

机械加工 先进工艺窍门

图示例解实用手册

JIXIE JIAGONG XIANJIN GONGYI QIAOMEN
TUSHI LIJIE SHIYONG SHOUCHE

◎ 主编 孟凡智



吉林出版集团有限责任公司
吉林电子出版社有限责任公司

16506-62

22

3

机械加工先进工艺窍门 图示例解实用手册

孟凡智 主编

第三卷

吉林出版集团有限责任公司
吉林电子出版社有限责任公司

表 7-8-19 单刃铰刀的切削用量

工件材料		主切削刃形状编号(据表 7-8-19)											
		1			2			3			4		
		背吃刀量 0.05~0.25(mm)											
		$v/$ ($m \cdot \min^{-1}$)	$f/$ ($mm \cdot r^{-1}$)	γ	$v/$ ($m \cdot \min^{-1}$)	$f/$ ($mm \cdot r^{-1}$)	γ	$v/$ ($m \cdot \min^{-1}$)	$f/$ ($mm \cdot r^{-1}$)	γ	$v/$ ($m \cdot \min^{-1}$)	$f/$ ($mm \cdot r^{-1}$)	γ
结构钢	$\delta_a < 400MPa$			12°			12°						
	$\delta_b < 400MPa$	12~25	0.1~0.4	12°	25~70	0.1~0.4	12°	4~12 6~12	0.2~0.4	12° 6°	25~90	0.1~0.3	12° 6°
	$\delta_b > 400MPa$			6°			6°						
Cr-Ni 钢		8~20	0.1~0.4	12°	20~30	0.1~0.3	12°	4~7	0.2~0.4	12°	20~50	0.1~0.3	12°
不锈钢		5~12	0.1~0.3	12°	8~30	0.1~0.3	12°	2~8	0.2~0.4	12°	10~30	0.1~0.2	12°
铸铁		12~30	0.3~0.4	0°	20~90	0.1~0.4	0°	6~20	0.2~0.4	0°	20~70	0.1~0.4	0°
可锻铸铁		12~20	0.1~0.3	0°	20~50	0.1~0.3	12°	5~20	0.2~0.4	12°	25~60	0.1~0.3	12°
硅铝合金		12~20	0.1~0.3	0°	30~70	0.06~0.3	6° 12°	3~12	0.2~0.4	6° 12°	30~150	0.06~0.3	6° 12°
锌合金		12~20	0.1~0.3	12°	30~90	0.06~0.4	12°	7~15	0.2~0.4	12°	50~100	0.06~0.3	12°
硬铝		12~30	0.1~0.3	12°	30~70	0.1~0.4	12°	4~12	0.1~0.4	12°	40~150	0.06~0.3	12°
软铜		1~20	0.1~0.3	0°	20~50	0.1~0.3	12°	4~12	0.1~0.4	12°	20~50	0.1~0.3	12°
硬铜		12~30	0.1~0.4	0°	20~50	0.1~0.4	0°	6~20	0.1~0.4	0°	20~70	0.06~0.4	0°
短屑黄铜		10~30	0.1~0.4	0°	20~50	0.1~0.4	0°	6~20	0.1~0.4	0°	20~70	0.06~0.4	0°
长屑黄铜		7~25	0.1~0.4	12°	20~70	0.06~0.4	0°	6~20	0.1~0.4	0°	30~80	0.06~0.4	0°
磷青铜		12~25	0.1~0.4	6°	20~70	0.06~0.4	6°	5~12	0.3~0.4	12°	30~80	0.06~0.4	6°
硬塑料		12~25	0.1~0.4	0°	20~70	0.1~0.4	0°	6~20	0.1~0.4	0°	80~150	0.1~0.4	0°

5. 单刃铰刀对机床的要求

用于单刃铰刀加工的机床尚无专业化产品规格,需要由用户自行设计或改造已有设备,也可以利用现有深孔加工机床。

在配置机床设备时,应首先区分以下两种不同的生产条件:

①当产品对象的孔径尺寸范围不大,又有足够大的生产批量时,可采取旧机床改造或自行设计专门化用途的机床。机床应满足下面一些基本要求:机床主轴转速范围应满足最小铰孔直径的要求和必要的变速级别;机床功率应符合最大孔径的加工要求;机床应配置流量足够的液压系统,液压为 2 MPa 左右即可。

②如用于多品种、中小批生产且铰孔直径变动范围较大的场合,可利用现有深孔钻床。排屑方式可采取从刀杆外部进油、向前排屑,或从刀杆内部进油、向前排屑。如自行设计,主轴最高转速应不低于 5 000 r/min,并应有良好的动态性能。机床应具有与双管喷吸钻相当的切削液系统。

总之,单刃铰刀的突出优点是工效高(比多刃深孔铰刀高 3~5 倍)、具有自导向功能,结构较简单,刀具寿命高,并能适应各种材质的加工。其不足之处是:切削刃的刃磨不易掌握;

因切深范围太小(但与普通多齿铰刀相比,其切深则大得多)而对预制孔的精度有依赖性。

由于单刃铰刀尚未实现专业化生产,本技术虽然是中小直径深孔精加工的有推广前途的高效工艺,但对一般工具制造能力不高的企业,较难于推广应用,也不适用于多品种小批量生产。

三、其他小深孔精加工技术

20世纪60年代以前,对于深孔精加工的需求主要来自军工生产。枪炮管是最典型的精密深孔零件:其长径比为40~80,内膛有严格的尺寸精度、圆度、圆柱度要求、表面粗糙度 Ra 值不大于 $0.8\mu\text{m}$,而且对粗糙度常常有特定方向性要求(例如与膛线方向一致)。由于枪炮管材料一般是各种高强度合金钢,而且深孔的精加工通常都是在热处理(调质、淬火、回火)状态下进行的,工艺上有很高的难度,因此曾经采用过多种多样的深孔精加工技术。目前已经在制造业得到广泛应用的深孔精加工技术,多数来源于军工生产。此类深孔精加工技术虽未普遍应用于民品制造业,但在特定条件下仍具有其使用价值。以下选择其主要方面做简单介绍。

1. 用成套拉刀拉削深孔

拉削方法至今仍是汽车制造等行业中加工精密浅孔和花键孔的高效方法。在枪管光膛和膛线加工中,也曾得到应用和发展。

(1) 枪炮膛深孔拉削的特点

①整套拉刀分为三组:第一组为光膛拉刀,用于将原有精度、粗糙度不高的底孔加工成尺寸、形位精度、表面粗糙度相当于成品要求的圆柱深孔。拉刀的数目一般为5~7把;第二组为膛线拉刀,用以拉出螺旋形阴线,数目为4~5把;第三组为修光拉刀,用于修整阳线。

②所有拉刀都必须按照膛线的轨迹与工件相对运动。

③深孔拉削的突出特点是切屑处理问题。如果采取让刀槽容纳切屑的常见方法,由于加工面很长,容刀槽必须加大加长,从而延长拉刀的总长度;如果采取边加工边排出切屑的方案,拉刀槽必须是螺旋结构,刀齿必须能断屑。

