

· 工艺技术 ·

## 20Cr 钢曲轴锻件翘皮成因分析和工艺改进

李仕超 李金波 范全保 李昂 徐学良

(河钢集团邯钢公司技术中心, 邯郸 056015)

**摘要** 20Cr 钢的生产流程为 120 t BOF-LF-200 mm × 200 mm 坯 CC-轧制。对 Φ35 mm 20Cr 圆钢锻造的小型机械曲轴的结疤翘皮进行了成分检测、金相分析和电镜扫描能谱分析。结果表明,连铸过程结晶器液面波动超过 ±5 mm,造成保护渣卷入弯月面,引起铸坯表面夹渣和增碳,轧制过程形成结疤翘皮缺陷。通过浸入式水口深度由 80 ~ 120 mm 增加至 90 ~ 130 mm,强化中间包水口和塞棒管控以及优化保护渣操作与性能使熔渣层厚度为 10 ~ 15 mm,保证结晶器液面波动稳定在 ±3 mm 内,避免了铸坯卷渣和锻件翘皮。

**关键词** 圆钢 曲轴 翘皮 保护渣 增碳

## Analysis on Cause of Upwarping of 20Cr Steel Crankshaft Forgings and Process Improvement

Li Shichao, Li Jinbo, Fan Quanbao, Li Ang and Xu Xueliang  
(Technology Center HBIS Group Hansteel Company, Handan 056015)

**Abstract** The production flowsheet of 20 Cr steel is 120 t BOF-LF-200 mm × 200 mm bloom CC-rolling. The composition detection, metallographic analysis and SEM energy dispersive analysis on the scarring and warping of forged small mechanical crankshaft of Φ35 mm 20Cr round steel are carried out. The results show that during the continuous casting process, the mold liquid level fluctuation exceeded ±5 mm, led to mold powder to enter the meniscus, causing slag inclusion and carburization on the surface of the bloom, finally forming scarring and warping defects during rolling. By increasing the depth of the submerged nozzle from 80 ~ 120 mm to 90 ~ 130 mm, strengthening the control of the tundish nozzle and stopper, and optimizing the operation and performance of mold powder, the liquid level fluctuation in mold is stable within ±3 mm, to avoid entrapped slag and forgings warping.

**Material Index** Round Steel, Crankshaft, Upwarping, Mold Powder, Carburization

20Cr 钢在机械制造领域用途广泛,钢厂采用 Φ35 mm 规格 20Cr 热轧圆钢生产小型机械曲轴锻件,在圆钢料段锻造后,发现部分锻件存在结疤翘皮缺陷,不能继续生产。针对此情况,现场调查取样,进行成分检测、金相分析和电镜扫描能谱分析,通过对生产工艺过程追溯分析缺陷产生的原因。

### 1 20Cr 钢生产工艺流程

20Cr 圆钢生产工艺为 120 t BOF-120 t LF-CC (200 mm × 200 mm 断面)-棒材轧制。20Cr 钢小型曲轴加工工艺为圆钢→剪切下料→中频加热→锻造→毛坯件→粗车。

### 2 缺陷锻件宏观形貌

为更好地观察缺陷形貌,将缺陷锻件抛丸去氧化铁皮处理见图 1,其宏观形貌表现为结疤翘皮缺陷,位置、大小、深度不等,呈带状或舌状,粘附在圆钢基体上。锻件的一端已自由锻,另一端为圆钢表面,两端均存在翘皮缺陷,因此,判断非锻造原因引

起的翘皮。

于是,针对此炉次 20Cr 轧制的圆钢进行逐根摊检,发现部分圆钢也存在结疤翘皮缺陷,见图 2。缺陷位置无规律,分布在圆钢头、中、尾部,其大小、深浅不等,与曲轴锻件翘皮缺陷一致。

