

正火预热处理对 42CrMo 曲轴钢调质后的 组织与性能影响

李康丽¹ 李永志^{1,2} 孙国栋¹

(1 江西九江学院机械与材料工程学院, 九江 332005;

2 华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘 要 利用金相显微观察及力学性能分析, 研究调质处理、正火 + 调质热处理对 42CrMo 曲轴钢组织与性能的影响。结果表明, 经过 860 °C 淬火 + 580 °C 回火处理后, 曲轴钢基体组织为回火索氏体, 但轴颈心部区域白色铁素体数量较多且晶粒粗大、分布不均。其力学性能为抗拉强度 997 ~ 1 211 MPa, 屈服强度 990 ~ 1 204 MPa, 伸长率 11% ~ 13%, 断面收缩率 40% ~ 48%, 冲击功 72 ~ 90 J。而在调质热处理前增加一次(880 °C 空冷)正火预处理后, 42CrMo 曲轴钢的显微组织更趋均匀化, 其力学性能为抗拉强度 1 100 ~ 1 220 MPa, 屈服强度 1 107 ~ 1 188 MPa, 伸长率 13% ~ 15%, 断面收缩率 50% ~ 56%, 冲击功 83 ~ 91 J。因此, 880 °C 空冷正火预处理 + 860 °C 淬火与 580 °C 高温回火是 42CrMo 曲轴钢优化的热处理工艺。

关键词 42CrMo 钢 锻造曲轴 调质处理 正火预处理 组织性能

Effect of Normalizing Preheat Treatment on Structure and Properties of 42CrMo Forging Crankshaft Steel after Quenching and Tempering Treatment

Li Kangli¹, Li Yongzhi^{1,2} and Sun Guodong¹

(1 College of Mechanical and Materials Engineering, Jiangxi Jiujiang University, Jiujiang 332005; 2 State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract Effect of quenched and tempered treatment, normalizing & quenched and tempered treatment on microstructure and properties of 42CrMo forging crankshaft steel is studied by means of metallographic microscope observation and mechanical performance analysis. The results show that after the quenching and tempering treatment (860 °C quenched + 580 °C tempered), the base structure for the forging crankshaft billet is tempered sorbite and much amount of white ferrite with coarse grain non-homogeneously distributed at the central area of crankshaft. Its mechanical properties are TS 997 ~ 1 211 MPa, YS 990 ~ 1 204 MPa, el. 11% ~ 13%, RA 40% ~ 48%, and impact energy 72 ~ 92 J. On the contrary, with a normalizing pretreatment (880 °C air cooling) before the quenching and tempering treatment process, the microstructure for the 42CrMo forging crankshaft steel become more uniform, its mechanical properties are TS 1 100 ~ 1 220 MPa, YS 1 107 ~ 1 188 MPa, el. 13% ~ 15%, RA 50% ~ 56% and impact energy 83 ~ 91 J. Therefore, the normalizing pretreatment at 880 °C air & quenching at 860 °C and high temperature tempering treatment at 580 °C is the optimized heat treatment process for the 42CrMo forging crankshaft steel.

Material Index 42CrMo Steel, Forging Crankshaft, Quenching and Tempering Treatment, Normalizing Pretreatment, Structure and Performance

曲轴在汽车行驶中受到不断变化的燃气压力、惯性力及力矩作用, 产生弯曲、扭转、剪切、拉压等交变应力, 服役条件非常恶劣^[1-2]。某型号汽车采用 42CrMo 曲轴钢, 传统生产工艺线路是: 下料-中频加热-预锻-终锻-切边-整形-调质处理-喷丸-检测-机加工^[3-4], 可见调质是该曲轴钢主要的热处理工艺。然而, 一些生产厂家往往会在调质处理实施前, 对曲轴钢进行预热处理, 以此改善曲轴调质后的组织及性

