

## 胀断连杆用 C70S6 BY 钢连轧材探伤不合格原因分析和工艺改进

康 焜<sup>1</sup> 刘向艳<sup>1</sup> 杨建华<sup>2</sup> 翟 军<sup>1</sup> 孙 琦<sup>1</sup> 穆立峰<sup>1</sup> 马 群<sup>3</sup>

(抚顺特殊钢股份有限公司 1 连轧厂; 2 初轧厂; 3 技术中心, 抚顺 113001)

**摘 要** 非调质钢 C70S6 BY  $\Phi 60$  mm 棒材的生产流程为 60 t UHP EAF-LF-VD-240 mm  $\times$  240 mm 坯连铸-连轧。连轧材经现场超声波探伤并对缺陷定位取样, 通过低倍、金相显微等检验方法对缺陷进行分析, 得出该缺陷为心部裂纹, 其产生原因主要是铸坯加热不均和轧后冷却应力较大造成。通过改善铸坯加热工艺, 将加热二段温度从 1 239  $^{\circ}\text{C}$  提高至 1 248  $^{\circ}\text{C}$ , 总加热时间  $\geq 2.0$  h, 均热段 1 232  $^{\circ}\text{C}$ , 20 ~ 40 min, 轧后冷却由堆冷 24 h 改成坑冷 38 h, 探伤不合格率由 36.80% 降至 0.78%。

**关键词** 胀断连杆用非调质钢 C70S6 BY 探伤 心部裂纹 工艺改进

## Analysis on Cause of Off-Qualified Continuous-Rolling Products of Steel C70S6 BY by Ultrasonic Detection and Process Improvement

Kang Tian<sup>1</sup>, Liu Xiangyan<sup>1</sup>, Yang Jianhua<sup>2</sup>, Zhai Jun<sup>1</sup>, Sun Qi<sup>1</sup>, Mu Lifeng<sup>1</sup> and Ma Qun<sup>2</sup>

(1 Continuous Rolling Mill, 2 Blooming Mill and 3 Technology Center, Fushun Special Steel Co Ltd, Fushun 113001)

**Abstract** The production flow sheet of  $\Phi 60$  mm bar products of non-quenching and non-tempering steel C70S6 BY is 60 t UHP EAF-LF-VD-240 mm  $\times$  240 mm bloom casting-continuous rolling. The parts of defects of continuous-rolled products are sampled by ultrasonic detection, defined defect position and sampling, and analyzed by macrostructure and microstructure examination. It is obtained that the defects are center cracks; its forming cause is casting bloom non-uniform heating and producing larger cooling stress after rolling. With using the measures including improving casting bloom heating process, increasing heating temperature at second zone from 1 239  $^{\circ}\text{C}$  to 1 248  $^{\circ}\text{C}$ , total heating time  $\geq 2.0$  h, temperature of bloom at soaking zone being 1 232  $^{\circ}\text{C}$  for 20 ~ 40 min, modified the cooling process after rolling from stacking cooling for 24 h to pit cooling for 38 h, the off-qualified rate of products by ultrasonic detection decreases from original 36.80% to 0.78%.

**Material Index** Non-Quenching and Non-Tempering Steel C70S6 BY for Fracture Splitting Connecting Rod, Ultrasonic Detection, Center Cracks, Process Improvement

C70S6 BY 是德国研制的一种专门适用于发动机胀断连杆的非调质钢, 现已成为国内外应用最广泛的胀断连杆材料, 但国内的原材料主要依赖进口<sup>[1]</sup>, 为了改变依靠进口的局面, 国内钢厂加大了对 C70S6 BY 钢的科研力度, 目前抚顺特钢已经对该材料实现批量生产。

