

焊后热处理对 Q235 堆焊复合板的冲击性能影响

吴志强, 严明明, 卢立伟
(湖南科技大学, 湖南 湘潭 411201)

摘要: **目的** 研究热处理温度对 Q235 堆焊复合板的冲击性能影响。**方法** 采用 THD212 铬钼钢焊条堆焊的方法制备高强度和高耐磨的复合板, 对 Q235 复合板分别进行 850、900、950℃、保温 15 min 的淬火处理, 探讨堆焊后的热处理温度对复合板微观组织和冲击性能的影响。**结果** 随着淬火温度的升高, 复合板冲击韧性先升高后降低, 在 900℃ 淬火处理时冲击功最大, 为 75.0 J; 在 950℃ 淬火时冲击功最小, 为 19.4 J。微观组织分析发现, 当淬火温度在 850 和 900℃ 时, 堆焊层出现塑性和韧性较好的针状位错马氏体, 在一定程度上提高焊接接头的韧性, 断口形貌也表现出显著的韧性断裂特征; 当淬火温度为 950℃ 时, 随着奥氏体化温度升高, 淬火后获得脆性粗大条状马氏体组织, 显著降低韧性, 焊缝区和高强堆焊区均为脆性断裂。**结论** 在焊后进行一定温度范围内的热处理方法可以提高 Q235 堆焊复合板的冲击韧性。

关键词: 复合板; 冲击性能; 堆焊; 热处理

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2018.04.015

中图分类号: TG142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2018)04-0096-05

Effects of Postweld Heat Treatment on Impact Properties of Q235 Overlaying Composite Board

WU Zhi-qiang, YAN Ming-ming, LU Li-wei

(Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

ABSTRACT: This paper aims to research the effect of heat treatment temperature on impact properties of Q235 overlaying composite board. High strength and wear resistance composite plates were prepared by surfacing with THD212 chromium molybdenum electrode. Quenching treatment at different temperatures (850, 900, 950 °C) was carried out, the microstructure and impact toughness of the composite plate were studied. The impact toughness trend of composite plate first increased and then decreased with the rise of quenching temperature. The toughness of after 900 °C quenching was the largest (75.0 J), and the toughness of after 950 °C quenching was the lowest (19.4 J). There was a large number of massive brittleness strip martensite in the matrix after quenching at 950 °C, but dislocated martensite in microstructure after quenching at 800 °C and 900 °C. It improved the toughness of welded joint and ductility of fracture morphology to a certain extent. The fracture mechanism of weld zone and high strength surfacing zone after 950 °C quenching was brittle fracture. The impact toughness of Q235 surfacing composite plate can be improved by controlling the heat treatment after welding.

KEY WORDS: composite board; impact properties; surfacing; heat treatment

随着深层矿产资源的开发, 许多设备及关键的零部件通常在摩擦严重的情况下服役。例如, 矿山

机械的挖斗长期在高摩擦情况下工作。满足这些性能的材料价格相对普通钢材要贵很多, 因此, 实际

收稿日期: 2018-06-06

基金项目: 国家自然科学基金 (51704112, 51505143); 湖南省自然科学基金 (2018JJ3181)

作者简介: 吴志强 (1987—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为先进高强钢力学行为及焊接性。

生产过程中常采用碳钢为基板，在其表面堆焊一层满足性能的高强层，以满足强度、硬度、耐磨等性能来达到要求^[1-3]。这种将具有一定使用性能的合金材料堆焊在材料表面，赋予母材特殊使用性能的堆焊方法，不仅能够降低生产成本，还可以使零件同时具有母材和堆焊层合金的综合性能，使堆焊技术广泛应用于煤炭、矿山机械、轧钢和模具等领域^[4-5]。尽管已有大量研究人员采用堆焊方法解决了单一母材难以满足一些特殊使用性能的要求，但是会产生堆焊的原始材料组织和性能不均匀、层状撕裂、韧性降低和焊接性差等问题，在一定程度上制约了堆焊技术的应用^[6-8]。

基于上述原因，文中通过优化焊后热处理制度，探讨焊后热处理工艺对 Q235 堆焊复合板的冲击韧性的影响，采用传统手工电弧焊方法，将高强度和高耐磨的铬钼钢焊条 THD212 堆焊在 Q235 钢板表面，重点研究该复合板的微观组织以及冲击韧性，从组织及性能的角度，探索采用焊后热处理以提高 Q235 堆焊复合板韧性的可行性。

