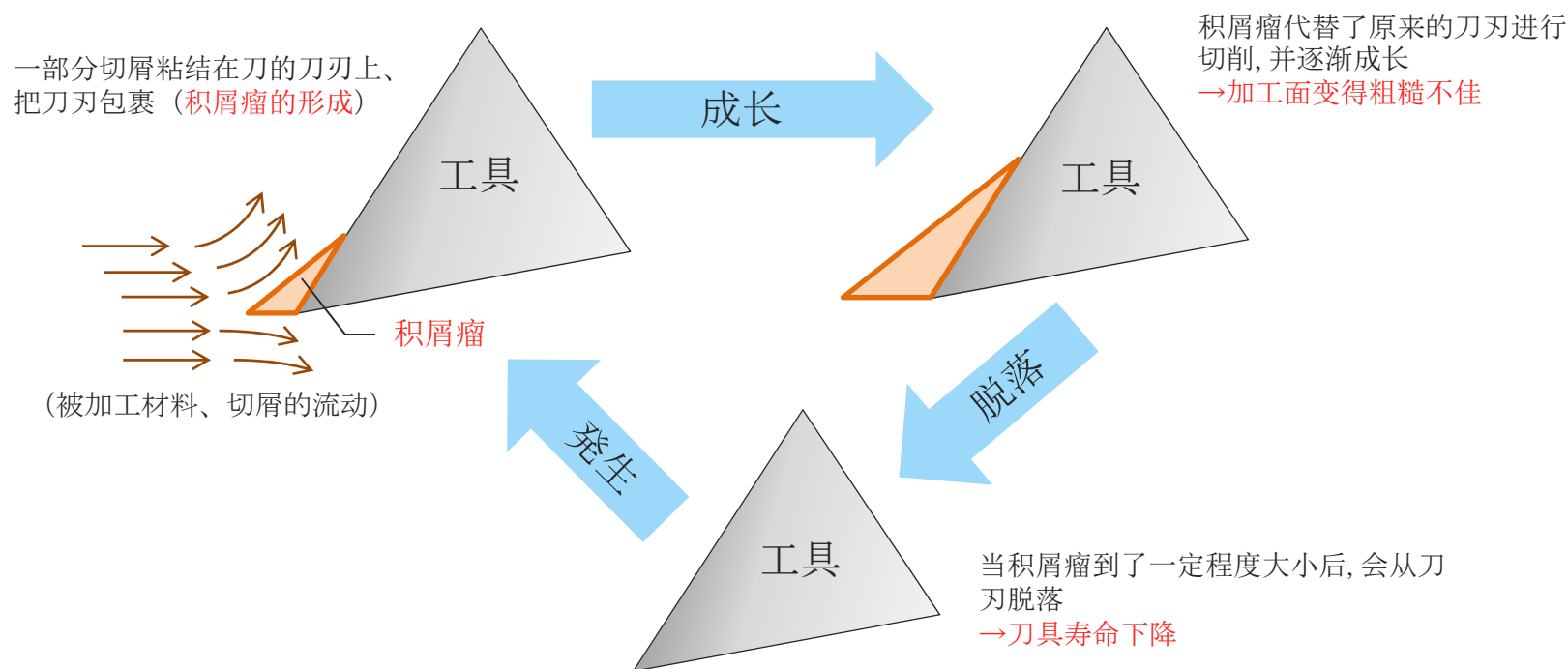
	外周后刀面	前刀面	切屑	效率 [mm ³ /min]
条件1				2025
条件2				1500
条件3				1013
条件4				2700
条件5				4000
条件6				8000

