

# 冷拔工艺对0Cr13铁素体不锈钢Φ2.51 mm冷拔材组织和性能的影响

段路昭<sup>1,2</sup> 孔令波<sup>1</sup> 崔娟<sup>1,2</sup>

(1 邢台钢铁有限责任公司技术中心, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

**摘要** Φ5.50 mm 0Cr13 铁素体不锈钢(∕% : 0.03C, 0.43Si, 0.65Mn, ≤0.030P, ≤0.030S, 12.80Cr) 热轧盘条 860 °C 2 h 退火, 并经 5 和 7 道次冷拔至 Φ2.51 mm 材。试验研究了冷拔变形量、减面率分配, 冷拔道次数量等因素对钢的组织 and 性能的影响。结果表明, 当总减面率大于 61.3% 时钢中出现明显纤维状组织; 在冷拔过程钢的抗拉强度随减面率增加呈现快速-缓慢-快速增加 3 个阶段; 头两道次冷拔, 均匀分配减面率时钢的加工硬化严重; 总减面率 79.2% , 5 道次冷拔钢丝比 7 道次拉拔的钢丝抗拉强度高 20 MPa; 头两道次合适的减面率为第 1 道次 35.1% , 第 2 道次 10.5% ; 从具体生产条件综合考虑, 5 道次比 7 道次更适合 Φ2.51 mm 0Cr13 钢材的生产。

**关键词** 0Cr13 铁素体不锈钢 冷拔工艺 组织 性能

## Effect of Cold-Rolling Process on Structure and Properties of Φ2.51 mm Cold-drawn Products of Ferrite Stainless Steel 0Cr13

Duan Luzhao<sup>1,2</sup>, Kong Lingbo<sup>1</sup> and Cui Juan<sup>1,2</sup>

(1 Technology Center, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027;  
2 Hebei Engineering Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027)

**Abstract** The Φ2.51 mm cold-drawn rod of ferrite stainless steel 0Cr13 (∕% : 0.03C, 0.43Si, 0.65Mn, ≤0.030P, ≤0.030S, 12.80Cr) is cold-drawn from Φ5.50 mm hot-rolled coil annealed at 860 °C for 2 h by 5 and 7 passes. The effect of cold-drawing deformation, distribution of draught and cold-drawing passes on structure and properties of the steel is tested and studied. Results show that as total draught is more than 61.3% , the obvious fibrous structure occurs in steel; during cold-drawing process with increasing the draught, the of tensile strength of steel increases in three-stages, i. e. fast, slow and fast increasing; in first and second drawing passes, with equal draught the work-hardening of steel is more serious; with total draught 79.2% , the tensile strength of steel rod cold-drawn with 5 passes is high by 20 MPa than that with 7 passes; the suitable draught for beginning two passes is that first pass 35.1% and second pass 10.5% ; comprehensive considering from specific production condition, as compare 7 passes process the 5 passes process is more suitable to produce the Φ2.51 mm products of steel 0Cr13.

**Material Index** Ferrite Stainless Steel 0Cr13, Cold-Drawn Process, Structure, Properties

铁素体不锈钢热轧盘条多用于生产轴杆类、紧固件及厨房用具等, 这些产品在生产过程中都需要进行冷拔加工。不同文献对奥氏体不锈钢<sup>[1-3]</sup>、高碳钢<sup>[4]</sup>、低碳拉线材<sup>[5]</sup>以及镁合金<sup>[6]</sup>等冷拔加工进行了研究, 分析了冷拔工艺如拉拔道次、道次减面率、冷拔速度和润滑等对最终产品的性能的影响。并且有研究<sup>[7-8]</sup>指出了冷拔加工中的发热现象对冷拔工艺和材料性能的影响。本文研究了不同冷拔工艺对 0Cr13 铁素体不锈钢组织和性能的影响。

### 1 试验材料及方案

冷拔用 0Cr13 钢(∕% : 0.03C, 0.43Si, 0.65Mn, 12.80Cr, ≤0.030P, ≤0.030S) 生产加工流程为: 铁前处理→炼铁→50 t AOD→50 t LF→150 mm × 150 mm 连铸坯→加热炉加热→控轧(终轧 900 °C)→斯太尔摩冷却线(盖保温罩)→打包→退火(860 °C 保温 2 h)→酸洗→室温下冷拔。

热轧材经过退火和表面处理, 规格为 Φ5.50 mm 的盘条, 进行不同工艺的冷拔加工, 并在冷拔过程中对每个道次进行取样, 使用 Leica DM2500 光学显微镜和 CMT5504 电子万能试验机进行金相组织和力学性能检验。冷拔试验设计为 4 个工艺(表 1)。

