Mater. Rep. B, 2019, Vol. 33, No. 11
DOI: 10.11896/cldb.18090288
http://www.mater-rep.com http://www.mr-int.net

[补充信息]

高锰 Hadfield 钢单向拉伸变形及断裂行为研究

肖 罡[1,2,3]，卜晓兵[4]，杨钦文[1,✉]，杨旭静[1]，冯江华[2]

1 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室，长沙 410082
2 湖南科技大学难加工材料高效精密加工湖南省重点实验室，湘潭 411201
3 中车株洲电力机车研究所有限公司，株洲 412001
4 中国汽车技术研究中心有限公司，天津 300300

[Supplementary Information]

Research on Monotonic Tension Deformation and Fracture Behavior of the High Manganese Hadfield Steel

XIAO Gang[1,2,3], BU Xiaobing[4], YANG Qinwen[1,✉], YANG Xujing[1], FENG Jianghua[2]

1 State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082
2 Hunan Provincial Key Laboratory of High Efficiency and Precision Machining of Difficult-to-Cut Material, Hunan University of Science Technology, Xiangtan 411201
3 CRRC Zhuzhou Institute Co., LTD, Zhuzhou 412001
4 China Automotive Technology & Research Center Co. Ltd , Tianjin 300462

试验试剂与仪器

拉伸试验采用 100 KN MTS 电液伺服试验机，引伸记标距 10~30 mm，最大拉伸速度 10 mm/s。试验数据通过 Multipurpose Test Ware 软件自动采集，数据采集的时间间隔依据应变速率而定，但需尽可能使不同样品在相同应变内的数据采集总量基本相同。金相分析采用 POLYVER-MET 型光学显微镜；透射电子显微镜分析采用 HitachiH-800 型透射电镜，加速电压为 200 kV。

拉伸试验样品制备过程

(1) 预变形处理。将铸态钢锭随炉加热至 1200 ℃，进行保温 2 h 的均匀化处理后，热锻至尺寸为 15 mm × 45 mm × 1000 mm 的钢板，终锻温度约为 900 ℃。预变形处理的主要目的是消除偏析、破碎粗大铸态组织，并使其再结晶成等轴奥氏体组织。

(2) 固溶处理。采用到温入炉的方式，将钢锭在 1050 ℃下保温 0.5 h，然后进行水淬。

(3) 拉伸试样制备。在火花放电线切割机上，将固溶处理后的钢板切割成板状拉伸试样，标距尺寸为：32 mm × 10 mm × 3 mm。

金相试验样品制备过程

(1) 取样原则。未拉伸变形试样在固溶处理后的钢板上切取；拉伸变形试样则在标距中心处（或距拉伸断口处）~ 3 mm 的位置切取。金相试样的切取在线切割机上完成。

(2) 打磨与抛光。选取合适的待测表面，依次选用 180#、600#、800#、1000#、1500#和 2000#的水砂纸进行机械打磨，再依次选用粒度为 3.5、2.5 和 1.5 的金刚石抛光膏进行机械抛光处理。

(3) 化学腐蚀剂。采用 4% HNO_3 和 C_2H_5OH 混合溶液（体积分数）。

✉ yangqw@hnu.edu.cn

透射试验样品制备过程

(1) 取样原则。通过线切割机在拉伸试样的标距内切取厚度为 0.6 mm 的薄片样品。

(2) 机械减薄。依次选用 1000#，1500#，2000#和 3000#的水砂纸将样品减薄至 30～60 μm。

(3) 双喷减薄。将样品剪制成直径为 3 mm 的圆片后进行电解双喷减薄处理，电解液为 9 % $HMnO_4$ 和 C_2H_5OH 混合溶液（体积分数）。

高锰 Hadfield 钢拉伸断裂行为特点

高锰 Hadfield 钢在室温单向拉伸变形时，垂直于拉伸变形方向分布的高密度滑移带是裂纹萌生的主要区域，而裂纹扩展以沿垂直拉伸方向的穿晶形式为主，结合沿孪晶方向进行。

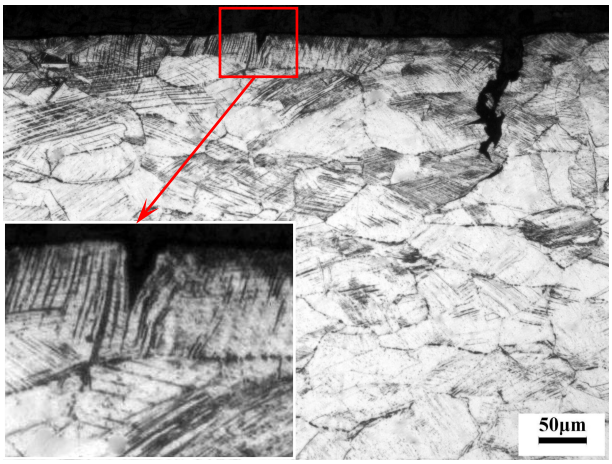

图 S1　高锰 Hadfield 钢单向拉伸时裂纹萌生的 OM 组织形貌

Fig. S1　The crack initiation from OM of the high manganese Hadfield steel during monotonic tension deformation