能指标。鉴此, 本文利用钢厂 42CrMo 曲轴钢锻坯, 用切片法对其热处理工艺进行实验研究, 综合运用性能指标测试、微观金相观察等手段, 比较分析调质热处理、正火预处理 + 调质处理等两种不同热处理工艺对该车型 42CrMo 曲轴钢的组织与性能的影响, 为优化该型曲轴钢的热处理工艺与技术提供理论依据。

表1 42CrMo钢曲轴锻坯化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 42CrMo steel forging crankshaft /%

C	Mn	P	Cr	S	Mo	Ni	Cu
0.39	0.71	0.018	0.99	0.008	0.20	0.11	0.15

1 实验材料和工艺方案

1.1 实验材料

实验所用42CrMo曲轴钢锻坯由江西某汽车厂提供,其化学成分如表1所示。

1.2 热处理工艺方案

(1)调质处理:根据该42CrMo曲轴钢锻坯的几何尺寸与结构特性^[1,2,5-6],以及一些汽车厂家的传统热处理工艺,特制定其调质处理工艺线路为:淬火时,开始以 $\leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温速率加热至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右保温0.5 h,随后以 $\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率加温至 $860\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温1.5 h后油淬冷却;回火时选择以 $\leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 升温速率加热至 $580\text{ }^{\circ}\text{C}$,且要求保温5 h后再空冷。具体工艺线路如图1所示。

(2)正火预处理+调质处理:在调质热处理前,

增加一道正火热处理工序,作为预处理,然后再进行调质终处理。其正火工艺线路如图2所示。

热处理前后,在轴颈横截面上不同位置(表层区域1、中部区域2、中心区域3)经线切割采集 $\Phi 10\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 的3个试样组、在曲轴锻坯的前端、中部、心部、后端(分别标记为1、2、3、4)各制备1个 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 55\text{ mm}$ 的长方体试样组进行制样,分别进行微观金相、硬度测试以及其力学性能指标。试样经磨平-抛光后,用4%(体积分数)硝酸酒精溶液腐蚀。采用XJP-3C金相显微镜测试其显微组织,采用HBE-3000A电子布氏硬度计测定轴颈横截面上3个试样硬度值,采用CMT-2000系列电子万能试验机测试其力学性能。

2 实验结果与对比分析

2.1 显微组织对比分析

图3为42CrMo曲轴钢锻坯轴颈横截面上3个区域调质处理后的微观组织金相,图4为42CrMo曲轴钢锻坯经正火+调质后的显微组织。由图3可见,经过调质热处理后,其组织为铁素体和粗粒状渗