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 变形量对显微组织的影响

图 1 为 0Cr13 钢 Φ5.50 mm 退火材及不同冷拔减面率下的显微组织。从图 1(a) 中可以发现, Φ5.50 mm 退火材组织中存在一定程度的组织不均, 这是 0Cr13 钢在两相区轧制而成, 在退火工序无法消除而遗传至退火材中。图 1(b, c) 显示, 当冷拔减面率由 16.7% 增加至 52.8% 时, 晶粒并没有出现明显的拉长; 而随着冷拔的进行, 线材直径的不断减小, 当减面率达到图 1(d) 所示的 61.3% 时, 晶粒表现出明显的拉长现象, 呈现出纤维状组织; 纤维状的

表 1 试验 0Cr13 钢的冷拔工艺  
Table 1 Cold-drawing process for tested steel 0Cr13

工艺	原料尺寸/ mm	第 1 道次		第 2 道次		第 3 道次		第 4 道次		第 5 道次		第 6 道次		第 7 道次	
		尺寸/ mm	减面率/ %	尺寸/ mm	减面率/ %	尺寸/ mm	减面率/ %	尺寸/ mm	减面率/ %	尺寸/ mm	减面率/ %	尺寸/ mm	减面率/ %	尺寸/ mm	减面率/ %
1	5.50	5.02	16.7	4.19	30.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5.50	4.43	35.1	4.19	10.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5.50	4.43	35.1	3.78	27.2	3.29	24.2	2.92	21.2	2.51	26.1	-	-	-	-
4	5.50	4.77	24.8	4.19	22.8	3.78	18.6	3.42	18.1	3.09	18.4	2.78	19.1	2.51	18.5

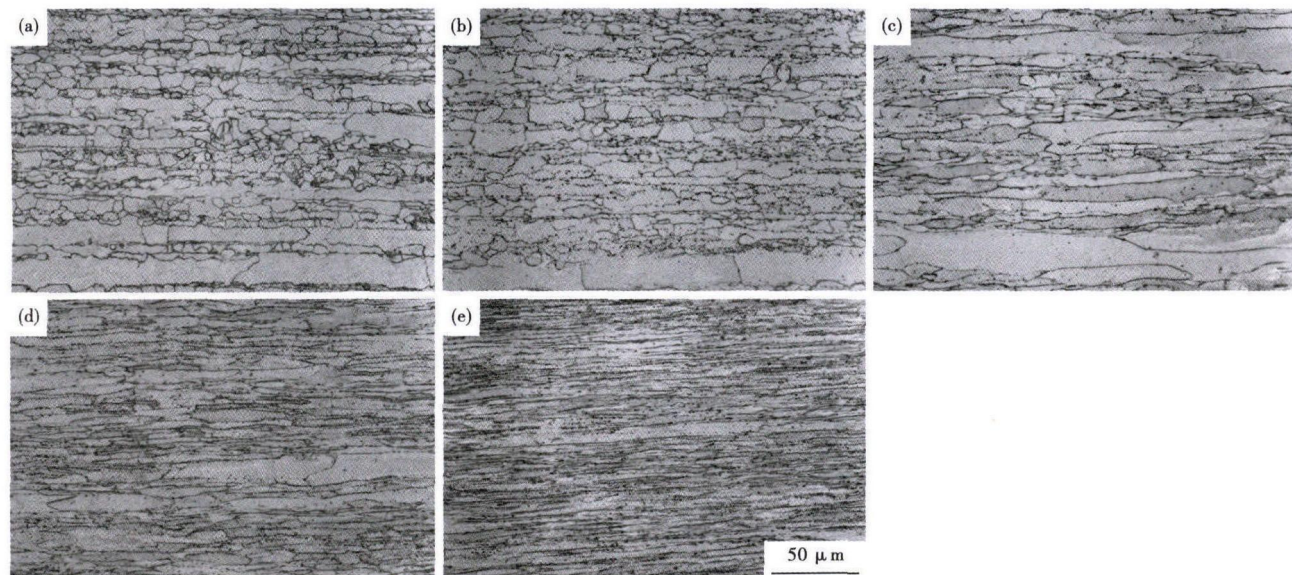


图 1 试验 0Cr13 钢减面率(a)0% ; (b)16.7% ; (c)52.8% ; (d)61.3% ; (e)79.0% 的组织形貌

Fig. 1 Morphology of structure of tested steel 0Cr13 with draught 0% (a), 16.7% (b), 52.8% (c), 61.3% (d) and 79.0% (e)

