

## 0Cr13C 铁素体不锈钢冷拔断丝分析及工艺改善

宋云霞<sup>1</sup> 张孟昀<sup>2</sup> 白李国<sup>2</sup> 张荣兴<sup>2</sup> 马祥锋<sup>2</sup>  
(邢台钢铁有限责任公司 1 技术中心; 2 不锈钢公司, 邢台 054000)

**摘要** 0Cr13C 钢( /% : 0.02C, 0.32Si, 0.18Mn, 0.016P, 0.002S, 12.25Cr, 0.014 0N) 冷拔丝的工艺为 Φ5.5 mm 热轧退火材(680 ~ 700 °C 退火)-冷拔至 Φ2.0 mm 材-氢气退火-冷拔至 Φ0.70 mm 丝-氢气退火-冷拔至 Φ0.3 mm 丝。通过成分、断口、组织和力学性能分析,得出退火 Φ5.5 mm 热轧材为混晶组织,强度较高,造成冷拔时变形不均和断丝。通过 720 ~ 760 °C 退火试验表明,随退火温度升高,抗拉强度降低,720、740、760 °C 退火后 0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 热轧材的抗拉强度分别为 471 ~ 503 MPa, 417 ~ 448 MPa 和 378 ~ 417 MPa。生产结果表明,通过将 Φ5.5 mm 热轧盘条的退火温度从原 680 ~ 700 °C 2 h 提高至 740 °C 3 ~ 4 h, 每台冷拔机的平均断丝率由 6 次/12 h 降至 2 次/12 h。

**关键词** 0Cr13C 铁素体不锈钢 冷拔 断丝 退火工艺

## An Analysis on Wire Fracture in Cold-Drawing of Ferrite Stainless Steel 0Cr13C and Process Improvement

Song Yunxia<sup>1</sup>, Zhang Mengyun<sup>2</sup>, Bai Ligu<sup>2</sup>, Zhang Rongxing<sup>2</sup> and Ma Xiangfeng<sup>2</sup>  
(1 Technology Center; 2 Stainless Steel Co, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054000)

**Abstract** The process for cold-drawn wire of steel 0Cr13C ( /% : 0.02C, 0.32Si, 0.18Mn, 0.016P, 0.002S, 12.25Cr, 0.014 0N) is Φ5.5 mm hot-rolled rod annealed at 680 ~ 700 °C -cold-drawing to Φ2.0 mm coil-hydrogen annealing (HA)-cold-drawing to Φ0.70 mm wire-HA-cold-drawing to Φ0.3 mm wire. With analysis on composition, fracture, structure and mechanical properties of steel, it is obtained that the Φ5.5 mm annealed hot-rolled coil has mixed grain structure and higher tensile strength led to non-homogeneous deformation and wire fracture during cold-drawing process. Test results of annealing at 720 ~ 760 °C show that with increasing annealing temperature the tensile strength of steel 0Cr13C decreases, the tensile strength of Φ5.5 mm rod annealed at 720 °C, 740 °C and 760 °C is respectively 471 ~ 503 MPa, 417 ~ 448 MPa and 317 ~ 417 MPa. The production results show that by increasing annealing temperature of Φ5.5 mm hot-rolled coil from original 680 ~ 700 °C for 2 h to 740 °C for 3 ~ 4 h, average ratio of wire fracture at each cold-drawing bench decreases from 6 times/12 h to 2 times/12 h.