④由于拉刀的长径比大,而中心部直径相对较小,所以对拉刀的材质和热处理要求更高。

⑤深孔拉刀的引导部分与普通拉刀不同。光膛拉刀的引导部分必须磨出与工件孔已形成阴线相吻合的配合面,才能正确发挥引导作用。因此,深孔拉刀的设计、制造都相当复杂。

(2) 深孔拉刀的结构和配置

图7-8-75为用于 $\phi 12.7 \sim \phi 37\text{mm}$ 枪炮管加工的成套圆拉刀结构(本图为 $\phi 37\text{mm}$)。全套共13把。图(a)为光膛拉刀,共7把,共承担加工余量 0.875mm ;图(b)为阴线拉刀(又称膛线拉刀),共5把,共承担加工余量约 1mm ;图(c)为阳线修整拉刀,共一把。每套拉刀的全长相等($\phi 12.7$ 拉刀全长为 520mm , $\phi 37$ 拉刀全长为 912mm ,拉刀直径越小,长径比越大)。拉刀共分为5个部分:最前端为具有方牙螺纹的连接部分,用以与拉刀杆配合并承受全部拉削力;其次为前导向部分,具有通油槽;切削部分共有12个齿,其中最后两个齿的齿升为0,即校准齿。各齿有分屑槽,相邻刀齿的分屑槽互相交错并与膛线轨迹一致。后导向部分的长度较短。最后一段为尾部,用于手持和装卸刀具。

当枪管口径很小时,拉刀的长径比极大($\phi 7.62\text{mm}$ 枪管的拉刀总长度为 520mm ,长径比

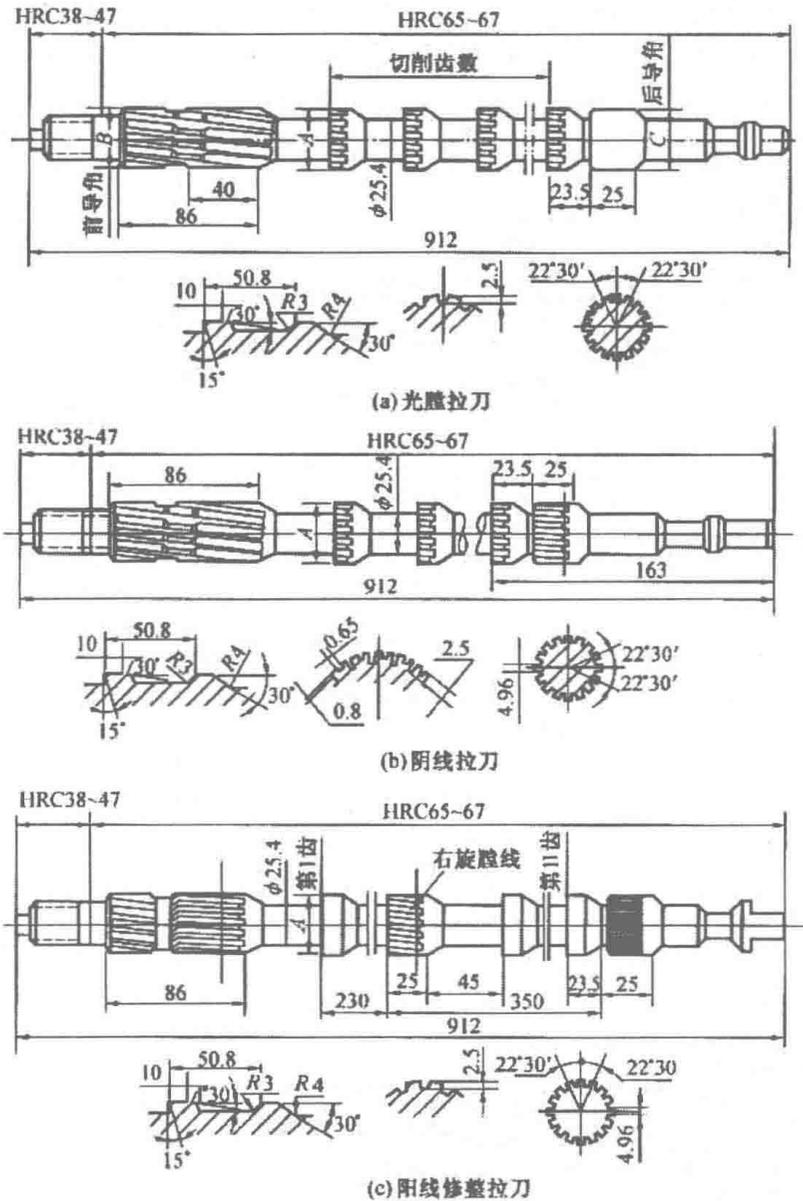


图 7-8-75 枪炮膛加工用深孔拉刀

达 68), 既难制造又难使用。 $\phi 25\text{mm}$ 以下的枪炮管, 可采用图 7-8-76 所示的螺旋齿深孔拉刀。这种拉刀的最大特点是具有双头螺旋槽, 可实现连续供油和排屑, 拉刀的全长也相对缩短很多。

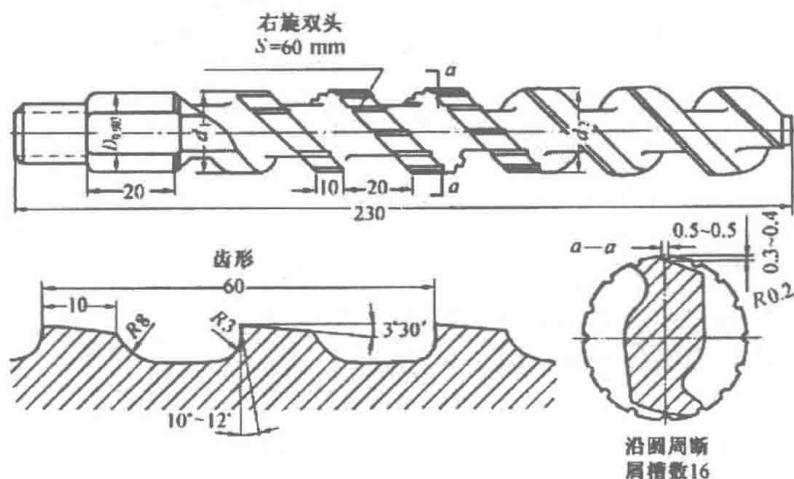
拉刀的切削部分共有 6 对齿(相当于 3 个导程, 6 个螺距)。前 3 对有齿升, 起切削作用, 齿周有分屑槽; 后 3 对齿为校准齿, 直径不变且无分屑槽。刀齿螺旋线的导程通常取为直径的 3 倍。杆心的直径是渐减的: 最初相当于拉刀公称直径的 65%, 至拉刀末端, 逐渐减小为公称直径的 40%~45%。这样, 既适应轴向拉伸和剪切力逐次降低的趋势, 又满足了切屑通过量逐增的需要。

全套螺旋拉刀共 8 把: 4 把为光膛拉刀, 3 把为阴线拉刀, 最后一把用于阳线修整。

图 7-8-77 为深孔拉刀的加工配置示意图。先将工件的右端装入夹具的定位套, 其左

端由带压缩弹簧的空心锥套顶紧。之后,刀杆在夹头的夹持下被推过工件孔。拧上拉刀,并使导向部分进入工件孔定位之后,通入切削液并开始刀具进给。螺旋进给运动由刀具完成。

切削液的供入方式有两种:圆拉刀的切削液可由后向前(图(a))供入,也可由前向后(图(b))供入。但螺旋拉刀只能采取图(b)的供油方式。



拉刀号码	$D - 0.03$	$d_1 - 0.02$	$d_2 - 0.02$
I	21.20	21.30	31.50
II	21.45	21.50	21.70
III	21.65	21.70	21.90
IV	21.85	21.95	22.00

