

不锈钢螺纹加工

晨 光 编

不锈钢材料由于其本身所具有的某些特殊性能，因而比普通碳素钢较难以切削。不锈钢螺纹的加工，更是不锈钢切削加工中较难掌握的重点工序之一。

本书就不锈钢螺纹加工的几种方法，其中包括车削、攻制、滚压、搓制，分别介绍其所用切削工具的基本结构、切削用量的选择、加工前预制尺寸的确定、冷却润滑以及操作注意事项等，并列举了若干加工实例。书中还扼要地介绍了不锈钢螺纹加工的特点以及几种其他加工方法。

本书可供从事不锈钢螺纹加工的工人及有关技术人员参考。

不锈钢螺纹加工

晨光编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

*

开本 787×1092 1/32·印张 5 1/2·字数 119 千字

1977年12月北京第一版·1977年12月北京第一次印刷

印数00,001—25,500·定价 0.45 元

*

统一书号：15033·4421

目 录

前 言

一、 不锈钢螺纹加工的特点	1
(一) 不锈钢的种类	1
(二) 不锈钢的基本性能	2
(三) 不锈钢的切削加工特性	6
(四) 不锈钢螺纹加工特点	9
二、 不锈钢螺纹的车削	11
(一) 螺纹车刀	11
(二) 车螺纹过程中经常遇到的问题及其解决方法	19
(三) 车削不锈钢螺纹时切削用量的合理选择	27
(四) 不锈钢螺纹车削时的冷却润滑	31
(五) 加工实例	35
三、 不锈钢螺纹的攻制	51
(一) 加工不锈钢用的丝锥	51
(二) 不锈钢螺纹攻制前的预制孔尺寸	95
(三) 不锈钢螺纹攻制时经常遇到的问题及其解决方法	97
(四) 不锈钢螺纹攻制时的操作注意事项	104
四、 不锈钢螺纹的滚压	107
(一) 滚螺纹的基本原理和滚丝机	108
(二) 滚丝轮的基本结构及有关参数	110

(三) 滚丝轮的制造	125
(四) 螺纹滚压前的毛坯尺寸	132
(五) 不锈钢螺纹滚压时的操作注意事项	134
五、不锈钢螺纹的搓制	143
(一) 搓螺纹的基本原理和搓丝机	143
(二) 搓丝板的基本结构及有关参数	146
(三) 螺纹搓制前的毛坯尺寸	157
(四) 不锈钢螺纹搓制时的操作注意事项	157
六、不锈钢螺纹加工的其他方法	160
(一) 用梳形铣刀铣螺纹	160
(二) 用圆盘形铣刀铣螺纹	165
(三) 旋风切削螺纹	166
(四) 用圆板牙加工螺纹	169

一、不锈钢螺纹加工的特点

(一) 不锈钢的种类

我们知道，钢材中添加各种合金元素，会使钢材的组织 and 性能发生不同程度的变化。例如，镍会使钢提高塑性、韧性、高温机械强度和耐腐蚀性能，但不会提高硬度，对导电性、导热性有强烈的影响；铬能提高钢材的强度和硬度，但同时会稍稍降低钢材的塑性和韧性，当含铬量不小于12~14%时，就可以大大增加钢在各种介质中的耐腐蚀性能；少量的钼和铜，能增加钢材在湿介质中的抗氧化性能；少量的硅和铝，能提高钢材在高温下的抗氧化性能。

因此，为了大大提高钢材在各种介质中的耐腐蚀性能，往往在钢材中设法添加一定量的铬、镍、铝和其他金属元素，从而使金属的内部发生质的变化。这种钢材，就是我们通常叫的不锈钢。

根据所添加的金属元素和材料组织的不同，不锈钢一般可以分为以下几类：

1. 马氏体类不锈钢

马氏体类不锈钢的含铬量为12~14%，含碳量为0.1~0.5%（有时达1%）。这类不锈钢淬火后，不仅能大大提高材料的硬度，而且还能提高强度和改善抗氧化性能。如2Cr13、3Cr13等铬不锈钢，就是这类钢的代表。

