

●钢管的现代质量进展

钢管, 航空工程, 质量控制  
航空用精密钢管

57-60

邹子和  
(200940 上钢五厂)

V229.5

PRECISION STEEL TUBE FOR AVIATION

Zou Zihé

(Shanghai No. 5 Steel Works)

1 概况

航空用精密钢管主要包括航空用高压导管、燃油导管和飞机起落架管等,要求精度高、强度高、耐腐蚀、表面光滑及使用安全可靠。

我国的航空用精密钢管从无到有,产量和质量不断提高,品种不断扩大,主要品种有:20A、30CrMnSiA 和 1Cr18Ni9Ti 等航空精密管及 GH39、GH40、GH140 和 GH169 等高温合金航空精密管。

30 多年来,我国不仅在稳定航空精密管的生产工艺和提高质量方面做了大量的工作,而且进行了多方面的技术改造,引进国外先进技术,不断完善生产工艺,更新生产设备,初步形成了高标准的生产线。

随着我国航天空航工业的不断发展,自“八五”时期到本世纪末,我国对航空钢管的需求量将大幅度增加。国家将新建两条航空精密钢管专用生产线,引进高速轧管机 SKW75VMR、KPW50VMR、KPW25VMR,砂带抛光机,内壁喷砂机,精密钢管矫直机、切管机组、钢管喷码机等多项设备,以满足航空航天工业发展的需要。

2 标准演变及质量进展

2.1 标准演变

50 年代我国开始试制、生产航空用钢管时,沿用原苏联的 ЧМТУ 4870 - 50、ЧМТУ 1077、ЧМТУ 1078 等标准。60 年代我国为制订自己的标准做了大量的工作,1971 年颁布了航空用钢管标准,即 YB678-71 航空用不锈钢无缝钢管标准, YB679-71 航空用 18A 空心铆钉薄壁无缝钢管标准, YB680-71 航空用结构薄壁无缝钢管标准; YB681-71 航空导管用 20A 薄壁无缝钢管标准。60 年代末,试轧成功航空厚壁无缝钢管,因此,1973 年又制定了 YB676-73 航空用结构钢厚壁无缝钢管标准。从此,我国有了较完整的航空用钢管标准。

随着国内外航空及冶金科学技术的突飞猛进,冶金部已决定修订航空钢管标准,并将其升级为国家标准。

2.2 质量进展

我国航空用钢管原主要采用 20A、1Cr18Ni9Ti、30CrMnSiA 三大钢种。由于飞机性能不断提高,近年不锈钢类航空精密管的用量大增,目前已普遍采用 GH30、GH140、GH39 和 GH44 等耐腐蚀、耐高温材料的航空用管。同时,还将进一步研制具有较高的比强度、耐热和耐腐蚀性能的航空用钛合金管。

长期以来,我国的冶炼、热轧和冷加工的

工艺设备比较落后,因此,航空钢管生产的合格率与成材率都比较低,表面质量也比较差。直到80年代从德国引进8头砂带抛光机后,航空钢管的表面质量才大幅度提高,减少或避免了原抛光中产生的抛焦、抛椭圆和抛超差等问题。与此同时,上钢五厂采用KPW50VMR高速冷轧管机进行定壁轧制,轧制前的坯料经砂带抛光等先进工艺处理,因此,较大幅度地提高了航空不锈钢管的表面质量。现在,航空不锈钢管已全部采用多重超声波探伤工艺,并制订了我国超声波探伤钢管标准(GB4163—84),从而使航空钢管的质量有了进一步保证。

### 3 生产工艺及质量控制

#### 3.1 生产工艺

航空精密钢管的生产主要由毛管生产和成品管生产两部分组成。前者通过热加工的方式获得,后者则通过冷加工的方式完成。

热加工有热挤压法和斜轧穿孔法两种生产工艺。国外普遍采用热挤压法。其优点是:金属变形时处于三向压应力状态,因而毛管可以获得较好的表面质量和内在质量;对于高合金,高性能及难变形的合金,采用挤压法可以获得较高的成材率;仅需简单更换工模具,就可获得不同尺寸的毛管。国内一直采用斜轧穿孔法。穿孔时,金属变形过程中存在“曼内斯曼效应”,影响毛管的内壁质量。上钢五厂从60年代初就开始系统研究斜轧穿孔过程中的“曼内斯曼效应”现象,通过严格控制各种变形参数,不仅减缓了“曼内斯曼效应”的不利影响,提高了毛管的内壁质量,而且还充分利用了“曼内斯曼效应”来降低穿孔过程中的力能消耗,提高了穿孔工具的寿命。