图 7-8-76 $\phi 22\text{mm}$ 螺旋齿深孔拉刀

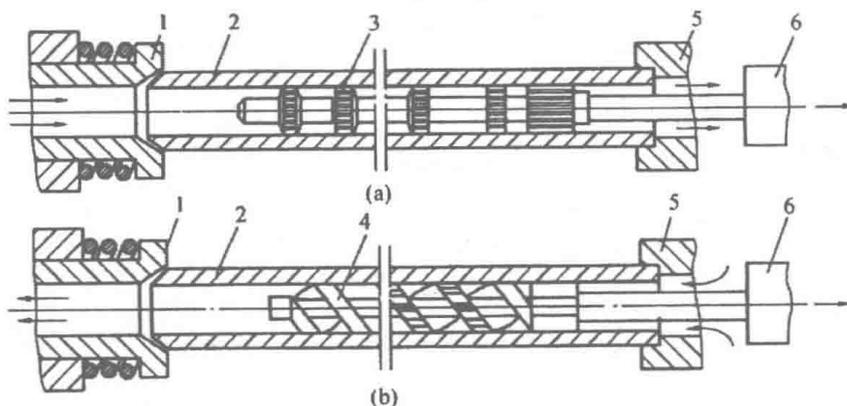


图 7-8-77 深孔及膛线拉刀工作示意图

1-空心锥套;2-工件;3-圆拉刀;4-螺旋拉刀;5-夹具;6-主轴夹头

深孔拉削设备可用普通车床改装,或采用专用的多轴半自动拉床。美国生产的“拉波因特”五轴六工位(其中一个工位用于装卸工件)深孔拉床,每小时可加工 25 支枪管,适用于圆拉刀和螺旋拉刀。拉光膛和拉阴线各用一台拉床,或分为两道工序进行。

(3)深孔拉削的工效和刀具寿命

在正常情况下,用拉削方法将 $\phi 12.7 \sim \phi 37\text{mm}$ 的枪炮管内膛由精加工到形成膛线,比原

先采用的多次铰孔和拉膛线的工艺方案工效高,加工质量更有保证(特别是采用半自动多轴拉床)。主要由于拉削的工效比较孔高得多(拉刀的进给速度为 $0.5 \sim 5\text{m}/\text{min}$,而多齿铰刀为 $0.15 \sim 0.25\text{m}/\text{min}$),而操作工人数和机床占地面积少得多。深孔拉刀的综合寿命也比较刀高:平均走刀 $75 \sim 100$ 次才需要磨一次,而且每根拉刀的直径由大到小可刃磨多次,直到尺寸低于下限为止。所以,每组拉刀只需制备最大号的,淘汰最小号的。一套拉刀在正常情况下可加工 $2\,000 \sim 2\,500$ 支枪(炮)管。

深孔拉刀的最大缺点是难制造、刀具成本高,所以特别不适用于多品种小规模生产。其可取之处在于为高强度深孔零件的精加工提供了一种可供选择的加工手段。

2. 用冲头挤压法加工深孔

用冲头挤压法加工枪炮膛并形成膛线的方法,曾被广泛应用于国内外兵器制造。如果条件适合、运用得当,可用以取代成本昂贵的切削加工装备,成为高工效、低成本的一种深孔精加工手段。

图 7-8-78 为冲头挤压深孔和膛线的示意图。图 7-8-79 为两种典型结构的冲头。工件孔在挤孔前应先进行调质或正火,使材质硬度尽量均匀一致。工件的外径应尽量先期加工至接近成品尺寸。在工件孔的冲头入口一端,需预先加工出一个正确的 60° 锥孔,以保证冲头加工前能正确地定位。工件的底孔粗糙度 Ra 不应大于 $3.2\mu\text{m}$,孔径公差应与成品工件孔的公差相当。

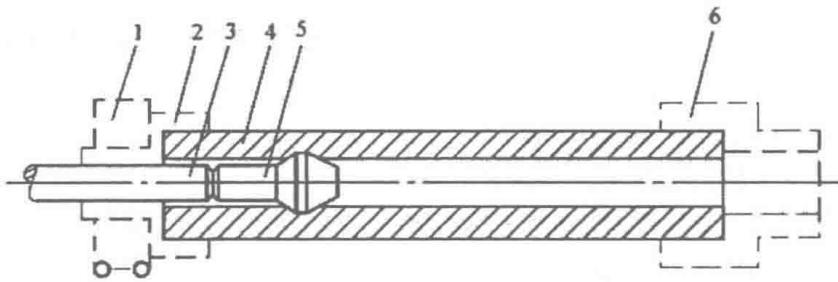


图 7-8-78 冲头挤压深孔和膛线的示意图

1-活动支架;2、6-定位套;3-顶杆;4-工件;5-冲头

加工的工作程序如下:先将冲头 5 的前锥置入工件 4 预制孔内(有 60° 锥的一端),然后一起在活动支架 1 端部的定位套 2 上定位,使冲头尾端插入定位套中央的顶杆 3 的引导孔中。工件的另一端装在主轴的定位套 6 内并以端面定位。由于顶杆 3 的末端是固定的,当主轴开动向左水平进给时,冲头受顶杆的反力而挤入工件,直至工件行程终结,冲头自动由孔内弹射出来,孔的挤压加工即告完成。

在枪炮管制造中,不论挤光膛还是挤膛线,主轴都要按膛线轨迹同时完成旋转和进给两种互相谐调运动。

图 7-8-79(a)的冲头,由导引部(头部)、工件部和尾部组成。导引部由一段锥体和一段圆柱构成,圆柱部分的直径略小于待加工孔,其作用是导引冲头顺利地进入待加工孔。工作部包括前锥 1,圆柱 2(定径部分)和后锥 3,是冲头的关键部分。圆柱 2 的直径大于底孔一个过盈量。当冲头向前推进时,前锥使原有孔由小逐渐变大;当通过圆柱部分时达到最大值。当通过圆柱部分进入后锥时,孔的塑性变形部分不再恢复,而弹性变形部分随后锥的前移而逐渐恢复。冲头的尾部用以传递冲杆的推力,其底部一般加工成中央突起的凹面,与冲

杆的前端相吻合,起定心作用,见图 7-8-79(c)。

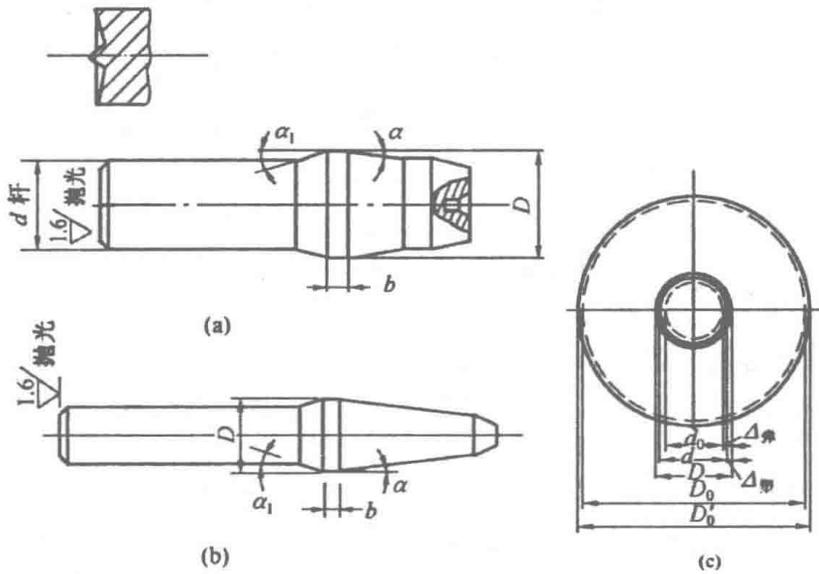


图 7-8-79 用于挤深孔的光冲头

d_0 —挤孔前孔径; D —冲头直径; d —挤孔后孔径;

