轮辐用热轧车轮钢 BT380CL 开裂原因分析*

张振杰[1,2],计云萍[1]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对包钢 2 250 mm 热轧线轮辐用热轧车轮钢 BT380CL 在用户加工过程中出现的开裂问题,取母材拉伸试样、金相试样和硬度试样,取轮辐开裂处及未开裂处的金相试样,通过力学性能检测、金相组织观察、夹杂物的扫描电镜观察及能谱分析,得出本次热轧车轮轮辐用钢的旋压冲孔开裂原因为板材心部产生的珠光体偏析带、硫化物条带及硅酸盐和铝酸盐夹杂与基体的塑性不一致导致。

关键词: 车轮钢; 轮辐; 冲孔开裂
中图分类号: TG386 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)05 - 0053 - 04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.05.015

Cause Analysis on Cracking of Hot Rolled Wheel Steel BT380CL Used for Spoke

Zhang Zhen - jie[1,2], *Ji Yun - ping*[1]

(1. *School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: Regarding to the cracking problem of hot - rolled wheel steel BT380CL used for spoke produced with the 2 250 mm hot rolling production line of Baotou Steel during the machining process of customer, the cause for the flow forming punching cracking of hot - rolled wheel steel used for spoke is that the segregation band of pearlite, stripe of sulfide as well as such inclusions as silicate and aluminate in the center of plate are inconsistent with the plasticity of matrix through testing mechanical property, observing metallographic structure, scanning electron microscope observation of inclusions and energy spectrum analysis on the samples of tensile sample of parent metal, metallographic specimen and hardness sample as well as the metallographic specimen of both cracked and uncracked parts of spoke.

Key words: wheel steel; spoke; punching cracking

近些年来,随着汽车钢的发展,客户对车轮用钢的加工性能提出了更高的要求,为了满足客户对汽车车轮用钢的要求,包钢逐步开发出了 BT330CL、BT380CL、BT420CL、BT490CL、BT540CL、BT590CL

* 收稿日期: 2019 - 05 - 07
作者简介: 张振杰(1990 -),男,内蒙古丰镇市人,在读硕士,工程师,现从事汽车用钢产品研发工作。

等一系列热轧车轮用钢和BT380CL、BT420CL等酸洗车轮用钢。钢制汽车车轮的结构一般由轮辋和轮辐组成，轮辐一般采用旋压和冲压技术成形，轮辋生产包括下料、闪光焊接、刨渣、切边、压边、扩口、滚压、扩涨、气密性测试、打孔等工序。以上工序要求车轮钢必须具备良好的强韧性、塑性、焊接性、焊后成形性、抗疲劳性等。在车轮用钢的成形过程中遇到的主要问题包括：旋压冲孔开裂、轮辋焊后扩口扩涨开裂及冲压局部开裂。本文从车轮钢轮辐旋压冲孔开裂案例进行实验和分析，以期对包钢车轮用钢的后续的生产提供理论与实践依据。

1 试样材料及方法

针对用户制做轮辐的过程中出现通风口处有旋压冲孔裂纹的轮辐，取样分析产生裂纹的原因。如图1所示，在轮辐未变形部位取1#金相试样，尺寸为8.3 mm×25 mm×25 mm，在旋压冲孔开裂部位取2#金相试样，尺寸为13.5 mm×25 mm×25 mm，在母材处取3#金相试样，尺寸为13.5 mm×25 mm×25 mm，另外对开裂件母材取拉伸试样和化学成分分析试样，并取母材试样检查母材硬度。用蔡司金相显微镜(型号：Axio Observer Dim)观察1#、2#、3#试样的组织及夹杂，用蔡司SEM(型号：LEO EVO 50HV)观察2#试样开裂处的夹杂，用蔡司能谱仪(型号：LEO EVO 50HV)对夹杂物进行成分检验，用ICP等离子体光谱仪(型号：7300V)进行母材化学成分分析，用万能试验机(型号：Instron－5989)进行拉伸试验，用布氏硬度计(型号：BRIN400D)检查母材硬度值。

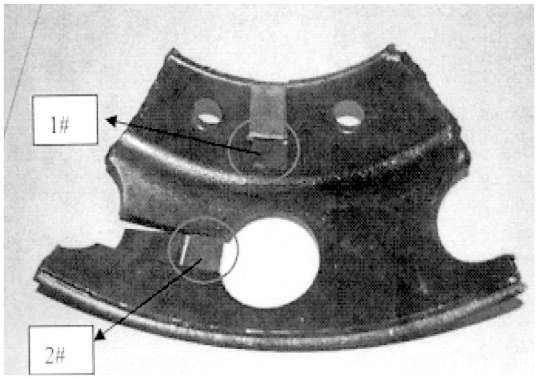


图1 金相取样位置

2 试验结果与分析

2.1 母材化学成分及力学性能分析

对开裂试样母材进行化学成分检验，化学成分见表1，对开裂试样母材进行横向拉伸和硬度试验，力学性能见表2，硬度结果见表3，化学成分、力学性能及硬度均符合Q/BG560—2014企业标准。

