

DY105 高碳钢丝冷拔断裂分析和工艺改进实践

李朋¹ 陈修君¹ 郭立波²

(东北特钢集团大连特殊钢有限责任公司 1 技术中心; 2 中心实验室, 大连 116105)

摘要 DY105 钢丝(/% : 0.90C, 0.22Si, 0.24Mn, 0.012P, 0.003S, 0.002Ti, 加入 RE 0.10) 的冶金工艺流程为 40 t EAF-LF-VD-3 t 铸锭-开坯 180 mm × 180 mm-轧制 Φ6.5 mm 盘条-500 °C 铅浴淬火-冷拔。DY105 钢在冷拔过程出现断裂现象, 经分析得出, 断裂钢丝中出现部分针状马氏体组织和较多 B 类、TiN 夹杂, 是冷拔丝断裂的主要原因。通过将 Al 线脱氧改进成 Al 线 + Al 豆 + C 粉脱氧, 软吹时间从 15 min 增至 20 min, 改进稀土加入方式, 增加 Φ6.5 mm 钢丝铅浴时间等工艺措施, 避免了该钢冷拔过程的断丝现象。

关键词 DY105 高碳钢丝 冷拔 断裂 钢水脱氧 铅浴淬火

Analysis on Cold Drawn Fracture of DY105 High Carbon Steel Wire and Practice of Process Improvement

Li Peng¹, Chen Xiujun¹ and Guo Libo²

(1 Technology Center; 2 Central Laboratory, Dalian Special Steel Co Ltd, Dongbei Special Steel Group, Dalian 116105)

Abstract The metallurgical process flowsheet for DY105 steel wire (/% : 0.90C, 0.22Si, 0.24Mn, 0.012P, 0.003S, 0.002Ti, adding RE 0.10) is 40 t EAF-LF-VD-3 t ingot-breakdown 180 mm × 180 mm billet-rolled to Φ6.5 mm coil-500 °C lead bath quenched-Cold Drawn. The phenomenon of fracture of DY105 steel occurs in cold drawing process, and it is obtained by analysis that partial needle-shaped martensite structure and appreciable B-type and TiN inclusions in fractured wire are main reasons to produce cold drawn fracture of wire. With the process measures including modifying Al wire deoxidation to Al wire + Al shot + C powder deoxidation, increasing soft blowing time from 15 min to 20 min, improving rare earth elements adding method and increasing Φ6.5 mm steel wire lead bath time, the phenomenon of wire fracture of the steel in cold drawn process is avoided.

Material Index DY105 High Carbon Steel Wire, Cold Drawn, Fracture, Deoxidation of Liquid, Lead Bath Quenching

DY105 钢丝属于碳素弹簧钢丝, 主要成分 T9A 钢中加入少量稀土, 稀土元素的主要作用是强化铁素体。经铅浴淬火和大减面率冷拔后, 可达较高强度和良好的韧性, 具有良好的综合机械性能。制造成弹簧后, 广泛应用于军工、家电和机械等多个领域。

该钢冷拔过程中时常断裂, 有的是由于组织异常^[1], 有的是石墨引起^[2]等。本文结合钢厂的生产实践, 首先分析断裂原因, 然后进行工艺改进, 最终解决了冷拔断裂问题。

1 冷拔断裂分析

1.1 生产工艺

工艺流程为: 电弧炉(40 t)-LF(40 t)-VD(40 t)-模注(3 t 锭)-开坯 180 mm × 180 mm-轧制盘条 Φ6.5 mm-铅浴淬火(500 °C)-冷拔。这批钢材在实际冷拔过程出现断裂, 钢丝规格越小, 断裂越严重。成品钢丝冷拔到 Φ1.2 mm 时出现断裂, 当生产 Φ1.0 mm 以下规格时, 断裂非常严重, 生产无法进行。该钢化学成分如表 1 所示。

1.2 组织分析

取断裂的材料(Φ0.6 mm)制成金相试样, 观察纵向的组织, 如图 1 所示。

从不同倍率下的组织照片可以看出, 在试样上遍布了大量白色组织, 其内部不连续, 有大量针状且与基体成一定角度的组织存在。由于冷拔作用, 材料沿冷拔方向变形, 基体的索氏体组织变形明显, 异常的白色组织变形量不大。