D_0 —挤孔前外径; D'_0 —挤孔后外径

图 7-8-79(b)是另一种冲头设计。与前一种不同之处在于,其头部与工作部分的前锥合为一个锥体,而尾部端面为平面,从而使冲头的制造更加简单。

冲头的设计要点如下:

(1) 冲头直径 D 的确定

如图 7-8-79(c)所示,冲头直径与挤孔后所得孔径 d 之间的差值($D - d$)为工件内径的塑性变形量,而 d 与底孔直径(即挤孔前孔的直径) d_0 之差($d - d_0$)为工件内径的塑性变形量。由于冲头本身的刚度很大,其变形量可以忽略不计,由此可得

$$D = d + z\Delta_{\text{弹}}$$

式中, $\Delta_{\text{弹}}$ 为冷挤时孔壁单侧的弹性变形量。

上式的含义为:只要求得 $\Delta_{\text{弹}}$ 的值,就能求出冲头直径。 $\Delta_{\text{弹}}$ 取决于以下一系列因素:工件材料的弹性模量;热处理状态;工件外圆直径;壁厚尺寸等。如果通过计算方法求得 $\Delta_{\text{弹}}$ 的值,将十分困难。

同时应强调指出的是,冲孔前的孔径 d_0 必须适当小于 d 而不能等于 d 或比 d 小得太多。如果 $d_0 = d$,则 $\Delta_{\text{弹}} = 0$,即没有挤压力;如果 d_0 比 d 小得太多(即 $\Delta_{\text{塑}}$ 太大),将会使挤压力过大,可能使冲杆不能承受。

在实践中,冲头直径 D 是根据试验方法确定的,即根据粗略计算或估算(或参照已有数据)制造出一组(二三个)尺寸不等的冲头进行试加工,然后对冲头尺寸进行增减,直到合格为止。

表 7-8-20 为几种不同孔径管件挤孔工序的有关尺寸数据,从中可对挤孔有一般的了解。

表 7-8-20 冲头直径和孔的有关尺寸

mm

序号	d	D	d_0	$2(\Delta_{塑})$	$2(\Delta_{弹})$
1	7.62	7.67	$7.46^{+0.05}_0$	0.18	0.05
2	12.7	12.85	$12.4^{+0.07}_0$	0.3	0.15
3	14.5	14.645	$14.1^{+0.08}_0$	0.4	0.145
4	23.0	23.17	$22.51^{+0.1}_0$	0.49	0.17

(2)冲头中央圆柱部分的宽度(b)

b 的取值为 1.2 ~ 5mm, 随冲头直径增大而增加。取值太大会增大轴向力, 过小时会降低冲头的寿命并降低挤光作用。

(3)冲头的前锥角(α)和后锥角(α_1)

α 对轴向力有直接影响。 α 太大时轴向力随之增大, 但太小时前锥与孔壁接触面过长, 使摩擦阻力增加, 从而也会使轴向力增加。国内工厂习惯于采用 $5^\circ \sim 7^\circ 30'$, 国外研究资料有推荐 $1^\circ 30' \sim 5^\circ$ 的。

后锥角 α' 的作用在于使弹性变形平稳恢复, 并有减小轴向推力的作用, 一般取值 $5^\circ \sim 7^\circ$ 。

前后锥角与圆柱部分的过渡交线最好能倒成圆角, 对提高孔的表面质量有利。

(4)冲头全长 65 ~ 100mm

(5)冲头材料选用高强度优质工具钢, 常用材料有 Cr12M、CrWMn、Cr12V 等。冲头毛坯用锻制法制备, 并要求保持完好的纤维方向, 达到 II 级以上的碳化物偏析等级。冲头热处理硬度应达至 HRC 63 ~ 66。

用挤孔法加工深孔时, 由于顶杆的长度必须稍长于孔的深度, 而轴向推力很大, 所以顶杆的设计非常重要。图 7-8-80(a) 为不同孔径的推力曲线。当孔径为 $\phi 23$ mm 时, 顶杆承受的推力达到 $(22 \sim 24) \times 9.8 \times 10^3$ N 的巨大数值。图 7-8-80(b) 为推力沿加工长度的变化。当冲头圆柱部全部进入孔壁时 (l_1), 推力达最大值。随着后锥的进入, 推力降低并趋于平稳。当前锥开始走出深孔时, 推力开始减小。当圆柱部分走出深孔时, 冲头自动地“射出”。

顶杆(冲杆)的设计要点如下:

①顶杆的直径越粗越好, 以能通过已加工孔而又不擦伤孔壁为原则, 取值为 $0.98d$ 。顶杆的表面粗糙度 Ra 不大于 $1.6\mu\text{m}$ 。

②顶杆采用高强度合金钢, 调质硬度 HB220 ~ 250。顶杆的强度应进行核算。

设顶杆在正常受力时的弹性模数为 E , 应力增大时的弹性模数为 E_δ , 先求得折算弹性模数 $E_{折} = \frac{4EE_\delta}{(E + E_\delta)^2}$, 可求得最大推力 P 作用下不致使冲杆发生弯曲的最小冲杆直径

$$d_{\min} = \sqrt[4]{\frac{6Pl^2}{2\pi^3 E_{折}}}$$

式中 l ——顶杆长度。

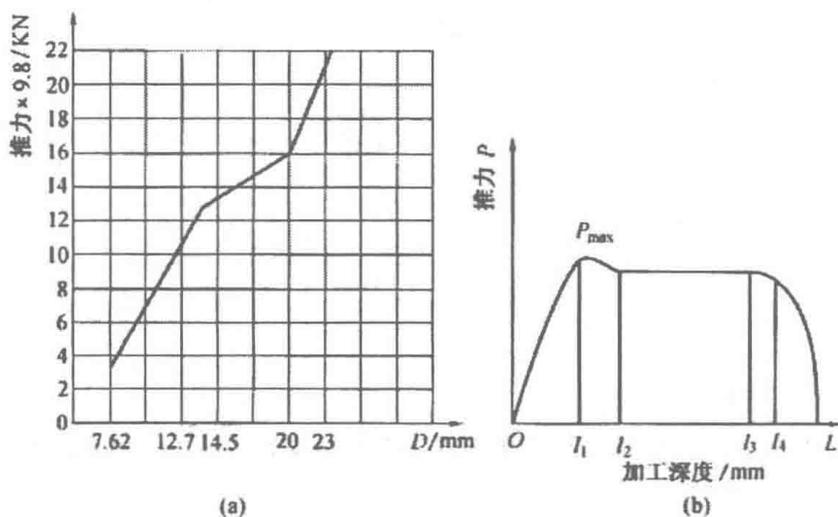


图 7-8-80 不同孔径的推力

当顶杆直径 d 为已知数时,则可以由下式求出顶杆的最大长度

$$l_{\max} = \frac{d_{\text{杆}}^2}{8} \sqrt{\frac{2\pi^3 E_{\text{折}}}{P}}$$

在兵器制造中,深孔及膛线挤压法的最大应用范围为 $\phi 23$ mm,孔深在 2 000mm 以内。

③顶杆与冲头的结合面应严格垂直于轴线,须经精加工和抛光。

为了达到良好的挤孔效果并控制推力不超过限度,还必须把握好以下几个环节:

①保持工件硬度的一致。工件材质越硬,挤压力越大,塑性变形所占比例则越小。因此,必须使每一工件在长度方向上硬度相差不大,而对于硬度差别较大的工件,应分别使用直径不同的冲头。

为此应采取两类措施:

a. 为保证同一工件硬度一致,热处理时应充分考虑工件是细长轴(管)的特点,除严格控制热处理规范外,还应采取立式炉加热、高压油冲入工件孔淬火等技术措施。

b. 当同一批工件的硬度差较大时,应在挤孔前按硬度分组。枪管分组的经验是:布氏硬度每间隔 20 为一组,相邻两组之间所用冲头直径相差 0.01mm。

②对挤孔前工件外径的要求。当其他条件不变时,工件外径越大,推力越大,塑性变形所占的比例越小,即所得孔直径越小。根据实践经验,外径尺寸变化超过 12% 的工件不适于采用挤孔法。如果工件外部在生产过程中有尺寸变动,最好将挤孔工序安排在外径尺寸差别不大时进行。

③挤孔法对润滑条件有特殊的要求。挤孔时由于冲头工作面与孔壁之间的压力太大,液体润滑剂的薄膜无法保持,从而会成倍地增大冲杆推力,且所得孔壁极不光洁。因此,对于厚壁管的冲孔一般采用金属润滑剂。具体做法是,挤孔前先用化学或电镀方法将金属润滑剂(一般用铜)附着于工件孔和冲头的表面上。传统的方法是先将工件置入含有 NaOH 的槽中煮沸去油、清洗,然后用通条端部的棉纱蘸上复铜溶液($w(\text{CuSO}_4) = 12\%$, $w(\text{HCl}) = 7\%$, $w(\text{SnCl}) = 1\%$,其余为 H_2O)以较快速度均匀擦过工件孔。这时孔表面就会均匀地附上一层铜的沉淀物。挤孔前,冲头工作部分也要在上述溶剂中蘸过,并在冲头上抹一层凡士林或甘油做补充润滑剂。

为了避免硫酸铜溶剂对孔壁造成腐蚀,挤孔后的工件应进行碱煮和清洗。但如果挤孔后进行回火处理,则碱煮可以省去。

④挤孔后的回火处理。挤孔后,工件孔壁上产生相当大的残余内应力(内壁为压应力,外壁为拉应力)。如果在挤孔之后还要进行外圆加工,就有必要在挤孔后进行回火处理,以消除其内应力。枪炮管的回火在铅炉内,加热到 510°C 并保温 60min 。

下面是对挤深孔方法的简单总结:

①挤孔法所用设备简单、工具成本低,功效远高于其他深孔精加工方法(冲头的最佳进给速度为 $0.77 \sim 1.03 \text{ m/min}$)。即使有一些辅助工序,但总体而言对技术的要求并不太高,是 $\phi 25\text{mm}$ 以下深孔零件(特别当工件外径变化不大时)大批量生产时可供选择的理想手段,尤其适合于缺乏深孔机床和工具制造能力的企业采用。

②小深孔精密无缝管在生产中的应用越来越多,其中特别突出的是小孔径不锈钢无缝管的广泛应用。用深孔钻、铰方法加工小不锈钢管,不但成本高,而且常常由于某些不锈钢的可切削性差,加工技术难度很大。但有不少难切削加工的不锈钢却具有良好的冷塑变加工性能,采用挤孔方法不失为一种很好的选择。

第五节 大、中直径深孔的精加工

本节重点研究专用于 $\phi 20 \text{ mm}$ 以上深孔的二次加工技术。

与小直径精密深孔相比,大、中直径深孔的精加工有以下特点:

(1)随着待加工孔径的增大,排屑和冷却润滑的难度进一步降低,排屑方式更加多样化。除小深孔精加工常用的外进油前排屑、内进油前排屑方式外,内、外排屑深孔钻的排屑方式都是可供选择的排屑方式。

(2)刀具直径的增大,使刀具结构更容易实现元件组装和调整。机夹可调整、机夹可转位深孔镗头的应用已成为主要趋势。

(3)深孔精加工的主要任务是提高孔的加工精度和表面质量。对于深孔精加工来说,提高加工合格率比提高工效往往更加重要(因为本工序的成本中,包括有深孔一次加工的成本在内)。因此,在大、中直径深孔精加工中采用单切削刃、自导向或加防振导向条(或二者兼备)、高刚度刀杆,已成为主流方向。多刃扩孔钻曾经用于火炮炮管钻孔(或炮管预制孔)后的二次加工,但它的主要作用与钻头相当(去除大余量,为精加工准备条件),所以不列为深孔精加工刀具。

从技术发展的视角来看,大、中深孔精加工工具可归纳为四大类:由内圆车刀发展而来的深孔镗头;由磨料加工工具发展而来的深孔珩磨头、砂带;深孔非切削加工技术与工具。

一、深孔镗削

镗削是深孔精加工的主要手段。它的优势在于:能适应各种不同的工件和材质,工效高、装备投资较低,加工精度可 $\text{IT}8$,加工粗糙度 R_a 可达 $0.8\mu\text{m}$ 。如果采用自导向镗头,还能加工出位置精度很高的深孔。



深孔镗削有推镗和拉镗两种不同的刀具进给方式。如果切削刀片位于镗头前方,加工时镗杆将镗头推过被加工孔(此时镗杆受压力),称为推镗。反之,将镗杆先穿过待加工孔,镗杆在拉力下使镗头通过待加工孔完成加工,称为拉镗。由于推镗法有利于发挥镗头的自导向作用且便于切屑排出,在实际生产中应用最多。

深孔镗削刀具中的典型结构有以下几种。

1. 强力粗镗头

强力粗镗头虽不属于精加工刀具,但在结构和功能上更接近于镗削工具,是内圆车刀向精镗头过渡的一种大深孔二次加工用刀具。

在火炮及重型机械制造中,其粗大管坯通常要在外圆荒车、粗钻孔、热处理和校直之后,对内外圆进行交替加工,最后成为具有较高精度的成品管件。这类管件因预钻孔精度很低且有表面变质层,不能直接进行精镗,而必须通过粗镗切除较大的余量,为精镗创造条件。强力粗镗头相当于将二三把扩钻组合在一起,曾得到广泛应用。图 7-8-81 所示的一种“刀排式”强力粗镗头,由二三把硬质合金镶片刀头组成一排,由低到高。三刃粗镗头各刃的切削深度依次为 $0.7 \sim 0.75\text{mm}$, $0.25 \sim 0.3\text{mm}$ 和 0.3mm 。每次走刀的总加工余量为 $2.5 \sim 3.0\text{mm}$ 。如果总余量不太大,其第三刀片也有设计成浮动镗刀的(如 $\phi 37$ 炮管加工)。

这种镗头由于切削力大,余量不均,一般在切削刃后方设置 2 个硬质合金导向条和一二个防振垫条。刀具采取外供油前排屑方式。为防止切屑堵塞于待加工孔腔,刀刃必须磨出断屑台。

