

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

Haichuan Wang<sup>1</sup>, Chao Zhou<sup>1</sup>, Fei Xu<sup>1</sup>, Liutao Wang<sup>1</sup>, Dingdong Fan<sup>1</sup>, Qiang'an Zhang<sup>2</sup>, Wei Sun<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui

<sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan Anhui

<sup>3</sup>Special Steel Company, MaSteel Co. Ltd, Ma'anshan Anhui

Email: wang18755532716@163.com

Received: Nov. 31<sup>st</sup>, 2015; accepted: Dec. 19<sup>th</sup>, 2015; published: Dec. 22<sup>nd</sup>, 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<sup>1</sup>, 周超<sup>1</sup>, 徐飞<sup>1</sup>, 王刘涛<sup>1</sup>, 范鼎东<sup>1</sup>, 张庆安<sup>2</sup>, 孙维<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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>

<sup>2</sup>安徽工业大学材料科学与工程学院, 安徽 马鞍山

<sup>3</sup>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

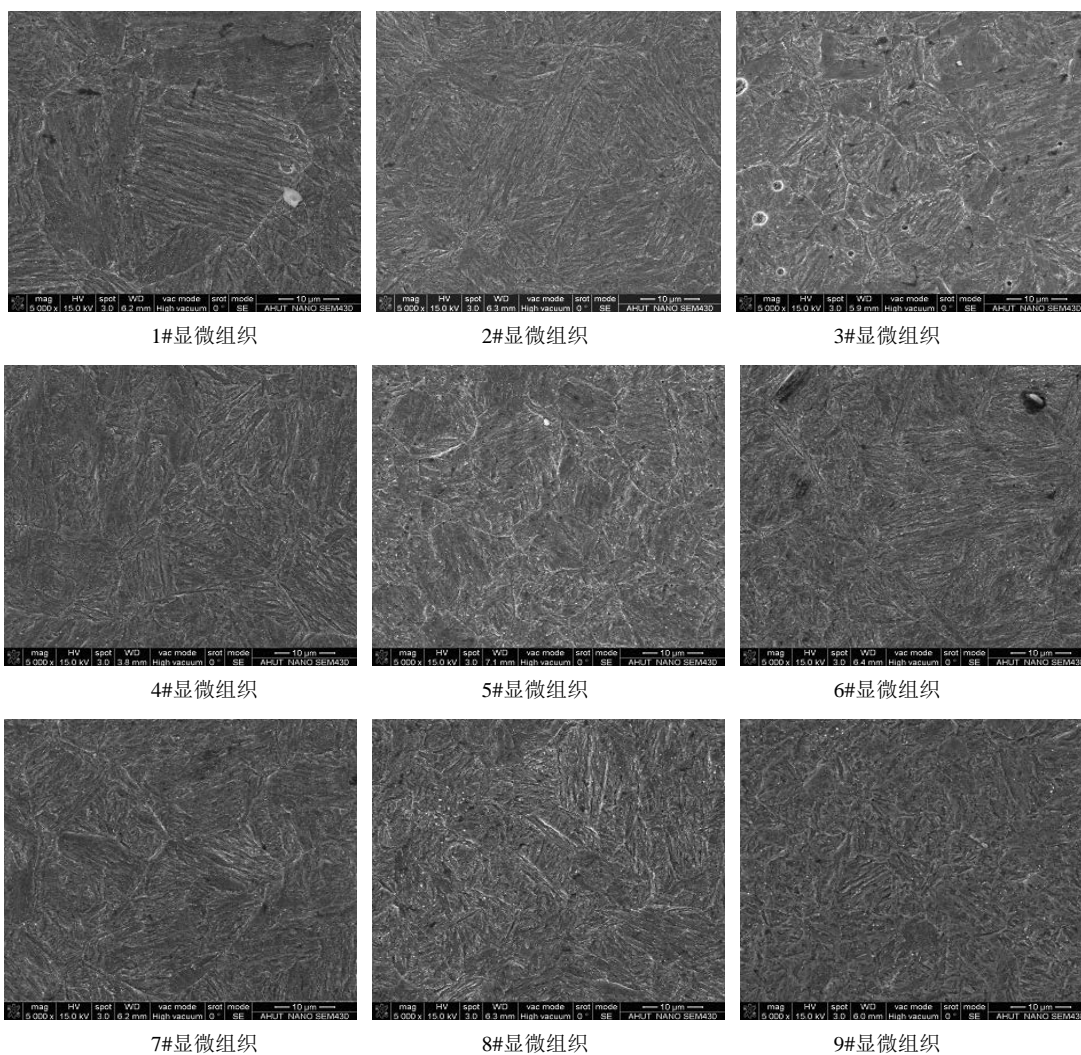
### 3.1. 42CrMo钢的显微组织

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  $-80^{\circ}\text{C}$  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