切削加工的现象 —积屑瘤的形成—

- 在实际的切削过程中会出现各种现象，这将会是加工上的障碍。

积屑瘤...是一部分切屑粘结在刀具上,把刀刃包裹,并代替了刀刃继续进行切削。

积屑瘤的形成周期



对策

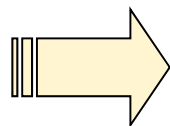
- 增加切削速度、提高切削温度。
- 使用润滑性优良的切削油。

故障对策 振纹

振纹

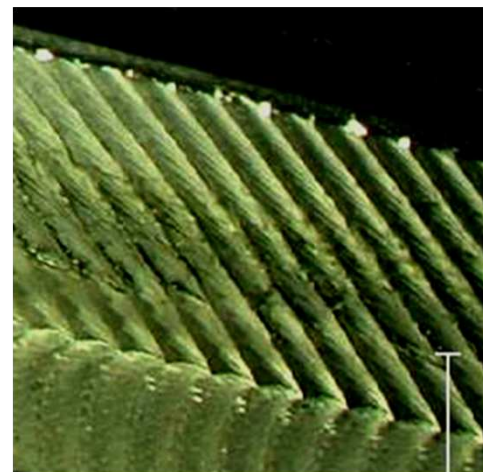
切削时，刀具与加工材料之间发生振动，
加工面呈周期性变化的显现

表面粗度恶化



切削变的更困难

振纹的主要原因...振动



振纹的原因	对 策
• 主轴转速与机械固有的振动数之间的共振	• 改变主轴的回转数
• 刀具的夹持刚性低	• 加长刀具的夹持部分 • 提高刀具的夹持力 • 采用热装固定方式
• 刀具的刚性低	• 减小 L (刀具伸出长度)/ D (刀具直径)
• 机械的刚性低导致振动	• 低切削进给 • 低径方向切入 • 低轴方向切入
• 由于断续切削导致切削力的变动大	• 通过刀具高螺旋化减轻断续切削 • 通过增加刀具切削刃减轻断续切削
• 工件固定低刚性	• 重新考虑闭锁装置的数量・位置

切削力 —切削力的分力—

切削力...在切削加工时，工件材料抵抗刀具切削时产生的阻力。
可分为3个方向的分力

进给分力

与进给方向的水平分力。
决定切削时需要的进给
功率

刀具的旋转方向

刀具的移动方向

工作物

主分力

垂直于进给分力的分力。会受到切削时的
热量所影响。从主分力的大小可以判断切
削时所需要的动力。
(例：车床等类型)

背向分力

轴向分力。是使工件/刀具变形的
作用力, 如过大的话, 会降低工
件的精度。

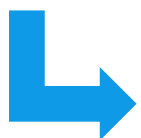
$$P = \frac{F \times v}{60 \times 10^2 \times \eta}$$

P ：切削所要动力(kW)
 F ：主分力(kgf)
 v ：切削速度(m/min)
 η ：机械的效率

切削力 —主分力的大小变化原因—

- 切削力的3个分力、主分力较为重要

(因它是决定切削时所需要的动力和热量产生的要素。)



通常，主要分力可以被称为“切削阻力”。

- 切削阻力（主分力）是因应切削时的参数而变化。

使切削阻力变化的主因（普遍的倾向）

切削阻力（主分力）	小	大	备注
工件材料	软	硬	—
刀刃形状 (前角的大小)	大前角	小前角	前角大约为30度的范围时, 主分力会开始减少。
切削面积 (切量x进给量)	小	大	小切量, 大进给量时, 主分力减少的情况也可能出现
切削速度	速度快	速度慢	速度到了一定程度以后, 不会有太大变化。