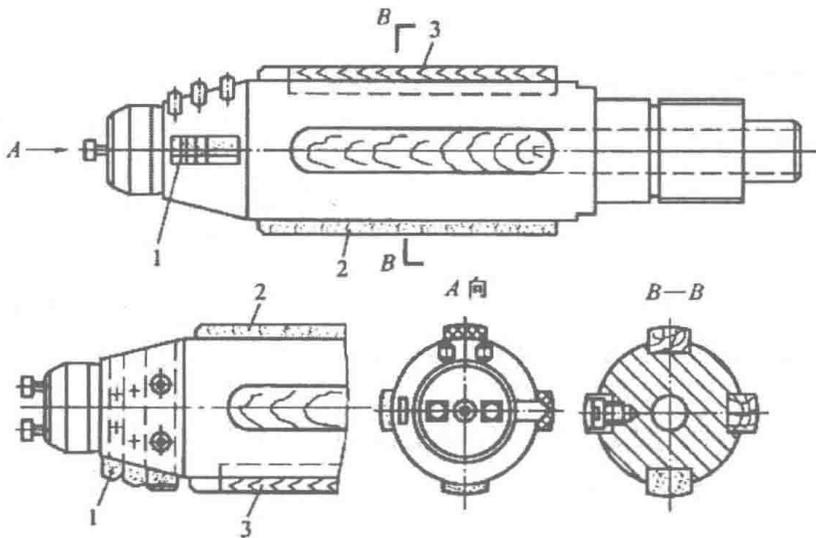


图 7-8-81 刀排式强力粗镗头

1-刀排;2-硬质合金导向条;3-防振垫条

刀排式强力粗镗头的优点是结构简单、切除余量大。缺点是导向条滞后于切削刃的距离过远,导向条与切削力的配置也不够合理。应尽量采用 BTA 扩钻予以取代。

图 7-8-82 为另一种机夹双刃强力粗镗头。其特点是:

①在两把刀夹 6 和 7 上分别安装机夹刀片 8 和 9,互成 180° 安装在刀盘 1 上。刀片 9 与 8 可以对等安装在同一直径上,也可以有 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 的径向尺寸差。在前一种情况下,属于进给分划;后一种情况下属于切深分划(第二刀片应在进给方向上稍许滞后于第一刀片)。

刀夹 6 和 7 可以单独调整后用螺钉 10 固紧。

②装刀盘 1、刀体 2、镗杆 5 之间采用制口定位和螺栓固紧。各部件之间各用 4 个特制圆柱销 10 传递切削转矩。各部件容易快速拆卸,利于换刀和进行尺寸调整。

③除了刀夹径向尺寸可调外,五个防振导向条(其中一个与刀片 9 相对 180°设置)下装楔形调整块 4。因此,垫条可以在大范围内调整其直径尺寸。这种镗头被认为是 $\phi 300\text{mm}$ 以上大直径缸体单件小批生产的有效手段。

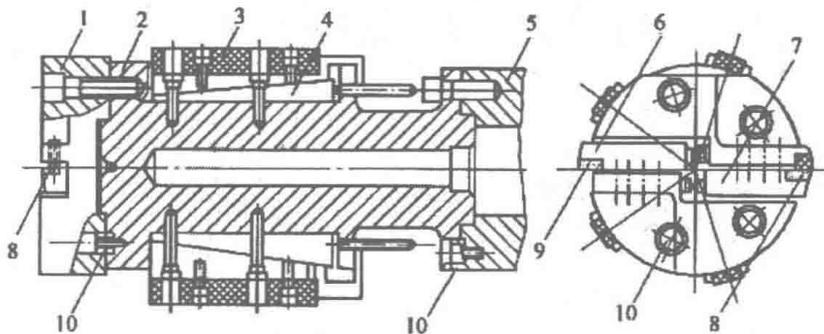


图 7-8-82 机夹双刃强力粗镗头

1-刀盘;2-刀体;3-防振条;4-楔体;5-镗杆;

6、7-刀夹;8、9-机夹刀片;10-螺钉

由于楔体 4 的调整范围有限,当调整量不足时,可以用等厚度的垫铁将其垫高。

刀体 2 中央有通油孔,切削液由镗杆后方输入。刀盘 1 的中央设有通油孔,分别通向两边的切削刃,将切屑冲向前方排出。

上述强力镗头最好与机夹 BTA 套料钻和本节下文将要介绍的大型浮动镗刀配套使用。

2. BTA 镗头(图 7-8-83)

这是由 BTA 钻衍生的一种自导向镗深孔刀具,曾经与 BTA 扩钻同时于国内外生产。其特点是使用一根圆柱状的单一刀头,刀头上焊有硬质合金刀片,便于拆卸重磨。其镗孔直径可以小范围进行调整,适用于中小批量生产。一般由用户自制。

这种 BTA 粗镗头相当于带有导向条和防振垫条但具有刚性刀体的内圆车刀。其排屑方式有两种:既可采用 BTA 钻那样的外进油内排屑方式(图 7-8-83(a)),也可以采取从刀杆外部或刀杆内腔进油、切屑由通孔前方排出的方式(图 7-8-83(b))。内排屑镗头因受出口空间的限制,要求在切削刃上磨出断屑台,而向前排屑的镗头可不磨断屑台。内排屑镗头可用于加工通孔,也可以加工盲孔。在前一种加工情况下,需要将通孔的另一端加以封闭。不论采用何种排屑方式,镗孔前都要在工件上加工出引导孔。

BTA 镗头设有 2 个与 BTA 钻相同的硬质合金导向条,同时在导向条后方附设互成 120° 的防振垫条(材料可选用酚醛树脂、夹布胶木或铸铁)。镗头的前方留出一段经磨削或精车过的精密轴颈,其前端有顶尖孔。以此顶尖孔和镗头尾部定位面为定位基准,将导向条和防振条一次磨成同一尺寸。刀尖的伸出量和导向条直径尺寸靠特制的校刀环规进行检查和调整。校刀环规的中央孔与镗头上的轴颈按 H7/h6 配合制造。

上述 BTA 镗头一般由企业用户自行设计制造,至今未形成专业化生产。它的优点是:

- ①通用性强。既可用于粗镗,也可用于半精镗。
- ②结构不复杂。刀体可长期使用,刀具使用成本较低。

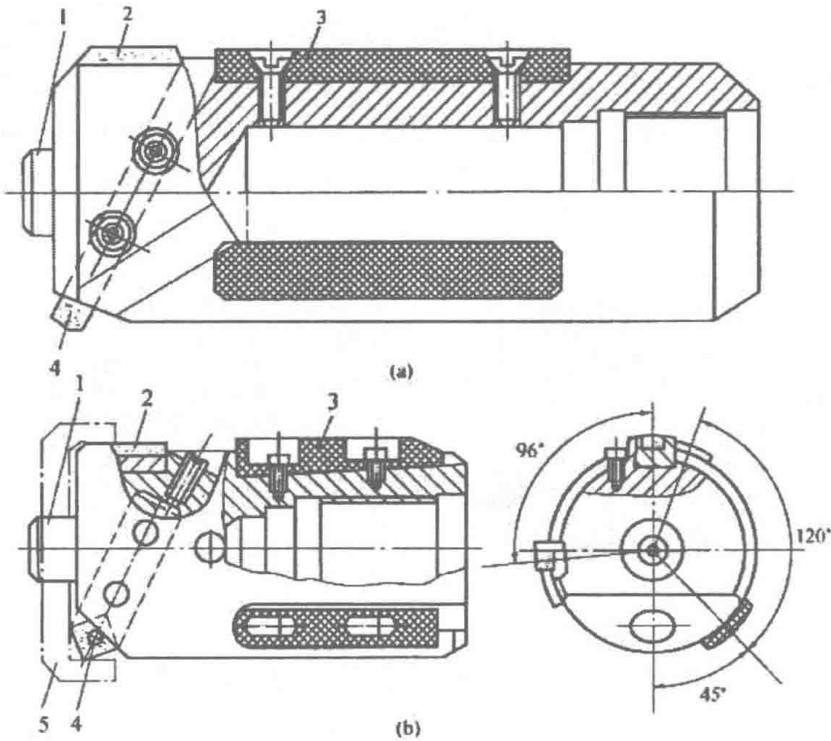


图 7-8-83 BTA 镗头

1-校刀套基准;2-硬质合金导向条;3-防振垫条;4-刀头;5-校刀套

③可加工出尺寸、形位精度都很满意的深孔。对中碳调质钢,可采用 $v = 60 \sim 90\text{m/min}$ 的切削速度和比 BTA 钻大 50% 的进给量,加工精度可达 IT7 ~ IT8 级, R_a 值为 $0.8\mu\text{m}$,而且有很高的直线度。

