

SWRCH35K 钢冷镦开裂分析和工艺优化

介瑞华 李海 张洪彪 解华振 陆曼
(芜湖新兴铸管有限责任公司监控部, 芜湖 241000)

摘要 $\Phi 6.5 \sim 20$ mm SWRCH35K 冷镦钢盘条的生产流程为 120 t LD-LF-180 mm \times 180 mm 方坯连铸-轧制。分析了 SWRCH35K 钢($\% : 0.35 \sim 0.37C, 0.11 \sim 0.14Si, 0.71 \sim 0.72Mn, 0.016 \sim 0.023P, 0.005 \sim 0.007S, 0.023 \sim 0.030Al$)的成分、组织、铸坯表面质量、钢中夹杂物、轧制工艺对该钢冷镦性能的影响,得出冷镦钢盘条裂纹等表面缺陷和近表面大型夹杂物是引起冷镦开裂的主要原因。通过 LD 出钢预脱氧铝块从 120 ~ 150 kg 增加至 160 ~ 180 kg, LF 终渣碱度从 3.0 提高至 3.5, $(FeO + MnO)$ 从 $\leq 1.5\%$ 降至 $\leq 1.2\%$, 过热度从 20 ~ 40 $^{\circ}C$ 降至 20 ~ 35 $^{\circ}C$, 精轧温度和终轧温度分别从 940 $^{\circ}C$ 和 860 $^{\circ}C$ 提高至 950 $^{\circ}C$ 和 880 $^{\circ}C$ 等工艺措施,使该钢冷镦开裂率由 18.60% 降至 5.80%。

关键词 120 t LD-LF-CC-轧制流程 SWRCH35K 钢 冷镦开裂 分析 工艺优化

Analysis on Cold-Heading Cracking of Steel SWRCH35K and Process Improvement

Jie Ruihua, Li Hai, Zhang Hongbiao, Xie Huazhen and Lu Man
(Supervision and Control Department, Wuhu Xinxing Casting Pipe Co Ltd, Wuhu 241000)

Abstract The production flowsheet of $\Phi 6.5 \sim 20$ mm coil of cold-heading steel SWRCH35K is 120 t LD-LF-180 mm \times 180 mm billet casting-rolling. The effect of composition, structure, surface quality of casting billet, inclusions in steel and rolling process on cold-heading properties of steel SWRCH35K ($\% : 0.35 \sim 0.37C, 0.11 \sim 0.14Si, 0.71 \sim 0.72Mn, 0.016 \sim 0.023P, 0.005 \sim 0.007S, 0.023 \sim 0.030Al$) has been analyzed to get the main reasons to cause cold-heading cracks are cold-heading steel coil surface crack defects and near surface large scale inclusions. By using the measures including increasing amount of pre-deoxidizing aluminium pig in LD tapping from 120 ~ 150 kg to 160 ~ 180 kg, increasing LF end slag basicity from 3.0 to 3.5 and decreasing $(FeO + MnO)$ from $\leq 1.5\%$ to $\leq 1.2\%$, decreasing superheating extent of liquid from 20 ~ 40 $^{\circ}C$ to 20 ~ 35 $^{\circ}C$ and increasing finish rolling temperature and finishing temperature respectively from 940 $^{\circ}C$ and 860 $^{\circ}C$ to 950 $^{\circ}C$ and 880 $^{\circ}C$, the cold-heading cracking rate of steel decreases from 18.60% to 5.80%.

Material Index 120 t LD-LF-CC-Rolling Flowsheet, Steel SWRCH35K, Cold-Heading Cracking, Analysis, Process Improvement

冷镦钢是利用金属的塑性,采用冷镦加工成型工艺生产互换性较高的标准件用钢。冷镦钢常用来冷镦成型制造各种机械标准件和紧固件,如螺栓、螺母、螺钉、铆钉、自攻螺钉等各类紧固件和各种冷镦钢成型的零配件^[1]。随着冷镦技术的发展,对冷镦钢的要求明显增加。冷镦钢本身或固有的质量缺陷直接影响到紧固件的最终品质水平。SWRCH35K 钢是公司 B 线的主打产品之一,冷镦开裂是目前生产中存在的主要质量问题。

1 试验材料及方法

试验所用材料为芜湖新兴铸管公司生产的 $\Phi 6.5 \sim 20$ mm SWRCH35K 冷镦钢盘条。其工艺流程为:铁水 \rightarrow 120 t LD 转炉冶炼 \rightarrow 120 t LF 精炼 \rightarrow 180 mm \times 180 mm 方坯连铸 \rightarrow B 线轧制 \rightarrow 成品入库。