进行显微硬度分析, 经测定, 黑色基体的硬度为 HV425.49(相当于 HRC43.23), “白色组织”的硬度为 HV508.90(相当于 HRC49.73)。可见, 相对于基体, 该组织为硬质相。

为了分析这种组织构成, 在扫描电镜下利用能谱分析其成分, 如图 2 所示。

由于成像机理不同, 在扫描电镜下, 颜色区分的

表 1 DY105 高碳钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of DY105 high carbon steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	RE(La + Ce)
0.90	0.22	0.24	0.012	0.003	0.10	0.02	0.01	0.002 0	0.10(加入量)

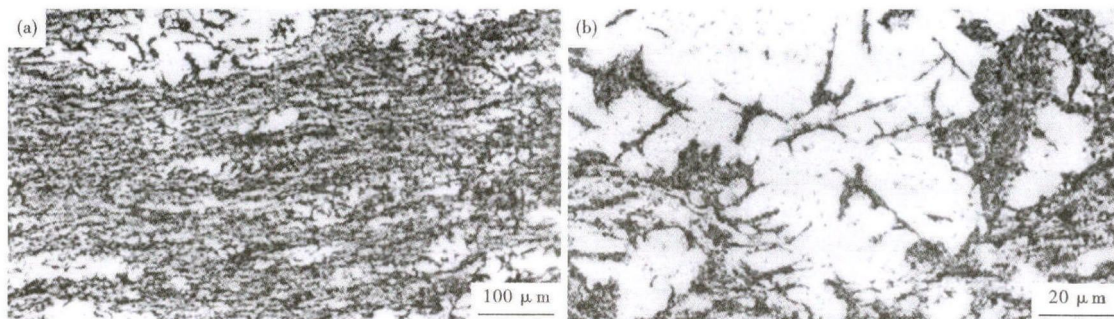


图 1 冷拔断裂 Φ0.6 mm DY105 高碳钢丝纵向组织形貌

Fig. 1 Morphology of longitudinal structure of cold-drawn fractured Φ0.6 mm DY105 high carbon steel wire

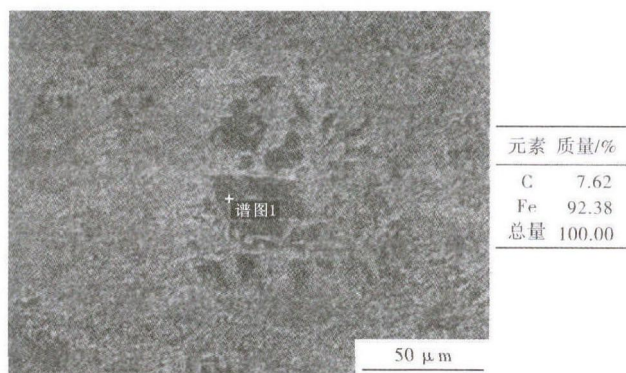


图 2 DY105 高碳钢丝中硬质相的形貌和能谱分析, SEM

Fig. 2 Morphology and energy analysis of hard phase in DY105 high carbon steel wire, SEM

并不是很明显,能谱成分结果显示该异常组织主要元素为铁和碳(图 2)。

根据硬度、成分,从组织形貌及生产过程分析,认为基体组织为塑性较好的索氏体组织,白色异常组织为奥氏体内部分布针状马氏体的混合组织。这种组织硬度较高,塑性差,是冷拔断裂的一个重要原因。

1.3 断口分析

取现场钢丝(Φ0.6 mm),在扫描电镜下对其断口观察分析,如图 3 所示,整体属于脆性断口,内部有很多裂纹和不导电质点。

对几个断口进行能谱分析后发现,断口处都含有 Ca、Si 的氧化物,还含有 Na、K 等元素。分析认为导致这种现象有几种可能:钢水脱氧不好,稀土加入后被氧化,生成大量氧化物夹杂;浇注过程中保护渣卷入;所加入的稀土属于粗稀土合金,杂质较多^[3],这些杂质加入钢水后没有被完全排除。