它的不足之处是:内排屑结构的镗头,由于出屑口面积不足加之刀头采用螺钉夹紧方式,因而不能采用很大的切深,否则易产生堵屑及振动。另外,只有当直径足够大时才适于采用机夹可转位刀片。切削刃面积小,刃磨、调整频繁,也影响了这种刀具的普及应用。

3. 拉镗头

拉镗头是借鉴于拉铰刀和 BTA 粗镗头而衍生出来的一种自导向深孔镗削工具。拉镗法只适用于已经钻出的大、中直径通孔。可采用单刃切削,也可以采用直排式多刃切削。

已用于生产的拉镗头,其导向条有两种配置方案。图 7-8-84(a)是切削刃前置于导向条的方案。图 7-8-84(b)则相反,其切削刃后置于导向条。两种方案各有其优缺点。

当切削刃前置于导向条时,导向条的作用与 BTA 刀具中的导向条完全一致。这时,导向条借助于设在工件切入端的导向套先行确定刀具的前进方向;当导向条随切削刃进入已加工孔后,镗头就具有自导能力。在这种方案中,切削刃和导向条的直径是一致的,导向条具有自导和挤光孔壁的双重作用。

20 世纪 90 年代初, SANDVIK 公司曾推出一种导向条后置式拉镗头,其直径规格为 $\phi 50 \sim \phi 310\text{mm}$,分单刃和多刃直排两种结构,均采用机夹可转位刀片。图 7-8-85 为单刃结构,相当于将 BTA 扩钻的切削刃与导向条前后倒置。另一种为多切削刃组合式,各由 3 ~ 5 个刀片组成(每一刀片装在一个刀套上,再组装为一体)。据称这种拉镗头的切削速度与 BTA 扩钻相当,而进给量比 BTA 扩钻大 3 ~ 5 倍。加工精度为 IT10,加工粗糙度 R_a 值为

$3\mu\text{m}$, 相当于半精镗。

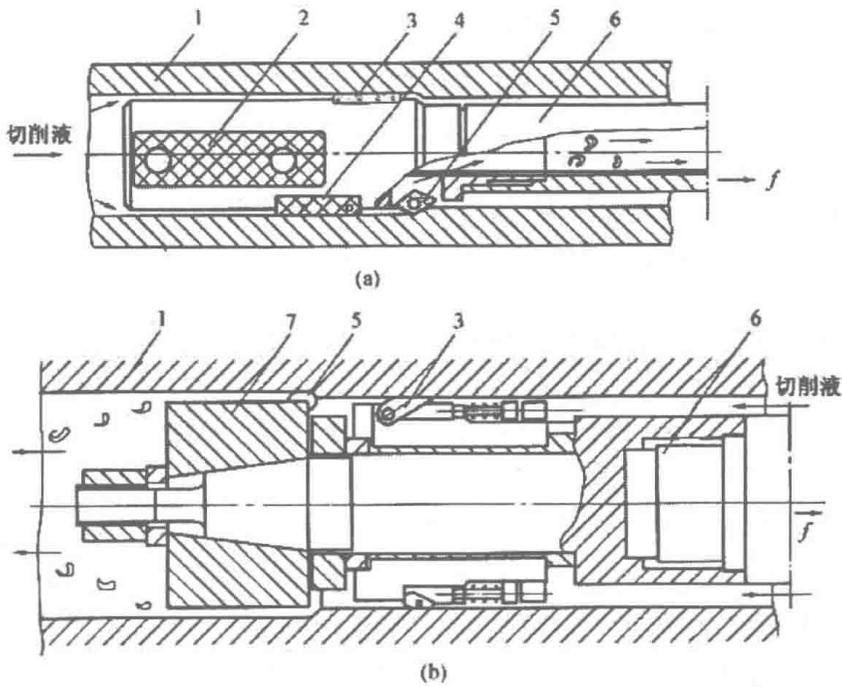


图 7-8-84 拉镗法示意

1-工件;2-防振条;3-导向条;4-导流板;5-刀片;6-刀杆;7-装刀体

导向条后置式拉镗头的优点是:导向条与切削刃(当使用多刃切削时,按最后的切削刃为准)按同一直径尺寸制造,不受预钻底孔加工精度和表面粗糙度的影响,因而对底孔的圆度和局部弯曲有修正作用,并具有一定的挤光作用。采用单切刃时,这种拉镗头的每米走偏量可控制在 0.1mm 以内。

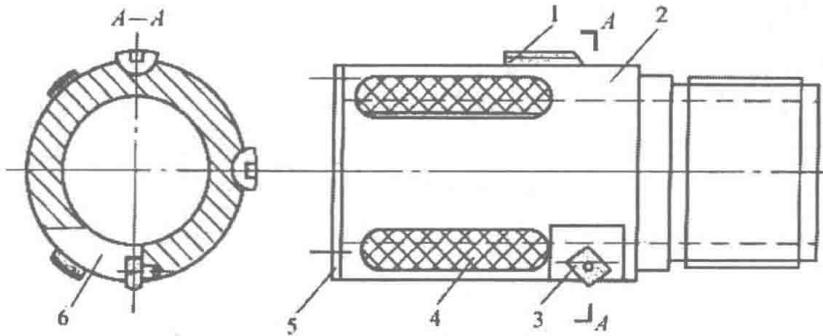


图 7-8-85 导向条后置式单刃拉镗头

1-导向条;2-刀体;3-可转位刀片;4-防振条;5-端盖;6-出屑孔

导向条后置式拉镗头与导向条前置结构相比,前者最大的麻烦在于排屑。由图 7-8-84(a)可以看出,由于导向条和防振条位于切削刃之后,因此切屑不允许向导向条方向排出,而只能从主轴方向(工件切入端)沿镗头外部供入切削液,推切屑进入刀片上方的出屑孔,进入镗刀杆内腔,向刀杆的右端排出。如果让切屑沿刀杆外壁与待加工孔的间隙排出,不仅排屑间隙太小而容易引起堵塞,还将损伤镗杆。为使切屑进入出屑口,就必须在工件的切出端

对刀杆进行密封。为使切屑从刀杆空腔内按进给方向排出,拉镗头的尾端应予堵塞。

导向条后置式单刃拉镗头曾成功地应用于材料为 Inconel718 的喷气发动机涡轮轴的深孔加工。有关数据如下:

- 工件硬度: HRC32 ~ 37
- 孔径/孔深: $\phi 24.371^{+0.0254}/1168.4$ mm
- 切削用量: $a_p = 0.889$ mm(0.035in); $f = 0.1$ mm/r; $v = 36.6$ m/min
- 拉镗头直径: $\phi 24.392$ mm, 倒锥 1/1000
- 导向套直径: $\phi 24.397^{+0.005}$
- 加工效果: 孔径在公差范围内; 孔轴线直线度误差 0.015 mm, 孔粗糙度 Ra 取值范围为 0.8 ~ 1.5 μ m
- 拉镗头除装有两块硬质合金导向条外, 还设置防振条。镗杆支架设置有轴承式防振器。