2. 铁素体类不锈钢

铁素体类不锈钢的含铬量为 16~30%。铬含量较少时，含碳量应很低；在铬含量达 30% 时，含碳量可增高到 0.35%。这类不锈钢加热时组织稳定，不发生相变，因而不能接受淬火，高温下有晶粒长大和脆性倾向。这类不锈钢的抗氧化能力比马氏体类不锈钢强。如 Cr17、Cr28 等，都属于这类不锈钢。

3. 奥氏体类不锈钢

奥氏体类不锈钢除含铬 12~30% 以外，还含有镍 7~20%（或 20% 以上）和其他对钢的性能有很大影响的元素。这类不锈钢加热时组织不变，淬火不能使其达到硬化的目的。大多数这类钢都有晶间腐蚀的倾向。如 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti 等镍铬不锈钢，就是这类钢的代表。

4. 奥氏体 + 铁素体类不锈钢

这类不锈钢与奥氏体类不锈钢很相似，不过由于这类钢组织中的铁素体在冷却时没有全部转变为马氏体，仍保留有一定量的铁素体，所以称为奥氏体 + 铁素体类不锈钢。

这类不锈钢难于变形，但具有对晶间腐蚀不敏感的优点。本书中提到的耐浓硝酸用不锈钢，即属于这类钢。

（二）不锈钢的基本性能

为了便于叙述不锈钢的基本性能和特点，现将不锈钢与一般碳素钢在化学成分、机械性能和物理性能上的差别，分别介绍如下：

1. 化学成分

几种常用的不锈钢和碳素结构钢、合金结构钢的化学成分如表 1 所示。

表 1 不锈钢和一般钢材的化学成分

钢 号	化 学 成 分						(%)	
	C	Mn	Si	Cr	其 他	P	S	
20	0.17~0.24	0.35~0.65	0.17~0.37	<0.25	Ni<0.25	<0.040	<0.045	
40	0.37~0.45	0.50~0.80	0.17~0.37	<0.25	Ni<0.25	<0.040	<0.045	
45	0.42~0.50	0.50~0.80	0.17~0.37	<0.25	Ni<0.25	<0.040	<0.045	
20Cr	0.17~0.24	0.50~0.80	0.17~0.37	0.7~1.0	—	<0.040	<0.040	
40Cr	0.37~0.45	0.50~0.80	0.17~0.37	0.8~1.1	—	<0.040	<0.040	
1Cr13	≤0.15	≤0.60	≤0.60	12~14	—	≤0.035	≤0.030	
2Cr13	0.16~0.24	≤0.60	≤0.60	12~14	—	≤0.035	≤0.030	
3Cr13	0.25~0.34	≤0.60	≤0.60	12~14	—	≤0.035	≤0.030	
1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤2.00	≤0.80	17~19	Ni8.0~11.0 Ti≈0.8	≤0.035	≤0.030	
Cr17Ni2	0.11~0.17	≤0.80	≤0.80	16~18	Ni1.50~2.50	≤0.035	≤0.030	

2. 机械性能

几种常用的不锈钢和碳素结构钢、合金结构钢的机械性能如表 2 所示。

表 2 不锈钢和一般钢材的机械性能

钢 号	机 械 性 能						
	σ_b (公斤/ 毫米 ²)	σ_s (公斤/ 毫米 ²)	δ (%)	ψ (%)	a_k (公斤·米/ 厘米 ²)	硬度HB	热处理 状 态
	不 小 于						
20	42	25	25	55	—	不大于156	热轧钢
40	58	34	19	45	6	不大于217	热轧钢
						不大于187	退火钢
45	61	36	16	40	5	不大于241	热轧钢
						不大于197	退火钢
20Cr	80	60	10	40	6	不大于179	退火回火 状 态
40Cr	100	80	9	45	6	不大于207	
1Cr13	60	42	20	60	9	121~187	退火回火 状 态
2Cr13	66	45	16	55	8	126~197	
3Cr13	85	65	12	45	5	131~207	
1Cr18Ni9Ti	55	20	40	55	10	≤192	淬火状态
Cr17Ni2	110	—	10	—	5	≤286	