表1 化学成分(质量分数) %

项目	C	Si	Mn	P	S	Al
实测值	0.056	<0.030	0.986	0.015 0	0.003	0.025
标准	≤0.120	≤0.300	≤1.200	≤0.030 0	≤0.025	≥0.010

表2 力学性能

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
实测值	319	424	36.5
标准	≥235	380～480	≥28

表3 布氏硬度(HBW)

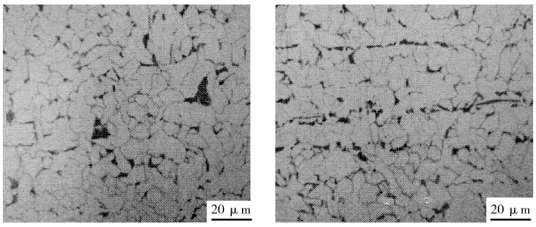
项目	1	2	3
实测值	125	126	126

螺栓孔和散热孔的力学性能不同，螺栓孔处的力学性能与母材相近，散热孔处由于旋压成型加工硬化将会极速增加，增加的强度与厚度减薄量呈正相关[1-2]，只在轮辐散热孔处有裂纹而在螺栓孔处没有开裂，说明开裂并非母材内生裂纹产生，而是在旋压过程中产生。旋压变形不同于金属普通的塑性变形，它是塑性变形和流动变形的复杂过程。金属必须具有足够的塑性变形与流动变形性能，旋压变形厚度最薄处强度最高，塑性最低，本身是开裂风险最大的区域[3-4]。

2.2 金相组织及夹杂分析

磨制1#试样纵向面，抛光后显微镜下观察，基体夹杂物级别为：A1(细系)、0(粗系)；B0(细系)、0.5(粗系)；C0(细系)、0(粗系)；D2(细系)、

0.5(粗系)；DS0.5，硫化物大多分布在心部；采用4%的硝酸酒精腐蚀后显微镜下观察，基体组织为铁素体+珠光体，晶粒呈等轴状，心部有珠光体偏析带，带状级别为2级，带状组织伴生有硫化物夹杂，见图2。



基体组织　　带状组织伴生夹杂物

图2　未变形试样各种组织

磨制2#试样纵向面，抛光后显微镜下观察，试样心部有一条长约10 mm的裂纹，裂纹内局部及尖端伴生夹杂物，金相照片见图3。基体夹杂物级别为：A1(细系)、0(粗系)；B0.5(细系)、0.5(粗系)；C0(细系)、0(粗系)；D2(细系)、0.5(粗系)；DS1.5，硫化物大多分布在心部，金相照片见图4；采用4%的硝酸酒精腐蚀后显微镜下观察，基体组织为铁素体+珠光体，晶粒呈拉长变形状，心部有珠光体偏析带，带状级别为2级，金相照片见图5。

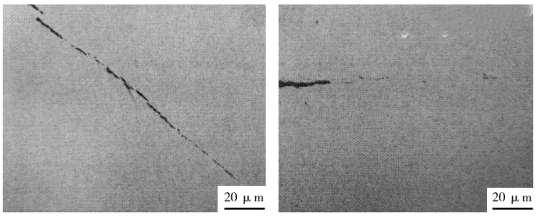


图3　开裂处试样裂纹处夹杂物金相照片

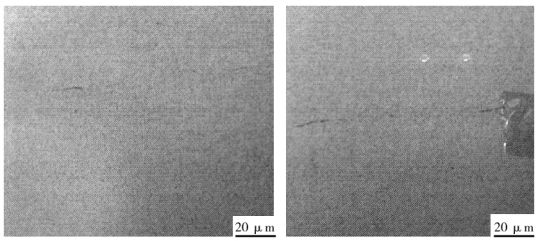


图4　开裂处试样基体夹杂物金相照片

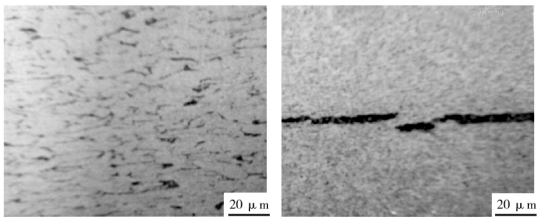


图5　开裂处试样裂纹处金相照片

通过金相检验，BT380CL车轮钢的金相组织以铁素体为主并含有少量的珠光体，开裂处试样有珠光体中心偏析带及硫化物条带，厚规格钢板在旋压变形的过程中满足平面应变模型，以铁素体的滑移变形为主，并最终导致韧性开裂，裂纹连续扩展，少量的珠光体对整个变形断裂过程几乎没有影响，若钢中存在中心偏析或夹杂时，脆性“异物”阻碍了铁素体的正常变形，最终导致开裂[5]。

