稀土元素对BT100H套管钢低温冲击韧性及组织影响*

靳 燕,史文义,李培德

(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: 利用蔡司Axio Obserevr D1m金相显微镜和EVO 50HV扫描电镜对BT100H套管钢进行了低温冲击断口及组织的检测研究,研究表明稀土改善了低温下冲击韧性,特别是材料的横向冲击韧性;稀土还具有一定细化组织的作用。

关键词: 低温冲击韧性;显微组织;稀土元素

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)03-0054-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.03.014

Effects of Rare Earth Elements on Low Temperature Impact Toughness and Microstructure of BT100H Sleeving Steel

Jin Yan, Shi Wen-yi, Li Pei-de

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The detection study on low temperature impact fracture and microstructure of BT100H sleeving steel with Zeiss Axio Obserevr D1m metallographic microscope and EVO 50HV scanning electron microscope is introduced. The research showed that the low temperature impact toughness, especially the transverse impact toughness of material was improved by rare earth as well as the rare earth also was with a certain function of refining microstructure.

Key words: low temperature impact toughness; microstructure; rare earth element

随着油气资源和海洋油田的开采,使套管的使用环境和载荷越来越严酷,特别是多数采用射孔完井,这对套管的强度和韧性特别是横向冲击提出了更高的要求[1],但高强度普遍存在着横向冲击韧性偏低的问题,而且无缝管因制造上的特点决定了纵向冲击韧性要远远高于横向冲击韧性,石油套管由于是作为一种高压器来使用,横向冲击韧性比纵向冲击韧性更重要[2]。本文通过金相显微镜及扫描电镜检测分析,研究了稀土元素对BT100H套管钢低温冲击韧性及组织的影响。

1 低温冲击实验材料及方法

文章主要研究了稀土对横向冲击韧性的影响。所用试样为BT100H套管钢,1#未加稀土,2#加0.000 8%稀土La。使用JBD-300 A低温冲击试验机按照GB/T 229—2007金属材料夏比摆锤冲击试验方法分别对不同温度下加稀土和不加稀土两种BT100H套管钢进行低温冲击试验。使用LEO EVO 50 HV型扫描电子显微镜及Axio Obserevr D1 m型金相显微镜按照GB/T 1814—1979钢材断口检验法

* 收稿日期:2019-12-23

作者简介:靳 燕(1982-),女,内蒙古乌海市人,工程师,现从事扫描电镜检测及失效分析工作。

及 GB/T 13298—2015 金属显微组织检验方法的要求进行断口分析及显微组织分析。

2　实验结果与分析

2.1　稀土对低温横向冲击韧性的影响

采用 JBD－300 A 低温冲击试验机，按照 GB/T 229—2007金属材料夏比摆锤冲击试验方法分别对不同温度下加稀土和不加稀土两种 BT100H 套管钢进行一系列低温冲击试验。横向冲击试样尺寸为5 mm×10 mm×55 mm，试验温度分别为 0 ℃、－20 ℃、－30 ℃、－40 ℃、－50 ℃、－60 ℃。横向冲击韧性检验结果见表 1，加入稀土后0 ℃全尺寸均值提高 16.9 J，－20 ℃提高 8.6 J，－30 ℃提高 13.5 J，最为明显的是－40 ℃，提高 24.6 J，－50 ℃降低3 J，－60 ℃提高7 J。随着温度的降低，加入稀土元素后横向冲击韧性逐渐提高，到－50 ℃进入脆性区而降低，之后又继续提高。从检验结果看加入稀土后改善了低温下的横向冲击韧性。

表 1　横向冲击韧性的检验结果

编号	冲击值	0 ℃	－20 ℃	－30 ℃	－40 ℃	－50 ℃	－60 ℃
1#	单个值	46、44、38	46、44、42	36、41、47	40、38、38	35、29、20	40、33、27
		38、38、38	42、40、40		28、26、18		26、19、18
	半尺寸均值	40.0	42.0	41.3	31.0	28.0	27.2
	全尺寸均值	72.7	76.4	75.0	56.0	50.9	49.4
	单个值	54、50、50、	52、50、48	41、53、52	52、50、48	37、21、21	42、42、38
		48、48、46、	46、44、44		49、46、21		23、20、21
2#	半尺寸均值	49	47	48	44	26	31
	全尺寸均值	89.6	85.0	88.5	80.6	47.9	56.4

图 1 为 BT100H 套管钢横向冲击韧性随温度的变化曲线图。从图 1 可以看出，随着温度的降低，两组试样冲击性能均呈现下降趋势，加入稀土后试样的韧脆转变温度由－30 ℃提高到－40 ℃，冲击值在－50 ℃时出现异常，与脆性区间的冲击值具有随机性与不确定因素有关。在相同的温度下，加入稀土后试样冲击性能高于未加稀土试样，在－50 ℃突然降低，与脆性区间有关。