1 试验

1.1 材料

试验材料为普通碳素结构钢 Q235B，尺寸规格为 200 mm×100 mm×4 mm。堆焊焊条采用 THD212 铬钼钢耐磨焊条，其化学成分见表 1。堆焊前将 Q235B 基板用砂轮和砂纸打磨，去掉材料表面杂质和氧化皮，再用丙酮清洗，去除油污等杂质，使基板呈金属光泽。焊条为铬钼钢 THD212，直径为 3.2 mm。牌号为 THD212 焊条主要合金成分见表 1。

表 1 THD212 焊条化学成分（质量分数）
Tab.1 Chemical composition of THD212 electrode
(mass fraction) %

成分	C	Cr	Mo	Fe
标准	0.30~0.60	≤5.00	≤4.00	余量
例值	0.45	3.30	1.65	余量

1.2 方法

堆焊方法采用手工电弧焊，焊条直径为 3.2 mm，采用多层多道焊的方法进行堆焊，堆焊厚度层约为 6 mm，层间温度控制在 200 ℃以下。焊后将复合板加热至 850~950 ℃，保温 15 min，进行淬火处理，将热处理后的焊件进行打磨和抛光，利用线切割切成标准的 V 型冲击试样进行冲击试验，试样示意图见图 1，并采用光学显微镜观察其微观组织，最后采用 JSM-6380LV 扫描电镜分析冲击断口形貌。



图 1 V 型冲击试样示意图
Fig.1 Diagram of V impact sample

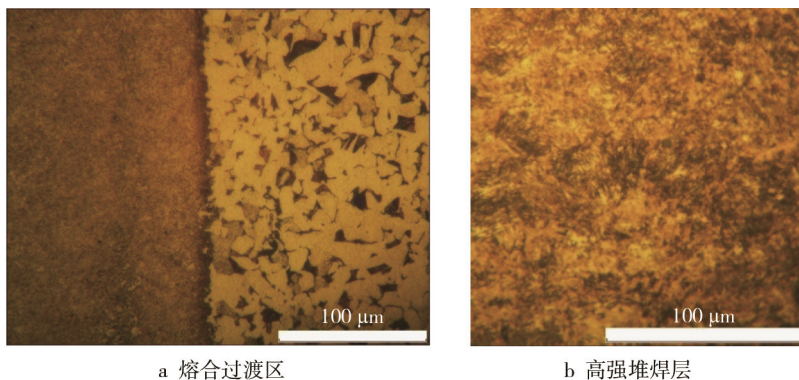
2 结果分析及讨论

2.1 焊后热处理温度对焊接接头微观组织的影响

焊后 Q235B 基板和堆焊层显微组织见图 2，焊接接头区域由左到右分别为高强度堆焊层、熔合过渡区、Q235B 基板层。由图 2 可知，焊接后的焊接接头熔合良好，堆焊层无肉眼可见气孔、裂纹等缺陷。从图 2a 可以看出，在靠近基板的堆焊层一侧出现类似由铁素体和细小碳化物组成的回火索氏体组织，由于堆焊层数和道数较多，在底层堆焊的金属容易产生中高温回火组织，同时由于堆焊材料为铬钼钢焊条，铬钼元素使得合金铁素体再结晶温度较高，铁素体仍保持较小的晶粒尺度；在 Q235B 基板一侧组织由铁素体和少量珠光体组织构成，同时也受堆焊热源传导到基板的影响，铁素体组织晶粒粗大。远离熔合过渡区的高强堆焊层的显微组织见图 2b，可以看出，该区域由于回火温度高于靠近基板一侧的堆焊层，碳化物进一步聚集长大，这种组织有时称为调质组织，具有较好的强度和韧性组合^[9-10]。