**Material Index** Ferrite Stainless Steel 0Cr13C, Cold-Drawing, Wire Fracture, Annealing Process

近年来,铁素体不锈钢因其具有良好的塑性和耐蚀性而得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>。0Cr13C 作为拉拔性能较好的铁素体不锈钢,主要用于清洁球生产,但拉拔过程中若出现断丝会严重影响生产连续性<sup>[3]</sup>,降低产量。断丝原因可大致分为原材料质量优劣和生产设备设定是否匹配等方面<sup>[4-5]</sup>。本文在生产设备良好的前提下,从原材料出发,对断丝样品成分、断口形貌、力学性能和金相组织四方面进行分析,确定断丝原因,并进行了相应工序的优化及效果验证。

### 1 样品选取

清洁球生产工艺为:母材(Φ5.5 mm)-粗拉(Φ2.0 mm)-氢气退火-中拉(Φ0.7 mm)-氢气退火-湿拉(Φ0.3 mm)-打球。生产过程中出现频繁断丝后,选取母材样和粗拉精线退火样品,同时对断口样进行了留存,用于原因分析。

### 2 样品检验

#### 2.1 成分分析

利用光谱仪对母材样进行了成分分析,结果见表 1 所示。

从表 1 可以看出,试验钢(母材样品)成分满足企业标准要求,其中易形成二相粒子的 C、N 元素均处于正常控制水平。

#### 2.2 断口形貌分析

表 1 冷拔过程断丝 0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 坯料成分分析 / %

Table 1 Composition analysis of Φ5.5 mm coil of steel 0Cr13C with wire fracture in cold-drawing process / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
企业标准	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.010	11.50 ~ 12.50	≤ 0.60	-
试验钢	0.02	0.32	0.18	0.016	0.002	12.25	0.05	0.014 0

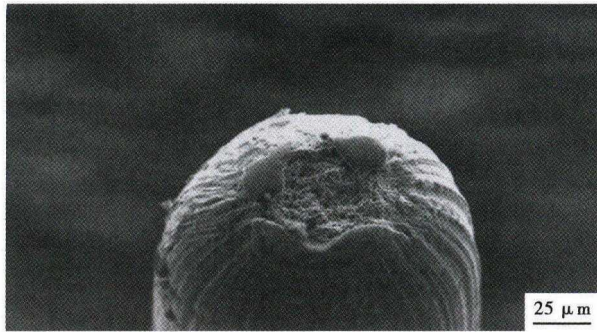


图 1 冷拔过程断丝的 0Cr13C 钢断口形貌

Fig.1 Morphology of fractured surface of wire fracture of steel 0Cr13C in cold-drawing process

利用扫描电镜对断口样品进行了断口形貌观测,见图 1 所示。试验钢材材料断裂宏观上分为两大类:(1)材料表面存在裂纹源;(2)裂纹源起源于材料内部<sup>[6]</sup>。由图 1 可知,试验钢断口外边缘无明显缺陷,断口无人字形放射条纹出现,说明产生断丝非材料外部缺陷造成。断口向中部呈收缩状,为明显塑性断裂类型,对试验钢断口内部进行电镜扫描,亦未发现异常成分,说明非夹杂物异常造成断丝。

### 2.3 力学性能分析

对断裂母材和粗拉退火精线进行力学性能分析,并与良好母材及精线性能进行比较,结果见表 2 所示。

良好的母材性能是整个拉拔过程顺利进行的基础,由表 2 可知,母材力学性能会向拉拔精线延续,故当母材强度普遍偏高,延伸率较低时,相同生产工艺下,其精线力学性能也相应恶化,造成拉拔过程中断丝率升高。

### 2.4 金相组织分析

表 2 冷拔未断裂和冷拔断裂 0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 坯料和冷拔 Φ2.0 mm 丝力学性能对比

Table 2 Comparison between mechanical properties of Φ5.5 mm coil and Φ2.0 mm coil of steel 0Cr13C with non-wire fracture and wire fracture during cold-drawing process

试验钢样品	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	断面收缩率/ %
良好母材 (Φ5.5mm)	437	37	82
	440	36.5	83
断裂母材 (Φ5.5mm)	512	27	78
	537	26	80
	524	26	81
	516	30	79
良好精线 (Φ2.0mm)	567	21	28
	572	20	28
断裂精线 (Φ2.0mm)	758	10	26
	827	10.1	24
	787	10	26
	754	10	26