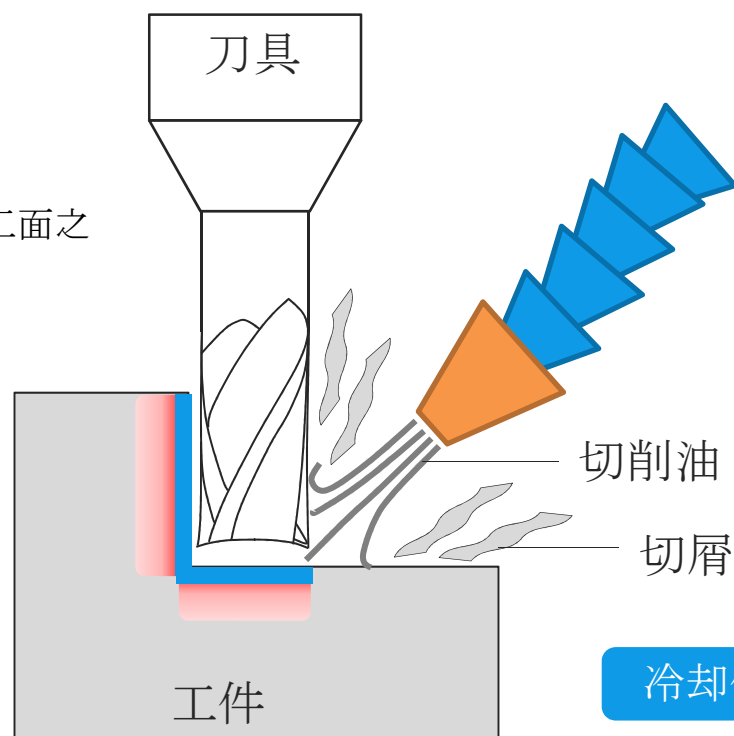
切削油 —一切削油的作用—

切削油...使切削加工获得良好的加工面
配合使用可使刀具寿命延长

切削油的3个作用

润滑作用

- 防止刀刃, 切屑及加工面之间的磨擦
- 防止积屑瘤的形成



清洁作用

- 冲洗切屑
- 防止刀具磨损及加工面刮伤

冷却作用

- 冷却刀具从而延长刀具的寿命
- 防止工件因温度上升以致尺寸偏差

切削油 —一切削油的特性—

切削油的要求

- 对人体无害
- 不会使工件或设备上漆
- 低着火和冒烟风险
- 不容易变质, 变坏

实际上也许不能完全满足所有的要求。



切削油的选择是根据「刀具寿命」・「加工面」・「切削效能」等要求而定的。

切削油的种类与特性

切削油

水溶性：冷却性良好

非水溶性：润滑性良好

非水溶性切削油的性能决定要素・・・

粘度：低粘度→冲洗/冷却作用 大
高粘度→润滑作用 大

添加剂：有→改善切削性能
(但也许会腐蚀供油装置和工件, 在高温切削时
有机会产生有害气体会)

脂肪油分：有→防止积屑瘤的形成
改善润滑作用



UNION TOOL CO.

Copyright © UNION TOOL CO. All rights reserved.

切削油 —MQL加工—

MQL(Minimum Quantity Lubrication)是 . . . 仅使用少量切削油的加工方法。

使用切削油时的问题点 . . .

成本...切削油的费用 · 驱动电泵的电费

环境负荷...废弃废液的处理和大量电能的消耗

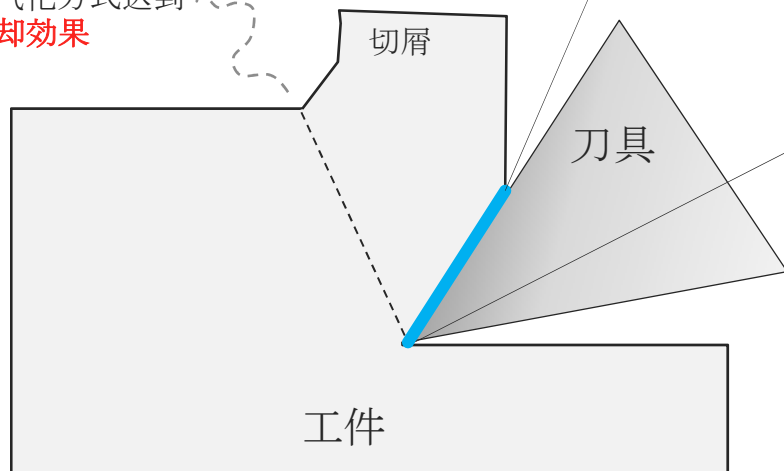
希望减少切削油的使用量

MQL加工以少量 (2~10ml/hour) 的切削油在高压下以喷雾方式使用

(有个案在采用MQL后, 能源成本减少25%, 切削油成本减少95%)

切削油在MQL中的功能

以气化方式达到
冷却效果



于刀具的前刀面
成形润滑膜→减低磨擦阻力

由于真空拉入的作用, 可以使用最少的切削油
→不断润滑效果

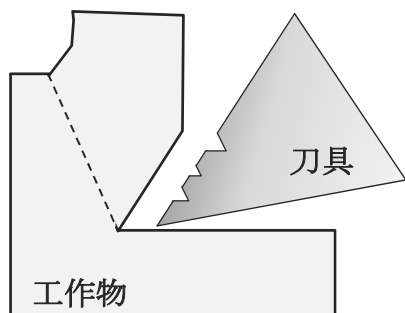
MQL使切削油的润滑作用最大化!

