

不锈钢加工方法的合理选择

江汉石油管理局油田开发处采油工艺研究所 万刚

作者简介 万刚, 生于1958年, 1983年毕业于江汉石油管理局电视大学机械专业。助理机械工程师。江汉石油管理局油田开发处采油工艺研究所试制车间主任。

主题词: 不锈钢 加工方法选择

不锈钢具有优良的耐腐蚀和耐高温性能, 因而被广泛应用于石油、化工等工业中。不锈钢由自身的理化及机械特性所决定, 其车削性能很差, 如果采用碳素钢的各种切削参数来车削不锈钢, 生产将无法进行。

江汉油田处采油工艺研究所试制车间, 加工不锈钢产品已有15年之久。笔者参照有关资料, 将不锈钢车削特性及合理选择车削要素作一简述。

一、不锈钢的切削特性及形成原因

不锈钢是含铬量大于12%的合金钢。奥氏体类不锈钢中还加入了含量大于8%的镍。高含量的合金元素铬、镍使不锈钢的车削性能大大下降, 其特点主要有以下3个方面。

1. 艮

不锈钢的塑性和韧性高, 断面收缩率为50~60%, 是45、40Cr等钢的110~150%。18—8型不锈钢的延伸率为40%, 是45钢的250%。因此从不锈钢上切去与45钢相同的金属体积时, 功耗要高50%左右。

2. 硬

不锈钢的抗拉强度和屈服强度与45钢相差不多。之所以说不锈钢硬, 是指不锈钢在切削过程中有以下特性:

(1) 不锈钢具有优良的耐高温特性, 1Cr18Ni9Ti钢在550℃时抗拉强度仍保持在441.3MPa左右, 而45钢在500℃时, 抗拉强度仅为68.6MPa。切削不锈钢时, 很容易磨损刀具。

(2) 不锈钢显微组织中弥散着高硬度的碳化物微粒, 在切削过程中易磨损刀刃、硬质合金刀崩刃。

(3) 不锈钢加工硬化趋势很强。车削加工后, 不锈钢表面硬度可增至原硬度的2~3倍。硬度的增加既加剧了刀具磨损, 又给精加工造成了困难。

3. 粘

不锈钢韧性高, 但导热性差。在100℃时, 1Cr18Ni9Ti的释热率为 $1.6329 \times 10^5 \text{ W/m}^3$, 是45钢的1/4, 切削产生的高温易在刀尖上产生金属粘附、熔着现象, 即产生刀瘤。刀瘤的不稳定性既影响产品质量, 又容易引起切削振动。

所以,必须根据不锈钢的特点有针对性地选择车削刀具、车削用量、车削冷却—润滑油等车削要素,才可能车削出高质量的不锈钢零件。

二、不锈钢车削刀具的选择

1. 刀具材料的选择

刀杆材料选用 45 钢即可。对于切断刀、深孔内圆刀等刀头部分刚性差的刀杆,可选用 50 钢或 40 Cr 钢较好,热处理硬度可在 HRC28 ~ 32 之间。

刀具切削部分的材料主要采用高速钢和硬质合金两大类,侧重选用韧性高、耐磨性强、红硬性好的材料。高速钢可选用 W18Cr4V,这种钢在工作温度 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 时具有良好的红硬性和韧性,淬火后表面硬度可达 HRA82.4 ~ 85.4。适用于制造低速切削不锈钢的刀具。硬质合金比高速钢具有更好的耐磨性,更高的红硬性,它在常温下硬度为 HRA90 左右,在 1000°C 高温下,硬度仍可保持在 HRA73 ~ 76 之间。而高速钢 W18Cr4V 在 600°C 时硬度已下降为 HRA76.3。所以加工不锈钢通常都选用硬质合金刀具。它的缺点是脆性大,不抗振动和冲击负荷。根据不锈钢的加工特性,车削不锈钢的刀具一般应选用韧性较高的 YG6、YG8、YT5,以及综合性能好的 YW₁、YW₂ 等牌号的硬质合金。精车时,可选用耐磨性能较高的 YT14 硬质合金。

2. 车刀几何参数选择

不锈钢车削刀具的几何形状与普通钢车削刀具基本相同。但由于不锈钢韧性大,加工硬化趋向明显,导热性差,线膨胀系数大,粘附性强,因此车刀必须磨得锋利、光滑,才能顺利切削。

