

42CrMo 钢曲轴锻件表面裂纹形成机理分析和工艺改进

王长健

(四川建筑职业技术学院机电工程系, 德阳 618000)

摘要 对 865 °C 1.5 h 油淬 + 640 °C 4 h 回火、水冷的 42CrMo 钢 (C: 0.43, Mn: 0.77, Si: 0.24, P: 0.014, S: 0.0075, Cr: 1.08, Mo: 0.17, Cu: 0.01) 曲轴锻件表面裂纹形成进行了分析。结果表明, 曲轴锻件表面裂纹为淬火裂纹, 回火时间不足 (4 h) 和锻件存在较严重的带状组织 (3 级) 是该曲轴产生淬火裂纹的主要原因。通过将回火时间延长至 5 h, 控制带状组织 ≤ 2 级, 曲轴调质后未发现裂纹, 产品合格率达 100%。

关键词 42CrMo 钢 曲轴 调质 带状组织 裂纹 工艺改进

Analysis on Surface Crack Formation Mechanism for Crankshaft Forgings of Steel 42CrMo and Process Improvement

Wang Changjian

(Department of Machinery and Electricity, Sichuan Architectural Technology Professional College, Deyang 618000)

Abstract An analysis on the surface crack formation for crankshaft forgings of steel 42CrMo (C: 0.43, Mn: 0.77, Si: 0.24, P: 0.014, S: 0.0075, Cr: 1.08, Mo: 0.17, Cu: 0.01) with 865 °C 1.5 h oil quenching + 640 °C 4 h tempering, water cooling has been carried out. Results show that the surface cracks of crankshaft forgings are quenching cracks, and the main causes for quenching cracks of crankshaft are insufficient tempering holding time (4 h) and more serious banded orientation structure existing in forgings (rating 3). With prolonging the tempering time to 5 h and controlling the banded orientation structure in forgings ≤ rating 2, the cracks are not found in quenched and tempered crankshaft forgings and the qualified products are up to 100%.

Material Index Steel 42CrMo, Crankshaft Forgings, Quenching and Tempering, Banded Orientation Structure, Crack, Process Improvement

汽车发动机曲轴是汽车发动机最关键的零部件之一, 在发动机运转过程中承受最大的负荷和全部的功率, 经受方向不断变化的弯矩、扭矩和长时高速运转的磨损, 其性能在很大程度上影响着汽车发动机的可靠性和使用寿命^[1]。42CrMo 钢调质后由于具有较高的疲劳极限和抗多次冲击能力, 低温冲击韧性优良, 被广泛用于制造机器曲轴^[2-3]。某公司生产 42CrMo 钢汽车曲轴锻件共 1 500 件, 调质热处理后在进行机械粗加工时发现约 200 件存在表面裂纹。

通过化学分析、低倍检验、金相检验对调质热处理产生裂纹的 42CrMo 钢曲轴锻件裂纹形成机理进行了分析, 研究表明, 曲轴锻件表面裂纹性质为淬火裂纹, 回火不足和锻件内部存在较严重的带状组织偏析是淬火裂纹产生的主要原因。

1 试验材料与方法

42CrMo 钢曲轴锻件制造工艺流程为: 冶炼 → 锻造 → 调质热处理 → 粗加工 → 表面淬火 → 最终精加工。调质热处理工艺为: 860 °C 1.5 h 油淬 + 回火 640 °C 4 h 水冷, 其中回火时首炉采用随炉升温处

理, 次炉热处理采用到温入炉。热处理后粗加工阶段发现约 200 件存在裂纹。这些裂纹形态复杂, 大部分曲轴裂纹均位于曲轴端部小头, 为纵向裂纹, 一小部分裂纹沿轴颈横向或纵向开裂, 极少部分沿曲轴扇形板横向开裂。试验选取有多条裂纹的曲轴锻件 E1 为研究对象以确定曲轴裂纹形成原因, 该曲轴锻件外观及小头端裂纹形貌见图 1、图 2。

