Q235B板材的弯曲变形研究[*1]

戴雨馨

(内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁轧钢厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 利用WDW-200 kN万能试验机将垂直于轧制方向的方形Q235B板材进行不同程度的弯曲,研究晶粒的变化和位错运动与中性层的关系。结果表明,显微组织由板条状晶粒演变成等轴晶粒,以中性层为界,板材弯曲时在外部拉力的作用下外层厚度变薄,内层在压力作用下增加厚度,最大挠度下,增大 *r/t* 试样不易弯裂。

关键词: 弯曲变形; 中性层; 力学性能; 微观组织

中图分类号: TG113.25 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2017)06-0047-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.06.016

Study on Bending Deformation of Q235B Plate

DAI Yu-xin

(*Rail and Beam Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: The square Q235B plates which are perpendicular to the rolling direction are bent to different degrees by WDW-200 kN universal testing machine, and the relationship between grain size variation, dislocation movement and neutral layer are studied. The results show that microstructure evolves from lath grain into equiaxed grain, and with neutral layer as the boundary, the outer layer thickness is thinner under the action of external tension when the plate is bent, the thickness of the inner layer increasing under pressure, and under the maximum deflection, the increase of r / t specimen is not easy to crack.

Key words: bending deformation; neutral layer; mechanical property; microstructure

Q235B是含碳量小于0.35%的常见低碳钢结构材料[1]。弯曲过程中,由于断面多筋壁薄,结构形式复杂,易产生回弹、截面畸变和表面划伤等缺陷。加工的效率降低,已成为制约发展工业以及产品的生产重要影响因素之一。本文重点分析了不同弯曲程度对于Q235B力学性能和显微组织的影响,最终得出弯曲形变的一些规律。

1 实验材料及方法

选取Q235B钢板,用电火花切割机将100 mm×20 mm×10 mm Q235B钢板切割成100 mm×5 mm×10 mm的板材,取试样三个标记为A,B,C。观察原始金相图并测得试样的原始维氏硬度,利用WDW-200KN微机控制电子万能试验机按照A,B,C挠度依次减小进行不同挠度的弯曲实验,确定试样试验机对试样压缩速度为300 N/s,试样承受最大挠度为30 mm,横梁进给速度为5 mm/min校正试样不被侧向力影响。弯曲后将试样最大弯曲处抛光后用4%硝酸酒精溶液腐蚀,在Aixo Imager蔡司光学电子显微镜下观察显微组织并用维氏硬度计测

* **收稿日期**: 2017-03-01

作者简介: 戴雨馨(1993-),女,河北省沧州市人,在读硕士,助理工程师,现从事无损检测工作。

中国知网 https://www.cnki.net

试样硬度，最终对比原始试样与经过实验后试样的力学性能和显微组织。为方便研究，试件截面近似看作梯形，实验前试样各项参数见表1。

表1 WDW－200三点弯曲实验前试样参数

试验编号	宽度/mm	厚度/mm	跨距/mm	截面面积/mm^2	挠度/mm
A	5.02	9.56	100	49.81	29.99
B	4.92	9.50	100	50.00	20.00
C	5.00	9.60	100	52.18	10.00

2 结果与讨论

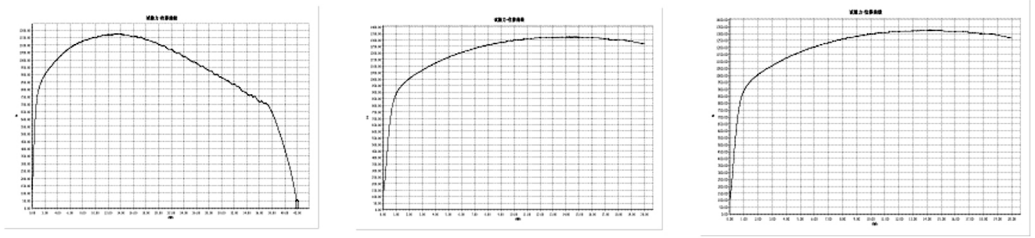
2.1 弯曲对力学性能的影响

试样A达到弯曲最大挠度而断裂，试样B、C没有弯裂。弯曲过程中试件各力学性能数据见表2，压力随时间和位移的变化曲线如图1所示。

由图1知，试样A的弯曲表现出理想应力—应变关系，出现加工硬化，屈服后的硬化阶段曲线下降趋势快，截面积大的试样弯曲时弯曲力更大，应力达到屈服极限时试样断裂。材料的屈服点高，弹性模量E小，弯曲回弹越大，弯曲侧变形率小很多。试样A的内外层表面应力是最大值，屈服范围从表到里全部达到屈服阶段，载荷达到最大值后转而下降，直至弯断，试样B、C没有断裂，故弯曲—位移曲线变化不大，B、C试样曲线不断上升，在应力最大值以后恢复了抵抗变形的能力停留于强化阶段。