### 3 缺陷原因分析

#### 3.1 化学成分分析

利用光谱仪检测缺陷锻件化学成分,并与熔炼成分进行对比分析,具体见表 1。结果显示,其化学成分均符合 GB/T3077-2015 中 20Cr 钢的化学成分

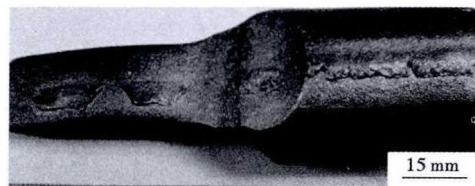


图 1 缺陷锻件外貌

Fig. 1 Appearance of defective forging

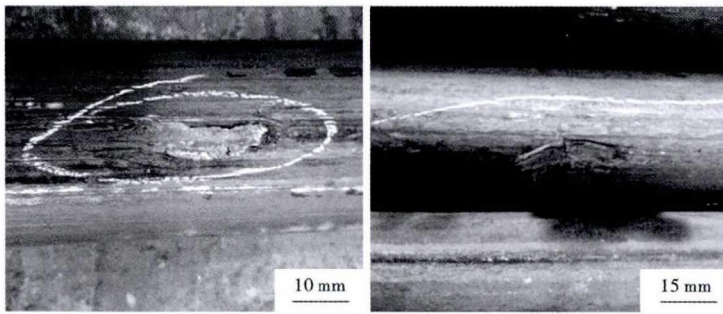


图 2 Φ35 mm 20Cr 圆钢结疤翘皮缺陷形貌  
Fig. 2 Morphology of scarring and warping defects of Φ35 mm 20Cr round steel

表 1 20Cr 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 20Cr/ %

项目	C	Si	Mn	Cr	P	S
标准要求	0.18 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.70 ~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.030
熔炼成分	0.21	0.23	0.62	0.84	0.016	0.006 0
缺陷锻件	0.21	0.22	0.61	0.84	0.014	0.007 7

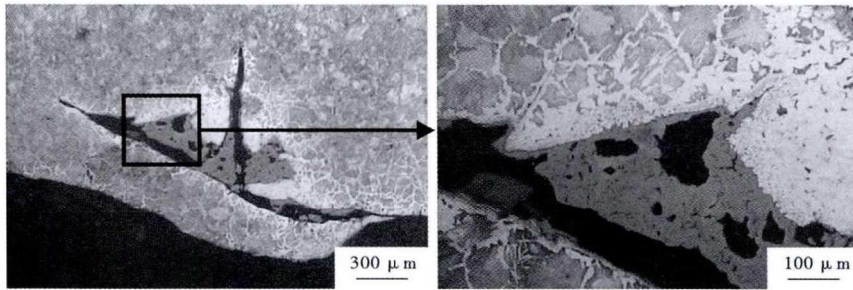


图 3 20Cr 钢翘皮缺陷的微观形貌  
Fig. 3 Micro-morphology of warping defect of steel 20Cr

要求,且与熔炼成分一致。

### 3.2 金相分析

沿 20Cr 钢缺陷锻件翘皮的纵向制取金相样,利用光学显微镜观察其微观形貌。试样经研磨后抛光,用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀,微观金相照片见图 3。翘皮往基体里延伸形成裂纹,与圆钢表面成锐角,裂纹

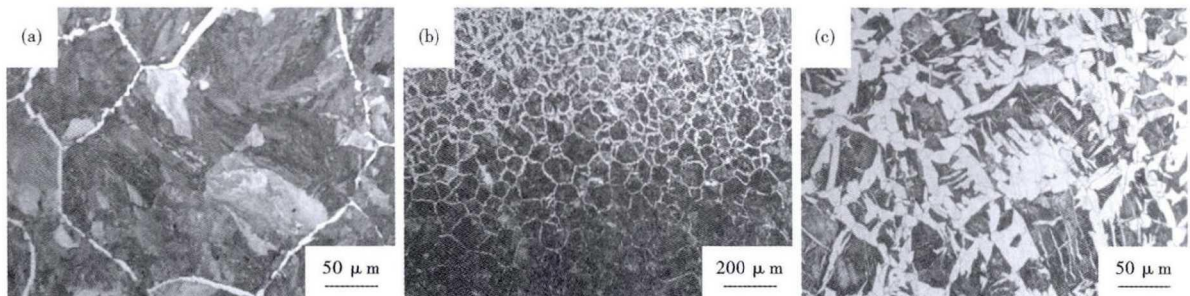


图 4 20Cr 钢翘皮处增碳组织(a)过渡组织(b)和正常组织(c)的形貌  
Fig. 4 Morphology of structure at carbonizing zone of warping (a), transition zone (b) and normal zone (c) of steel 20Cr