※但发热量太大时, 也可能造成切削加工时, 冷却不足的情况。

刀具磨损 —磨损的形态—

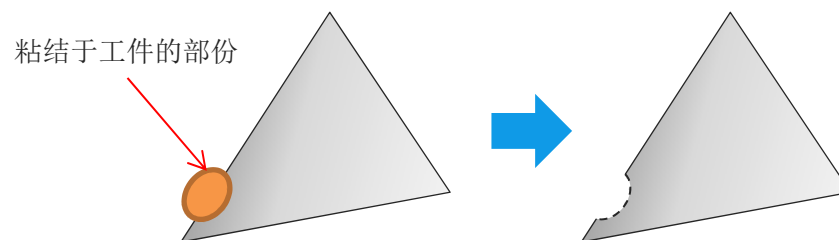
- 在切削进行时, 刀刃会产生磨损。
- 磨损会因应不同原因, 以不同形态呈现。以下是一些代表性的例子。

机械磨损



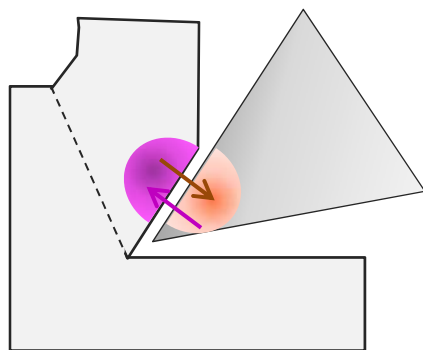
刀刃被工件中较硬的粒子等刮掉, 产生磨损

粘结磨损



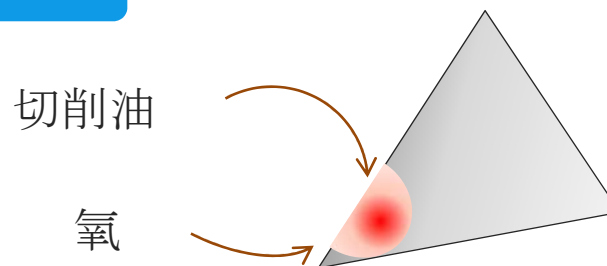
前刀面发生粘结, 于脱落时把刀面的一部份带走, 产生磨损

扩散磨损



工件与刀具之间相互发生扩散作用, 生成相对不硬的化合物, 产生磨损

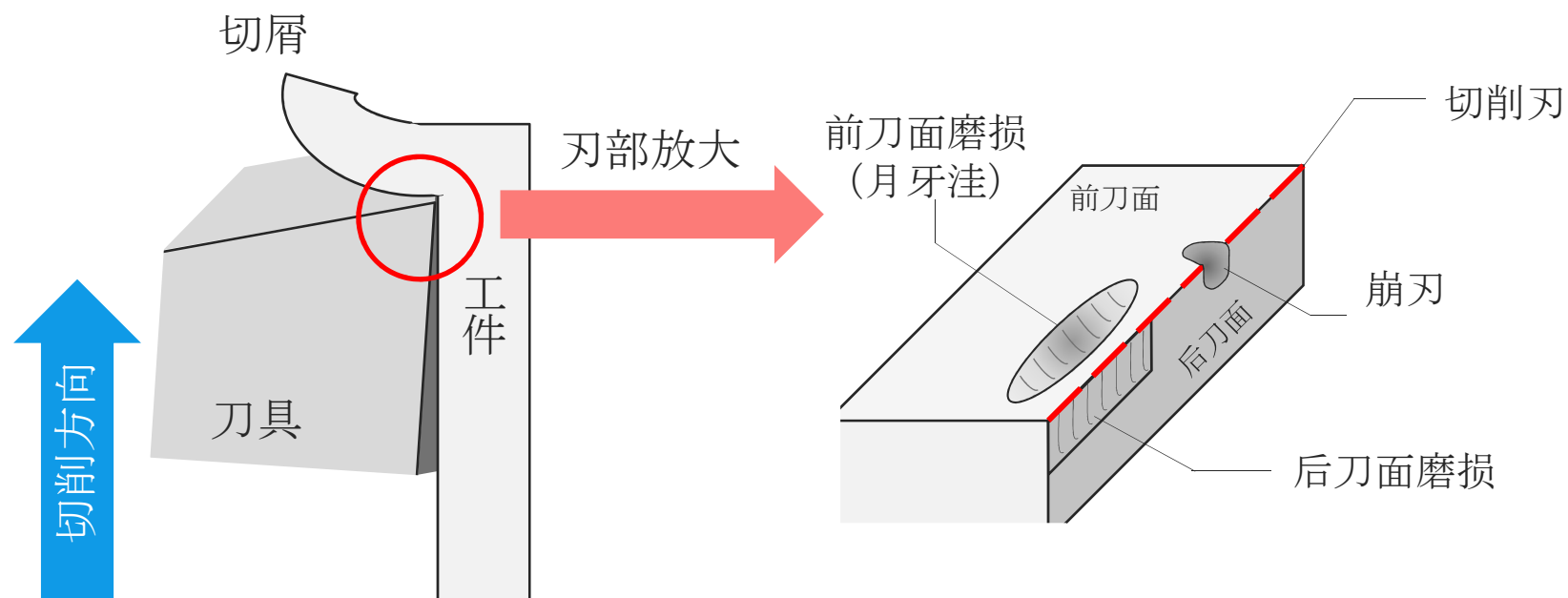
化学磨损



刀具与其它物质 (切削油/空气中的氧) 发生反应生成化合物, 这部份被带走后, 产生磨损

刀具磨损 —磨损部位—

切削刀具的刃部磨损, 能根据磨损的部位有不同称呼。

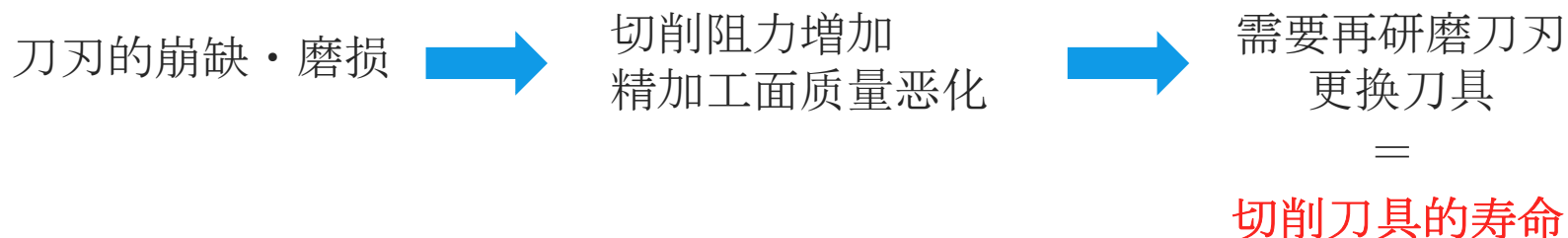


※月牙洼
是前刀面的磨损, 于接近刀刃的位置产生了洼凹
容易出现于以硬质合金刀具高速切削钢材时。

如刀具发生磨损, 便需要更换或再研磨刀刃

→切削工具的寿命

刀具寿命 —寿命的标准・判断—



刀具寿命的判断基准

- 当精加工表面出现明显的条纹时。
- 当精加工尺寸或精加工表面粗糙度的变化达到一定程度时。
- 当切削力的背向分力或进给分力急速增加时。
- 当切削力的主分力与切削开始时相比增加到一定程度时。
- 刀刃的磨损达到一定程度时。

硬质合金刀的刀具寿命判断