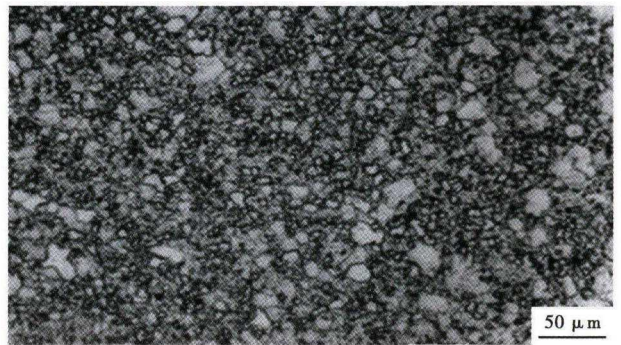


图 2 冷拔过程断丝 0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 坯料 680 ~ 700 °C 2 h 退火后的组织形貌

Fig.2 Morphology of structure of steel 0Cr13C Φ5.5 mm coil annealed at 680 ~ 700 °C for 2 h being fracturing in cold-drawing process

断丝母材退火工艺为 680 ~ 700 °C 保温 2 h,之后随炉冷却至室温,其金相组织分析见图 2 所示。

根据 0Cr13C 钢种相图可知,退火后其内部组织主要为铁素体,故退火时应着重控制其晶粒大小及均匀性。由图 2 看出,该退火母材晶粒尺寸细小,此形貌对应的母材力学性能为高强度、低延伸率,在拉拔过程中极易出现塑性变形不足,同时个别区域存在混晶现象,造成拉拔过程中内部组织变形不一致,最终导致拉拔断丝。

综上所述,母材退火不完全,造成其内部晶粒细小,个别区域存在混晶是造成拉拔断丝的主要原因,需对材料退火过程进行改善。

### 3 工艺优化及效果验证

退火工序是 0Cr13C 钢材料生产过程重要一环,通过退火可以改进材料内部晶粒组织和二相粒子析出<sup>[7]</sup>,降低材料轧制时储存的内应力,极大改善其力学性能。

断丝母材退火工艺为 680 ~ 700 °C,保温 2 h,根据上述检验分析,为使其退火完全,可通过两个途径实现:(1)提高退火温度;(2)延长保温时间。现取与断丝样品成分相近盘条进行小炉退火试验。

试验退火炉型号为 HWSK-2001,退火温度分别设定为 720、740、760 °C,保温时间为 3、4、5 h,退火完成后制备成 400 mm 长度样品,使用 WDW-200 电子式万能试验机进行拉伸试验,抗拉强度和延伸率分布图见图 3 所示。

通过以上不同退火材性能对比,可知退火温度对材料性能的影响比保温时间更敏感。结合实际生产情况,将最优退火工艺定为 740 °C 保温 3 ~ 4 h,金相组织图见图 4 所示。

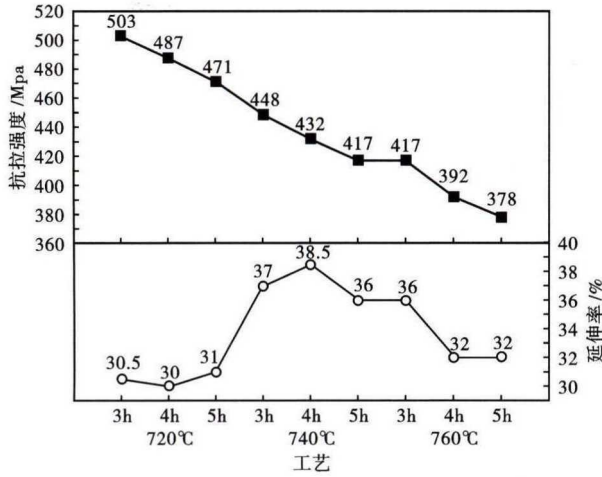


图3 退火工艺对0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 样品力学性能的影响  
Fig.3 Effect of annealing process on mechanical properties of Φ5.5 mm specimen of steel 0Cr13C