上例显示出, 拉镗头的镗杆在切削力很大时, 其抗振能力和防止镗杆弯曲的优势相当突出。

导向条前置式拉镗头, 其优缺点刚好与前一种拉镗头相反。由于切削刃后置, 其刀体可以制成可拆卸的锥套, 配置在镗头的后部。利用现有的 BTA 钻镗床, 可以很容易地采取从镗杆右端外部供入切削液, 让切屑从后方已加工孔腔中向后排出。它的缺点也很明显:

① 硬质合金导向条不是以已加工孔为导向基准, 而是以本工序前的预钻底孔为基准。这样, 既不能修正已有底孔的走偏和弯曲, 也不具挤光作用。

② 由于预钻孔误差较大, 导向条必须是能够按底孔直径进行预调的结构(本例采用带弹簧的可涨式导向条, 预调后用螺钉固紧)。

4. 浮动刀片用于深孔精加工

由于现用的推镗和拉镗刀具通常只具备半精加工的功能, 而对于许多需要加工出精密深孔的行业(如液压件、液压机械中的缸体), 还需要进行进一步的加工以提高孔的尺寸精度、圆柱度和表面粗糙度。浮动镗孔法刚好适应了这一需求。

浮动镗孔与浮动铰孔一脉相承, 所以也有称之为浮动铰孔的。如图 7-8-86(a)所示, 在刀体的前部加工出一个精密的矩形槽, 将预先调整好的刀块(或称刀片, 图 7-8-86(b))装入槽中。由于刀块两侧的切削刃形状相同而朝向相反, 切削时刀片会通过径向的微小窜动以保持径向切削力达到平衡。刀块后方设有 4 根防振条, 其取材与镗头的防振条相同。防振条的直径应比刀块直径小 0.05 ~ 0.08mm, 以避免刀刃磨损时刀头被卡死在孔中。

直径小于 $\phi 40$ mm 的刀块采用整体式, 由一块高速钢或两块硬质合金刀片焊在一块调质材料上磨成。直径大于 $\phi 40$ mm 的刀片, 采用图 7-8-86(b)的可调整结构。

浮动刀块由于其刀片的游动性, 具有靠径向切削力自动保持平衡的特点, 只能在底孔孔径尺寸变动量不大(因而切削力变动也不大)和低速、小切深的条件下对底孔的尺寸和形状、表面粗糙度进行修整。其功能与浮动铰刀相似。因此, 浮动镗(铰)刀可加工出直径精度为 IT7, Ra 值为 1.25 μ m 且圆度理想的孔, 但不能修正已有孔的位置误差。加工前的底孔应达到良好的直线度, 表面粗糙度 Ra 应不低于 6.3 μ m, 且不允许有粗糙纹路。加工钢材时, 刀刃前角取 $5^\circ \sim 18^\circ$, 加工铸铁时可取 0° 。每次加工余量不大于 0.1 ~ 0.2mm, 不小于 0.05 ~ 0.07mm; 进给量 $f = 0.5 \sim 1$ mm/r, 切削速度 $v = 4 \sim 16$ m/min。硬质合金一般选用 YG 类。

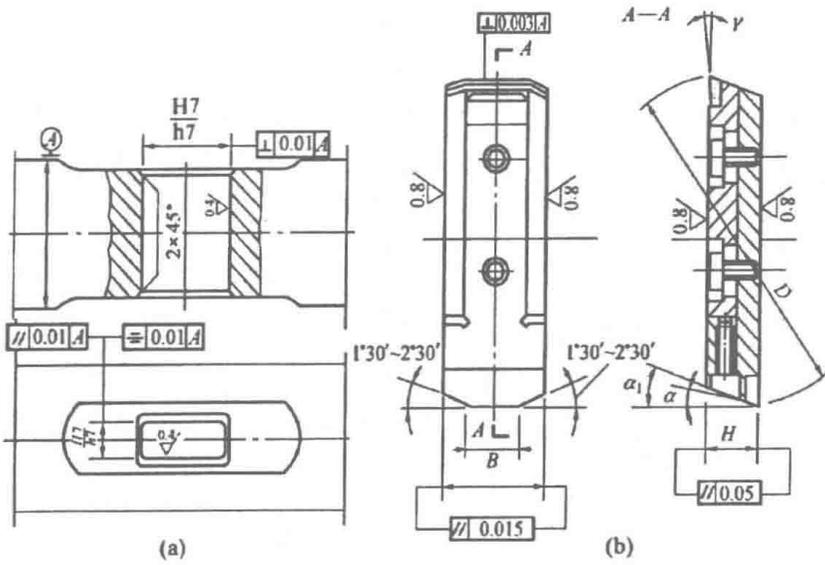


图 7-8-86 浮动铰(铰)刀

图 7-8-87 是一种机夹可转位式浮动刀片。其特点是刀片不重磨,可快速更换,直径可快速调节;刀片可选用不同材料牌号的硬质合金以及涂层刀片,从而可采用更高的切速。

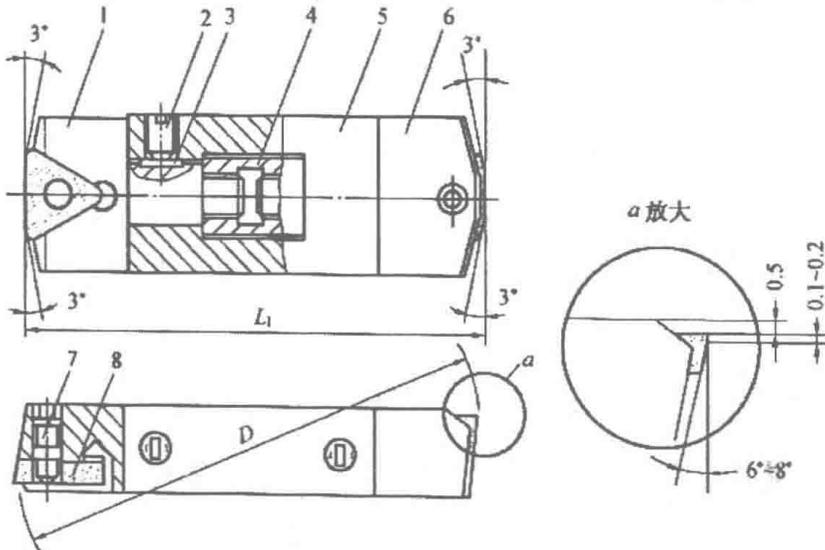


图 7-8-87 机夹可转位刀片浮动铰刀块

- 1、6—刀片;2—紧定螺钉;3—定向键;4—调节螺母;
5—刀体;7—紧固件;8—可转位刀片

用以调节直径尺寸的调节螺母 4 装在刀体 5 的凹槽中,其两端的螺纹旋向相反,分别与左右两镗刀块 1、6 的螺杆相配合。镗刀块各有一圆轴部分,分别与刀体上相互同轴的二导向孔成滑动配合;圆轴部分有键槽,紧定螺钉 2 的端部嵌入键槽,具有刀块定向键的作用。调节直径尺寸时,先松开紧定螺钉,然后转动调整螺母,使二刀块沿径向伸缩,可实现微量调节。所用机夹可转位刀片的形状规格和紧固方法,可根据需要选定(本例为三角形带孔刀片,偏心轴固紧)。