抚顺特钢所生产 C70S6 BY 钢的流程是采用 60 t 超高功率电弧炉  $\rightarrow$  LF  $\rightarrow$  VD 工艺冶炼, 经连铸 240 mm  $\times$  240 mm 方坯  $\rightarrow$  连轧成材, 钢材经削皮后 100% 进行超声探伤。在探伤过程中, 发现个别炉次的 C70S6 BY 钢存在大量探伤不合格的现象, 探伤合格率仅为 67.76%, 通过对伤波位置分布、高倍金相等方面进行分析, 确定造成探伤不合格的缺陷类

型及成因, 并进行了相应工序的工艺优化及效果验证。

### 1 检测试样与方法

#### 1.1 检测试样

检测试样取自抚顺特钢连轧厂生产中探伤不合格的圆钢, 规格  $\Phi 60$  mm, 其生产工艺流程为: 坯料验收-加热-轧制-切断-冷却-矫直-削皮-探伤-精整-入库, C70S6 BY 钢的主要化学成分见表 1。

#### 1.2 检测方法

通过对连铸坯进行取样, 做轧制前低倍检验, 标定铸坯内部质量情况; 另通过采用超声波定位确认对探伤不合格钢棒及探伤无问题的钢棒分别进行取

表 1 试验用 C70S6 BY 钢化学成分 / %  
Table 1 Chemical composition of test steel C70S6 BY / %

项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	W	V	Mo	Al	Cu	N
实测	0.732	0.57	0.21	0.062	0.006	0.06	0.10	0.036	0.003 5	0.002	0.005	0.09	0.016
标准	0.70 ~ 0.74	0.55 ~ 0.60	0.15 ~ 0.25	0.060 ~ 0.070	$\leq 0.045$	-	0.10 ~ 0.15	-	0.030 ~ 0.040	$\leq 0.03$	$\leq 0.01$	-	0.010 ~ 0.020

样,做低倍酸浸及采用 DIM ZEISS 型号光学显微镜进行高倍对比分析。

### 2 试验结果及讨论

#### 2.1 超声波定位

超声检测是指用超声波探伤仪检测缺陷,主要是利用超声波在不同的介质中的声阻抗不同,穿过钢棒后透射率、反射率也不同,通过反映在探伤示波仪上的波形来判断钢材内部质量的一种无损检测方法<sup>[2]</sup>。实践证明,反射波的波幅大小与缺陷的大小成正比,通过观察反射波的波幅,就可以判断是否有缺陷以及缺陷的大小。该方法广泛用于探查通道被覆盖的区域内的裂纹、非金属夹杂白点、夹层、气泡等<sup>[3]</sup>。抚顺特钢生产 C70S6 BY 钢全部采用超声波自动探伤设备进行检验,在检验过程中根据波形大小可准确定位缺陷位置,并进行标记,用型号 HS600 手持超声波设备进行再次探伤,以确定取样的准确性。

#### 2.2 铸坯低倍观察

将轧制前 240 mm × 240 mm 铸坯端部切取 50 mm 厚试片,将横断面进行车削、酸洗检验,酸洗后形貌如图 1(a,b)所示,宏观上均未发现目视可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻皮、白点、晶间裂纹等有害缺陷,铸坯组织未见明显异常,按 GB/T1979-2001 标准评级结果为一般疏松、中心疏松、锭形偏析均是

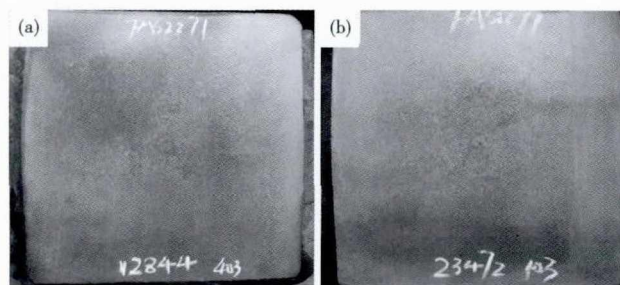


图 1 C70S6 BY 钢 240 mm × 240 mm 铸坯的低倍组织形貌  
Fig.1 Morphology of macrostructure of 240 mm × 240 mm casting bloom of steel C70S6 BY