分叉,存在明显的脱碳和密集的高温氧化物物质点。锻造采用中频加热,加热时间短,不足以产生如此严重的脱碳和高温氧化物物质点,只能在轧钢加热前产生,因此,判断缺陷在进轧制加热炉前铸坯上就存在。

由图 3 金相组织发现,缺陷附近组织与 20Cr 低碳钢正常组织不同,珠光体明显增多。于是,在锻件翘皮不同纵向位置继续制取金相样,进行组织观察,见图 4,也出现珠光体增多现象,证明翘皮附近发生增碳。

### 3.3 电镜能谱分析

对图 3 缺陷处进行电镜扫描,在缺陷主裂纹和分叉处均发现保护渣成分 F、Na。电镜能谱分析见表 2,成分 F:5.88%、Na:3.69%。将表 2 中元素质量百分比转化为氧化物成分见表 3,与结晶器保护渣成分相比,其主要成分 C、F、Na<sub>2</sub>O、CaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与保护渣成分一致,因此,铸坯缺陷为连铸过程因结晶器保护渣的卷入所造成。

### 3.4 连铸卷渣分析及措施

#### 3.4.1 卷渣原因分析

铸坯表面夹渣缺陷的产生原因有 4 个方面:结晶器内液面波动引起卷渣;弯月面受冲击引起的夹渣;保护渣的物性参数;结晶器的振动<sup>[1]</sup>。而结晶器液面波动过大会增加结晶器钢水的卷渣风险,是产生铸坯夹渣缺陷的直接原因<sup>[24]</sup>。

为确定卷渣原因,查询此炉连铸过程,发现结晶器液面波动异常,见图 5。正常液面波动不超过

表2 20Cr 钢翘皮缺陷的能谱分析/%

Table 2 Energy dispersive analysis on warping defect of steel 20Cr/%

C	O	F	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe
15.97	37.60	5.88	3.69	0.89	2.69	14.98	1.11	8.72	6.33	1.30

表3 保护渣与翘皮夹杂成分对比/%

Table 3 Comparison between shielding slag and warping inclusion/%

类别	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	F	C
保护渣	7.33	3.94	4.22	35.27	27.2	6.49	12.45
夹杂物	7.93	1.48	5.08	32.73	30.5	5.88	15.97

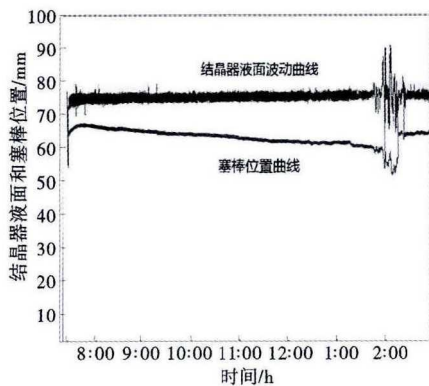


图5 翘皮缺陷炉次结晶器液面波动曲线

Fig. 5 Curve of level fluctuation in mold, warping defect heat

±3 mm,但6流出现超过±5 mm异常波动,最大幅度超过±10 mm。由塞棒位置曲线看,塞棒从开始持续下降,说明塞棒侵蚀较快是液面波动的直接原因。研究表明:液面波动为±5 mm时,皮下夹渣深度小于2 mm,铸坯在加热炉内加热时这些夹渣就可消除;液面波动为±10 mm时,皮下夹渣深度小于4 mm,就必须进行表面清理<sup>[5]</sup>。