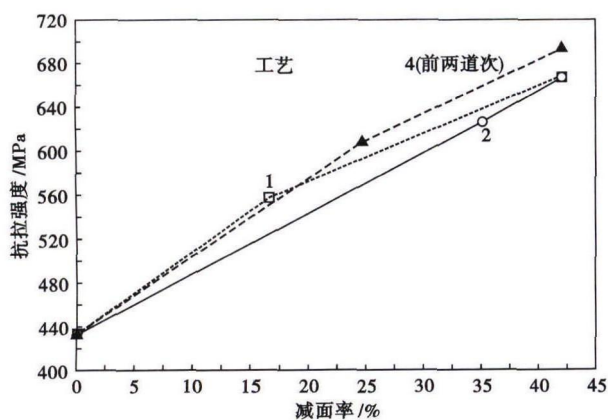


图 2 道次减面率对试验 0Cr13 钢抗拉强度的影响

Fig. 2 Effect of pass draught on tensile strength of tested steel 0Cr13

组织特征随减面率的增加而加剧。

### 2.2 减面率分配对力学性能影响

图 2 所示为工艺 1、工艺 2 和工艺 4(前两道次)在相同的总减面率(42.0%)条件下,不同道次减面率分配对产品力学性能影响的折线图。如表 1 所示,按照工艺 1、工艺 4(前两道次)和工艺 2 的顺序,

第 1 道次减面率逐渐升高,分别为 16.7%、24.8% 和 35.1%;第 2 道次减面率逐渐降低,分别为 30.3%、22.8% 和 10.5%。

从图 2 中可以发现,Φ5.50 mm 退火材的抗拉强度为 434 MPa,经过冷拔加工后,材料的抗拉强度都呈现出快速增加的趋势。不同的是,当总减面率均为 42.0% 时,按照工艺 1 和工艺 2 冷拔所得的 Φ4.19 mm 钢丝的抗拉强度较低,且两者大致相等,分别为 668 MPa 和 667 MPa;而按照道次减面率均匀分配的工艺 4(前两道次)冷拔所得的 Φ4.19 mm 钢丝的抗拉强度最高,为 693 MPa。相比而言工艺 2 更适合两道次 Φ4.19 mm 的钢丝。

### 2.3 冷拔道次数对力学性能影响

图 3 为冷拔道次数对抗拉强度的影响曲线。图 3 中工艺 3 和工艺 4 分别经过 5 道次和 7 道次将 Φ5.50 mm 的退火盘条冷拔至 Φ2.51 mm,总减面率约为 79.2%。如图 3 所示,总冷拔减面率达到 52.8% 时,工艺 3 的钢丝抗拉强度为 711 MPa,工艺 4 的抗拉强度为 707 MPa,两者相差不大,但工艺 3 高于工艺 4。当总减面率达到 79.2% 时,工艺 3 的

抗拉强度为 860 MPa, 工艺 4 的抗拉强度为 840 MPa, 工艺 3 仍旧高于工艺 4, 且两者相差 20 MPa, 强度差变大。

因此, 对于 0Cr13 钢(总减面率 79.2%)而言, 5 道次冷拔比 7 道次冷拔所得产品的抗拉强度高, 加工硬化严重; 但两者相差不大(相差 20 MPa)。但综合考虑, 5 道次冷拔工艺更适合此钢种此规格钢丝的工业生产。

#### 2.4 抗拉强度随减面率变化特点

从图 4 中可以看出, 0Cr13 钢丝抗拉强度随减面率的增加呈现出 3 个阶段, 在第 1 阶段和第 3 阶段抗拉强度随减面率的增加呈现出快速增长的特点; 第 2 阶段期间抗拉强度随减面率的增加呈现增长速度变缓的特点。

第 1 阶段: 总减面率 < 35.0%, 位错强化机制占据了十分重要的地位。

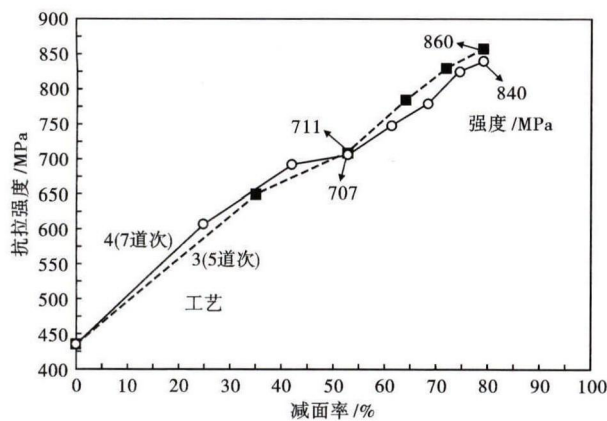


图 3 总减面率 79.2% 时冷拔道次数对 0Cr13 钢抗拉强度影响: 5 道次- 工艺 3; 7 道次- 工艺 4

Fig. 3 Effect of cold-drawing passes on tensile strength of steel 0Cr13 with total draught 79.2%; 5 passes- process No3; 7 passes- process No4