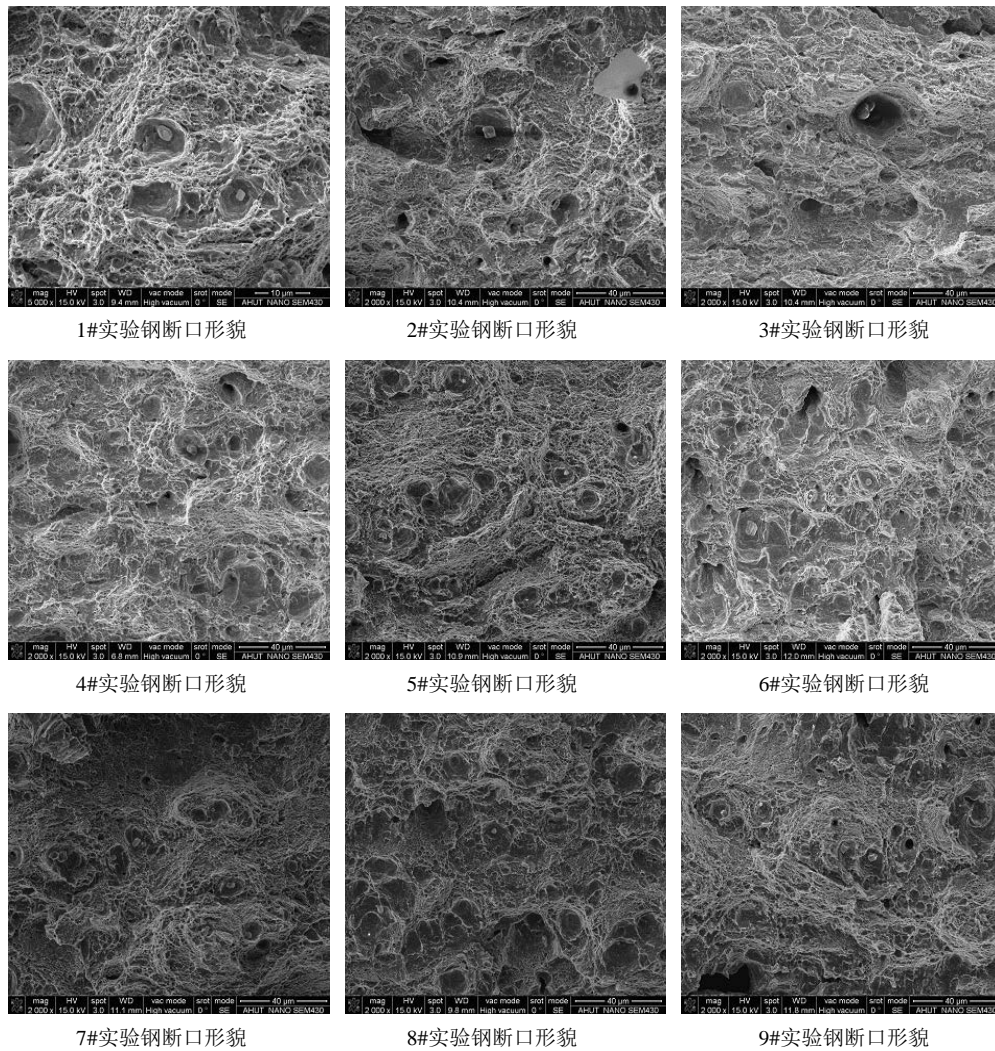
为了进一步研究钢中氧对冲击韧性的影响，对 42CrMo 实验钢冲击断口进行扫描电镜分析，观察九组实验钢的断口形貌，结果见图 2。

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 <sup>2</sup> )	断面伸长率(%)	冲击功常温(J)	冲击功 $-20^{\circ}\text{C}$ (J)	冲击功 $-40^{\circ}\text{C}$ (J)	冲击功 $-60^{\circ}\text{C}$ (J)	冲击功 $-80^{\circ}\text{C}$ (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.