图4 0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 坯料 740 °C 3 ~ 4 h 退火后的组织形貌

Fig.4 Morphology of structure of steel 0Cr13C Φ5.5 mm coil annealed at 740 °C for 3 ~ 4 h

此退火工艺下,金相组织良好,与断丝母材相比,晶粒组织明显长大,分布趋于均匀,组织内部也未发现明显混晶区域,此形貌降低了材料抗拉强度,改善塑性。通过拉拔试验,确定退火材强度在400 ~ 460 MPa 时拉拔性能良好。

采用装入量为 24 件/炉的台车炉进行工业生产,选取 364 件与试验样品成分相似热轧盘条进行退火,退火工艺均设定为 740 °C 保温 3 ~ 4 h,退火材性能检验结果见图 5 所示。

由图 5 可知,调整退火工艺后,抗拉强度( $R_m$ ) 满足 400 ~ 460 MPa 数量占比接近 100%,客户拉拔使用过程良好,个别强度不合格线材经二次退火或调整拉拔机参数后未出现频繁断丝问题,使每台冷拔机的平均断丝率由原 6 次/12 h 降至 2 次/12 h。

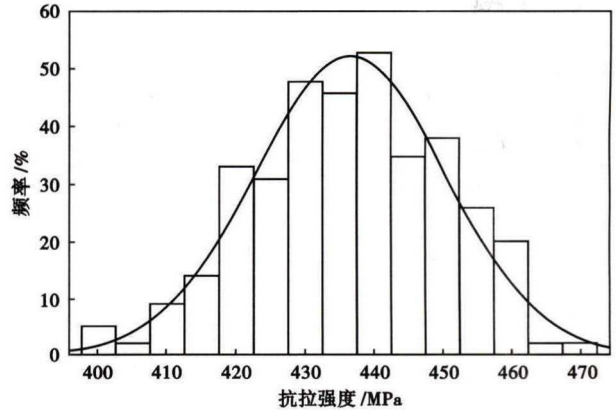


图5 0Cr13C 钢 Φ5.5 mm 坯料(热轧盘条)740 °C 3 ~ 4 h 退火后力学性能分布

Fig.5 Distribution of mechanical properties of steel 0Cr13C Φ5.5 mm hot-rolled coil annealed at 740 °C for 3 ~ 4 h

由此可知,合理的热处理工艺极大改善了试验钢线材的拉拔性能,提高了产品加工过程稳定性。

#### 4 结论

(1) 对断丝母材及断口样品进行分析,未发现成分、夹杂物方面异常。

(2) 拉拔断丝主要是由于热轧线材退火工艺设置不合理造成。

(3) 通过退火试验,优化试验钢材料退火工艺为 740 °C 保温 3 ~ 4 h,经工业生产验证,优化退火工艺后的效果良好。

#### 参考文献

- [1] 贾凤祥,侯若明,贾晓滨. 不锈钢性能及选用[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [2] 康喜范. 铁素体不锈钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
- [3] 戴宝昌. 重要用途线材制品生产新技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [4] 张爱梅. 45 钢拉拔断丝原因检测分析[J]. 新疆有色金属,2005, 28(2):21-22.
- [5] 林德均. 制绳钢丝断裂原因显微分析[J]. 金属制品,2009, 35(3):62-65.
- [6] 毕鹏震,常金丽,王晓华. ER70S-6 盘条拉拔断裂原因分析[J]. 理化检验-物理分册,2005,31(4):49-50.
- [7] 张文华. 不锈钢及其热处理[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2010.

宋云霞(1984-),女,硕士(2010年北京科技大学),工程师,2007年北京科技大学(本科)毕业,产品质量理化检测。  
E-mail:Songyunxiajf@sina.com

收稿日期:2017-04-20