3. 物理性能

几种常用的不锈钢和碳素结构钢、合金结构钢的物理性能如下：

(1) 比重

几种不同钢材的比重见表 3。

(2) 比热和导热率

几种不同钢材的比热和导热率见表 4。

(3) 材料线膨胀系数

几种不同材料的线膨胀系数见表 5。

表3 不锈钢和一般钢材的比重

材 料 名 称	比重 (克/厘米 ³)
铸钢	7.8
低碳钢 (含碳量 $\approx 0.1\%$)	7.85
中碳钢 (含碳量 $\approx 0.4\%$)	7.82
高碳钢 (含碳量 $\approx 1.0\%$)	7.81
高速钢 (含钨 $\approx 9\%$)	8.3
高速钢 (含钨 $\approx 18\%$)	8.7
不锈钢2Cr13	7.75
不锈钢1Cr18Ni9Ti	7.9

表4 不锈钢和一般钢材的比热、导热率

材 料 名 称	比热 (卡/克·度)	导 热 率 (100°C时, 卡/厘米 ²)
40	0.11	0.142
2Cr13	0.11	0.07
1Cr18Ni9Ti	0.12	0.04

表5 不锈钢和一般钢材的线膨胀系数

材 料 名 称	线膨胀系数 (100°C时)
铸 铁	$(8.7\sim 11.1) \times 10^{-6}$
黄 铜	17.8×10^{-6}
锡 青 铜	17.6×10^{-6}
铝 青 铜	17.6×10^{-6}
碳 钢	$(10.6\sim 12.4) \times 10^{-6}$
铬 钢	11.2×10^{-6}
不锈钢2Cr13	9.6×10^{-6}
不锈钢1Cr18Ni9Ti	16.6×10^{-6}

(三) 不锈钢的切削加工特性

不锈钢是难切削的材料，那末到底难在哪里？不锈钢材料的哪些特性是造成难以切削的主要因素？

各类不锈钢，由于其化学成分和机械性能都各不相同，其难以切削的程度也各不一样。也就是说，它们的切削加工特性有相似之处，也有很大的不同之处。例如，有的不锈钢在切削加工时，很不容易获得满意的加工表面光洁度，而有的不锈钢，其加工表面光洁度的提高并不太困难，可是在切削加工过程中刀具却特别容易磨损。但是综合起来，各类不锈钢之所以难以切削的主要原因，是由于它具有以下几点特性：

1. 韧性大、热强度高

2Cr13等马氏体类不锈钢和1Cr18Ni9Ti等奥氏体类不锈钢，其抗拉强度和硬度虽然都不太高，一般只相当于40号钢，但延伸率、断面收缩率和冲击值都比较高。特别是1Cr18Ni9Ti，延伸率为40号钢的210%（参见表2）。这样，在切削过程中，切屑就不容易被切离，切屑变形时所消耗的功也就大得多。因此，加工不锈钢时，切削抗力大，产生的切削温度高。另外，相对来说，不锈钢在高温下的强度降低较少。如当温度升高到500°C时，45号钢的持久强度为7公斤/毫米²，而1Cr18Ni9Ti在温度升高到550°C时，其持久强度仍保持有19~24公斤/毫米²。由此可见，在切削温度的作用下，不锈钢切屑之所以比一般普通碳素钢的切屑难以切离，热强度高是其中一个极为重要的因素。

同时，由于材料韧性大，热强度高，切屑就不易卷曲和折断，因此对容屑和排屑的要求就比较高。

2. 加工硬化趋势强

在金属切削过程中，由于刀具对工件材料挤压的结果，使切削区的金属产生变形。变形不仅在与刀具前面接触的部位（图1中部位1）发生，而且也在与刀具后面接触的部位（图1中部位2）发生。不过部位1的变形要比部位2的变形更严重一些。部位2的变形程度，将随与刀具后面接触部位距离的增大而递减，到一定距离，变形就完全消失。

