

## 锚链钢冷弯开裂及塑性不合格原因研究

周春泉, 温德智, 廖志

(涟源钢铁集团有限公司, 湖南 娄底 417009)

**摘要:** 锚链钢冷弯和物检合格率 1996 年为 99.4%, 1997 年上半年只有 98.47%, 为此组织了专门的调查研究, 发现保护渣使钢锭表面增碳是冷弯开裂的主要原因, 轧钢加热时间过长或温度过高, 试样的加工等也是影响因素。采取相应的措施后, 1998 年锚链钢的合格率达到 100%。

**关键词:** 锚链钢; 冷弯性能; 延伸率

**中图分类号:** TG113.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6084(2000)04-0026-05

## STUDY ON CAUSE OF COLD BEND CRAZE AND PLASTICITY NON-ACCEPTABILITY OF CABLE CHAIN STEEL

ZHOU Chun-quan, WEN De-zhi, LIAO Zhi

(Lianyuan Iron & Steel Group Limited Company, Loudi 417009, China)

**ABSTRACT:** Percent of pass of cold bend and physical check of cable chain steel produced by this company was 99.4% in 1996, 98.47%—in January~June of 1997. Investigation on cause of cold bend craze and plasticity non-acceptability of the steel was done. Results showed that main cause was to recarburize steel ingot face leaved by shielding slag, other causes were too long heating time and high heating temperature of steel ingot in rolling, etc. After use of good quality control measure, percent of pass of cable chain steel was 100% in 1998.

**KEY WORDS:** cable chain steel; cold bend property; percentage elongation

### 1 前言

涟钢公司锚链钢自 1995 年开发以来, 1996 年已占我国锚链钢市场份额的 20%, 成为锚链钢产品的一个重要组成部分。鉴于锚链钢所使用环境的特殊性, 要求 100%

保证质量。1996 年, 所生产的锚链钢个别试样冷弯开裂或脆断, 此外, 也有极少量的试样延伸率  $\delta_5$  不合格现象。1997 年该公司对锚链钢的冷弯开裂及塑性不合格原因进行了调查研究, 并根据研究结果采取了相应措施, 取得了满意效果。

收稿日期: 2000-01-06

## 2 锚链钢性能检验基本情况

1997 年上半年，锚链钢共轧材 524 炉，其中 M20Mn 136 炉，M30Mn2 388 炉。涟钢一轧钢厂轧材 23 炉，二、六轧钢厂轧材

各 1 炉，五轧钢厂轧材 499 炉。除六轧钢厂所生产的 1 炉初检  $A_k$  不合格外，其余性能初检或复检不合格材样都是由五轧钢厂生产，其性能不合格情况见表 1。

表 1 锚链钢性能不合格情况 (炉)

项目	$\delta_5$ 不合格		冷弯开裂		$A_k$ 不合格		$\sigma_b$ 不合格
	M20Mn	M30Mn2	M20Mn	M30Mn2	M20Mn	M30Mn2	M20Mn
初检数	9	8	3	16	2	2	2
复检数	1	—	—	5	1	1	—

由于有 2 炉钢同时  $\delta_5$ 、 $A_k$ ； $\sigma_b$ 、 $A_k$  初检不合格，因此，实际初检不合格炉数为 40 炉。报废 8 炉钢，性能合格率为 98.47% (516/524)，指标低于 1996 年的 99.4%，也低于涟钢优钢攻关目标的 99.5%。8 炉钢的报废原因主要为  $A_k$  不合格、冷弯开裂、冷弯脆断和  $\delta_5$  不合格。

## 3 研究方法及结果讨论

对冷弯不合格的试样进行了重点调查，其方法是：对开裂或脆断部位的端部中心、内、外弧表面 3 个点分析钢的化学成分、晶粒度和组织，对夹杂物进行评级，同时分析钢材中的气体含量。由于条件的限制，未能对开裂或脆断部位作断口分析。同时，对同期正常的试样作了相应检验，以对比各因素对冷弯性能的影响。为确定试样加工质量对冷弯的影响，也作了对比试验。

### 3.1 冷弯不合格原因

**3.1.1 表面增碳对冷弯性能的影响** 按标准，直径大于 36 mm 的材样，做冷弯检验时，偏心取样  $\phi 25$  mm，要求保留 1 个轧制面，原始轧制面保留宽度  $\leq 5$  mm。冷弯时，轧制面在外，钢锭表面增碳对冷弯性能的影响能有有效的反映出来。

表面严重增碳，在冷弯时，引起脆断。1997 年 4 月生产的轧号 T3141、T3142 的复

样，脆断部位表面碳达 0.79%，0.77%。T2705 轧号在吊运过程中，被摔断也同样是严重增碳所引起。锚链钢的冷弯脆断（冷弯角度小），都由于表面严重增碳所致。