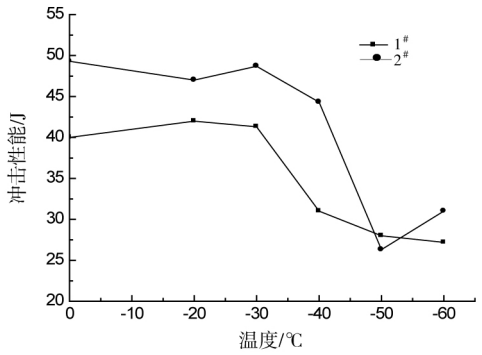


图 1　BT100H 套管钢横向冲击韧性随温度的变化曲线图

稀土提高横向冲击的原因可以概括为对夹杂物的变质，即钢中加入稀土后，稀土把钢中常规夹杂物改变为稀土夹杂，使夹杂物的形貌由长断开变短，逐渐球化，一方面避免了铸坯变形时硫化物顺变形方向伸长所造成材料的各项异性，一方面变性夹杂物减轻了夹杂物引起的应力集中，减少了裂纹源，从而使材料的横向冲击韧性提高。

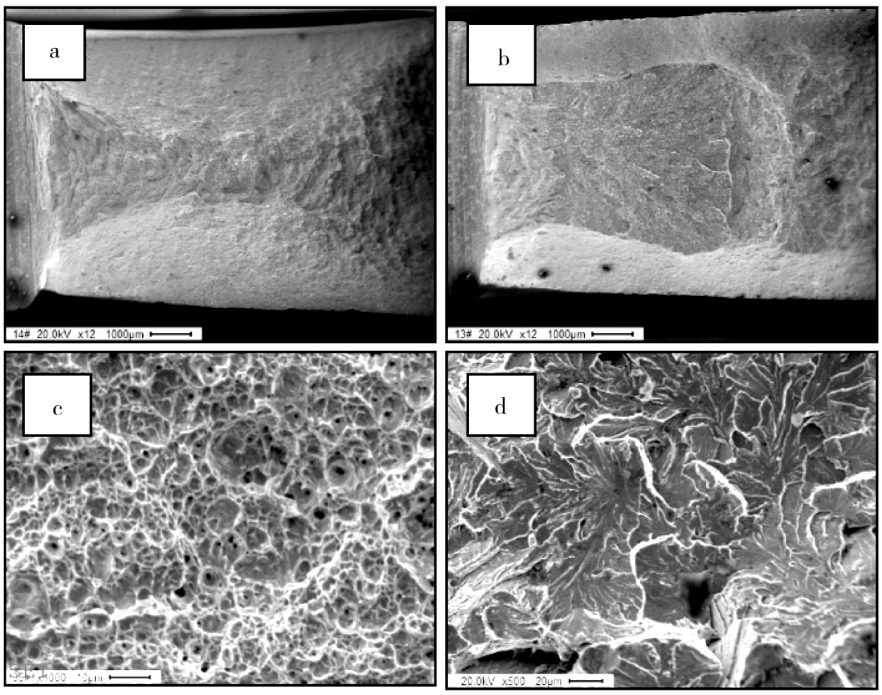
2.2　稀土对冲击断口形貌的影响

使用 LEO EVO 50HV 型扫描电子显微镜按照 GB/T 1814—1979 钢材断口检验法对横向冲击断口进行检测，加入稀土元素后宏观形貌都是韧性区，放大后断口形貌为韧窝断口，未加入稀土元素宏观形貌脆性区域占整个区域的 3/4，放大后脆性区域断口形貌为解理断口(见图 2ac、图 2bd)。从检测结果看，不加稀土的试样准解理区所占比例较大，韧性低于加稀土试样。

3　金相组织结果分析

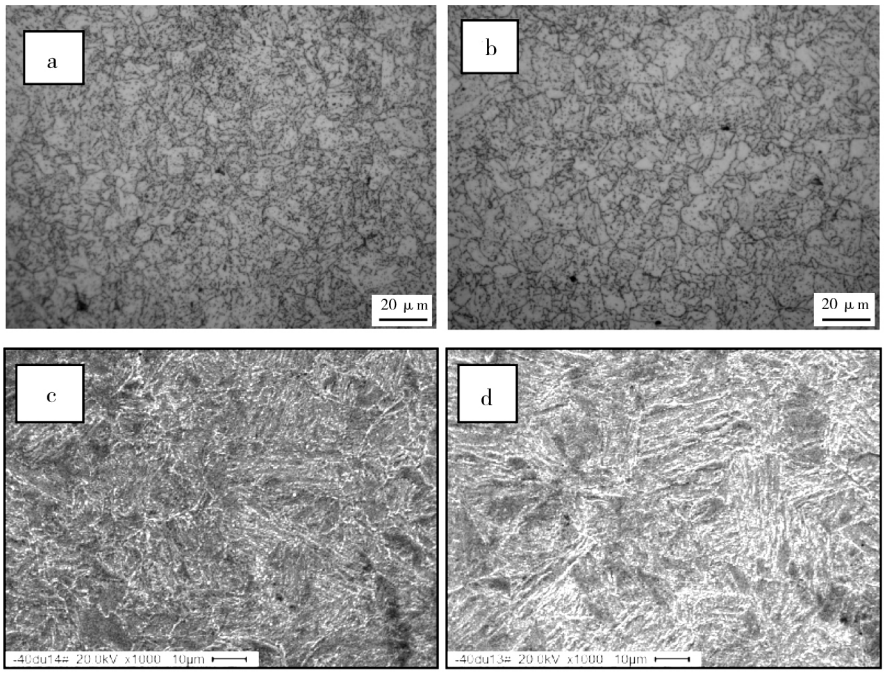
BT100H 套管钢技术要求需进行淬火＋高温回火的调质处理。使用 Axio Obserevr D 1 m 型金相显微镜按照 GB/T 13298—2015 金属显微组织检验方法，分别将 BT100H 套管钢加稀土试样和不加稀土