不锈钢车削刀具的特点是:采用较大的前角 γ , γ 值在 $12^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间选取。采用较大的后角 α , α 值在 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 之间选取。若车刀为高速钢材料,在相同的切削条件下,后角 α 可加大 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。在工件—刀具—机床系统刚性好的前提下,选用主偏角 φ 为 45° ;在系统刚性不足的条件,选用主偏角 φ 为 75° ;在工件长径比 $L/d > 20$ 时,选用 φ 值为 90° 。粗车选副偏角 φ_1 为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$;精车选 φ_1 为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。粗车选刃倾角 λ 为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$;断续切削时,选 λ 为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$;精车时,选 λ 为 $-3^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 。刀尖圆角半径 r 在 $0.2 \sim 0.8\text{mm}$ 之间选取,精加工和走刀量小时, r 取小值,反之则取大值。

表 1 加工不锈钢的硬质合金车刀的几何参数及材料

参数	前角 γ ($^{\circ}$)	后角 α ($^{\circ}$)	主偏角 φ ($^{\circ}$)	副偏角 φ_1 ($^{\circ}$)	刃倾角 λ ($^{\circ}$)	刀尖半径 r (mm)	倒棱宽 f (mm)	倒棱角 γ_s ($^{\circ}$)	刀片 材料	刀杆 材料
粗车	10~20	6~8	45~75	5~15	0~10	0.5~0.8	(0.5~1)S	-15~-5	YG6 YG8, YT5	45 钢 50 钢 40Cr
精车	20~30	8~10	75~90	15~20	-3~0	0.2~0.5	(0.1~0.5)S	-5~0	YT14 YW ₁ YW ₂	45 钢

另外,如果仅考虑磨出车刀前角 γ ,而车刀的前面仍为平面形状,切屑就会沿着车刀前面直泻而出,影响操作者的安全,车屑缠绕在工件上会破坏工件的精度,并增加工件表面的粗糙度。为此,在车刀前面应磨出圆弧状排屑槽,这样既有利于排屑,也易磨出较大的前角 γ 。

用于加工不锈钢的硬质合金车刀的几何参数及材料见表1。车刀排屑槽尺寸及相对应的近似前角值见表2。

3. 刀具切削部分表面粗糙度及精磨砂轮的选用

车削不锈钢时,对刀具的粘附性很强。

为减少刀瘤保证切削顺利,车刀前面粗糙度应在 $\sqrt{0.4} \sim \sqrt{0.2}$ 之间选值,后面则应在 $\sqrt{0.8}$ 左右

选值。为了使表面粗糙度达到要求,并在车刀前面磨出理想的排屑槽,磨好加工不锈钢的车刀后一般都需精磨和研磨,用普通碳化硅砂轮工效很低,选用JR150#ZR₁A100P人造金刚石砂轮效果很好,可以提高磨刀效率3~5倍,磨出来的车刀表面粗糙度一般都在 $\sqrt{0.4}$ 左右,无需再研磨,而且容易开出宽和深均为2~5mm的排屑槽。

4. 车刀参数选用举例

图1所示为不锈钢轴类零件精加工用90°外圆车刀。图2所示为不锈钢用切断刀。

为使切削轻快,切断刀的前角应比外圆车刀前角大5~10°,应磨出的排屑槽尺寸与前角值的对应关系见表3。

表3 切断刀排屑槽推荐尺寸^[1]

切断直径 ϕ (mm)	槽半径R (mm)	槽宽度b (mm)	前角 γ (°)
≤ 20	2.5	3	37
	3.2	4	39
	4.2	5	36.5
20~50	3.2	4	39
	4.2	5	36.5
	5.5	6	33
50~80	4.2	5	36.5
	5.5	6	33
	6.5	7	32.5
80~120	5.5	6	33
	6.5	7	32.5
	8	8	30

表2 车刀排屑槽尺寸(刀片材料:YG8硬质合金)^[1]

工件直径 ϕ (mm)	槽半径R (mm)	槽宽b (mm)	前角 γ (°)
< 20	1.5	2	42
	2.5	3	37
20~40	3	3	30
	3.5	3.5	
40~80	4	4	30
	4.5	4.5	
80~200	5.5	5	27
	6	5.5	27.5
	6.5	6	
> 200	6.5	6	27.5
	7	6.5	