1.4 夹杂物分析

钢中非金属夹杂物级别较高是冷拔断裂的一个重要原因^[4]。对断裂试样炉号进行非金属夹杂物分析,如图 4 所示。在显微镜下发现较大的 B 类夹

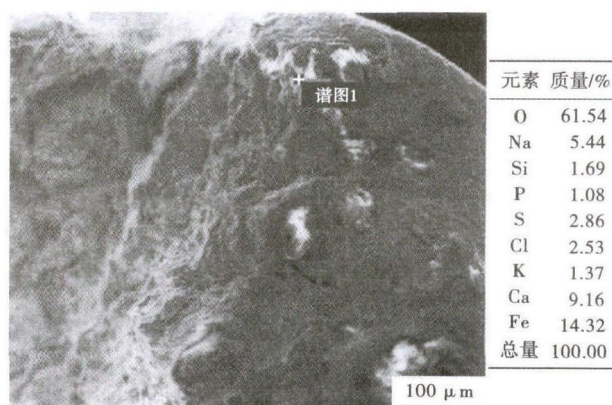


图 3 Φ0.6 mm DY105 高碳钢丝断口夹杂物的形貌和能谱分析, SEM

Fig. 3 Morphology and energy analysis of inclusions of Φ0.6 mm DY105 high carbon steel wire fracture, SEM

杂物(图 4a),并可见 TiN 夹杂(图 4b),这些夹杂物硬度高,且棱角尖锐,容易造成应力集中,导致材料断裂。

2 工艺改进及实践

2.1 冶炼工艺

对冶炼和模铸进行优化,包括脱氧操作、软吹时间、稀土加入、锭型选择等,操作工艺见表 2。

2.2 铅浴工艺

根据在铅浴淬火时间经验公式^[5]:

$$t_{\text{铅}} = (11.6 + 0.3 d)d \quad d \leq 4.0$$

$$t_{\text{铅}} = (4.8 + 2 d)d \quad d \geq 4.0$$

式中: $t_{\text{铅}}$ - 在铅浴淬火时间/s; d - 钢丝直径/mm。

计算不同规格钢丝理论在铅浴中时间,考虑实际钢丝成分波动及现场环境因素的影响,为保证奥氏体分解完全和索氏体化效果,钢丝实际在铅浴中时间要大于理论计算的结果,并且加强铅液的搅拌,以便使温度更加均匀稳定。

Φ6.5 mm 钢丝理论在铅浴中时间为 116 s,实

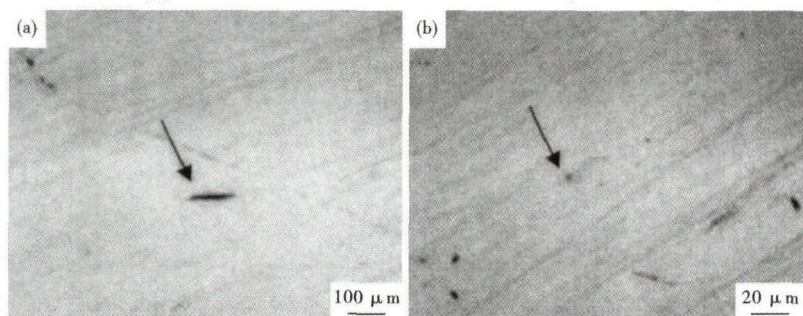


图4 DY105 高碳钢丝中 B 类夹杂(a) 和 TiN 夹杂(b) 的形貌

Fig. 4 Morphology of B-type inclusion (a) and TiN inclusion (b) in DY105 high carbon steel wire

表2 DY105 高碳钢冶炼工艺改进前后的工艺参数

Table 2 Parameters of steelmaking process for DY105 high carbon steel before and after improvement