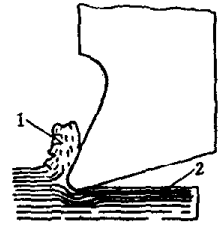


图1 切削过程中的加工硬化
1—切屑 2—加工硬化层

金属变形以后，晶内发生滑移，组织致密，机械性能也随着发生变化。其中最显著的变化，就是硬度增高（切屑的硬度一般可以增高2~3倍）。变形愈大，组织结构和机械性能的变化也愈大。例如表6所列的数据，就是奥氏体不锈钢变形程度对材料强度和硬度的影响。这种现象，通常称为“加工硬化”现象，或称“冷硬”现象。图1中部位2的变形部分，称为“加工硬化层”，或称“冷硬层”。

表6 奥氏体不锈钢变形程度对材料强度和硬度的影响

变形程度(%)	洛氏硬度(HRB或HRC)	强度极限(公斤/毫米 ²)
0	HRB 80	70.5
3.9	HRC 25.5	84
13.6	HRC 34	100
23.2	HRC 40	116
38.8	HRC 43.5	142

根据工件材料和切削条件的不同，切削加工的加工硬化层深度，可以从几十微米到几百微米不等，一般为100~200微米。冷挤压耐浓硝酸用不锈钢等材料，加工硬化层深度可达1毫米以上。

除马氏体类不锈钢以外，不锈钢的加工硬化趋势都很强。因此，前一次走刀（或前一道工序）所产生的加工硬化现象，转过来又妨碍下一次走刀（或后一道工序）时切屑的形成。并且由于加工硬化层的硬度较高（表面显微硬度HV可达350~560公斤/毫米²，比原硬度提高1.4~2.2倍），因而刀具特别易于磨损。

2Cr13等马氏体类不锈钢的加工硬化效应较小，基本上与一般合金钢相同。

3. 切屑的粘附性强

由于不锈钢材料韧性大，和其他金属材料相接触时，在一定压力的作用下，就会产生粘附现象。因此，在切削过程中，切屑碎末很容易牢固地粘附和熔着在刀具的切削刃上，形成刀瘤，使加工表面光洁度恶化，增加切削过程中的振动，并加速刀具的磨损。

4. 导热性差

1Cr18Ni9Ti不锈钢和2Cr13不锈钢的导热率，分别为40号钢的28%和50%（参见表4）。因此，切削过程中产生的大量切削热，往往不能通过工件—夹具—机床系统及时传出去，甚至切屑切离的热量也来不及传导到切屑的整体上。所以，大量的热量就都集中在切屑切离面和刀具的前面上。传入刀具的热量往往可以达到总热量的20%左右。而切削一般碳素钢时，传入刀具的热量仅占总热量的9%左右。因而容易使刀具的切削刃在高温作用下失去切削性能，或者加速磨损。

5. 材料中有碳化物微粒

1Cr18Ni9Ti等不锈钢，在晶界上往往有碳化钛的微粒存在；2Cr13等不锈钢亦含有少量碳化物。这些碳化物微粒的硬度很高，容易加速刀刃的磨损。

6. 材料线膨胀系数大，尺寸精度较难掌握

不锈钢材料的线膨胀系数较大(参看表5)，加工过程中，由于切削温度的影响，尺寸变化也就较大。精度要求较高的零件，在机床上测量为合格的尺寸，当卸活以后，往往由于零件温度的下降而引起尺寸超差，使操作者较难掌握。

7. 加工变形严重

由于不锈钢材料的线膨胀系数大、导热性能差和冷硬现象严重，在加工过程中容易引起局部过热而产生局部变形，以及前道工序的残余应力和切削部位因高温引起的碳化物析出等原因，不锈钢材料在切削加工过程中的变形现象比较严重，这就格外增加了工艺上的复杂程度。

