

Q235B 热轧钢带成型过程折弯开裂成因分析

Analysis on the Causes of Bending and Cracking in the Forming Process of Q235B Hot Rolled Steel Strip

供稿|张通, 贾军艳, 薛强, 刘洋, 杨小波, 赵启扬 / ZHANG Tong, JIA Junyan, XUE Qiang, LIU Yang, YANG Xiaobo, ZHAO Qiyang

内
容
导
读

基于 Q235B 成型过程中折弯开裂问题, 具体分析了其化学成分、缺陷位置与正常组织显微形貌、折弯开裂处裂口形貌、夹杂物、晶粒度等对钢卷性能的影响。铁素体和贝氏体混合组织具有较高的边部裂纹敏感性, 冲裁后边部存在微裂纹和毛刺的情况下进行加工造成了裂纹扩展是边部开裂的直接原因, 靠近原始带钢热轧边部的组织表面存在混晶情况, 会加重裂纹的扩展程度。

Q235B 热轧板带为典型的碳素结构钢, 具体较好伸长率、强度, 良好的韧性和铸造性, 易于冲压和焊接, 广泛用于一般机械零件的制造, 主要用于建筑、桥梁工程上质量要求较高的焊接结构件^[1-2]。北方某钢厂生产的 Q235B 热轧板带, 在用户使用过程中出现了批量的折弯开裂问题, 为找出折弯开裂的原因、制定改善措施, 满足用户使用需求, 对开裂缺陷样品的化学成分、缺陷位置与正常组织显微形貌、折弯开裂处裂口形貌、夹杂物、晶粒度等方面进行研究, 找出引起成型折弯开裂原因^[3]。

折弯开裂宏观形貌

折弯开裂位置发生在样品边部如图 1, 从边部形貌看为冲裁边部, 开裂的程度不同, 有部分位置开

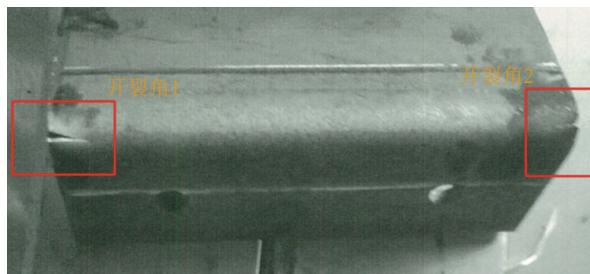


图 1 折弯开裂样品

裂程度较深(开裂角 1), 有部分开裂较浅(开裂角 2), 冲裁边部存在光亮带和撕裂带, 其中撕裂带存在微裂纹和毛刺。从折弯位置形貌分析和了解用户加工工艺, 用户缺陷样品为冲压成型, 成型角度为 90° , Q235B 钢板弯曲试验标准 $d=1.5a$ (a 为试样厚度, d 为弯心半径, 单位: mm), 测量弯曲直径 $d<1.5a$ 。

分析开裂缺陷样品

对现场取回的折弯开裂零件和原始板材进行取样，样品缺陷部位取开裂角 1 和 2 的横截面，观察开裂部位组织情况，切取成分样品，确定材料成分是否符合产品企业标准要求，另取标准拉伸试样如图 2，标准弯曲试样如图 3，确认缺陷样品拉伸性能和弯曲性能。

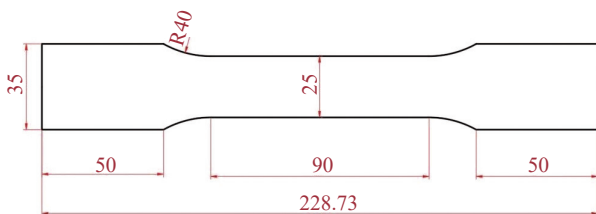


图 2 标准拉伸试样 (单位: mm)



图 3 标准弯曲试样 (单位: mm)