淬火温度在 850、900、950 ℃时的焊接接头微观组织见图 3，可以看出，在高温淬火之后，高强层和基板间的没有明显的熔合线。在 Q235 基板一侧，高温淬火之后出现大量的珠光体组织，并且随着淬火温度的升高，珠光体组织含量增多。从图 3a 和 3b 还可以看出，越靠近熔合过渡区的基板一侧，珠光体含量越多，珠光体含量呈现梯度分布的趋势，这可能是由于堆焊层一侧的合金含碳量高于基板，在高温焊接热源的作用下，碳元素由于溶度梯度差产生迁移所致^[11-13]。观察还发现随着淬火温度的升高，堆焊组织发生明显的长大，850 ℃淬火组织可以发现大量的索氏体和部分马氏体和少量碳化物。900 和 950 ℃淬火组织针状马氏体含量进一步增大。

淬火温度在 900 和 950 ℃时远离熔合区的堆焊高强层的微观组织见图 4，可以看出，在 850 ℃淬火时，出现大量的针状马氏体组织，还出现少量的颗粒状碳化物和残余奥氏体组织。在 950 ℃时，马氏体含量进一步增多，并且出现长大的趋势，同时出现大量条状马氏体组织。这可能是由于奥氏体化温度越低，原始奥氏体晶粒越细小，淬火后得到马氏体越细。

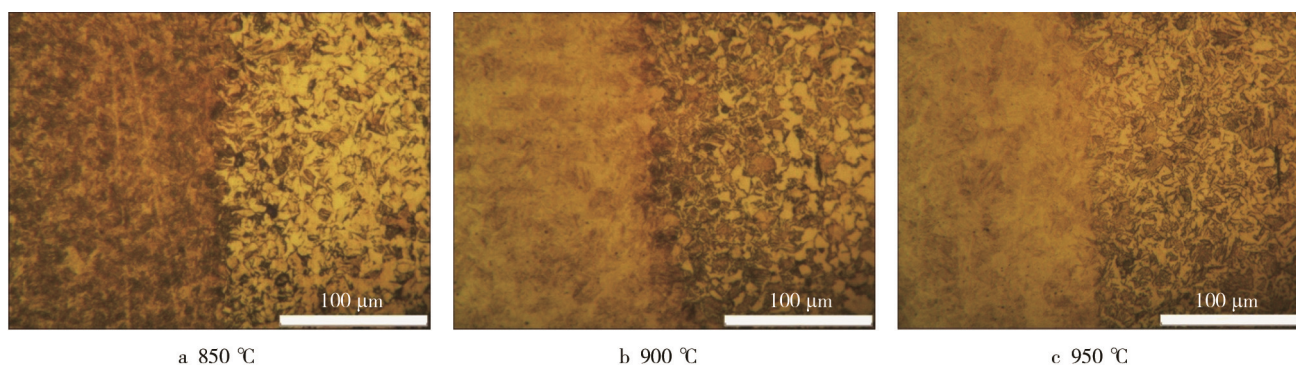


a 熔合过渡区

b 高强堆焊层

图 2 焊接接头微观组织

Fig.2 Microstructure and morphology of welded joints



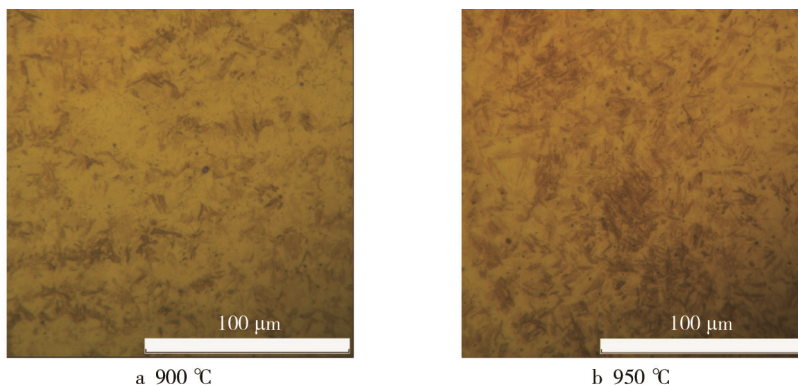
a 850 °C

b 900 °C

c 950 °C

图 3 不同温度淬火下的焊接接头微观组织

Fig.3 Microstructure and morphology of welded joints at different quenching temperature



a 900 °C

b 950 °C

图 4 不同温度淬火下的堆焊层微观组织

Fig.4 Microstructure and morphology of surfacing at different quenching temperature