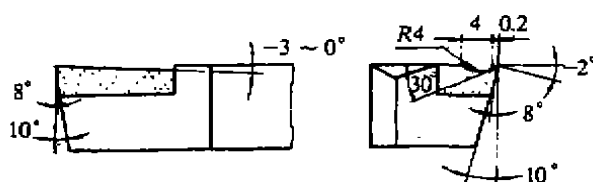


图1

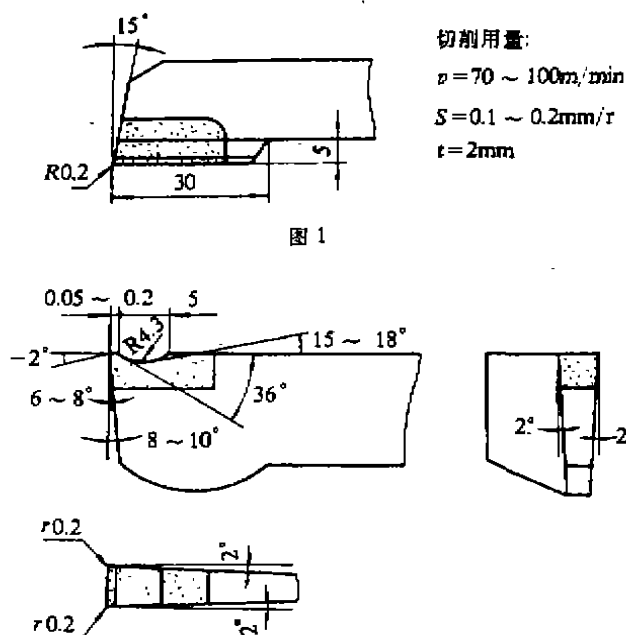


图2

切削用量:

$v = 70 \sim 100 \text{ m/min}$

$S = 0.1 \sim 0.2 \text{ mm/r}$

$t = 2 \text{ mm}$

三、车削不锈钢时切削用量的选择

切削用量是切削时车床主轴转速 n 、走刀量 S 、吃刀深度 t 的统称。

在切削用量三要素中,影响刀具耐用度最大的是 n ,其次是 S ,影响最小的是 t 。所以在粗车时,为了提高生产率,应在刀具强度、机床功率和工件刚度允许的条件下,尽可能选用大的 t 。然后考虑选用较大的 S ,最后选用合适的 n 。精车时,切除的金属量较小,同时为了降低表面粗糙度, t 和 S 可选较小值, n 可选较大值。

表 4 车削不锈钢常用切削用量^[2](刀片材料:YG8;工件材质:1Cr18Ni9Ti)

工件 直径 (mm)	车 外 圆						车 内 孔			切 断	
	粗 加 工			精 加 工							
	n (r/min)	S (mm/r)	t (mm)	n (r/min)	S (mm/r)	t (mm)	n (r/min)	S (mm/r)	t (mm)	n (r/min)	S (mm/r)
≤10	1200~955	0.19~0.60	2~3	1200~955	0.07~0.20	0.2	1200~765	0.07~0.30	0.1~2	1200~955	手 动
10~20	955~765			955~765			955~600			955~765	
20~40	765~480			765~480			765~480			765~600	0.1~0.25
40~60	480~380			600~380			480~380			600~480	
60~80	380~305			480~305			380~230			480~305	
80~100	305~230	0.27~0.81	3~4	380~230	0.1~0.3	0.2~0.5	305~185	0.1~0.5	0.1~4	380~230	0.08~0.2
100~150	230~150			305~185			230~150			305~150	
150~200	185~120			230~150			185~120			<150	

表 4 中数据可作为车削不锈钢时参考,当工件材料和刀具材料变化时,各参数应视情况作适当修正。

四、不锈钢螺纹加工

1. 不锈钢螺纹车削

加工不锈钢螺纹的硬质合金车刀,一般都选用韧性好的 YG6、YG8 和综合性能好的 YW₁、YW₂ 等牌号的硬质合金。

粗车螺纹刀前角 γ 值在 $10^\circ \sim 20^\circ$ 之间选取。精车螺纹时,考虑到车刀前角 γ 会影响车出的螺纹牙形,故选用前角值 $6^\circ \sim 12^\circ$ 。