成分分析

对所取成分样品进行 2 次化学成分分析，如表 1 所示，该样品成分要求符合国家标准。

表 1 缺陷样品化学成分 (质量分数) %

项目	C	Mn	S	P	Si
测量1	0.17	0.35	0.005	0.011	0.11
测量2	0.17	0.36	0.006	0.012	0.12
国家标准	[0.12,0.20]	[0.30,0.70]	(0,0.045]	(0,0.045]	(0,0.30]

性能分析

缺陷样品的横纵向拉伸试样 1#、2#、3#和 4#，均采用标准 GB/T 228.1—2021 中的 P7 试样尺寸制备，宽度 25 mm，标距 50 mm。检测结果如表 2 所示，屈服强度 (R_{eH}) 300~325 MPa，抗拉强度 (R_m) 450~460 MPa，虽然较其他企业 Q235B 热轧板带性能偏高，但可满足正常成型使用，断后延伸率 (A) 良好，试样横纵向拉伸性能均满足国家要求。

表 2 缺陷样品性能检测结果

试样	R_{eH}/MPa	R_m/MPa	$A/\%$
1#横向	304	458	32.5
2#横向	322	455	33.5
3#纵向	310	452	43.0
4#纵向	306	456	36.0
企业标准	≥ 235	370~500	≥ 26

组织分析

对开裂试验样品分别取表面、1/4 处及中心 3 个部分来观察横纵向显微组织如图 4~5，可以看出母材组织为铁素体和贝氏体的混合组织，且表层出现微量的针状铁素体，自表层、1/4 到中心处贝氏体含量逐渐减少，铁素体含量逐渐增多。可见母材组织区别于其他钢厂的铁素体和珠光体组织，对 Q235B 而言，贝氏体替代珠光体对成形性存在不利影响，同时表面针状铁素体的存在也会使材料的性能变差。

开裂角 1 的裂纹深度大于开裂角 2，从图 4 和 5 中可以看出开裂角 1 表面存在明显的脱碳混晶现象，而开裂角 2 则无此问题，但 2 依然开裂，说明脱碳混晶是加重裂纹扩展的原因而非产生裂纹的原因^[4]。组织方面同原始板材分析基本一致，表层到中心贝氏体含量逐渐减少，铁素体含量逐渐增加，表层出现微量的针状铁素体^[5-6]。由分析可知，Q235B 中贝氏体代替珠光体会对材料的加工产生不利影响，表层针状铁素体的存在会加重这种趋势，也表明材料具有较高的边部裂纹敏感性，开裂的部分原因为材料的铁素体和贝氏体组织具有较高的边部裂纹敏感性，冲裁后边部存在微裂纹的情况下进行加工造成了裂纹扩展^[7-8]。

夹杂物分析

对缺陷样品抛光后进行夹杂物检验，照片如图 6，上下表面观察，夹杂物为 C 类 (硅酸盐类) 评级图级别为细系 $i=0.5$ 。

弯曲试验

弯曲性能测试切取 W1、W2 两个弯曲试样，均为横向。弯曲样品一侧线切割加工，另一侧为冲裁加工 (线切割加工样品光亮带在外侧，冲裁加工样品撕裂带在外侧) 用以对比弯曲试验中材料边部裂纹敏感性的大小。企业标准要求 Q235B 保证 180°弯