2.2 焊后热处理温度对焊接接头冲击韧性的影响

Q235B 复合板室温冲击试验结果见表 2。可以看出, 采用多层多道焊, 并且合理控制层间温度, 可以获得较好冲击韧性的堆焊接头, 并且在淬火温度范围为 850 和 900 °C 时冲击韧性显著提高, 在 950 °C 淬火时, 冲击功最低。由此表明, 在 900 °C 淬火时可以有效提高 Q235B 复合板的冲击韧性。结合微观组织分析可知, 堆焊层中针状马氏体组织越细小, 韧性越好, 多数研究也表明马氏体的冲击韧性决定于马氏体的

条束宽度^[14]。同时也由于 THD212 焊条碳含量为中低含量, 高温淬火之后更倾向于形成韧性更好的位错马氏体, 由于位错的可动性, 使得该类型马氏体具有一定的塑性, 裂纹扩展阻力增大, 可显著提高断裂韧性, 而高碳合金钢易形成硬而脆的孪晶马氏体, 在马氏体转变过程中易在马氏体片层间产生显微裂纹, 显著降低韧性^[15-16]。

Q235B 复合板在 900 和 950 °C 时的焊缝附件的冲击断口微观形貌见图 5。从图 5a 可以看出, 断口形貌大部分为韧窝分布, 韧窝的分布较多且尺寸较为细小, 撕裂棱较少, 900 °C 淬火时为韧性断裂。从图 5b

表 2 不同热处理温度时的冲击功
Tab.2 Impact energy at different quenching temperature J

试样	焊后未 热处理	850 ℃ 淬火	900 ℃ 淬火	950 ℃ 淬火
冲击功	58.5	63.8	75.0	19.4

可以看出，焊缝区为明显的解理断裂，可观察到典型的河流花样及解理台阶。

Q235B 复合板在 900 和 950 ℃时的高强堆焊层附近的冲击断口微观形貌见图 6。从图 6a 可以看出，其断口形貌为准解理断裂，河流花样不明显，存在很多的准解理小面，在其周围分布有较多的撕裂棱，900 ℃淬火时堆焊层为准解理断裂。从图 6b 可以看出，相比较 900 ℃淬火时的形貌，950 ℃淬火后形貌准解理小面数量较少，大部分为撕裂棱，同时可观察到分布大量的河流花样及解理台阶，为明显的解理断裂，这一结果和冲击值结果吻合。

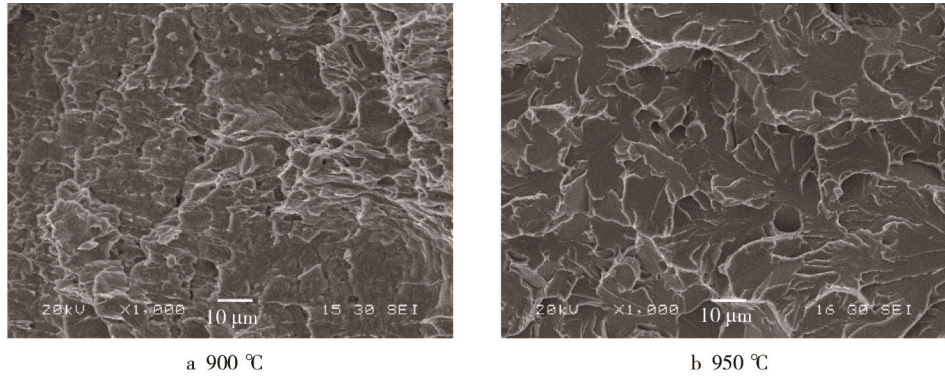


图 5 不同温度淬火处理下的焊缝断口形貌
Fig.5 Fracture morphology of joints at different quenching temperature