对 1997 年 3、4 月冷弯开裂的试样，在冷弯开裂部位检验断口处端部中心、内、外弧表面的化学成分，发现外弧面的碳比内弧面的碳一般高 0.02%~0.04%，但也有个别炉号表面没增碳。对同期冷弯正常的锚链钢作对比分析，表面也增碳 0.02%~0.04%，因此，钢锭表面增碳较普遍。表 2 为几炉冷弯不合格材样表面增碳的情况。从所检验的试样看，表面增碳的深度不大，端部中心，即距表面 12.5 mm 的地方，基本不增碳。在锚链钢的碳含量范围内，钢中碳含量对  $\delta_5$ 、 $\psi$ 、 $\sigma_b$ 、 $\sigma_s$  等力学性能的影响不是一个突变的过程，因此，表面增碳对冷弯性能的影响也应是一个渐变的过程。如少量的增碳，由内到外增碳较平稳，对冷弯性能的影响小。而大量的增碳，相邻部位性能也产生突变，引起冷弯脆断。但无论如何，钢锭表面增碳是冷弯开裂的一个隐患因素。

从检验的试样看，轧材表面的碳达到 0.77%、0.79%，可能是由于取复样时取了应切去的锭头部材样。而通常情况是保护渣质量不好，主要是碳含量不均匀，浇注过程不平稳，使某一部位停留有大量的保护渣壳；

或者保温帽下缘保护渣不能上浮，使钢锭表面局部增碳较多。

**表 2 冷弯不合格材样表面增碳情况\* (%)**

轧号	取样部位	C	Mn	Si	P	S	Al
T3141	外弧面	0.77	1.21	0.52	0.020	0.030	0.012
	内弧面	0.33	1.61	0.34	0.015	0.024	0.048
	端部中心	0.33	1.61	0.34	0.016	0.026	0.049
T3142	外弧面	0.79	1.46	0.38	0.024	0.028	0.028
	内弧面	0.33	1.69	0.29	0.022	0.023	0.049
	端部中心	0.33	1.58	0.25	0.019	0.024	0.035
T2989	外弧面	0.45	1.35	0.32	0.027	0.025	0.038
	内弧面	—	—	—	—	—	—
	端部中心	0.30	1.48	0.28	0.027	0.025	0.052
T4473	外弧面	0.29	1.21	0.22	0.021	0.018	0.042
	内弧面	0.24	1.28	0.23	0.026	0.019	0.043
	端部中心	0.24	1.28	0.23	0.025	0.023	0.043

\* 钢种 T 4473 为 M20Mn，其余为 M30Mn2；T3141、T3142 轧号为初检冷弯裂纹、复检冷弯脆断；T4473 轧号为初检冷弯裂纹，复检合格。

**3.1.2 金相组织对冷弯性能的影响** 锚链钢正常的金相组织为铁素体和珠光体，表面增碳时，铁素体量相对减少，珠光体量相对增加，引起金相组织的变化。锚链钢属亚共析钢，随含碳量增加，铁素体量相对减少，而珠光体量则相对增加，达到共析成分碳=0.77% 时，全部为珠光体。因此，当锚链钢的表面增碳严重时，外层组织全部为珠光体，然后为珠光体和少量的铁素体，到中心区才为正常组织，增碳可引起组织变化。对冷弯开裂的试样进行检验，有 1 炉钢发现有少量不正常的魏氏体组织。

**3.1.3 晶粒度对冷弯性能的影响** 对冷弯的试样分析，材中晶粒粗大和晶粒不均匀是引起试样冷弯裂纹的一个原因。在正常条件下，由于锚链钢铝含量高，形核容易，晶粒细小，一般为 7~8 级，但在冷弯不合格试样中发现有晶粒达到 4.0 级的。在报废的 T3141—2 试样中，晶粒度为 5.0 级，

T3142—1 试样中，晶粒度达到 4.0 级，但由于奥氏体随含碳量的增加，晶粒长大的倾向增加，这两炉钢表面严重增碳，因此，将脆断的主要原因归纳为表面增碳。有不少文献认为，晶粒不均匀也是影响性能的一个重要因素。T4916 试样中发现晶粒不均匀，在同一支材上，发现有 5.5~7.5 级不等的晶粒，T3726 材样中有 90% 的晶粒为 5.5 级，10% 的晶粒为 4.5 级。