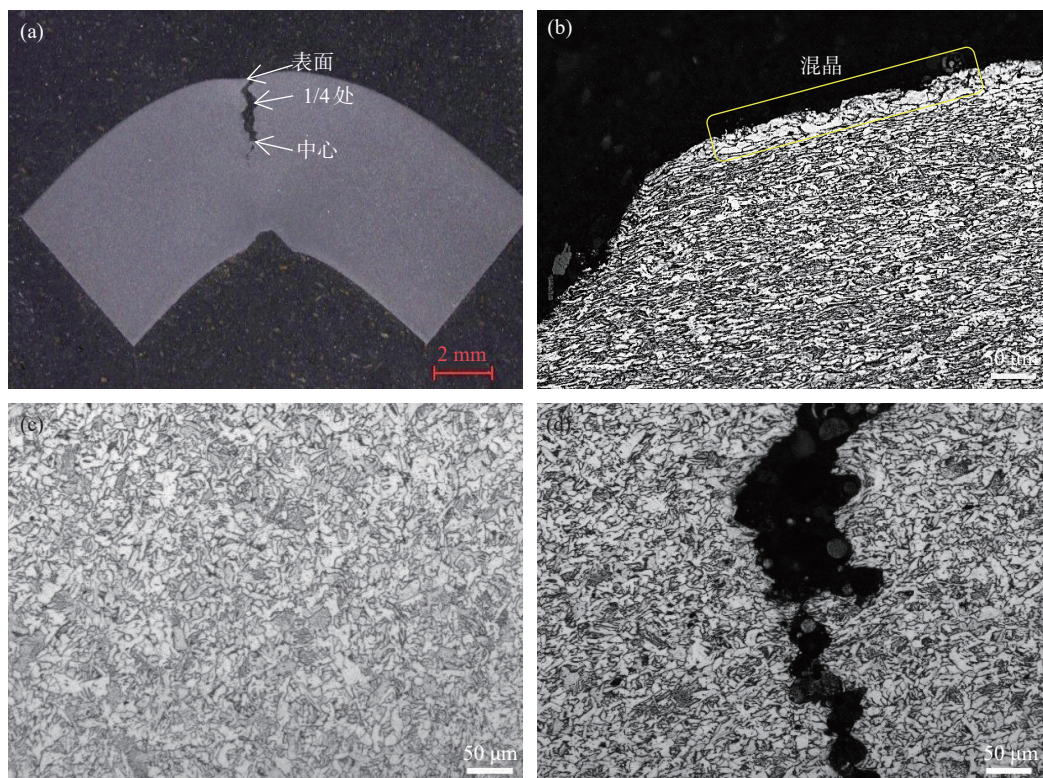


图4 开裂角1形貌及组织: (a) 剖面图; (b) 表面; (c) 1/4处; (d) 中心

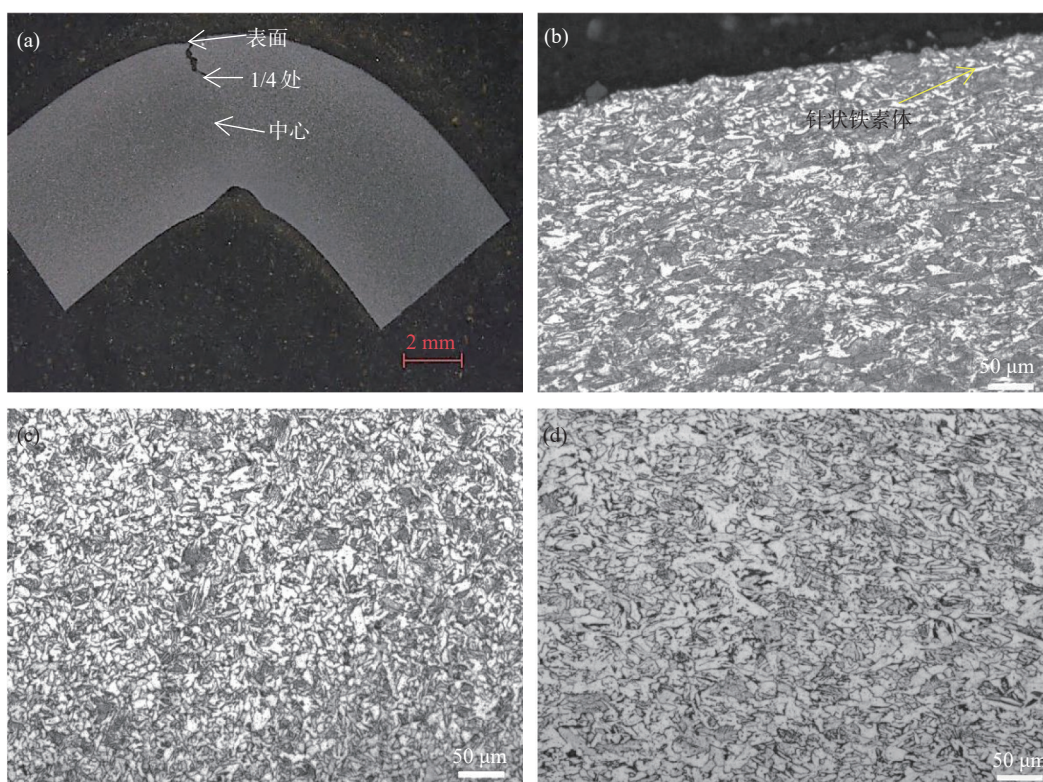


图5 开裂角2形貌及组织: (a) 剖面图; (b) 表面; (c) 1/4处; (d) 中心

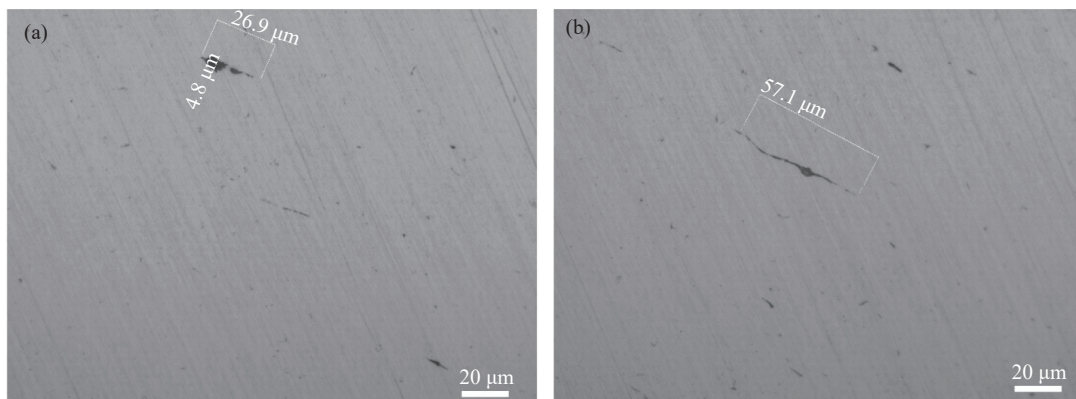


图6 缺陷部位夹杂物情况: (a) 夹杂物 1; (b) 夹杂物 2

曲、弯心直径为 $d=1.5a$ 。W1 样品光亮带在弯曲模具的外侧，W2 样品撕裂带在弯曲模具外侧。弯曲试验结果如图 7 所示，可见两个弯曲试样的线切割边部一侧均未出现裂纹，W1 样品光亮带在外侧时弯曲过

程表面也未出现裂纹，而撕裂带在外侧的 W2 样品则出现了明显的边部开裂，说明材料具有较高的边部裂纹敏感性，当材料边部出现微裂纹时，在外力作用下裂纹很容易扩展放大^[9]。