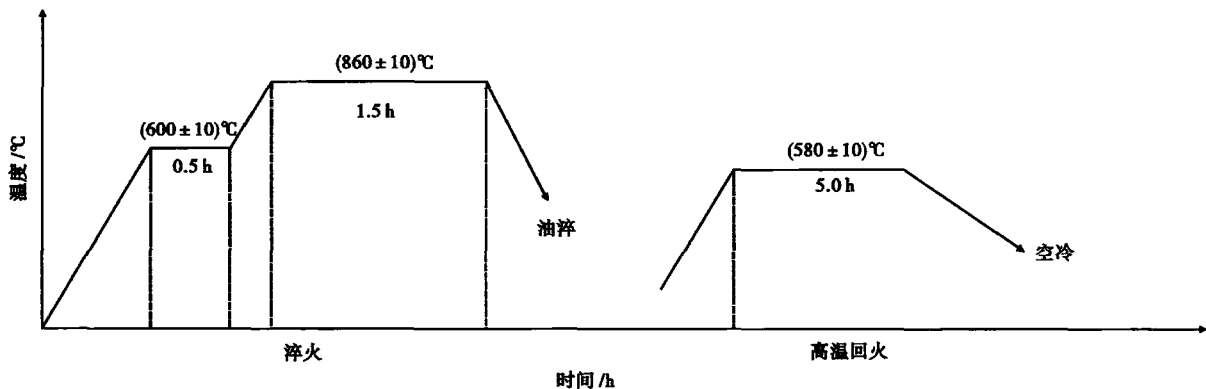


图1 调质热处理工艺线路

Fig. 1 Routing of quenching and tempering treatment process

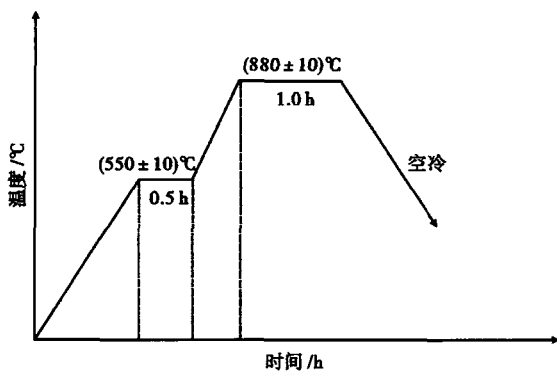


图2 正火预处理工艺线路

Fig. 2 Routing of normalizing preheat treatment process

碳体的机械混合物即回火索氏体,其中白色为铁素体基体,整体上组织形态及分布较为均匀。但从图3(c)即轴颈中心部位可发现,白色铁素体数量较多且晶粒粗大,甚至有块状形态,这对于材料性能可能会产生较大影响。从图4可以看见,42CrMo曲轴钢经过正火+调质处理后,得到的基体组织仍然主要为回复或再结晶了的铁素体和粗粒状渗碳体的机械混合物即回火索氏体,但明显组织更细小,分布更均匀,尤其是不管是从曲轴颈的表层-中间层-心部,其白色铁素体数量较少且晶粒明显细化。

对比图3、图4发现,经过了正火预处理,不仅

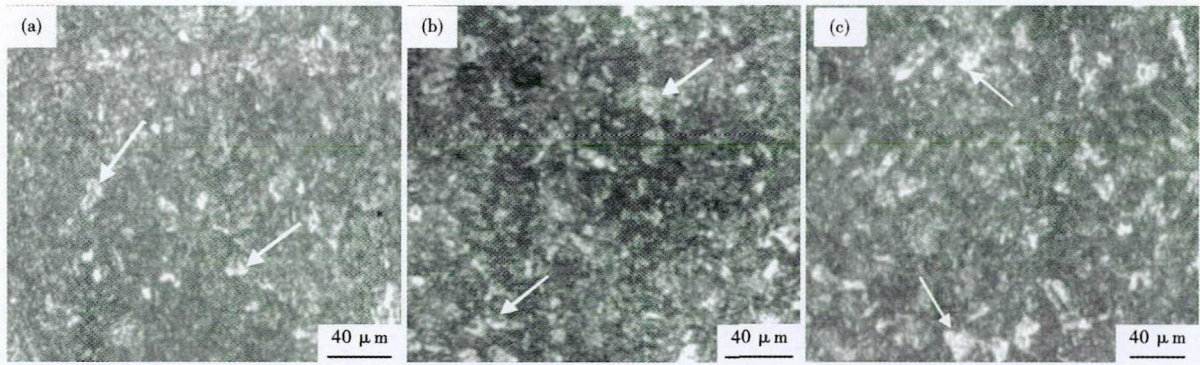


图 3 42CrMo 曲轴钢调质处理后显微组织:(a)表层;(b)中部;(c)心部

Fig. 3 Microstructures of 42CrMo crankshaft steel after quenched and tempered treatment;(a) surface; (b)middle and (c) centre