工艺	脱氧剂	脱氧操作	软吹时间/min	稀土加入方式	锭型/t
改进前	Al 线(1.5 kg/t)	沉淀脱氧	15	人工铁铈加入钢液	5.2
改进后	Al 线 + Al 豆 + C 粉(1.8 kg/t)	沉淀脱氧 + 扩散脱氧	20	吊装包装桶加入钢液	3

表3 工艺改进前后 DY105 高碳钢中的非金属夹杂物检验结果/级

Table 3 Examination results of inclusions in DY105 high carbon steel before and after process improvement /rating

工艺	A 类		B 类		C 类		D 类		Ds
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
改进前	0.5	0.5	1.0	1.5	0	0	0.5	0.5	0.5
改进后	0.5	1.0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5

对工艺改进前后的材料,按 GB/T10561-2005 检测非金属夹杂物,对比结果如表 3 所示。

可见,冶炼工艺改进后,B 类夹杂物要明显优于改进前的检测结果。

优化铅淬火工艺后,在组织方面也进行了比较,延长在铅浴中时间后的金相组织如图 5 所示。

可见,坚硬的白色异常组织已经消失,纵向变形均匀,没有产生阻碍变形的硬质相,整体为较均匀的

索氏体组织。

3 结论

(1)显微组织中,异常的白色组织为残余奥氏体和针状马氏体的混合组织,这种组织硬度较高,阻碍材料变形,是材料断裂的重要原因。通过增加铅浴时间,消除了异常白色组织。

(2)工艺改进前,DY105 高碳钢中夹杂物较多,尤其 B 类和 TiN 类夹杂物,它们坚硬有棱角,容易造成应力集中,是材料断裂的原因之一。

(3)从提高钢水纯净度和改善显微组织的角度改进工艺后,取得了较好的效果,最小冷拔到 $\Phi 0.3$ mm,冷拔断裂问题得到解决。

参考文献

- [1] 王勇胜,夏晶,刘冬梅. T9A 碳素弹簧钢丝脆断原因分析[J]. 金属制品,2011,37(2):32-34.
- [2] 卢定才,程小三,潘祖诒,等. $\Phi 8$ mm T9A 钢盘条拉拔断裂分析[J]. 江西冶金,2000,20(3):5-8.
- [3] 林河成. 我国稀土合金的生产、应用及市场[J]. 矿冶工程,1998,7(1):52-57.
- [4] 张春燕. 65 钢丝拉拔断裂分析与盘条生产工艺改进[J]. 金属制品,2009,35(4):45-51.
- [5] 徐效谦. 钢丝索氏体化工艺探讨[C]. 第十届中国科协年会论文集(四),郑州:中国科学技术协会,2008:1035-1044.

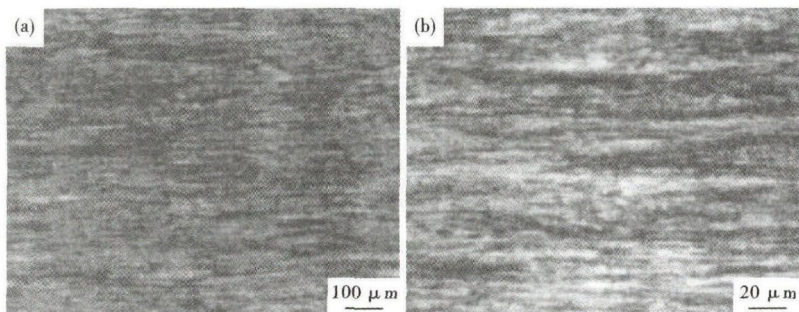


图5 铅浴工艺改进后 $\Phi 6.5$ mm DY105 高碳钢线材的组织形貌

Fig. 5 Morphology of structure of $\Phi 6.5$ mm DY105 high carbon steel rod coil after lead bath process improvement

实际生产中采用 125 s。

2.3 工艺优化实践

工艺改进后重新生产一炉,实际冷拔效果很好,最小规格冷拔到 $\Phi 0.3$ mm,也未出现断丝情况。

李朋(1980-),男,硕士,工程师,特种钢材生产工艺研究。E-mail:lipeng3228@163.com

收稿日期:2016-06-20