要通过斜轧穿孔工艺获得高质量的毛管,首先,必须严格控制管坯质量,除对管坯化学成分中的Ti/C和Cr/Ni要求严格外,对管坯的低倍组织、高倍组织及塔形检验还

有特殊要求。其次,穿孔管坯还必须经过全剥皮并在一端定心。此外,对管坯加热还有特殊要求,如低温进炉、快速加热及沿管坯断面上的“不均匀”加热等。而加热温度则要根据每一炉钢实际的 $\alpha$ -相、晶粒度和氮化钛的含量来调整。

冷加工生产成品管采用冷轧和冷拔两种工艺。冷轧工艺的特点在于过程的周期性,冷拔工艺的特点在于过程的连续性。国内外多采用冷轧—冷拔联合工艺进行冷加工。

综上所述,生产航空用精密钢管的具体工艺流程如下:

#### (1) 由穿孔坯生产航空钢管工艺

管坯(圆钢)→定切→定心→剥皮→检验→加热→穿孔→酸洗→检验→平两头→酸洗→镀铜→涂灰→烘烤→冷轧(LG80轧到 $\Phi 57\text{mm}$ )→去油→内磨→外抛→去油→热处理→矫直→切管→酸洗→镀铜→涂灰→烘烤→冷轧(LG55轧到 $\Phi 38\text{mm}$ )→去油→砂带抛光→去油→热处理→矫直→切管→酸洗→冷却(KPW50VMR轧到 $\Phi 22\text{mm} \times 0.9\text{mm}$ 定壁)→切管→去油→超声波探伤→合格品(不合格品经砂带抛光后进行超声波探伤)。

#### (2) 由挤压坯生产航空钢管的工艺

管坯→锯断落料→扒皮→端面加工→钻深孔→脱脂→加热→润滑→立式穿孔→再加热→外滚粉→内涂粉→挤压→切两头→酸洗→检验→镀铜→涂灰→烘烤→冷却(其余工序与由穿孔坯生产航空钢管工艺相应部分相同)→热处理→矫直→切管→打头→酸洗→润滑→冷拔(循环1~3道次拔到成品规格)→去油→热处理→矫直→切管→酸洗→外表面肉眼检验→超声波探伤→合格品白化(不合格品经砂带抛光后超声波探伤)→过磅→入库→包装。

#### 3.2 质量控制

航空精密管的生产工艺对钢管质量影响很大,必须严格进行以下控制,才能保证产品

质量。

### (1) 脱脂

生产航空精密管必须进行工艺润滑,一般采用牛油加石灰或冷轧润滑油(大多以氯化石蜡为基)进行润滑。而航空精密管的碳含量极低(大多在 0.08% 以下),若除油不净,在热处理过程中极易渗碳,致使钢管表面含碳量增加,导致钢管晶界贫铬,降低耐晶间腐蚀性能。因此,必须强化生产过程中的脱脂工艺,严防热处理过程中钢管表面增碳。

常用脱脂工艺有:

1) HF+HNO<sub>3</sub>, HF 3%~5% HNO<sub>3</sub> 10%~15%, 70~80℃, 适宜于除去牛油石灰润滑剂和镀铜层。

2) HNO<sub>3</sub> 5%~15%, 可在室温下使用,能泡松石灰。

3) 有机溶剂(煤油,三氯乙烯,四氯乙烯等),适宜于去除冷轧润滑油、氯化石蜡等。

4) 专用脱脂剂,如 CS68 适用于冷轧油 TDN81、TDN90 和 STR-1 冷轧润滑剂等,在 60~70℃ 下使用。

常用脱脂流程为:

脱脂剂中浸洗→清水洗→逐支冲洗→清水洗→热水洗。

脱脂需反复进行多次,以确保脱脂质量。若进行无氧化热处理,处理前的脱脂必须保证绝对干净。

### (2) 耐晶间腐蚀性能控制

钢管产生晶间腐蚀的根本原因在于沿晶界析出铬碳化物。因此,含碳量是直接影响钢管耐腐蚀性能最明显的因素。当含碳量低于 0.03% 时,钢管不易出现晶间腐蚀。钢管不出现晶间腐蚀的最低含碳量与钢中的含碳量有关,抗晶间腐蚀最高含碳量与含铬量的关系式为:

$$Cr - 80 \times C \geq 16.8$$

为了避免钢中的铬损失,可通过加入与碳亲和力大的合金元素和碳生成比(Cr,

Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 更稳定的碳化物,使铬仍固溶在奥氏体中。通常的稳定化元素有钛和铌,钢中加钛和铌的量为:

$$Ti = (C - 0.02) \times 5\% \sim 0.8\%$$

$$Nb = 10 \times C\%$$

从以上关系式可以看出,钢中稳定化元素的加入量与钢中碳含量有关,碳含量越高,需加入的 Ti, Nb 等稳定化元素量越多,这样就易导致钢中夹杂物增加。因此,降低钢中的碳含量是防止晶间腐蚀的最佳方法。