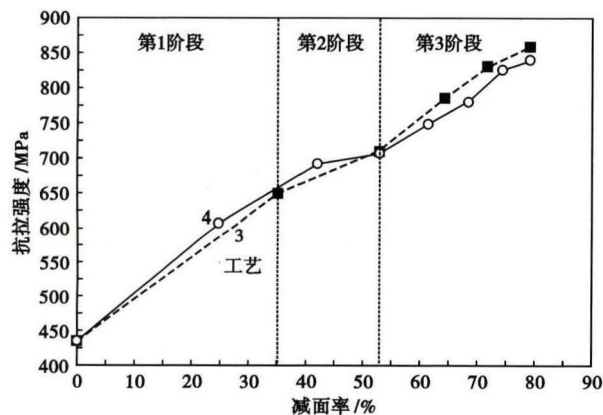


图 4 试验 0Cr13 钢抗拉强度随减面率增加的 3 个阶段

Fig. 4 Three stages of increasing tensile strength of tested steel 0Cr13 with increasing draught

第 2 阶段: 总减面率处于 35.0% ~ 52.8%, 影响其力学性能的因素不仅有位错强化, 还有回复软化。其中位错强化同第一阶段类似; 而回复软化是在冷拔过程中经过一定道次和变形量后, 大量的冷拔能量转化成热能, 一部分通过传导和对流的方式传至空气、卷筒和模具, 还有一部分热能使得材料的温度升高, 其温度范围一般处于 100 ~ 250 °C, 个别期间会达到 300 °C。这对点缺陷的消除、位错的重排等有很大的影响, 能够消除部分硬化的效果, 因而这个阶段抗拉强度随减面率增加而增加的速率有所减缓。

第 3 阶段: 总减面率 > 52.8%, 此阶段对其力学性能影响的因素不仅有位错硬化和回复软化, 还有织构。从图 1 所示的金相组织可以看到, 当总减面率为 52.8% 时, 纤维组织并不明显; 而当总减面率为 61.3% 时, 材料表现出明显的纤维组织, 晶粒已经呈现出明显的规则分布, 形成丝织构, 这会使得材料的抗拉强度升高。这也正是材料第 3 个阶段抗拉强度随减面率增加而快速增加的一个重要原因。

### 3 结论

(1) 随减面率的增加, 晶粒逐渐拉长, 当总减面率 > 61.3% 时, 出现了明显纤维状组织。

(2) 两道冷拔而言, 两道次均匀分配使得试验材料的抗拉强度升高最为明显; 工艺 2 更适合 0Cr13 钢的两道次冷拔加工。

(3) 当总减面率为 79.2% 时, 5 道次的加工硬化要高于 7 道次的加工硬化。

(4) 抗拉强度随总减面率的变化呈现 3 个阶段。

### 参考文献

- [1] 李维东, 马全达. 冷变形对 304 不锈钢组织和性能影响的探讨[J]. 理化检验-物理分册, 2002, 38(11): 507-510.
- [2] 黄文克, 孔凡亚. 冷拔高强 00Cr18Ni10N 不锈钢丝显微组织与力学性能[J]. 金属学报, 2009, 45(3): 275-279.
- [3] 吴涛. 不锈钢微丝的制备及组织与性能研究[D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [4] 黄卫, 张登明. 72B-1 盘条冷拉工艺改进[J]. 金属制品, 2005, 31(2): 13-14.
- [5] 李斌. 高速线材拉拔性能的研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004.
- [6] 袁珍友, 刘丽, 赵元聪, 等. AZ31 镁合金细丝拉拔工艺的研究[J]. 四川有色金属, 2013, 2: 42-44.
- [7] 张雅菊, 李广宇. 钢丝拉拔过程中的发热及危害[J]. 金属制品, 2000, 26(6): 16-19.
- [8] 王自森. 拉拔时发热现象的探讨[J]. 金属制品, 2005, 31(4): 14-15.

段路昭(1986-), 男, 硕士(2013年北京科技大学), 工程师, 2010年燕山大学(本科)毕业, 不锈钢线材产品的开发和应用。E-mail: duanzl2006@126.com

收稿日期: 2016-12-05