2.3　扫描电镜及能谱分析

经过描电镜对开裂处试样夹杂物检查及能谱分析，进一步确认夹杂物类型及含量，夹杂物主要化学成分为：S、Mn、O、Si、Al、K、Na、Ca、Mg等，所含主要夹杂物为硫化物条带、硅酸盐、铝酸盐及少量的保护渣、转炉渣等成分[6]，对金相试样进行能谱微区成分分析，见图6、表4。

表4　能谱分析结果(质量分数)　%

能谱图	S	Mn	Fe	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ba
谱图1	1.73	2.68	81.90	13.69								
谱图2				10.38	36.64	3.15	0.63	11.42	27.09	5.65	1.20	3.84

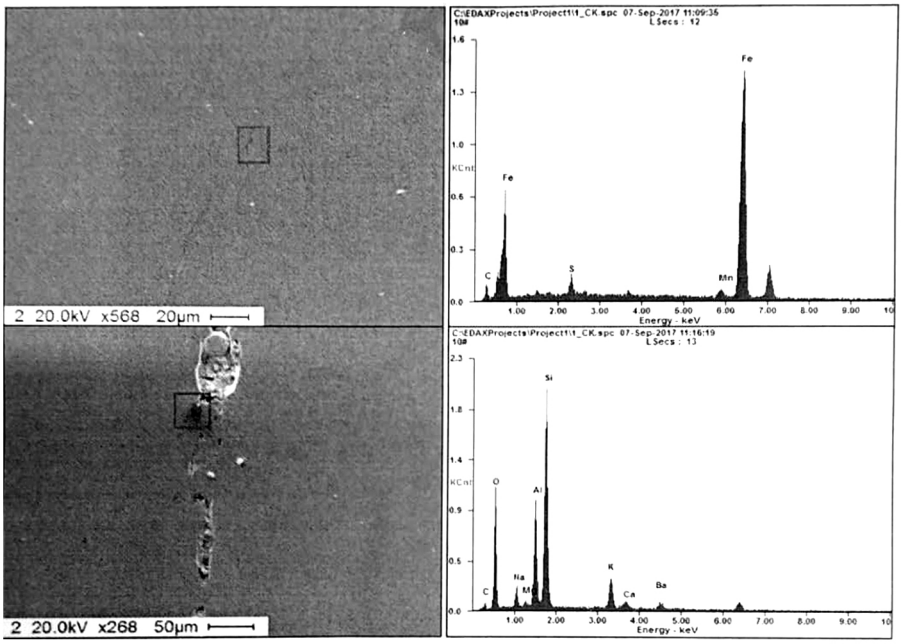


图6 开裂处试样裂纹处电镜扫描图片照片及能谱图

3 改进措施

针对BT380CL钢板中心存在的珠光体偏析带及硫化物条带、硅酸盐、铝酸盐等夹杂，提出以下改进措施:

(1) 加强炼钢原料品质检查及严格控制化学成分，减少夹杂物的产生[7]。

(2) 合理控制铸机拉速及优化动态轻压下和冷却工艺，最大程度的降低中心偏析，热轧轧制后采用快速冷却进一步减少带状组织的产生[8]。

4 结束语

本次开裂的主要原因为试样心部珠光体偏析带、硫化物条带及少量的硅酸盐和铝酸盐夹杂与基体的塑性变形能力不同，影响了塑性变形的连续性，当钢板进行旋压成型后冲风孔时，风孔处钢板心部收到的剪力最大，而心部的珠光体偏析带、硫化物条带等夹杂物不能随着基体一起塑性变形，从而在此处产生应力集中，形成分层裂纹。

参 考 文 献

[1] 王彦菊，方刚，张剑寒，等. 变厚度轮辐强力旋压成形[J]. 材料科学与工艺，2012，(06)：103－108.

[2] 杨荣，刘梦洁，胡飞. 车轮钢380CL的加工硬化特性研究[J]. 汽车科技，2017，(04)：97－101.

[3] 赵培林，孙新军，雍岐龙，等. 超高强度热轧钢板冷冲压开裂原因及分析[J]. 金属热处理，2012，(07)：122－126.

[4] 魏伟荣，李云龙，李记科. 等. X65钢板板端开裂原因分析[J]. 热加工工艺，2012，(04)：207－209.

[5] 段桂花，张平，李金许. 铁素体和珠光体含量影响变形过程的原位研究[J]. 北京科技大学学报，2014，(08)：1032－1038.

[6] 陈茂敬，吕学星，谷国华. SS400旋压轮辐开裂原因分析[J]. 山东冶金，2007，(S1)：78－79.

[7] 汪凤，范玉然，尹长华，等. Q235－B钢板冷弯开裂原因分析[J]. 金属热处理，2011，(S1)：158－160.

[8] 刘跃飞. Q345B热轧钢板加工开裂的原因分析[J]. 金属材料与冶金工程，2015，(01)：21－23.