通常认为：晶粒粗大是加热时间过长，或终轧温度过高所致。对晶粒粗大和晶粒不均匀的几个轧制号作调查，发现 T3141、T3142 加热时间过长。这两炉钢为 1997 年 4 月 10 日轧制：2:00，T3139 开轧，炉头  $T=1270^{\circ}\text{C}$ 、3:00~5:00 换辊；5:00，T3141 开轧， $T=1271^{\circ}\text{C}$ 、6:00，T3143 开轧， $T=1268^{\circ}\text{C}$ 。T4916、T3726 在记录上未能发现加热和轧制的异常情况，可能与实际情况不相符。

**3.1.4 夹杂物对冷弯性能的影响** 对锚链钢材样作了夹杂物高倍金相评级，除个别试样有带状硫化物外，其余都为球状的夹杂物，夹杂物级别不高，一般  $\leq 1.5$  级。表 3 为部分冷弯开裂部位材样夹杂物评级。

**表 3 冷弯开裂部位材样夹杂物评级\*(级)**

轧号	硫化物		硅酸盐		球状氧化物	
	粗	细	粗	细	粗	细
T4473	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
T4916	1.0	1.5	0.5	1.0	1.0	1.0
T3726	1.5	—	1.0	—	2.0	1.0
T3766	3.0	—	1.0	—	—	1.5
T2989	1.0	1.5	—	—	1.5	2.0

\* 钢种除 T4473 为 M20Mn 外，其余为 M30Mn2。

从表 3 可以看出，除个别材样中硫化物 3.0 级外，其余夹杂物级别都不高。电镜下观察，夹杂物大多呈球状，可能是钢水进行了钙处理的缘故。从微观上讲，夹杂物、凹陷、

夹渣、被压合的气泡，都破坏了基体的连续性，对钢的冷弯性能产生不利影响。从检验的结果看，由于夹杂物含量较低，对冷弯的影响不明显。

**3.1.5 气体含量对冷弯性能的影响** 锚链钢中铝含量高，氧以氧化夹杂物形式存在，氧含量的高低也能间接的反映氧化夹杂物的多少。氮以 AlN 形式存在，AlN 能扩大钢的低温塑性，这是锚链钢的钢质对冷弯性能所造成的影响。表 4 为以涟钢一、二炼钢厂坯、锭轧成材的氮、氧含量。由表 4 可以看出，二炼钢厂锭所成材的全氧含量低于一炼钢厂坯所成材的全氧含量，氮含量基本持平。一炼钢厂坯在涟钢一、二、五、六轧钢厂所成材没有冷弯不合格现象，因此，单纯从气体含量分析，没有什么影响。

表 4 锚链钢材氧、氮含量 ( $\times 10^{-6}$ )

冶炼号	轧制号	钢种	O	N
66T595	T4917	M30Mn2	39	80
76T172	T4532	M20Mn	43	52
76T174	T5360	M30Mn2	32	61
71T598	T4524	M30Mn2	18	70
71T603	T4526	M30Mn2	16	72
73T3721	T5341	M20Mn	28	74

**3.1.6 试样的加工对冷弯性能的影响** 涟钢钢研所锚链钢冷弯试样的制取目前采用 1990 年制定的内部标准，材直径  $> 36$  mm 时，冷弯试样为偏心取样  $\phi 25$  mm，保留原始轧制面，但原始轧制面宽度不能超过 5 mm。对于锚链钢，保留一个轧制面，并在冷弯时，原始轧制面为外弧，更能反映存在的问题，因为钢锭表面增碳是冷弯开裂的一个重要原因，而增碳的深度一般小于 5 mm。对同一根材，取两个试样，在用轧制面作外弧产生冷弯裂纹的试样，相应用对比试样轧制原始面作内弧，作冷弯试验，有一部分冷弯正常。说明轧制面的状态比内部要差。1997

年 3 月，基本上是 8 个连续的轧制号冷弯开裂，其中包括已报废的 T3141、T3142。调查发现，部分试样的刀痕过深，产生应力集中，也是引起冷弯裂纹的一个原因。关于刀痕对冷弯的影响作了对比试验：在对试样光一刀之后，再在试样的中央或偏移中央 5 mm 的地方车 1 个 1~3 mm 的沟痕，接近于加工粗糙时的刀痕，做冷弯检验。结果发现，较深的沟痕能引起冷弯开裂，即使沟痕偏移中央，其开裂部位也发生在沟痕处。因此，试样加工的粗糙度对冷弯性能有影响。因此要求对冷弯试样光一刀，以保证试样表面的光洁度。