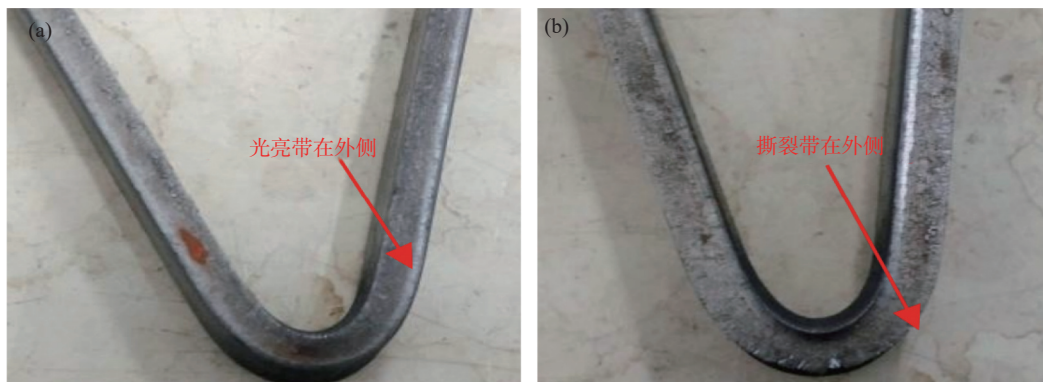


图7 弯曲样品形貌: (a) W1 线切割样品; (b) W2 冲裁样品

分析与讨论

本次折弯开裂 Q235B 热轧卷的化学成分符合国家标准中对热轧板带 Q235B 成分规定，满足该钢厂企业标准。从组织分析结果看，此次 Q235B 热轧卷成型折弯开裂的原因有 2 个方面：（1）材料的铁素体和贝氏体混合组织具有较高的边部裂纹敏感性，带钢热轧边部的组织表面存在混晶情况，会加重裂纹的扩展程度，冲裁后边部存在较明显微裂纹和毛刺，在此情况下进行加工造成了裂纹扩展是边部开裂的直接原因。（2）产品较常规的 Q235B 性能偏高，用户折弯成型过程实际为冲压成型，成型角度为 90° ，弯曲半径 $d<1.5a$ ，虽然样品化学成分、拉伸和弯曲性能、夹杂物等符合国家和企业标准，但

是从使用看，当前产品特性无法完全满足用户成型要求

处理措施

（1）产品冲压折弯成型前，对半成品边部毛刺等进行打磨，消除或降低边部微裂纹和毛刺的影响^[10]，可有效的降低折弯开裂的发生频率。

（2）同用户沟通，鉴于用户对产品折弯成型要求较高，建议用户订制低屈服性能的相近钢种，或针对此用户订制的 Q235B 热轧板带做性能等方面的定制化管理，降低产品拉伸性能目标值，从而满足用户的冲压折弯成型的工艺要求，避免折弯开裂问题的发生。

结束语

Q235B 作为典型的碳素结构钢，用户用途多样，在开拓用户和销售产品前，做好用户生产工艺过程和产品工艺要求的调研，根据用户生产工艺为用户推荐最合适的产品或定制化产品，可避免大量的质量抱怨和异议的发生。

参考文献

- [1] 刘岩松，王旭生，张楠，等. Q235B 热轧钢卷横折印缺陷分析. [金属世界](#)，2021(1): 51
- [2] 左海霞，苏崇涛，王亚芬，等. SS400 热轧带钢表面网状裂纹缺陷. [金属世界](#)，2019(6): 34
- [3] 张庆军，曹胜利，朱立光，等. Q235B 热轧带钢冷弯开裂原因分析与对策. [铸造技术](#)，2015，36(12): 2905
- [4] 陈勇，邱双全，张爱梅. Q235B 热轧卷板冷弯开裂的原因分析. [新疆钢铁](#)，2007(1): 11
- [5] 刘军，马文，李彦军，等. 带钢弯曲开裂原因分析. [物理测试](#)，2007(2): 54
- [6] 赵宗强. Q235A 热轧带钢冷弯开裂原因分析. [中国冶金](#)，2005(11): 37
- [7] 赵海生，朱海丰. Q195 热轧带钢冷弯开裂原因分析. [物理测试](#)，2020，38(2): 36
- [8] 孙紫燕，陈丽，龚平. 关于 Q235B 钢板冷弯开裂的原因探讨. [才智](#)，2013(24): 266
- [9] 张正群，邵建平，汪健宏，等. 高强汽车大梁钢折弯开裂原因分析. [物理测试](#)，2019(2): 50
- [10] 陈尹泽，王立群，温斌，等. Q345B 钢板折弯开裂原因分析及改进措施. [四川冶金](#)，2017(2): 20

作者简介：张通（1992—），男，河北省廊坊市人。2016 年毕业于延边大学机械设计制造及其自动化专业，目前在河钢集团唐钢公司，主要研究方向：冶金行业轧钢技术与产品质量管控。通信地址：河北省唐山市路北区钢城春邑北门。E-mail: 1205498565@qq.com