试样调质后的金相组织进行检测，均为回火索氏体（见图3ac、图3bd），加稀土后粒状碳化物分布更加弥散，组织更加均匀。



（a）、（c）加稀土；（b）、（d）未加稀土

图2 －40 ℃加入稀土后横向冲击断口对比形貌



（a）、（c）加稀土；（b）、（d）未加稀土

图3 －40 ℃加入稀土元素后金相及扫描电镜组织对比照片

经过热处理之后，组织基体上分布着细小的碳化物颗粒，加稀土后，微量稀土可以促使碳化物由连续分布变为断续分布，析出的碳化物细小弥散分布在整个基体内。对比结果均表明稀土具有一定的细化组织作用。

4　结束语

随着温度的降低，加入稀土元素后横向冲击韧性逐渐提高，冲击断口韧性区所占比例大，表明加入稀土后材料的横向低温冲击韧性明显提高；微量稀土可以促使碳化物由连续分布变为断续分布，析出的碳化物细小弥散分布在整个基体内，表明稀土具有一定的细化组织作用。

参　考　文　献

[1] 马爱清，贺景春，石晓霞. BT100H 钢级套管横向韧性偏低原因分析 [J]. 包钢科技，2012，38(03)：30－32.

[2] 胡秉仁，卢小庆，方华，等. 高强度热采井专用套管 TP100H 的开发 [A]. 中国金属学会. 2001 中国钢铁年会论文集 [C]. 北京：冶金工业出版社，2001，168－171.

(上接第 18 页)

表 10　焦炭化验国家标准

编号	分析项目名称	引用标准	允许化验误差/%
1	灰分	GB/T 2001—2013	0.30
2	全硫	GB/T 2286—2008	0.04
3	M_{40}	GB/T 2006—2008	2.0
4	CSR	GB/T 4000—2008	3.2

通过数学模型预测焦炭质量与实测焦炭质量对比数据分析，焦炭灰分对比差在允许化验误差范围内的数据合格率达到了 83.3%，焦炭硫分合格率为 91.7%，焦炭 M_{40} 数据合格率为 100%、焦炭 CSR 数据合格率为 100%。由此说明预测数据模型能够满足生产需求，快速预测焦炭质量，指导焦化配煤生产，及时应对来煤质量波动和来煤量不平衡对配煤生产的影响。

5　结论

(1) 利用 Minitab 软件首次在包钢建立了焦炭质量预测数学模型，解决了经验预测误差大，准确度不高问题，对于生产具有较强的指导作用。

(2) 预测数学模型能够快速预测焦炭质量，减少了来煤质量波动和来煤量不稳定造成对配煤生产的影响，及时指导焦化配煤生产，保证了焦炭质量，确保高炉稳定顺行。

(3) 预测数学模型的建立，为配煤研究提供了新思路，进一步在新煤种开发应用方面发挥作用，扩展了包钢用煤范围，节约了优质炼焦资源，能够有效降低用煤成本。

参　考　文　献

[1] 马逢时，周暐，刘传冰. 六西格玛管理统计指南 [M]. 北京：中国人民大学出版社，2012.

[2] 胡玉香. 配煤灰分硫分与焦炭质量的相关分析 [J]. 山西冶金，2011，134(6)：13－14.

[3] 张群，吴信慈，冯安祖，等. 宝钢焦炭质量预测模型Ⅰ. 影响焦炭热性质的因素 [J]. 燃料化学学报，2002，30(2)：113－118.

[4] 谢海深，刘永新，孟军波，等. 焦炭质量预测模型的研究 [J]. 煤炭转化，2006，29(3)：54－57.

[5] 郭治，杜铭华，曲思建. 焦炭反应性及反应后强度预测模型研究与分析 [J]. 煤炭学报，2005，30(1)：113－117.