

Optimization Experimental Research on 42CrMo Steel Used in the Fastener for Rail Transportation

Haichuan Wang¹, Chao Zhou¹, Fei Xu¹, Liutao Wang¹, Dingdong Fan¹, Qiang'an Zhang², Wei Sun³

¹School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui

²School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan Anhui

³Special Steel Company, MaSteel Co. Ltd, Ma'anshan Anhui

Email: wang18755532716@163.com

Received: Nov. 31st, 2015; accepted: Dec. 19th, 2015; published: Dec. 22nd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

42CrMo steel with high strength and high toughness is one of the important steels used in the fastener of rail transportation. In this paper, for a component optimization of 42CrMo steel after quenching and tempering treatment (oil quenching at 850°C, tempering at 530°C), the mechanical properties and fracture morphology were analyzed. The experimental results show that the 42CrMo steel after heat treatment was mainly composed of tempered sorbate; the oxygen content in the steel significantly influences the impact toughness of the steel, the higher the oxygen content, the lower impact toughness; inclusion has an obvious effect on the impact toughness of the steel, the more inclusions, the worse impact toughness.

Keywords

42CrMo Steel, Oxygen Content, Impact Toughness, Alumina Inclusion

轨道交通紧固件用钢42CrMo的优化试验研究

王海川¹, 周超¹, 徐飞¹, 王刘涛¹, 范鼎东¹, 张庆安², 孙维³

¹安徽工业大学冶金工程学院, 安徽 马鞍山

文章引用: 王海川, 周超, 徐飞, 王刘涛, 范鼎东, 张庆安, 孙维. 轨道交通紧固件用钢 42CrMo 的优化试验研究[J]. 冶金工程, 2015, 2(4): 198-203. <http://dx.doi.org/10.12677/meng.2015.24028>

²安徽工业大学材料科学与工程学院, 安徽 马鞍山

³马钢股份公司特殊钢分公司, 安徽 马鞍山

Email: wang18755532716@163.com

收稿日期: 2015年11月31日; 录用日期: 2015年12月19日; 发布日期: 2015年12月22日

摘要

高强高韧42CrMo钢是轨道交通紧固件的重要用钢之一。本文基于一种成分优化的42CrMo钢, 对其进行淬火和回火处理(850℃油淬, 530℃回火), 进而进行了机械性能及断口形貌分析。研究表明: 42CrMo钢经热处理后主要组织为回火索氏体; 钢中氧含量显著影响钢的冲击韧性, 钢中氧含量越高, 其冲击韧性越差; 钢中夹杂物数目越多, 其冲击韧性越差, 且当钢中含有氧化铝夹杂时, 钢的冲击韧性明显降低。

关键词

42CrMo钢, 氧含量, 冲击韧性, 氧化铝夹杂

1. 引言

随着我国高速铁路建设事业的飞速发展, 高速列车的安全稳定运行日益成为社会各界关注的焦点问题之一。就高速列车所使用的高强紧固件而言, 受高速列车使用环境的影响, 其性能对高速列车的安全性具有重要的影响。42CrMo钢强度高, 淬透性好, 其广泛用于齿轮、螺杆、曲轴及大截面轴类零件的制造, 特别是在高强度紧固件的制造中更是占有重要地位[1]-[3]。然而当前国产42CrMo钢仍存在强韧性匹配不足问题, 即钢的强度能达到要求, 但是钢的韧性不达标[4]。本文通过成分设计调整42CrMo钢的各元素含量, 考察优化后42CrMo钢的微观组织及其机械性能, 在此基础上进一步分析了42CrMo钢中氧含量和夹杂物对其冲击韧性的影响。

2. 实验原料及方法

本次实验采用马钢某分厂200 Kg中频感应炉进行冶炼, 实验所用原料为废钢。首先将废钢加入到中频感应炉内, 待其全部熔化后取样测得其成分, 根据42CrMo钢的成分设计加入相应量的合金元素和脱氧剂, 成分合格后浇铸成圆锭, 利用金属原位分析仪和氧氮分析仪对其进行成分检测, 各组实验钢成分见表1所示。将所得圆锭进行粗锻和细锻, 粗锻为锻造成直径为50 mm的圆棒, 细锻为进一步锻造成直径25 mm的圆棒, 锻造完成后空冷。初锻温度为1050℃, 终锻温度为850℃。将锻好的圆棒进行热处理, 在850℃下油淬, 并在530℃下回火[5], 最终将热处理后的圆棒进行精加工, 得到国家检测标准试样。