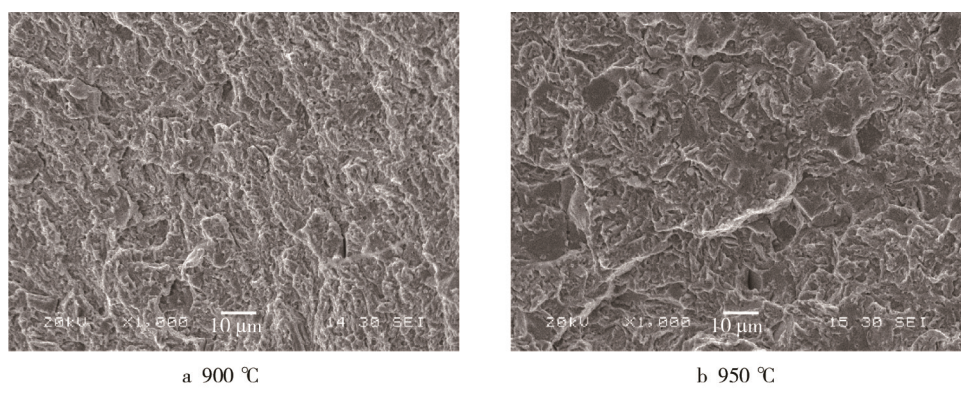


图 6 不同温度淬火处理下的堆焊层断口形貌
Fig.6 Fracture morphology of surfacing at different quenching temperature

3 结论

通过对 Q235B 基板堆焊高强度高硬度的铬钼钢，分析热处理温度对以 Q235B 堆焊复合板的微观组织和冲击韧性的影响规律，得到如下结论。

1) 由于 THD212 铬钼钢耐磨焊条具有较高的铬钼元素存在，靠近熔合过渡区一侧的堆焊层得到铁素体和细小碳化物组成的回火索氏体组织，Q235 基板一侧受到高温回火的影响，得到粗大的铁素体和珠光体组织。

2) 随着淬火温度的升高，基板一侧珠光体含量增多，高强堆焊层马氏体含量逐渐增多，尺寸逐渐增大，并且由针状向片状转变。经过合理控制的焊后热

处理温度，高强堆焊层获得为细小的针状马氏体和残余奥氏体组织，由于焊接产生热量使碳迁移，过渡区马氏体量较多，基板为珠光体和铁素体组织。

3) 随着淬火温度的增加，复合板材的冲击韧性出现先增大后减小的趋势。当淬火温度在 850 和 900 ℃时，由于出现塑性和韧性较好的针状位错马氏体，在一定程度上提高焊接接头的韧性，淬火温度为 950 ℃时，随着奥氏体化温度升高，马氏体组织粗大，显著降低韧性，焊缝区和高强堆焊区均为脆性断裂。