1.0 级,满足标准要求。

#### 2.3 微观组织

在问题试片及无问题试片的心部截取大小为 20 mm × 20 mm × 20 mm 的样块,将垂直轴向的截面磨制成金相检验面。在金相显微镜下观察,形貌如图 2 所示,可见心部存在开裂裂纹,裂纹主要表现为两种不同的形貌,一种呈锯齿状断续延伸,裂纹周边硫化物偏聚明显,如图 2(a)所示,一种呈碎裂发散并伴有未轧合孔洞的裂纹形貌,如图 2(b)所示。浸蚀后可见裂纹为沿晶界开裂,晶界上伴有硫化物。图 2(c,d)为探伤无问题心部试样浸蚀前后的金相形貌,可见心部同样存在硫化物的聚集,但是以点状居多,不存在较大的特别是连通的硫化物夹杂,浸蚀前后心部均未发现裂纹缺陷。

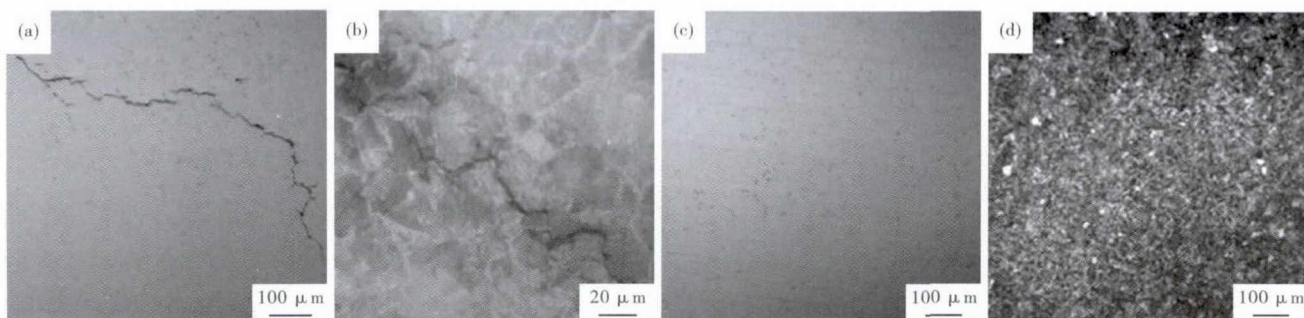


图 2 超声波探伤不合格 C70S6 BY 钢 240 mm × 240 mm 铸坯裂纹和组织(a)(b)以及超声波探伤合格铸坯组织(c)(d)形貌:  
(a)(c)抛光;(b)(d)浸蚀

Fig.2 Morphology of cracks and structure of off-qualified 240 mm × 240 mm casting bloom by ultrasonic detection test (a) and (b), and qualified bloom by ultrasonic detection test (c) and (d); (a) and (c) polished; (b) and (d) etched

### 3 结果分析

根据文献[4-6]可知,钢棒内部产生裂纹的可能原因有以下几个:(1)由于铸坯心部的疏松、缩孔、硫化物夹杂等缺陷在压缩比较小且单道次压下量不足条件下难以焊合,就会在钢棒的心部出现裂纹,多是铸坯低倍质量很差,一般存在于中心疏松级别

1.0 以上的铸坯原料所轧制的,加工比小于 5 的大棒材中;(2)钢坯加热时间不足未透烧,钢坯加热表面温度高于心部温度,轧制过程中,变形主要集中在钢坯表面,轧制过程延伸不均,易产生应力裂纹,另外心部变形小,铸坯心部孔隙性缺陷的压合效果也会相应变差;(3)钢材轧后冷速过快,心部收缩产生

较大拉应力,同时叠加组织转变、弯曲矫直应力,当应力超过材料的强度极限就会以裂纹的形式将其释放,形成开裂;(4)钢中氢的含量高,[H]在热加工后冷却时析出,来不及扩散到表面,产生很大压力,与相变应力共同作用,而形成内裂,这种内裂即白点。经前述分析可知,问题炉号铸坯心部疏松、缩孔、硫化物夹杂等检验均符合 GB/T1979-2001 评级,且钢材的加工比要大于 10,另对问题炉号取样进行气体[H]检验为  $1 \times 10^{-6}$ ,属正常控制水平,由此排除(1)和(4)两种可能原因。