3. 实验结果分析

3.1. 42CrMo钢的显微组织

将经过热处理后的九组42CrMo钢各截取一小段试样, 经粗磨、细磨、抛光和侵蚀后观察其显微组织, 结果如图1所示。

由图1可知, 热处理后的九组42CrMo实验钢显微组织均为回火索氏体。其仍保留着原马氏体板条形态, 并且有明显的碳化物析出。回火索氏体具有良好的韧性和塑性, 同时具有较高的强度, 满足42CrMo钢的设计要求。

Table 1. Components of 42CrMo steel ([O], [N] ppm, others%)
表 1. 42CrMo 钢的成分([O]、[N]为 ppm, 其余%)

| 序号 | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Cu | [O] | [N] |
|----|-------|------|------|--------|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|------|
| 1# | 0.41 | 0.18 | 0.71 | 0.0095 | 0.0028 | 0.97 | 0.21 | 0.034 | 0.0129 | / | 107.9 | 59.5 |
| 2# | 0.43 | 0.20 | 0.81 | 0.010 | 0.004 | 0.83 | 0.21 | 0.048 | 0.014 | 0.070 | 108.7 | 79.9 |
| 3# | 0.413 | 0.20 | 0.78 | 0.009 | 0.003 | 0.98 | 0.20 | 0.076 | 0.047 | 0.160 | / | / |
| 4# | 0.439 | 0.12 | 0.65 | 0.009 | 0.003 | 1.01 | 0.21 | 0.030 | 0.007 | 0.088 | 69.4 | 69.1 |
| 5# | 0.43 | 0.19 | 0.65 | 0.0085 | 0.0096 | 1.03 | 0.21 | 0.050 | 0.179 | 0.205 | 90.0 | 58.8 |
| 6# | 0.41 | 0.22 | 1.02 | 0.010 | 0.013 | 0.93 | 0.21 | 0.070 | 0.035 | 0.060 | 109.9 | 63.7 |
| 7# | 0.44 | 0.17 | 0.81 | 0.008 | 0.002 | 0.93 | 0.21 | 0.032 | 0.019 | 0.169 | 72.6 | 58.2 |
| 8# | 0.42 | 0.21 | 0.74 | 0.008 | 0.004 | 0.95 | 0.213 | 0.051 | 0.032 | / | 54.7 | 80.0 |
| 9# | 0.42 | 0.20 | 0.70 | 0.009 | 0.010 | 0.99 | 0.20 | 0.120 | 0.0168 | 0.100 | 59.1 | 74.5 |

