

## 铆螺钢冷墩开裂的分析和精炼工艺的改进

刘建勋<sup>1,2</sup> 李 壮<sup>1,3</sup> 吴 迪<sup>1</sup>

(1 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 沈阳 110004;

2 萍乡钢铁公司, 萍乡 337019; 3 沈阳航空工业学院, 沈阳 110034)

**摘 要** 采用铁水预处理-LD-钢包吹氩工艺生产铆螺钢,通过对 0.23% C-0.69% Mn 铆螺钢冷墩开裂组织和夹杂物的扫描电镜和能谱分析得出,钢中存在多种元素复合夹杂物是铆螺钢冷墩开裂的主要原因。通过将钢包底吹氩压力由 0.3 MPa 提高到 0.6~1.0 MPa,并由原工艺吹氩 1 min 后软吹氩、总吹氩时间为 3 min 改为吹氩 3 min 后软吹氩、保证总吹氩时间  $\geq 6$  min,同时改进中间包烘烤工艺减少 MgO 夹杂,从而有效地避免了铆螺钢冷墩时的开裂现象。

**关键词** 铆螺钢 冷墩开裂 复合夹杂物 钢包吹氩

## Analysis on Cold Upsetting Crack of Steel for Rivet and Improvement of Refining Process

Liu Jianxun<sup>1,2</sup>, Li Zhuang<sup>1,3</sup> and Wu Di<sup>1</sup>

(1 State Key lab of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004;

2 Pingxiang Iron and Steel Corp, Pingxiang 337019; 3 Shenyang College of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034)

**Abstract** The cold upsetting steel is produced by hot metal pretreatment - LD - ladle argon stirring process. It is obtained that the multi- elements compound inclusions in steel lead to cold upsetting crack of steel based on analysis of structure and inclusions of cold upsetting crack of 0.23C-0.69Mn steel for rivet by scanning electron microscope and energy dispersive x- ray spectrometer. With increasing ladle bottom blowing argon pressure from 0.3 MPa to 0.6~1.0 MPa, modified original blowing argon procedure - soft blowing argon after Ar stirring for 1 min and total blowing argon for 3 min to improved blowing argon procedure - soft blowing argon after Ar stirring for 3 min and total blowing argon for more than 6 min, and improving baking process for tundish to decrease inclusion MgO, the cold upsetting crack of steel for rivet was effectively avoided.

**Material Index** Steel for Rivet, Cold Upsetting Crack, Compound Inclusion, Ladle Argon Stirring

### 1 铆螺钢的生产过程

铆螺钢 ML25Mn(表 1)生产的工艺流程如下:

高炉铁水→预脱硫→氧气顶吹转炉冶炼→钢包底吹氩→连铸(结晶器电磁搅拌)→高速线材轧机控制轧制→控制冷却。

钢以 20 t 转炉冶炼。采用钢包底吹氩,压力为 0.3 MPa,吹氩流量分 2 段控制,吹氩 1 min 后改为“软吹”,总吹氩时间为 3 min。

### 2 组织检验

#### 2.1 低倍组织

表 1 铆螺钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel for rivet /%

项目	C	Si	Mn	S	P
实测值	0.23	0.07	0.69	0.03	0.02
标准要求	0.22~0.30	$\leq 0.25$	0.50~0.80	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$

由于在连铸过程中严格控制了铸温、拉速及二冷水等条件并采用了结晶器电磁搅拌等技术措施,因此连铸坯的低倍组织较为致密,等轴晶比例较高,低倍缺陷较少(表 2)。

表 2 铆螺钢的低倍检验/级

Table 2 Macrostructure examination of steel for rivet /rating

项目	一般疏松	中心疏松	方形偏析
实测值范围	1~1.5	1~1.5	1~1.5
标准要求	$\leq 2.5$	$\leq 2.5$	$\leq 2.5$

冷墩钢材的硬度符合技术要求。对冷墩开裂的铆螺钢低倍观察,其裂纹全部沿纵向分布;断面无金属光泽,无结晶颗粒,呈暗灰色;断口并不齐平,开裂附近可以看到明显的塑性变形。

#### 2.2 高倍组织

对铆螺钢金相组织观察,为铁素体 + 珠光体

组织。横断面金相组织中尚未发现有大量夹杂物存在,而纵断面经抛光后发现有较多的非金属夹杂物颗粒。

扫描电镜下观测,试样断口为塑性断口,韧窝中明显可见到夹杂物存在。能谱图则表明钢中主

要有碳、锰、铁元素。

断口韧窝中圆形夹杂物颗粒如图 1(a)所示。能谱分析表明,该夹杂物颗粒中含有镁、铝、硫、钙、锰、铁和氧元素。图 1(b)为层皮状夹杂物的形貌。能谱成分分析发现,这种薄膜状的层皮其