后刀面磨损 w (mm)	月牙洼的最大深度 t (mm)	备注
0.2	0.03	精密轻切削、 非铁合金等精加工
0.4	0.05	合金钢等加工
0.7	0.08	铸铁・钢等一般加工
1 ~ 1.25	0.08	普通铸铁等粗加工

刀具寿命 —寿命的决定要素—

刀具寿命方程式 (F.W.泰勒)

$$V_c \cdot T^m = C \Leftrightarrow T = \left(\frac{C}{V_c} \right)^{\frac{1}{m}}$$

V_c : 切削速度(m/min)	T : 寿命时间
m : 常数	C : 常数

从以上方程式得知 . . .

切削速度 V_c 增加



工具寿命 T 减少

(由于刀刃的切削速度增加, 切削热随之上升)



选用耐热工具材料,
抑制切削热的方法 (切削条件, 正确的冷却油) !

※近年来, 由于涂层硬质合金刀具的发展, 耐热能力大大改善, 能直接使用上述方程式的刀具已不多。
像立铣刀之类的断续性加工, 与上述方程式表达的趋势会出现差异。

总结

切削作用

「刀刃的移动」 → 「发生塑性变形」 → 「切屑排出」 不断重复进行切削加工。

切屑

形态受切削参数 · 工件材质 · 发热等因素影响

➡ 是进行了什么切削加工的信息来源

实际切削加工现象

积屑瘤
振动



影响刀具寿命和加工面的品质



必需采取防止措施

切削力

因应刀具的切削能力和切削条件等参数而变化 (与切削状态, 动力, 切削热能等关连)

切削油材

了解切削油的作用, 能配合不同切削加工需要而作出适当的选择

刀具寿命

刀具的使用 ➡ 因磨损等原因
刀具的状态恶化 ➡ 加工面质量下降

- 判断刀具的寿命, 可获得良好的加工面
- 借助涂层的技术, 可以延长刀具寿命及改善切削性能