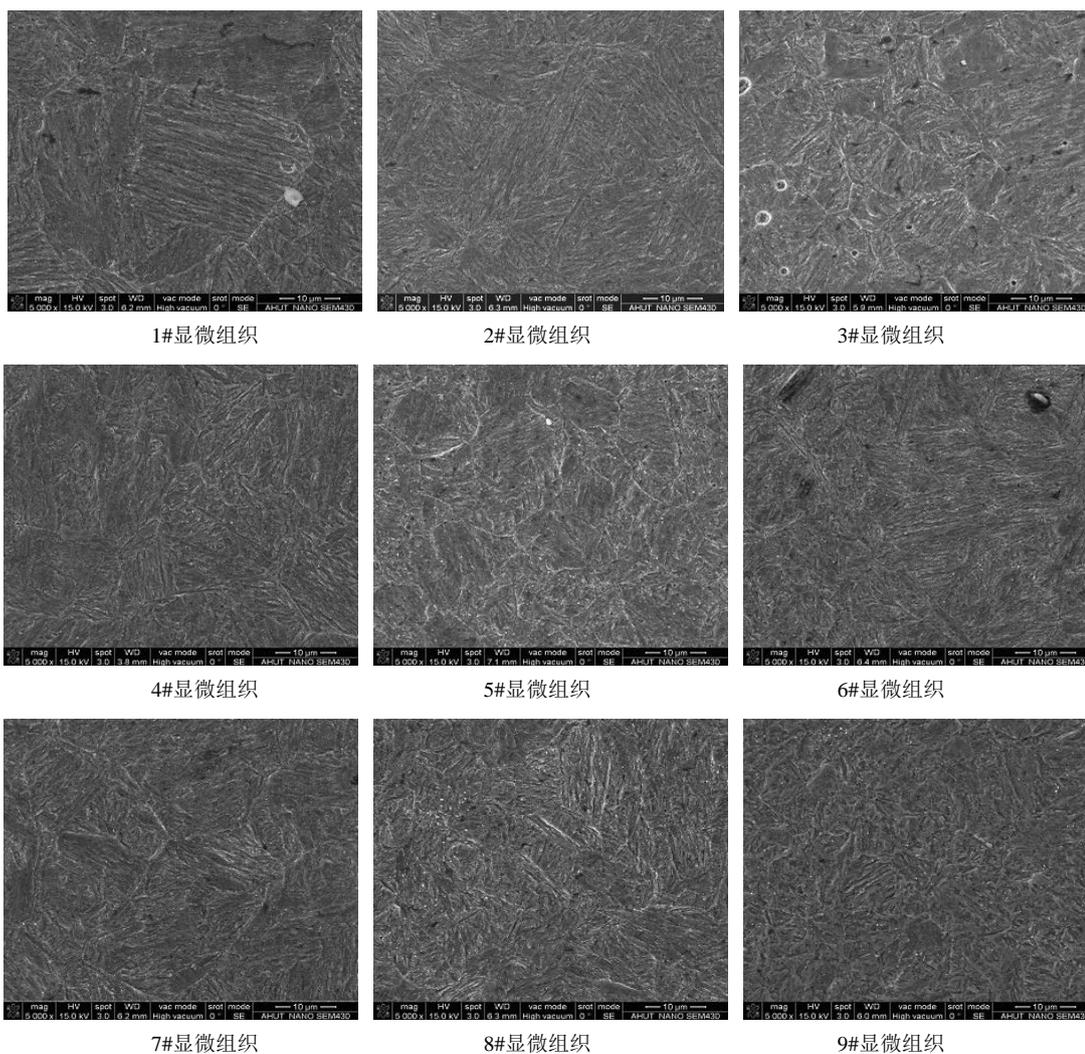


Figure 1. Microstructure of 42CrMo steel
图 1. 42CrMo 钢的微观组织

3.2. 42CrMo 钢的机械性能

本次实验对九组 42CrMo 实验钢的抗拉强度 R_m 、屈服强度 Re_l 、断面伸长率、常温冲击功及低温冲击功进行了测试，其结果见表 2 所示。

从表 2 可以看出，九组 42CrMo 实验钢的抗拉强度基本在 1100 MPa 左右，其中的 2#和 5#42CrMo 实验钢的抗拉强度达到了 1130 MPa 以上，而 8#42CrMo 实验钢的抗拉强度较低，只有 1083 MPa。从冲击功来看，在 -80°C 时，2#和 6#42CrMo 实验钢的冲击功较低，冲击韧性较差，而 8#和 9#42CrMo 实验钢的冲击功达到 50J 和 42J，相比于其他七组 42CrMo 实验钢要好。通过对比各组成分发现，8#和 9#42CrMo 实验钢的氧含量只有 54.7 ppm 和 59.1 ppm，其他组的氧含量都比较高，其中 1#、2#、6#的氧含量达到了 100 ppm 以上，可见钢中氧含量对钢的冲击韧性有很大影响，钢中氧含量越高，其冲击韧性越差，这主要是由于钢中氧通常以氧化物的形式存在，这些氧化物在钢中会形成非金属夹杂，降低钢的强度或韧性，对钢的机械性能产生不利影响。

3.3. 42CrMo 实验钢冲击断口形貌分析

为了进一步研究钢中氧对冲击韧性的影响，对 42CrMo 实验钢冲击断口进行扫描电镜分析，观察九组实验钢的断口形貌，结果见图 2。

通过观察九组 42CrMo 实验钢冲击断口形貌发现：各试样的断口均为微孔聚集型，断口遍布大小不一的韧窝，以韧性变形为主，具有明显的韧性断裂特征，并且在各微孔底部均可见有夹杂物存在。5#、8#、9#42CrMo 实验钢的的冲击断口形貌上韧窝数量较多，且分布均匀，而 1#、2#、3#和 4#42CrMo 实验钢的韧窝数量较少，6#和 7#42CrMo 实验钢的韧窝分布比较杂乱，并且在 1#、2#和 6#42CrMo 实验钢的韧窝底部明显有大尺寸的夹杂物存在。由此可知在 42CrMo 实验钢的冲击试验过程中，裂纹首先从夹杂物附近产生，然后扩大，最后导致了试样的断裂。为了进一步分析钢的冲击韧性与夹杂物的关系，实验对 9 组 42CrMo 钢进行了夹杂物的评级和夹杂物成分分析，结果见表 3 和表 4。

由表 3 和表 4 可知，九组 42CrMo 实验钢中，以环状氧化物夹杂(D类)为主，并且部分试验钢还含有硅酸盐类夹杂(C类)、硫化物夹杂(A类)和氧化铝夹杂(B类)。钢中氧含量的高低决定了钢中夹杂物评级的高低，1#、2#和 6#的氧含量较高，夹杂物评级较高，使得这三组钢的冲击韧性也较差，印证了钢中氧含量与钢的冲击韧性之间关系的分析。其中 2#和 6#实验钢中还含有氧化铝夹杂，而 2#和 6#实验钢的冲