**3.1.7 冷弯性能与力学性能、化学成分的关系** 10 炉冷弯初检不合格的 M30Mn2 的  $\sigma_s$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta_5$ ,  $\psi$  分布(平均)值分别为：625~740 (682) MPa, 760~890 (841.5) MPa, 19~23 (20.5)%, 64~67 (65)%。同期生产的，规格相差不多的 23 炉冷弯初检合格的 M30Mn2 的  $\sigma_s$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta_5$ ,  $\psi$  分布(平均)值分别为：610~690 (650.4) MPa, 740~875 (824.8) MPa, 18~23 (20.4)%, 64~68 (65.5)%。相比较，冷弯不合格试样的屈服强度和抗拉强度最高值和平均值都高于冷弯正常试样的值，而延伸率和断面收缩率基本持平。

10 炉冷弯初检不合格钢的碳、硅、锰平均(分布)值,%: 0.284(0.27~0.31), 0.248(0.20~0.31), 1.51(1.37~1.64), 23 炉冷弯初检合格钢的碳、硅、锰平均(分布)值,%: 0.29(0.26~0.33), 0.25(0.18~0.33), 1.43(1.33~1.52)。这两组钢的碳、硅、锰相差不大。

### 3.2 $\delta_5$ 不合格原因的调查研究

1997 年 1~6 月，共有 17 炉钢的  $\delta_5$  初检不合格，全部为涟钢五轧钢厂成材，其原料包括涟钢一炼钢的坯和二炼钢的锭。虽然炉数较多，但共分 3 批产生。第一批为 1997 年 1 月产生的 8 炉 M30Mn2，第二、三批分别为 1997 年 3、6 月产生的 9 炉 M20Mn。

对于前者初检不合格的原因, 比较一致的看法是: 涟钢钢研所热处理工艺进行调整, 引起性能的变化, 采用合适的工艺之后, M30Mn2 的  $\delta_5$  都合格。第二、三批 M20Mn 的  $\delta_5$  初检不合格, 轧号基本上都连续。

17 炉初检不合格的钢, 复检仍有 1 炉不合格, 报废的这炉钢为回炉钢 (一炼钢厂供的坯, 冶炼号为 75T1383)。对报废的这炉钢的初检延伸样未做调查, 对复检试样, 检验了晶粒、组织、夹杂物评级等都正常。但复样的成分碳 0.29%, 硅 0.32%, 锰 1.49%, 铝 0.051%, 典型的 M30Mn2 成分, 而 75T1383 的熔炼成分为碳 0.23%, 硅 0.25%, 锰 1.28%, 铝 0.054%, 复检时, T5422 炉号的  $\delta_5$  为 21%, 高于 M30Mn2 的  $\delta_5 \geq 17\%$  的标准, 而低于 M20Mn 的  $\delta_5 \geq 22\%$  的要求。因此, T5422 复检  $\delta_5$  不合格的

主要原因是试样的成分。

#### 4 结 语

钢锭表面严重增碳是锚链钢材样冷弯脆断的原因; 钢锭表面轻微的增碳、晶粒粗大或晶粒不均匀、冷弯样表面加工粗糙度未达到要求可使锚链钢冷弯产生裂纹; 在涟钢现有钢质纯净度条件下, 夹杂物和 [O]、[N] 含量的高低对锚链钢冷弯产生裂纹的影响不明显。

1997 年上半年 3 批次, 共 17 炉钢  $\delta_5$  初检不合格, 系受轧钢、热处理工艺、试样的加工、试验方法的某一环节的影响所致。T5422 复检不合格报废的原因为混钢号。

根据上述调查研究, 采取相应措施后, 1998 年涟钢锚链钢的合格率达到了 100%。

(上接第 25 页)

#### 5 结 语

(1) 三辊穿孔机烧轴承事故发生原因不是单方面某个零部件的问题, 而是一个综合性的问题。

(2) 3 个轧辊送进角的变化会引起各轧辊轴承受力的变化。送进角越大, 轧辊轴承受力越小; 反之, 送进角越小, 轧辊轴承受力越大。3 个轧辊送进角不一致, 则各轧辊轴承受力不一致, 某一个送进角越小, 则该轧辊轴承受力越大。由于上述两种情况, 会使轴承受力超过其额定负荷, 从而发生轴承的早期失效 (烧轴承)。

(3) 冷却水的水量、水压及水管位置对

轧辊的冷却有很大影响。当轧辊冷却不充分或不均匀时会引起轴承温升异常, 造成轴承润滑不良和轴受热膨胀而使轴承早期失效。

(4) 轧辊架是造成轧辊烧轴承事故的关键零部件。轧辊架变形会导致实际的轴线偏斜量大于轴承的允许轴线偏斜量, 从而引起轴承内部接触应力的不均匀分布, 造成烧轴承。

#### 参考文献:

- [1] 王廷博. 轧钢工艺学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981.
- [2] 谷士强, 郑重一. 冶金机械维护检修与安装 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981.