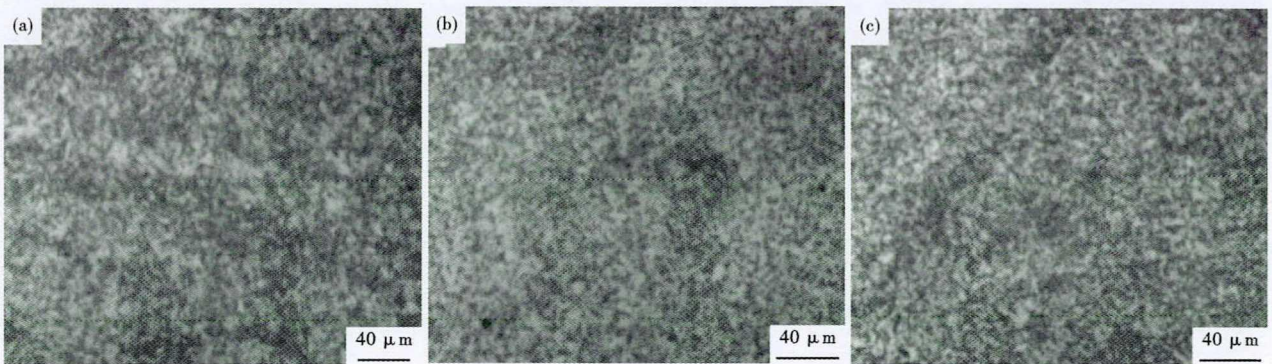


图 4 42CrMo 曲轴钢经正火 + 调质后的显微组织:(a)表层;(b)中部;(c)心部

Fig. 4 Microstructures of 42CrMo crankshaft steel after normalizing and quenched and tempered;(a) surface; (b)middle and (c) centre

表 2 42CrMo 曲轴钢调质处理后力学性能

Table 2 Mechanical performance for 42CrMo crankshaft steel after quenched and tempered process

试样编号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa	断后伸长率 A/%	断后收缩率 Z/%	冲击吸收功 A_K /J
1	1 210.83	1 204.47	13	47	90
2	1 049.41	1 033.03	12	48	85
3	997.12	989.63	11	40	72
4	1 065.34	1 051.61	13	45	72
平均值	1 080.68	1 069.69	12.25	45	79.5

表 3 42CrMo 曲轴钢正火 + 调质处理后力学性能

Table 3 Mechanical performance for 42CrMo crankshaft steel after normalized and quenched and tempered process

试样编号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa	断后伸长率 A/%	断后收缩率 Z/%	冲击吸收功 A_K /J
1	1220.24	1188.32	15	52	91
2	1189.31	1158.56	14	50	88
3	1099.76	1107.15	13	56	83
4	1158.37	1151.61	15	51	87
平均值	1166.92	1151.41	14.25	52.25	87.3

细化了晶粒,而且使得组织均匀化,为随之的最终调质处理做好组织准备,从而确保最终曲轴材料的组织及性能指标要求。

2.2 力学性能对比分析

将实验后试样进行拉伸-冲击试验,测试各项力学性能指标,结果分别如表 2 和表 3 所示。

由表 2 可知,经调质处理后的 42CrMo 曲轴钢的强度指标都有效提升,抗拉强度均值达到 1 080.68 MPa,屈服强度为 1 069.69 MPa,同时,大部分塑性指标如断后伸长率、断后伸长率、冲击功均值分别为 12.25%、45%以及 79.5 J,符合相关标准要求;但从所检测的部位置看,曲轴心部(编号 3)的抗拉强度和屈服强度较小,且该部位的材料断后伸长率、断后收缩率、冲击功指标偏弱,不能达到使用要求,有待进一步强化。从表 3 可以看出,经正火 + 调质处理后的曲轴锻坯,从表层到心部、从前端到后端的各项性能指标趋于均匀化,各项性能指标均值如抗拉强度均值达到 1 166.92 MPa、屈服强度为 1 151.41 MPa,而断后伸长率、断后收缩率、冲击功均值分别为 14.25%、52.25%以及 87.3 J,可见各项性能指标均有所提升,且均匀化效果明显。对比两种不同热处理工艺方案的结果可知,正火 + 调质处理方案更有利于提升该 42CrMo 曲轴钢的性能指标,获得更优、均匀化的综合机械性能。

表4 42CrMo曲轴钢调质处理后硬度值

Table 4 Hardness value for 42CrMo crankshaft steel after quenched and tempered process

试样 编号	HBW 硬度值					平均 硬度值
	视场点1	视场点2	视场点3	视场点4	视场点5	
1	333	328	333	329	341	332.8
2	309	297	303	312	298	303.7
3	297	291	297	279	276	288.0