检验方法:在 OLYMPUS - BX51M 电子显微镜下观察,放大 100 倍观察组织、夹杂物及晶粒度,并

在 EVOMA10/LS 10 扫描电镜放大 1000 倍分析组织。

SWRCH35K 钢的成分内控标准和分析见表 1。

2 试验结果及分析

2.1 化学成分检测

冷镦钢的性能与轧制工艺在很大程度上决定于

表 1 SWRCH35K 钢的 JIS 标准、内控标准和分析成分/ $\%$
Table 1 JIS Standard, internal control and analysis of chemical composition of steel SWRCH35K / $\%$

项目	C	Si	Mn	P	S	Alt
JIS 标准	0.32 ~ 0.38	0.10 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	≤ 0.030	≤ 0.035	-
内控标准	0.34 ~ 0.36	0.10 ~ 0.15	0.65 ~ 0.75	≤ 0.020	≤ 0.015	0.02 ~ 0.04
目标成品	0.35	0.12	0.70	≤ 0.018	≤ 0.010	0.03
生产号						
887-10	0.35	0.11	0.71	0.016	0.007	0.023
888-26	0.36	0.14	0.72	0.023	0.005	0.030
889-54	0.37	0.12	0.71	0.018	0.005	0.028

钢的化学成分和用户加工所需的组织,准确控制钢的成分不仅可以降低生产成本,而且可以稳定标准件的性能。如果 C、Si 的含量偏高,在冷镦或者热处理过程中可以引起开裂,同时由于成分波动较大,用户在进行调质处理过程中必须及时调整淬火和回火温度,成分波动范围较大的盘条混合使用并进行热处理工艺时,造成成品标准件部分强度和硬度不合格。而且经验表明,当钢中硅含量超过 0.17%,含碳量在 0.4% ~ 0.5% 时,钢的塑性明显降低,冷镦时因裂纹报废达 98%^[2-3]。Al 能在快速镦头、搓丝过程中减少应变时效,弱化加工硬化,提高冷镦钢的变形能力。Al 还能与钢液中的 N 相结合,生成 AlN 难溶质点,阻碍晶粒长大,形成细晶粒钢,从而提高冷镦钢的综合性能。钢中夹杂物含量高,从而造成产品冷镦开裂。

对于芜湖新兴铸管公司生产的 SWRCH35K 钢而言,减少 120 t 转炉下渣以及保证炉外精炼时间,可以保证 Si、P、S 等成分的稳定。

2.2 铸坯表面质量

盘条的表面缺陷是导致冷镦开裂的主要因素之一。可以认为,在材料成分和组织不变的情况下,表面质量对冷镦性能起着决定性的作用^[4]。冷镦钢在加工过程中,受力和变形状况如图 1 所示。表面区域(包括周围和顶面)受到拉应力,而内部区域存在压应力。如果盘条表面存在缺陷,就会在缺陷处形成应力集中,表面区域的拉应力导致开裂。盘条常见的表面缺陷包括表面裂纹、折叠、划伤、折皱等。

盘条的表面或表层裂纹主要是由铸坯原始的表面裂纹、表面层内裂纹、气泡和表面夹渣引起的。铸坯皮下气泡是引起盘条表面裂纹的主要原因之一。靠近铸坯表面的内裂在轧制过程中形成表面裂纹,危害冷镦性能。铸坯表面缺陷引起的盘条表面裂纹基本特征为:裂纹呈现随机无规则分布;裂纹两侧伴

有脱碳现象;夹渣裂纹伴有夹杂物;裂纹短小而深度大(2 ~ 5 mm);裂纹底部尖锐、向内延伸并伴有细小裂纹。

折叠是轧钢过程中工艺不当形成“耳子”而引起的缺陷。从盘条表面来看,折叠也表现为裂纹形式,容易与普通裂纹混淆。折叠是危害冷镦性能的主要因素之一。在盘条表面和冷镦开裂中,折叠形成的裂纹有以下特点:裂纹表面无脱碳现象;裂纹与盘条径向不一致,呈一定角度;裂纹根部圆钝,无小裂纹向内延伸;裂纹沿盘条纵向呈通长分布;呈两侧对称或单侧纵向两条平行裂纹存在,规律性强;在镦裂的裂纹表面没有(或部分区域没有)金属光泽,存在轻微氧化。