### 3.4.2 增碳原因分析

翘皮缺陷附近出现明显的增碳现象。增碳主要源于保护渣中的碳,碳作为阻隔层和骨架调节熔化速度,得到满意的渣层结构<sup>[10]</sup>,由上至下是原渣层、烧结层、熔渣层的纵向层状结构<sup>[6]</sup>。熔渣层中碳的溶解度很小,在0.1%~0.4%,在熔渣层与烧结层之间存在一个碳富集层,富碳层中碳的浓度比原始渣高1.5~5倍,富碳层是钢水增碳的主要原因<sup>[7-12]</sup>。当液面波动较大时,熔渣层的厚度不够,使富碳层卷入结晶器和坯壳之间,造成铸坯增碳。

### 3.4.3 控制措施

(1)适当增加浸入式水口插入深度。将插入深度由80~120 mm增加到90~130 mm,减轻结晶器液面波动,保证液面稳定。

(2)强化中间包水口和塞棒管控。每批入厂质量检验,储存防止受潮,运输和安装避免磕碰,使用前保证烘烤效果,烘烤温度大于1100℃以上,形成致密保护层,减少表面脱碳疏松。

层,减少表面脱碳疏松。

(3)优化保护渣操作与性能。连铸浇注过程,严格执行保护渣勤加、少加、均加的标准化操作,保证黑面操作;同时优化保护渣的物化性能,保证合适的粘度、流动性,得到足够的熔渣层厚度10~15 mm。

通过控制措施的实施,结晶器液面波动稳定在±3 mm内。改进后经检测20Cr钢铸坯表面与低倍组织,未出现类似铸坯夹渣缺陷和锻件翘皮。

## 4 结论

(1)20Cr钢曲轴锻件翘皮缺陷为结晶器卷渣造成铸夹渣坯缺陷引起。

(2)结晶器异常液面波动超过±5 mm是铸坯夹渣的根本原因。当结晶器液面波动稳定在±3 mm范围内,铸坯卷渣得到控制,从而消除了铸坯夹杂缺陷。

## 参考文献

- [1]詹中华,仇圣桃,施哲,等. Q345B连铸坯表面夹渣缺陷的形成原因及控制[J]. 矿冶工程,2018,27(2):57-62.
- [2]王帅,赵建平,冯帅,等. 热轧板夹渣缺陷成因及控制[J]. 河北冶金,2019(12):39-43.
- [3]苏瑞先. 连铸夹渣类缺陷的成因与控制措施[J]. 特殊钢,2011,32(1):27-29.
- [4]董延亮,李杰,张飞,等. 结晶器液面波动成因及控制[J]. 河北冶金,2015(4):38-40.
- [5]蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2010:256.
- [6]吴夜明. 连铸保护渣的层状结构与理化性能的关系[J]. 特殊钢,1994,16(11):31-37.
- [7]姜茂发,刘承军,王云盛,等. 超低碳钢连铸保护渣的发展[J]. 炼钢,2000,16(3):52-60.
- [8]Terada S. 超低碳钢用结晶器保护渣的开发[J]. 国外钢铁,1992(7):35-38.
- [9]曾建华,陈小平,赵启成,等. 国内外超低碳钢连铸结晶器保护渣的设计与应用[J]. 钢铁钒钛,2000,21(1):40-44.
- [10]吴杰,李正邦,林攻文. 连铸钢水增碳机理的研究[J]. 连铸,2001(2):1-3.
- [11]茅洪祥,吴杰,胡汉涛. 连铸坯增碳机理及其对策[J]. 连铸,1998(4):7-10.
- [12]王庆祥,龙伟斌,周检检. 浅论超低碳钢连铸保护渣的增碳[J]. 连铸,2003(2):4-5.

李仕超(1983-),男,硕士,2012年北京科技大学,2009年河北理工大学(本科)毕业,特钢产品研发和工艺控制。  
E-mail:491082729@qq.com

收稿日期:2020-04-16