表5 42CrMo曲轴钢正火+调质处理后硬度值

Table 5 Hardness value for 42CrMo crankshaft steel after normalized and quenched and tempered process

试样 编号	HBW 硬度值					平均 硬度值
	视场点1	视场点2	视场点3	视场点4	视场点5	
1	323	335	331	329	339	331.4
2	317	327	313	328	309	318.8
3	301	311	309	312	308	308.2

2.3 显微硬度对比分析

采用HBE-3000A电子布氏硬度计,对每一种热处理工艺后的3个试样横截面上分别取5个视场点进行硬度检测,结果分别如表4和表5所示。

硬度指标反映材料抵抗弹性变形、塑性变形或破坏的能力。从表4可以看出,42CrMo曲轴钢锻坯在淬火时因受到淬透性的影响,轴颈表层的硬度高于心部的硬度,整体呈梯度分布状态;整个曲轴轴颈的HBW硬度均值在276~341变化,HBW平均值为308.17,最小HBW值为276,最大HBW值为341,符合GB/T23339-2009国家标准^[6],但是在轴颈横截面上从表层-中部-心部看,硬度均值差达到15.56%,梯度变化较大,分布明显不均;而由表5可知,经过正火+调质处理后,试样HBW硬度测定均值在301~339变化,HBW平均值为319.47,最小HBW值为301,最大HBW值为339,硬度均值差为7.53%,显然经过正火+调质处理后,曲轴钢试样的显微硬度分布更为均匀。

3 结论

(1)比较了两种不同热处理方案对42CrMo曲轴钢的微观金相组织的影响。尽管热处理后都是得

到了基体回火索氏体,但经860℃淬火+580℃高温回火的调质处理后的轴颈中心部位的白色铁素体数量较多且晶粒粗大,甚至有块状形态;而经过880℃空冷正火+调质热处理后,42CrMo曲轴钢得到的回火索氏体明显组织细小,分布更均匀,尤其是白色铁素体数量大幅度减少且晶粒明显细化。

(2)两种不同热处理方案都能促使材料各项性能指标有效提升,但经调质处理后的曲轴心部的抗拉强度和屈服强度较小,且该部位的材料断后伸长率、断后收缩率、冲击吸收功指标偏弱;而经过正火+调质热处理后,42CrMo曲轴钢的各项综合性能指标趋于均匀化,抗拉强度均值达到1166.92 MPa、屈服强度均值为1151.41 MPa,HBW硬度均值为319.47,同时其断后伸长率、断后收缩率、冲击吸收功均值分别为14.25%、52.25%以及87.3 J,均超出相关行业及国家标准要求,证明经过880℃空冷正火预处理对42CrMo曲轴钢调质优化后的组织与性能得到了较大的改善。

江西省科技厅工业支撑项目(20142BBE50060);

江西省教育厅教改项目(JXJG-13-17-9)资助

参考文献

- [1] 韩黎明. 面向21世纪的曲轴新材料[J]. 中国机械工程, 2000, 11(10): 1189-1192.
- [2] 孙军, 桂长林, 李震. 内燃机曲轴强度研究的现状、讨论与展望[J]. 内燃机学报, 2002, 20(2): 179-184.
- [3] 高维进, 吴超凤, 曾繁友, 等. 国产42CrMo调质钢曲轴的开发[J]. 发动机, 2007, 172(12): 22-23.
- [4] 刘俊, 王茂川, 张世艳, 等. 汽车发动机曲轴弯曲疲劳试验方法研究[J]. 精密成形工程, 2019, 11(1): 114-118.
- [5] 王开远. 《汽车发动机曲轴技术条件标准》解析[J]. 现代零部件, 2008, 6(3): 58-62.
- [6] 张晓宇, 王开远. 2009年版曲轴和连杆国家标准解读[J]. 柴油机设计与制造, 2010, 131(2): 5-9.

李康丽(1999-),女,本科生,九江学院,材料成型和控制工程研究。E-mail: liyonghi168@163.com

收稿日期: 2020-01-07