在轧制过程中,盘条表面受到机械划伤。如图 2 所示典型划伤形貌。盘条表面划伤也是造成冷镦开裂的原因之一。盘条表面划伤造成的镦裂有以下特征:划伤裂纹表面深处无氧化和脱碳现象;无大型夹杂物;裂纹分布有规律(多为径向),往往是一条裂纹。

折皱缺陷多发生在高线盘条的头尾部,一般认为是由于张力过大引起的。轧件在较大的张力作用下,引起中间料型欠充满、头尾部分料型过大,当轧件失去张力后。轧件在成品孔型的作用下宽展较大,引起料型向辊缝处流动,形成较大的折皱。

2.3 金相组织

材料组织对冷镦钢产品的冷顶锻性能的影响更加突出^[4]。盘条的组织主要决定于化学成分和高线的控冷工艺。由图 3 可以看出,SWRCH35K 钢金相组织为块状铁素体 + 珠光体。从金相分析来看,冷镦裂纹表面没有发现明显的夹杂物。良好的冷镦钢金相组织应为铁素体 + 粒状珠光体,不应有片状

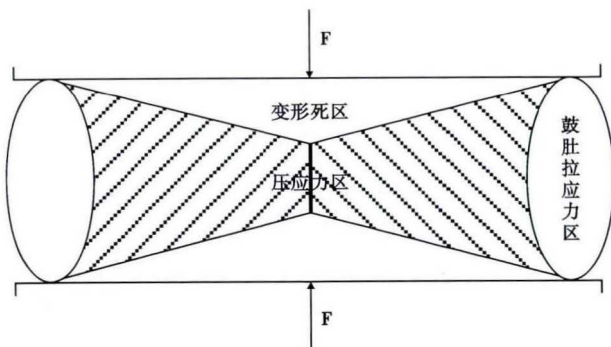


图 1 冷镦受力变形示意图

Fig. 1 Schematics of forced deformation in cold-heading

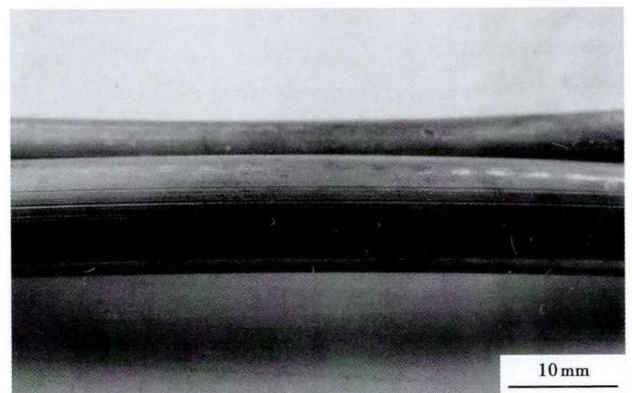


图 2 SWRCH35K 钢盘条酸洗后表面划伤形貌

Fig. 2 Surface scratch morphology of pickled coil of steel SWRCH35K

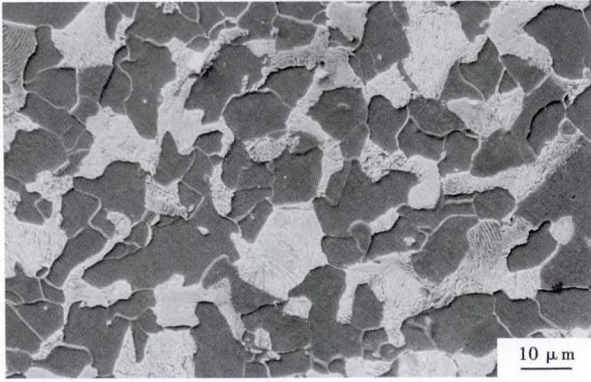


图3 SWRCH35K 钢盘条组织形貌, SEM × 1000

Fig. 3 Morphology of structure of steel SWRCH35K coil, SEM, × 1000

珠光体和贝氏体组织^[5]。在冷却速度过大时,盘条中会出现魏氏组织、贝氏体和三次渗碳体^[6]。

2.4 夹杂物

在外力作用下,往往在显微夹杂物存在的地方引起应力集中,当应力足够大时,则导致材料破裂。连铸坯内存在着显微夹杂物,这些夹杂物破坏了钢的连续性和致密性,对金属制品的质量有着极为重要的影响。冷镦钢盘条在后续加工过程中会产生很大的变形,对夹杂物要求非常严格。因此,钢液较高的纯净度(即较低的夹杂物含量)是保证冷镦钢性能的基础。