表2 WDW－200三点弯曲试验各项力学性能数据

试验编号	挠度/mm	最大力/N	屈服力/N	屈服强度/MPa	弹性模量/GPa	拉伸后截面长度/mm	弯曲后截面长度/mm
A	29.99	1 172	1 089	603.39	141.83	10.28	9.24
B	20.00	1 331	1 191	621.50	132.67	10.10	9.26
C	10.00	1 391	1 290	642.55	125.56	10.04	9.48



（a）试样A （b）试样B （C）试样C

图1 试样的弯曲－位移曲线

已知试件的原始硬度是维氏133.8 HV，(试样硬度测试在0.5 kg的力作用下保持时间为10 s条件下测得)，表3为弯曲实验后试样各点的三次平均硬度值:

表3 弯曲试件截面各处硬度(HV)

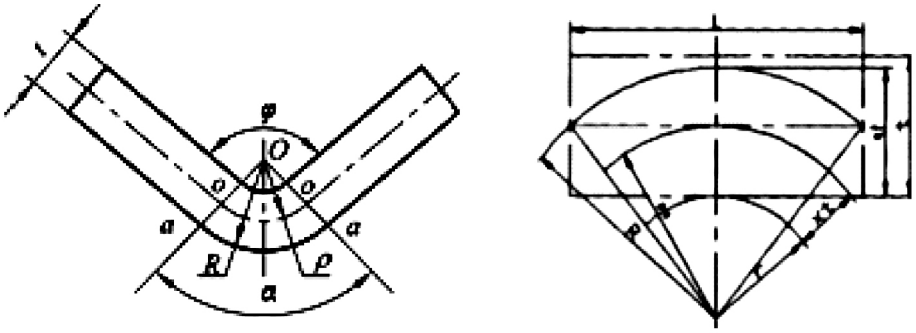
试件编号	拉伸硬度	压缩硬度	中间硬度	侧面硬度
A	156.4	145.2	137.3	144.0
B	147.0	138.2	125.8	134.6
C	140.2	129.7	112.3	120.0

由表3可知: 弯曲试件的硬度随挠度的减小而减小，拉伸硬度＞压缩硬度＞中间硬度。

2.2 实测结果计算

试样外侧承受拉伸应变和拉应力，内侧承受压缩应变和压应力，压应力的中性层会和应力应变为零的物理中性层和曲面重合，如图2所示。图中，α为弯曲中心角，ρ为中性层半径，R为外层金属半径，t为材料厚度，r_{min}/t为材料不发生弯裂时的最小相对弯曲半径，Δl为拉伸变形长度，Δt为材料厚度变化，x_0为中性层位移系数。

中国知网 https://www.cnki.net



（a）弯曲正面　　（b）中性层分析

图 2　弯曲过程图示

$$伸长率\ \delta_{外} = \frac{(R-\rho)\alpha}{\rho\alpha} = \frac{R-\rho}{\rho} \quad (1)$$

弯曲后板材展开长度(Q235B 中性层系数按 1.75 计算)[2] 公式如下:

$$L = l_1 + \pi/2(r + x_0 t) = l_1 + 1.57(l + x_0 t) \quad (2)$$

中性层的位置半径是 $\rho = r + t/2$ 处,并厚度在弯曲后保持和原来一样,代入 $R = r + t$,

$$\delta_{外} = (r + t) - (r + t/2)/(r + t/2) = 1/(2r/t + 1) \quad (3)$$

若把 δ 外用方形截面的金属板材的断后伸长率 δ 代入,则 r/t 转化为 r_{min}/t[3],且有

$$r_{min}/t = (1 - \delta)/2\delta \quad (4)$$

$$\Delta l = l_1 - l \quad 拉伸变形率\ \varepsilon = \Delta l/l_1 \quad (5)$$

$$\Delta t = t_1 - t \quad 弯曲变形率\ \eta = \Delta t/t \quad (6)$$

从式中得出,r/t 愈小,伸长率(外层材料)愈大。相关计算如表 4 所示:

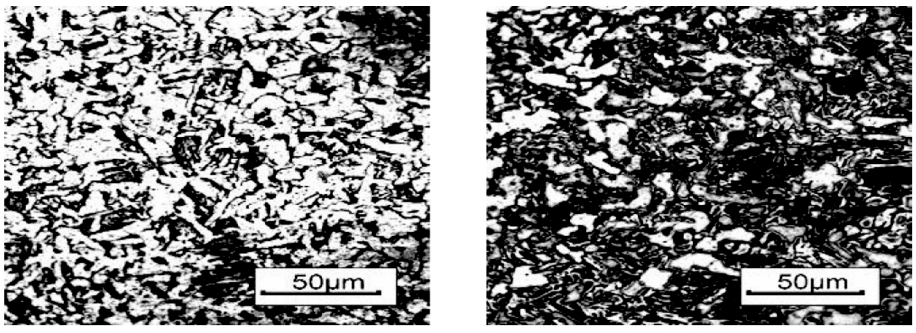
表 4　实验实测计算结果

试验编号	最小相对弯曲半径/mm	拉伸变形率/%	弯曲变形率/%	中性层/mm
A	1.34	0.07	0.03	9.76
B	1.42	0.06	0.02	9.68
C	1.50	0.04	0.01	9.76

由表 4 可知,计算拉伸变形率和弯曲变形率,结果表明: 切向弯曲变形程度愈大,最小相对弯曲半径变小,中性层半径变大,弯曲时易受拉应力而产生破裂。板材弯曲受拉侧的变形程度更大,加工硬化更显著,减薄严重,受压侧变形小,增厚较小。

2.3　弯曲对显微组织的影响

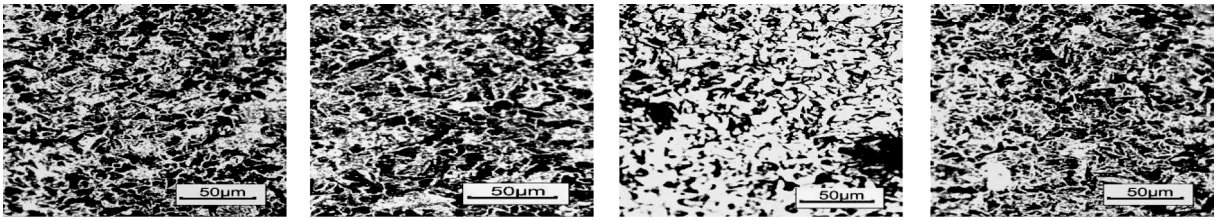
图 3 为试样原始的金相组织图,试样 A 弯曲显微组织如图 4 所示:



（a）表面　　（b）侧面

图 3　试件原始金相表面

中国知网　https://www.cnki.net



（a）拉伸 （b）压缩 （c）中部 （d）侧面

图4 A试样弯曲截面的金相

由图3、图4可得，与原始试样组织对比，弯曲压缩面试样组织中晶粒打碎、压扁。拉伸状态下晶粒沿着径向方向延伸的板条和带状的组织消失。图4(d)与原始组织对比明显晶粒变大，截面侧面弯曲程度越大，塑性变形越强，晶粒和晶界产生的位错越多，晶粒沿轧制方向伸长。试样B、C的弯曲金相组织基本与弯曲A试样一致。

综上说明：金属板材的弯曲，最大弯曲处的内外两侧的变化不大并且均匀，弯曲变形处拉伸部分晶粒变长，压缩晶粒变小，中部基本不变，侧面晶粒变大晶界变多。侧面晶粒形状受拉成为轴状铁素体和珠光体。铁素体变少且晶粒边界变弯或者不规则，除铁素体以外的组织周边容易聚集和形成缠结和位错，以导致产生新的晶界且应力集中。

3 结论

(1) 垂直于轧制方向的Q235B随弯曲半径的减小，中性层内移量逐渐增大，弹性变形程度逐渐增加。应力应变中性层与物理中性层重合时，增大r/t板材不易弯裂。

(2) 弯曲变形是径向运动，Q235B板材最大弯曲处显微组织由板条状晶粒演变成明显的轴状铁素体和珠光体，各方向机械性能差异小，强度高。

(3) 弯曲变形侧受拉侧晶粒被拉长，受压侧晶粒被压缩。拉伸硬度＞压缩硬度＞中间硬度。

参 考 文 献

[1] 崔忠圻，覃耀春. 金属学与热处理[M]. 北京：机械工业出版社，2004.

[2] 运新兵. 金属塑性成型原理[M]. 北京：冶金工业出版社，2012.

[3] 王同海. 金属加工技术[M]. 北京：机械工业出版社，2012.

欢 迎 刊 登 广 告

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.06.017

欢迎全国冶金机械及冶金工程技术咨询服务机构等相关行业在《包钢科技》杂志上刊登各类广告。

《包钢科技》编辑部

中国知网 https://www.cnki.net