(四) 不锈钢螺纹加工特点

螺纹加工就是用刀具将螺纹沟槽部分的材料切去。不论用车刀车削内、外螺纹或用丝锥加工内螺纹、板牙加工外螺纹，刀具的切削刃和工件材料总是成楔形接触，刀头三面都被金属材料所包围。因此，散热条件差，切削过程中所产生的大量热量不能迅速及时地排出，而必然会较多地传递给刀具，使切削部分温度升高。同时，由于排屑比较困难，被切削下来的切屑，往往在螺纹表面上起挤塞作用，特别是加工内螺纹时，切屑挤塞的情况就更加严重。另外，刀具切削部分因为受螺纹截面形状的限制，本身的强度较差，加工过程中容易发生振动。尤其是刀尖部分，切削条件最为恶劣，很

容易在切削过程中由于局部温度过高而烧坏，或者因为受力太大、振动或切屑挤塞等原因而引起刀刃崩裂。

加工不锈钢螺纹时，除了前面所说的螺纹加工的共同特点以外，又加上不锈钢材料本身的不易切削的特性，因此就显得格外困难一些。

不锈钢螺纹加工可以采用多种不同的方法，加工时的特点也各不相同。但是，不论采用何种加工方法，其共同之处表现在以下几方面：

1. 不容易获得较高的螺纹表面光洁度。特别是加工2Cr13等马氏体类不锈钢材料和螺纹面较大的各种梯形螺纹时尤其是这样。

2. 刀具特别容易磨损。

3. 和加工普通碳素钢螺纹相比，加工不锈钢螺纹时，必须采用较小的切削用量。

“世上无难事，只要肯登攀。” 不锈钢螺纹加工虽然难度较大，但是，只要我们从实践中认真摸索加工规律，并针对上述加工特点，采取有效的工艺措施，是能够在实际工作中取得良好效果的。

二、不锈钢螺纹的车削

在车床上用车刀车削内、外螺纹，是螺纹加工中最为普遍的一种方法，即通常的“挑扣”。加工不锈钢螺纹同样如此。

为了节省篇幅，不锈钢螺纹车削时与普通碳素钢螺纹车削时相同的部分，如机床的选择、机床的调整、工件的装卡、挂轮计算和车削多头螺纹时的分头方法等，这里就不再赘述。

（一） 螺 纹 车 刀

1. 制造螺纹车刀的材料

车削不锈钢螺纹的车刀，其切削部分的材料，一般有高速钢和硬质合金两种。

高速钢螺纹车刀的刃磨比较方便，刃磨后刃口也比较锋利，不易崩刃，对改善加工表面光洁度有利（特别是加工未经调质处理的2Cr13不锈钢）。它的主要缺点是容易磨损。刀刃一经磨损，螺纹加工表面光洁度就要受到影响。同时，高速钢螺纹车刀只能采用较低的切削速度。

高速钢牌号除了常用的W18Cr4V等以外，目前已有含钴、含铝等多种新的超硬型高速钢。这些超硬型高速钢具有较好的耐磨性能，并能适当提高车螺纹的切削速度。

实践证明，车削不锈钢螺纹时，高速车削往往比低速车削易于获得较高的加工表面光洁度。如果用硬质合金螺纹车刀，提高切削速度，不仅可以延长刀具使用寿命，而且能够

显著地改善螺纹加工表面光洁度。因此,除了小直径(M10以下)、小螺距($t < 1$ 毫米)的螺纹及其他特殊场合外(例如细长螺杆,易于变形,采用高速切削有困难等),大多数场合都采用硬质合金刀具。