试验研究表明^[7-10],夹杂物对冷镦性能的影响主要表现为盘条表面附近的大型夹杂物的危害,尤其是表面夹渣和弧形连铸机特有的内弧夹杂积聚现象,对冷镦性能有更大的影响。同时,在钢的洁净度达到一定水平后(如 $T[O] < 30 \times 10^{-6}$),相对于影响冷镦性能的其他因素,(如表面质量和金相组织等),内部夹杂应力集中作用明显减弱^[9]。生产中减少夹杂危害的具体措施包括:LF 处理脱氧和脱硫、保护浇注、结晶器液面自动控制、电磁搅拌及其优化、保护渣性能的改善等。

芜湖新兴铸管公司控制夹杂物的主要工艺措施为:

(1) 采用 120 t LD 转炉高拉碳补吹,控制出钢成分: $C \geq 0.08\%$ 、 $P \leq 0.012\%$,确保到 LF 精炼温度 $\geq 1540\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 出钢预脱氧(铝块 160 ~ 180 kg/炉,炉后喂铝线 100 m/炉),出钢过程中加入白灰 300 ~ 500 kg 和适量化渣剂。

(3) LF 调整渣况,并保证精炼渣良好的泡沫性和流动性。终渣碱度 $(R) \geq 3.5$ 、 $(\text{FeO}) + (\text{MnO}) <$

1.2%。

(4) 连浇温度在 $1580 \sim 1590\text{ }^\circ\text{C}$,控制过热度在 $20 \sim 35\text{ }^\circ\text{C}$,保证恒温恒拉速。

2.5 晶粒度及晶粒均匀性

图4所示,SWRCH35K 钢晶粒度为9级,晶粒度较细。一般认为,盘条的晶粒度(横断面)应控制在5~7级,可以获得良好的冷镦性能,并且可以达到强度要求。本次检验,获得的晶粒度比较均匀细小,而且没有发现混晶的异常组织。虽然盘条晶粒度变细使强度有所升高,在一定程度上影响了冷镦变形抗力和冷镦性能,但是在冷镦试样中没有发现组织缺陷产生的晶界开裂和 45° 斜裂,因此,晶粒度细小不是试样开裂的主要原因。值得注意的是,变小的晶粒度在改善综合性能的同时,也增加了材料的变形阻力;另外,在小晶粒度提高抗拉强度和断面收缩率的同时,也同时带来了屈服强度的增加;而屈服强度的增加值远大于抗拉强度的增加值,从而降低了屈强比,即晶粒度级别过高对冷镦不利。

3 轧制盘条的质量问题

盘条在冷镦过程中,试样受到压力而使高度减小,截面积增加,其上、下两个横截面由于摩擦力的存在金属流动困难,因而上、下面的截面积增加量较小,中间部分截面积增加较大,最终形成鼓形,试样表面承受很大的三向拉应力,盘条表面存在的缺陷,在经过 $1/2$ 或 $1/3$ 的冷镦时引起开裂。

高线机组在生产中的调整水平以及轧机和导卫、导槽的状态是影响盘条表面质量的关键因素,由于调整不当、料型控制不合理、张力控制不稳定引起的表面缺陷是造成冷镦开裂的主要因素。一般来讲,由于轧制造成的表面缺陷引起开裂是具有规律

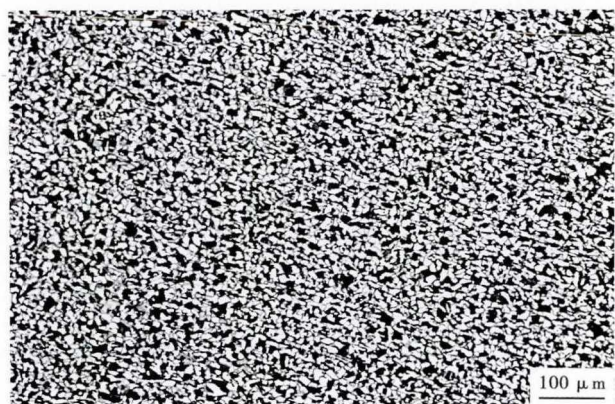


图4 SWRCH35K 钢盘条的晶粒度测定

Fig. 4 Determination of grain size rating of steel SWRCH35K coil

性的,而由于铸坯的表面缺陷造成开裂几乎没有规律性。

在轧制过程中由于某机架的压下量分配不当,使该道次的料型处于过充满状态,轧件在孔型中形成耳子,在以后的道次中形成折叠。导卫对中不正确也会形成折叠。张力调整不当造成头尾褶皱。