Table 2. The mechanical properties of 42CrMo steel
表 2. 42CrMo 实验钢的力学性能

| 序号 | 抗拉强度 R_m (N/mm) | 屈服强度 Re_l (N/mm ²) | 断面伸长率(%) | 冲击功常温(J) | 冲击功 -20°C (J) | 冲击功 -40°C (J) | 冲击功 -60°C (J) | 冲击功 -80°C (J) |
|----|----------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1# | 1102 | 996 | 17.2 | 88 | 85 | 65 | 50 | 35 |
| 2# | 1134 | 989 | 16.0 | 66 | 54 | 43 | 31 | 24 |
| 3# | 1118 | 980 | 16.7 | 83 | 70 | 65 | 46 | 33 |
| 4# | 1125 | 993 | 15.4 | 73 | 59 | 61 | 37 | 33 |
| 5# | 1131 | 1006 | 14.4 | 75 | 67 | 67 | 63 | 43 |
| 6# | 1119 | 978 | 16.6 | 73 | 59 | 44 | 33 | 25 |
| 7# | 1124 | 989 | 15.7 | 73 | 82 | 45 | 35 | 31 |
| 8# | 1083 | 938 | 16.6 | 89 | 91 | 81 | 69 | 50 |
| 9# | 1117 | 1015 | 16.8 | 90 | 79 | 78 | 56 | 42 |