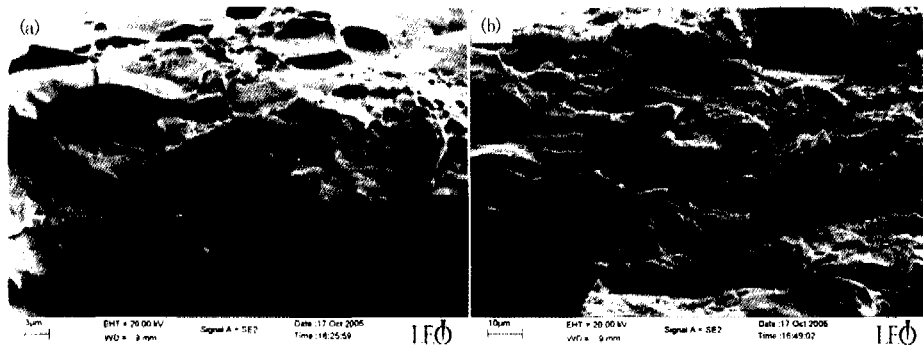


图 1 铆螺钢断口韧窝中圆形夹杂物(a)和层皮状夹杂物(b)

Fig. 1 Morphology of spherical inclusion in dimple (a) and lamellar inclusion (b) in fracture of steel for rivet

成分主要为氧、锰、铁、镁、铝、硫、钙等元素。

扫描电镜观测结果验证了铆螺钢原料在光学显微镜下其夹杂物数量较多这一现象;能谱成分分析表明,铆螺钢中存在着含有多种元素的复合夹杂物。

### 3 铆螺钢冷镦开裂分析

铆螺钢生产虽采用了钢包底吹氩,钢水经底吹氩后可充分脱氢、脱氧和排除非金属夹杂物,但如果精炼炉冶炼的初炼钢水质量不好,劣质钢水兑入精炼炉,全部依靠底吹氩去除夹杂物,不可能达到最佳的效果。而且,钢水进入中间包后,由于钢液的湍流度较大,可能使钢包内衬的耐火材料受到强烈冲刷,耐火材料熔融混入产生的夹杂物如不能充分上浮便进入钢液。此外,  $Al_2O_3$  或  $FeO \cdot Al_2O_3$  (铁尖晶石)与炉衬发生反应,生成镁铝尖晶石 ( $MgO \cdot Al_2O_3$ ) 的产物<sup>[1]</sup>,这些均成为钢中的外来夹杂物。中间包的包衬和包底如果清洁不合格,有残钢、残渣将直接造成  $MgO$  的进入,而外来夹杂物是钢中不允许存在的。

能谱成分分析结果表明,夹杂物颗粒中含有镁、铝、硫、钙、锰、铁和氧元素,应属于内生夹杂物和外来夹杂物。由于钢材中存在着这种复杂的夹杂物,造成钢材内部缺陷的存在,导致铆螺钢冷镦时开裂<sup>[1,2]</sup>。

### 4 改进措施

为降低钢中非金属夹杂物含量,在冶炼时采

用以下改进工艺的措施为:(1)对钢包底吹氩工艺参数进行了调整,将钢包底吹氩压力控制在 0.6~1.0 MPa,吹氩流量分 2 段控制,吹氩 3 min 以前流量放大些,吹氩 3 min 以后改为“软吹”,使钢水裸露直径控制在 200 mm 左右,保证总吹氩时间  $\geq 6$  min,提高精炼效果;(2)改进中间包砌筑质量,包要使用过一次或一次以上方可用来生产铆螺钢,以减少  $MgO$  外来夹杂。

铆螺钢在冶炼过程中采用改进后的工艺参数及操作方法,有效地避免了其冷镦时开裂现象的发生。

### 5 结束语

(1) 铆螺钢中存在较多的复合夹杂物,是造成冷镦开裂的根本原因。

(2) 通过调整吹氩工艺和中间包烘烤工艺,有效地避免了铆螺钢冷镦开裂现象。

国家自然科学基金资助项目(50334410)

### 参考文献

- 1 上海市机械制造工艺研究所.金相分析技术.上海:上海科学技术文献出版社,1987:189
- 2 Wang G Z, Liu Y G, Chen J H. Investigation of Cleavage Fracture Initiation in Notched Specimens of a C-Mn Steel With Carbides and Inclusions. Mater. Sci. and Eng. A 2004(369):181

刘建勋(1963-),男,教授级高工,博士研究生,1985年江西冶金学院毕业,从事冶金工艺研究。

收稿日期:2006-01-15