### (3) 打头质量控制

打头质量控制主要指打头加热时的过渡区控制。过渡区的加热温度正好为材料的敏化温度范围,最易产生晶间腐蚀,所以要求过渡区越短越好,打头操作时必须快速加热,均匀加热,快速锤打,快速水淬,尽量避免在敏化温度范围停留,尽可能使更多的碳化物固溶到奥氏体中去。

### (4) 热处理制度

不锈钢和耐热钢大多采用固溶处理,以使原来沿晶界分布的铬碳化物重新固溶入奥氏体中,消除晶界附近的贫铬区,提高钢材抗晶间腐蚀能力。奥氏体不锈钢固溶处理温度一般为 1050~1150℃,钢中含碳量高时温度取下限,钢中含碳量低时温度取上限。固溶温度偏低,碳化物溶解不充分;固溶温度过高,奥氏体中固溶的碳量增多,敏化处理时更易析出(Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>,因而增加了钢的晶间腐蚀敏感性。

在铬、镍奥氏体不锈钢中,碳的固溶温度由下式决定

$$\lg C = -6100/T + 4.21 - 0.0186(Cr\% + Ni\%)$$

式中 C——奥氏体中固溶碳的重量百分比  
Cr, Ni——分别为钢中的含铬、镍量, %

T——固溶处理温度, K

### (5) 冷变形量

冷变形量的大小将影响晶粒细化和内外表面的光洁度。冷变形量越大,则晶粒越细小,晶界总面积将增加,单位晶界面积上碳化物的析出量会减少,耐晶间腐蚀性能会提高;尤其是在减径的同时减壁,内外表面均受到冷变形,表面比较光洁,不会产生因内壁粗糙而造成的晶间腐蚀。

#### (6) 超声波探伤

航空用精密钢管需经超声波多次探伤,以保证产品质量。

1) 定壁在制品逐支进行探伤;

2) 成品逐支探伤,一头探完后,调头再逐支探伤。

#### (7) 标记与包装

标记方法:

1) 漆印;  
2) 喷印(手工,用空心标牌和快干漆喷印);

3) 刻印(可采用 BW-1 双色电刻机);

4) 电脑喷印,具有全电脑化,非接触式喷印的特点。

包装要求:

1) 扎小捆;

2) 装箱(箱内要有衬垫);

3) 特殊用途,壁特别薄的可用塑性套管单支包装;

4) 包装过程中,要轻拿轻放,切忌碰伤,擦伤,碰瘪。

(收稿日期:1994-07-30)

## ● 信息

### 冶金工业部发布 1994 年度 “冶金产品实物质量金杯奖”认定结果

#### CALIBRATION RESULTS FOR 1994 "GOLDEN CUP AWARD FOR METALLURGICAL PRODUCTS PHYSICAL QUALITY" ISSUED BY MINISTRY OF METALLURGICAL INDUSTRY

冶金工业部、冶金工业质量管理协会于 1995 年 1 月 10 日发布“冶金产品实物质量金杯奖”认定结果。认定产品有效期为 5 年。

从 1990 年起,冶金工业部组织有关重点用户、同类产品生产企业、科研院所和质检中心的专家对钢材和金属制品的实物质量水平开展认定工作。经专家认定,1990~1993 年计有 29 家企业的 63 个产品的实物质量达到或基本达到国际同类产品实物水平,获“冶金产品实物质量金杯奖”,其中宝山钢铁(集团)公司的高压锅炉用无缝钢管及低、中压锅炉用无缝钢管,上海第一钢铁厂的船舶用无缝钢管,上海钢管股份有限公司的汽车减震器用冷轧精密无缝钢管,成都无缝钢管厂的液压件用、船舶用、结构用无缝钢管以及衡阳钢管有限公司的汽车半轴套用热轧无缝钢管等产品获此奖。1994 年度又有 21 家企业的 30 个产品通过专家认定,其中宝山钢铁(集团)公司的管道、容器、设备结构用热轧无缝钢管,上海钢管股份有限公司的高压锅炉用冷拔无缝钢管和低、中压锅炉用冷拔无缝钢管,锦西钢管厂的矿山流体输送用直缝电焊钢管等钢管产品获此奖。

冶金产品实物质量水平认定工作今后还将继续进行。

摘自《冶金报》1995 年 1 月 11 日第四版