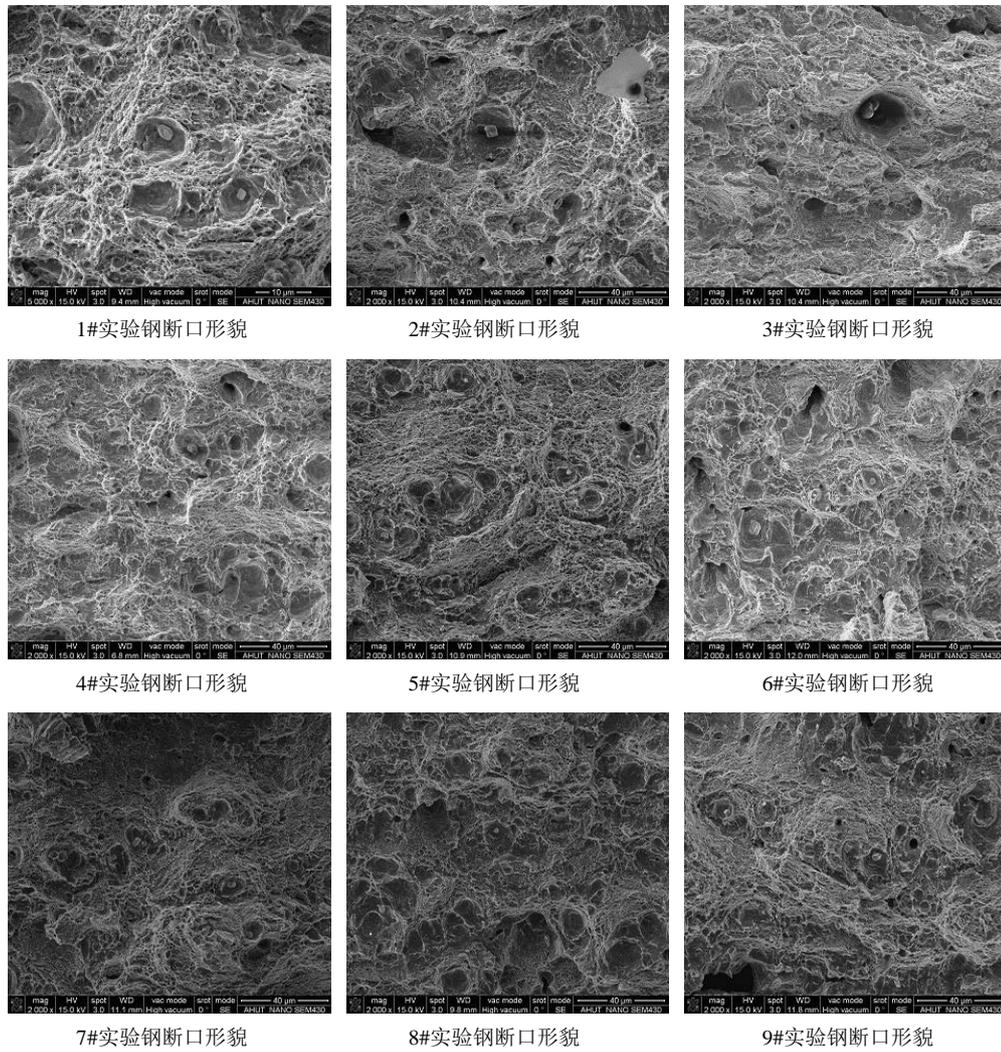


Figure 2. The impact fracture morphology of 42CrMo steel
图 2. 42CrMo 实验钢冲击断口形貌

Table 3. Inclusion rating of 42CrMo steel
表 3. 42CrMo 实验钢的夹杂物评级

| | A (硫化物类) | | B (氧化铝类) | | C (硅酸盐类) | | D (环状氧化物类) | |
|----|----------|----|----------|----|----------|-----|------------|-----|
| | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 | 细系 | 粗系 |
| 1# | / | / | / | / | / | 1 | 1.5 | 2 |
| 2# | / | / | 2 | / | / | 0.5 | 1 | 1 |
| 3# | / | / | / | / | 1.5 | / | 2 | 1 |
| 4# | / | / | / | / | / | / | 1.5 | / |
| 5# | / | / | / | / | / | / | 1 | 0.5 |
| 6# | / | / | 1.5 | / | 0.5 | / | 1.5 | 0.5 |
| 7# | / | / | / | / | / | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 8# | / | / | / | / | / | / | 1.5 | 0.5 |
| 9# | 0.5 | / | / | / | 0.5 | / | / | 0.5 |

Table 4. Inclusion type of 42CrMo steel
表 4. 42CrMo 实验钢的夹杂物类型

| 序号 | [O]含量(ppm) | 夹杂物类型 |
|----|------------|------------------------------|
| 1# | 107.9 | 氧化物夹杂物 |
| 2# | 108.7 | 氧化铝、硅酸盐类及氧化物类的夹杂物。 |
| 3# | / | 硅酸盐类、氧化物类的夹杂物和少量的硫化物类夹杂。 |
| 4# | 69.4 | 硫化物类、氧化物类的夹杂物和少量的硅酸盐类夹杂。 |
| 5# | 90.0 | 硫化物类、氧化铝、硅酸盐类和氧化物类夹杂。 |
| 6# | 109.9 | 氧化铝、硅酸盐类、氧化物类的夹杂物和少量的硫化物类夹杂。 |
| 7# | 72.6 | 氧化物类夹杂和硅酸盐类夹杂。 |
| 8# | 54.7 | 氧化物类夹杂物和少量的硫化物类夹杂。 |
| 9# | 59.1 | 硫化物类夹杂和氧化物类夹杂。 |

击韧性也是最差的两组，这表明氧化铝夹杂对钢的冲击韧性影响最明显，氧化铝夹杂越多，42CrMo 钢的冲击韧性越差。这主要是因为氧化铝为脆性夹杂，在 42CrMo 钢的内部作为一种亚微观的缺陷存在，在外应力的作用下，容易在氧化铝夹杂的周围萌生微裂纹，受力的情况下容易使微裂纹进入基体内，从而造成断裂。

4. 结论

(1) 42CrMo 钢经 850℃油淬和 530℃高温回火后，其组织主要为回火索氏体。

(2) 九组实验钢的断口主要为微孔聚集型，各微孔的底部都含有夹杂物，这些夹杂物引起了钢的韧性断裂。

(3) 钢中氧含量的高低能明显影响钢的冲击韧性，氧含量越高，含氧夹杂物就越多，钢的冲击韧性也随之变差，当钢中含有氧化铝夹杂时，钢的冲击韧性则大幅降低。

基金项目

安徽省科技攻关重大项目(项目编号: 1301021008)。

参考文献 (References)

- [1] 余兆新, 谢灵扬. 42CrMo 钢硬度与强度关系研究[J]. 装备制造, 2009(4): 140.
- [2] 尚明, 王金海, 穆敬飞. 高强度螺栓用钢 42CrMo(B7)的研制[J]. 山东冶金, 2009, 31(5): 58-59.
- [3] 高波, 向莉, 王春雷. 42CrMo 钢高强度联轴螺栓的热处理[J]. 东方机电, 2006(6): 25-30.
- [4] 陈俊丹, 莫文林, 王培, 等. 回火温度对 42CrMo 钢冲击韧性的影响[J]. 金属学报, 2014, 48(10): 1186-1193.
- [5] 王邦杰. 实用磨具材料与热处理速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 321.