4 工艺优化措施

控制好成分,提高钢的纯净度,减少钢中夹杂物含量,获得正常的块状铁素体+珠光体金相组织以及合适的晶粒度是保证 SWRCH35K 钢冷镦性能,减少冷镦开裂的关键因素。

(1)在冶炼过程中严格控制转炉的终点成分,控制下渣量,选用合适的合金原料以及中间包覆盖剂可以稳定控制钢的成分。

(2)保证精炼和软吹时间,稳定生产工艺,减轻

或者消除夹杂物、缩孔、结疤等缺陷对冷镦盘条质量的影响。

(3)铸坯偏析裂纹在轧制过程没有完全消除,对盘条的冷镦性能形成不良影响。在连铸生产中应优化浇铸工艺,适当降低拉速、改善二次冷却的均匀性,减少成分偏析引起裂纹。

(4)由于轧制工艺控制不当,盘条表面形成折叠缺陷,这些表面折叠在冷镦变形中延展,是导致冷镦开裂的主要原因。因此在轧制生产中,应加强对盘条表面的酸洗检验工作,及时发现和调整轧制工艺,减少盘条表面折叠。

(5)正确设定料型和各机架的辊缝值,正确安装导卫,能够减少盘条折叠造成的冷镦开裂。及时调整张力,使各机架处于“微堆”状态,可以减少褶皱等缺陷的产生。

表 2 工艺优化前后 SWRCH35K 钢的工艺参数和冷镦开裂率

Table 2 Process parameters and cold-heading cracking rate of steel SWRCH35K before and after process improvement

工艺	出钢预脱氧剂/kg	出钢配渣量/kg	LF 终渣碱度 (R)	(FeO)+(MnO)/ %	过热度/ ℃	铸坯加热 时间/min	精轧温度/ ℃	吐丝温度/ ℃	冷镦开裂率/ %
	铝块	白灰							
优化前	120~150	300	≥3.0	<1.5	20~40	≥120	930~950	850~870	18.60
优化后	160~180	300~500	≥3.5	<1.2	20~35	≥120	940~960	870~890	5.80

具体的工艺优化措施和试验效果如表 2 所示。

5 结论

(1)SWRCH35K 钢盘条冷镦开裂的主要原因为盘条表面裂纹和表面大型夹杂物。

(2)通过优化冶炼工艺降低钢中大型夹杂物,优化轧钢工艺提高盘条表面质量,使盘条冷镦开裂率得到大幅降低,盘条冷镦钢的开裂率由原 18.60% 降至 5.80%。

参考文献

- [1] 李璐君. SWRCH15A 冷镦钢形变特征与组织结构研究[J]. 材料导报, 2009, 23(14): 555-558.
- [2] 项程云. 合金结构钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 313.
- [3] 殷瑞钰. 钢的质量现代进展[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 622-623.
- [4] Cook W T, Williams R G, Albiston J N. Cold Forging for High Strength Lower Cost Steel Fasteners[J]. Iron-making and Steel-making, 1995, 22: 117-118.
- [5] 陈 钢, 王金平, 王国平. 连铸铝镇静钢冷镦钢方坯生产实践[C]. 第十二届全国炼钢学术会议论文集, 北京: 2002: 70-73.
- [6] 马志军, 赵贤平, 踞艳军, 等. SWRCH35K 盘条冷镦开裂原因探讨[J]. 河南冶金, 2005, 13(5): 24-26.
- [7] Enst Walper, Heman Kohler. High-tensile Bolts without Heat Treatment[J]. Steel Research, 1993, 21(8): 437-440.
- [8] Gilles Pierson. Improvements and Developments in the Cold Headingfield[J]. Wire Journal International, 1986, 19(11): 51-55.
- [9] Francisco B, Macedo D S. Dual-phase Steel for 8.8 Strength Class Fasteners[J]. Wire Journal International, 1993, 32(9): 70-73.
- [10] 长古川, 丰 文, 松岛义武. 冷镦用钢的要求及发展[J]. 国外技术, 1998(11): 34-36.

介瑞华(1988-), 女, 硕士(2013 年内蒙古科技大学), 工程师, 2010 年内蒙古科技大学(本科)毕业, 冶金、钢铁材料研究。E-mail: 353260209@qq.com

收稿日期: 2017-06-30