参考文献：
[1] 彭大暑，刘浪飞，朱旭霞. 金属层状复合材料的研究状

- 况与展望[J]. 材料导报, 2000, 14(4): 23—24.
- PENG Da-shu, LIU Lang-fei, ZHU Xu-xia. Review in Research and Development of Clad Metal Sheets[J]. Materials Review, 2000, 14(4): 23—24.
- [2] 李龙, 毕建华, 周德敬. 我国金属复合板带材的生产及应用[J]. 轧钢, 2017, 34(2): 43—47.
- LI Long, BI Jian-hua, ZHOU De-jing. Production and Application of Metal Clad Plate and Strip in China[J]. Steel Rolling, 2017, 34(2): 43—47.
- [3] 田雅琴, 秦建平, 李小红. 金属复合板的工艺研究现状与发展[J]. 材料开发与应用, 2016, 21(1): 40—43.
- TIAN Ya-qin, QIN Jian-ping, LI Xiao-hong. Current State and Trend of Metal Clad Sheet Manufacture Technology[J]. Development and Application of Materials, 2016, 21(1): 40—43.
- [4] 黄本生, 杨江, 卢东华, 等. Q345/316L 异种钢焊接接头显微组织结构与力学性能[J]. 材料热处理学报, 2016, 37(5): 45—51.
- HUANG Ben-sheng, YANG Jiang, LU Dong-hua, et al. Microstructure and Mechanical Properties of the Q345/316L Dissimilar Steel Welded Joints[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2016, 37(5): 45—51.
- [5] 王斌, 王维, 雷菠菠, 等. Q345/N08825 双金属复合板焊接接头冲击韧性分析[J]. 热加工工艺, 2016, 45(1): 247—250.
- WANG Bin, WANG Wei, LEI Bo-bo, et al. Analysis on Impact Toughness of Welded Joint of Q345/N08825 Bi-metallic Composite Plate[J]. Hot Working Technology, 2016, 45(1): 247—250.
- [6] 许婕, 陈湘茹, 刁晓刚, 等. 热处理工艺对耐磨 Cr-Mo 铸钢组织和硬度的影响[J]. 上海金属, 2017, 39(5): 27—31.
- XU Jie, CHEN Xiang-ru, DIAO Xiao-gang, et al. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of Wear-resistant Cr-Mo Cast Steel[J]. Shanghai Metals, 2017, 39(5): 27—31.
- [7] 李龙, 周德敬. 铝钢层状复合材料的研究开发及工业应用[J]. 金属世界, 2016, (1): 15—20.
- LI Long, ZHOU De-jing. Investigation and Application of Al Clad Steel Materials[J]. Metal World, 2016(1): 15—20.
- [8] 陈燕俊, 周世平, 杨富陶, 等. 层叠复合材料加工技术新进展[J]. 材料科学与工程, 2002, 20(1): 140—142.
- CHEN Yan-jun, ZHOU Shi-ping, YANG Fu-tao, et al. New Development of Processing Techniques for Laminates[J]. Materials Science and Engineering, 2002, 20(1): 140—142.
- [9] 王国庆, 孙超, 闫萍. 热处理消除 Q235 钢焊接残余应力的研究[J]. 材料热处理技术, 2010, 39(12): 184—185.
- WANG Guo-qing, SUN Chao, YAN Ping. Study on PWHT Relieved Welding Residual Stress of Q235 Steel[J]. Material Heat Treatment, 2010, 39(12): 184—185.
- [10] 李光, 杜诗文, 巨丽, 等. 热处理对 Q235B 钢法兰的组织性能的影响[J]. 金属热处理, 2017, 42(2): 180—184.
- LI Guang, DU Shi-wen, JU Li, et al. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Q235B Steel Flange[J]. Heat Treatment of Metals, 2017, 39(12): 180—184.
- [11] WU Shou-jun, GUO Bin, LI Tian-bao, et al. Oxidation of Chromium Carbide Coated Q235 Steel in Wet and Dry Air at 750 °C[J]. Construction and Building Materials, 2015, 81: 11—14.
- [12] 赵勇桃, 董俊慧, 刘宗昌, 等. 焊后热处理对 1Cr18Ni9Ti 与 2Cr13 钢焊接接头组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2012, 37(7): 90—93.
- ZHAO Yong-tao, DONG Jun-hui, LIU Zong-chang, et al. Effect of Post-welding Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of 1Cr18Ni9Ti and 2Cr13 Steel Welded Joint[J]. Heat Treatment of Metals, 2012, 37(7): 90—93.
- [13] 尤力, 宋西平. 高温长时运行后 T91/G102 异种钢焊接接头的性能及剩余寿命[J]. 机械工程材料, 2012, 36(10): 8—11.
- YOU Li, SONG Xi-ping. Properties and Remaining Life of T91/G102 Dissimilar Steels Welded Joint after Running for Long Time Periods at High Temperature[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2012, 36(10): 8—11.
- [14] 徐祖耀. 条状马氏体形态对钢力学性质的影响[J]. 热处理, 2009, 24(3): 1—6.
- XU Zu-yao. Effect of Lath Martensite Morphology on the Mechanical Properties of Steel[J]. Heat Treatment, 2009, 24(3): 1—6.
- [15] 邓灿明, 李昭东, 孙新军, 等. 低碳板条马氏体钢中大角度界面对解理裂纹扩展的影响机理[J]. 机械工程材料, 2014, 38(6): 20—24.
- DENG Can-ming, LI Zhao-dong, SUN Xin-jun, et al. Influence Mechanism of High Angle Boundary on Propagation of Cleavage Cracks in Low Carbon Lath Martensite Steel[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2014, 38(6): 20—24.
- [16] 邓洁, 马佳伟, 许以阳, 等. 马氏体的分布对双相钢微观变形行为和力学性能的影响[J]. 金属学报, 2015, 51(9): 1092—1100.
- DENG Jie, MA Jia-wei, XU Yi-yang, et al. Effect of Martensite Distribution on Microscopic Deformation Behavior and Mechanical Properties of Dual Phase Steels[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2015, 51(9): 1092—1100.