根据实际使用,硬质合金以 YG8、YG8N、YG6X 和 YW1、YW2 等牌号较为合适。

螺纹车刀刀体部分的材料与一般车刀相同,通常采用 40 号、45 号钢。

2. 螺纹车刀切削部分的几何形状

内、外螺纹车刀的基本结构分别如图 2、图 3 所示。

螺纹车刀切削部分的几何形状,是影响切削效果的重要因素。由于不锈钢材料韧性大,切屑不易切离,因此切削刀具必须采用较大的前角,使刀刃锐利。车削螺纹时,同样也是如此。

螺纹车刀的前角 γ , 对螺纹表面光洁度的影响很大。通过试验和生产实践证明,车削不锈钢螺纹时,随着车刀前角的加大,螺纹表面光洁度会得到一定程度的改善。这是由于前角加大使切削变形容易,切屑能够比较顺利地切离的缘

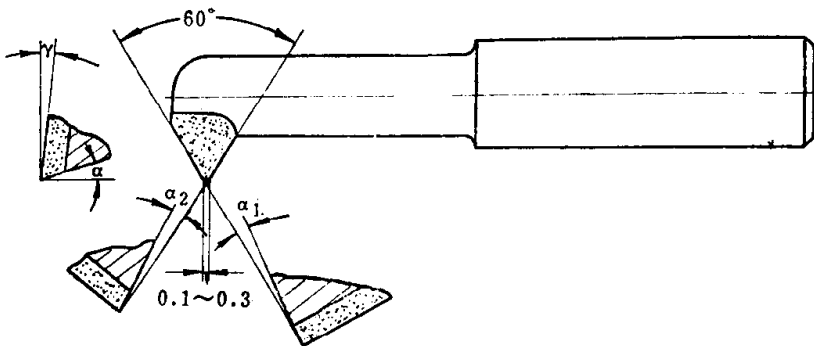


图 2 内螺纹车刀基本结构

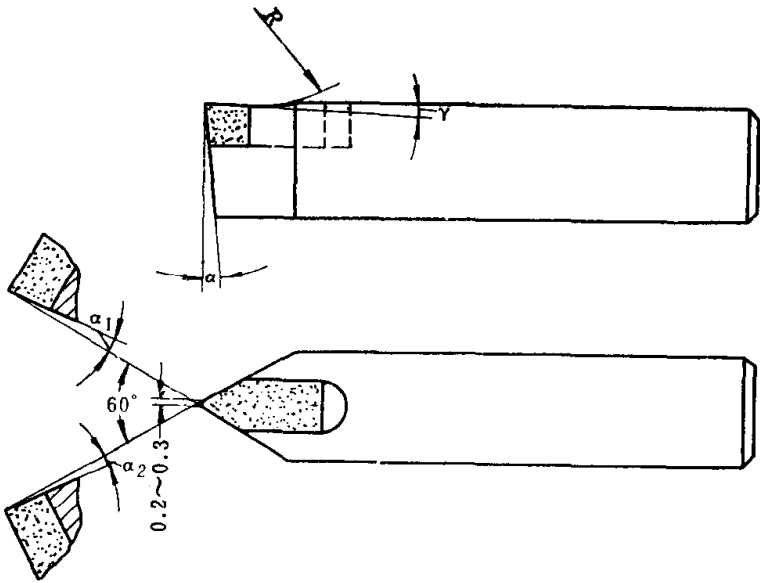


图3 外螺纹车刀基本结构

故。但是，前角太大，刀刃强度削弱，车刀的耐用度降低，同时也会由于刀刃的加速磨损而影响加工表面光洁度。

对螺纹加工来说，其中一个很重要的因素是，当车刀的前角增大以后，车削出来的螺纹牙形角会随着发生变化，因而产生牙形误差，影响加工精度。

图4a为螺纹径向截面。在 $\triangle CDD'$ 中，
因为 $\angle CD'D < \angle CDD'$ ，所以 $CD < CD'$ 。

图4b中， 刀尖角 $\varepsilon = \angle A'CB'$
牙形角 $\alpha = \angle ACB$

在直角三角形 CDA 和 $CD'A'$ 中，

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{AD}{CD}, \quad \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = \frac{A'D'}{CD'}$$

$$\text{因为 } AD = A'D', \quad CD < CD'$$