刀尖角 ε 与牙形角 α 必须一致。但当车刀前角 $\gamma \neq 0$ 时,刀尖角 ε 必须加以修正。修正公式:
刀尖角 $\varepsilon = \text{牙形角 } \alpha \times \cos \gamma$ 。

车刀后角 α 可在 $4^\circ \sim 6^\circ$ 之间取值,但应将沿走刀方向侧刃后角增加 2° 左右的螺旋角修正值,使这一侧磨成 $6^\circ \sim 8^\circ$ 。加工不锈钢螺纹车刀见图 3。

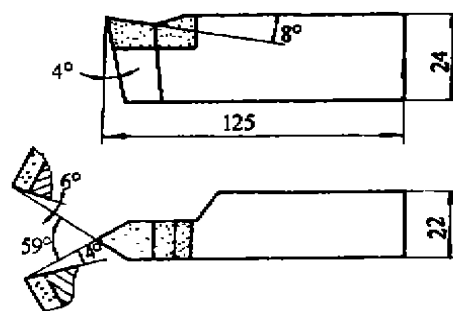


图 3

加工不锈钢螺纹的切削用量见表5。

表5 切削不锈钢螺纹时主轴转速和吃刀深度^[2]

刀 材 片 料	工 材 件 料	螺纹公称直径 (mm)	主轴转速 n (r/min)	吃刀深度 t (mm)
YG8	1Cr18Ni9Ti	<10	955 ~ 600	螺距 <1.5 时, $t=0.15 \sim 0.25$; 螺距 >1.5 时, $t=0.25 \sim 0.4$
		10 ~ 25	765 ~ 480	
		25 ~ 40	600 ~ 380	
		40 ~ 60	460 ~ 305	
		60 ~ 80	380 ~ 230	
W18Cr4V	1Cr18Ni9Ti	<10	480 ~ 380	螺距 <1.5 时, $t=0.1 \sim 0.2$; 螺距 >1.5 时, $t=0.2 \sim 0.3$
		10 ~ 25	380 ~ 230	
		25 ~ 40	230 ~ 150	
		40 ~ 60	150 ~ 96	
		60 ~ 80	96 ~ 56	

2. 在车床上用丝锥机动攻丝的注意事项

- (1) 切削速度不能过高, 一般为 $2 \sim 7 \text{ m/min}$ 。
- (2) 在攻丝时, 若已用含油乳化液做冷却—润滑液时, 还可另在丝锥上蘸涂豆油, 效果良好。
- (3) 丝锥前角 γ 一般取值 $15 \sim 20^\circ$ 。用 γ 为 $5 \sim 10^\circ$ 的标准丝锥加工不锈钢螺纹效果不理想。
- (4) 在攻丝时, 尾架顶尖的推力要均匀, 否则容易损坏丝锥或“偏扣”。尾架采用弹簧死顶尖扶正和辅助进给, 效果较理想。
- (5) 丝锥折断在工件中时, 可用硝酸腐蚀丝锥。因不锈钢耐酸, 故螺纹可保证完好无损。

五、车削不锈钢用冷却—润滑液的选择

1. 含油乳化液水溶剂, 其配比为: 含油乳化液 20% + 水 80%。
2. 硫化矿物油, 其配比为: 98% 的矿物油(柴油、锭子油、5[#]、7[#]、10[#] 机械油等) + 2% 的硫作活性剂。
3. 为进一步提高硫化矿物油的润滑性能, 还可采用 20% 黑机油 + 2% 硫 + 78% 矿物油的配比。

在铰孔、攻丝等低切削速度精加工工序中, 可选粗加工用的第3种润滑液外, 还可用豆油、菜油等植物油作冷却—润滑液。

在高速精加工时, 应选用润滑和冷却综合性好的润滑—冷却液, 如:

- (1) 浓度较低的含油乳化液水溶剂, 其配比为: 15% 含油乳化液 + 85% 水。
- (2) 煤油加植物油(或油酸), 其配比为: 75% 煤油 + 25% 植物油(或油酸)。

参 考 文 献

[1] 晨光编著:《不锈钢切削》, 国防工业出版社

[2] 北京市《金属切削理论与实践》编委会编:《金属切削理论与实践》, 第1版, 北京出版社, 1985年2月

(收稿日期: 1990年9月5日)

(本文编辑 王志权)