而钢坯加热不均未透烧应是造成心部开裂的主要原因,同时钢材轧后冷却快,应力叠加,进一步增加了心部开裂的倾向。

## 4 工艺改进

### 4.1 加热温度和加热时间的改善

温度是影响棒材轧制心部质量的因素<sup>[6]</sup>,在铸坯加热工序提高铸坯加热温度和延长加热时间,加热温度按照中上限控制,将原来加热二段温度控制从 1 190 ~ 1 250 °C 缩小范围到 1 230 ~ 1 250 °C,控制总加热时间  $\geq 2.0$  h,均热时间保温 20 ~ 40 min,提高铸坯加热均匀性。

### 4.2 缓冷改善

缓冷的作用主要是因为逸氢和 C、Mn 元素扩散能够减轻中心偏析两方面的因素<sup>[4]</sup>,由表 2 看出,不同的缓冷制度对探伤的不合格比例影响很大,轧后坑冷的钢棒出现 0.78% 的探伤不合格,轧后堆冷的钢棒出现 36.8% 比例的探伤不合格。采用缓冷坑对钢棒进行缓冷要优于堆垛缓冷的方式。问题出现后,要求  $\geq 50$  mm 规格全部采用钢材坑冷,坑冷时间  $\geq 36$  h。

表 2 C70S6 BY 钢轧材坑冷和堆冷工艺对超声波探伤不合格率的影响

Table 2 Effect of steel C70S6 BY rolling products stacking cooling process and pit cooling process on off-qualified rate by ultrasonic detection

规格/mm	生产炉号的数量/炉	加热 1 段温度/°C	加热 2 段温度/°C	均热段温度/°C	轧后缓冷	探伤支数	纵波不合格支数	不合格比例/%
Φ75	4	1 038	1 248	1 232	坑冷 38 h	1 023	8	0.78
Φ65	3	1 040	1 239	1 230	堆冷 24 h	712	262	36.80

## 5 结语

(1) C70S6 BY 热轧圆钢心部裂纹的产生,主要是由于钢坯未透烧造成的。钢材轧后冷却快,冷却与组织等应力叠加,进一步增加了心部开裂的倾向。

(2) 结合材料自身特点,通过控制钢坯总加热时间  $\geq 2.0$  h;加热二段温度提至 1 230 ~ 1 250 °C,均热时间 20 ~ 40 min;钢材轧后坑冷时间  $\geq 36$  h 等措施,钢材探伤合格率由 67.76% 提高到 90.95%,改善显著。

### 参考文献

[1] 杨建辉,邓伟,张勇,等.发动机胀断连杆应用国产 C70S6 BY 材料的试验、探讨[D].2014 年第四届全国地方机械工程学学术年会暨新能源装备制造发展论坛论文集,2014:341-344.

[2] 张海军,刘利香,李经涛,等.钢板探伤不合格原因分析[J].宽厚板,2002,8(1):12-16.  
 [3] 尹玲.棒材超声波自动探伤系统的研制[D].重庆:重庆大学,2006.  
 [4] 邵正伟.济钢 Q345 级钢板探伤缺陷的研究[D].济南:山东大学,2011.  
 [5] 张润生.S355J2 钢板探伤不合格原因分析及改进措施[J].宽厚板,2014;24(1):24-26,33.  
 [6] 黄永建.大棒材产品孔隙性缺陷形成机理及控制研究[D].秦皇岛:燕山大学,2010.

康 涪(1983-),男,助理工程师,2010 年辽宁科技学院(本科)毕业,特殊钢材料成型与热处理工艺研究。

E-mail:196213215@qq.com

收稿日期:2018-09-10