在 E1 曲轴小头端切取 3 个试样, 试样位置见图 2, 试样编号分别为 1#、2#、3#, 其中 1# 试样沿裂纹切开, 观察裂纹断面宏观形貌并观察锻件纵向面显微组织形貌。2# 试样首先进行裂纹微观形貌分析、横

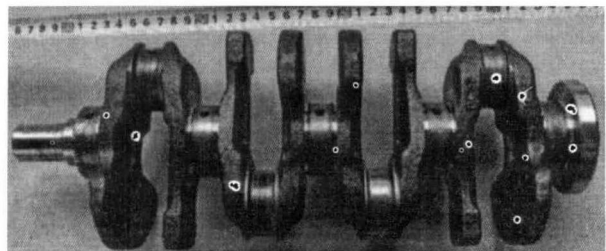


图 1 存在多条裂纹的曲轴锻件

Fig. 1 Crankshaft forgings with multiple cracks

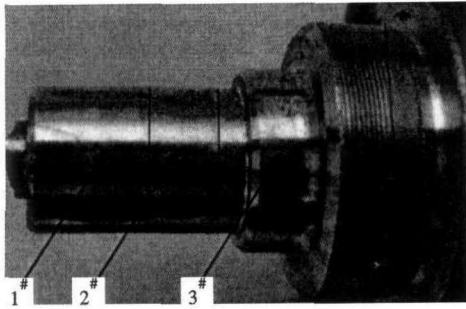


图 2 曲轴锻件取样示意图
Fig. 2 Diagram of crankshaft forgings sampling

向面显微组织分析以及晶粒度检验,之后将试样进行 640 °C 保温 4 h 回火处理,再次进行横向面的显微组织分析,同时进行化学成分分析。最后将试样进行完全退火处理,退火温度 830 °C 保温 4 h 炉冷,磨制试样纵向面,进行带状组织评级。3# 试样进行横向低倍组织分析。在工件余料上沿工件分型面切取纵向低倍试片,对锻件纵向低倍组织及纤维流线形貌进行观察。

2 试验结果

2.1 化学成分分析

曲轴锻件化学成分分析结果见表 1,符合 GB/T3077-1999 标准的要求。

2.2 高倍检验结果

2# 试样横向面经磨制后观察,裂纹形态见图 3(a),裂纹尾部尖锐,裂纹内有氧化,裂纹内没有发现非金属夹杂物颗粒;经 4% 硝酸酒精溶液腐蚀后观察,部分区域有明显的带状组织偏析,裂纹均位于带状组织偏析区内,裂纹两侧无脱碳,该曲轴显微组织为保留马氏体位向的回火马氏体组织,见图 3(b);经饱和苦味酸水溶液腐蚀后观察,晶粒度按 GB/T6394-2002 标准评定,为 7.5 级。经 640 °C 保温 4 h 的回火处理后,组织为回火索氏体,见图 3(c)。经完全退火处理后,带状组织按照国标 GB/T13299-1991 评定为 3 级,见图 3(d)。

1# 试样纵向面经磨制后观察,试样部分区域有明显的带状组织偏析,组织仍为保留马氏体

位向的回火马氏体组织。无裂纹合格曲轴端部小头位置试样显微组织为回火索氏体,仍然存在明显的带状组织偏析,见图 4。

2.3 低倍检验结果

3# 试样磨光后,经 50% 盐酸水溶液腐蚀后观察,曲轴横向低倍组织形貌,无明显的冶金缺陷。曲轴纵向低倍试片磨光后,经 50% 盐酸水溶液腐蚀后观察,纤维流线基本随形,除试样边缘几条裂纹外,无其他不允许冶金缺陷,见图 5。

3 结果分析与讨论

从 2# 试样裂纹的微观形态来看,裂纹尾部尖锐,裂纹内有氧化,裂纹两侧无脱碳,裂纹内存在氧化,这是淬火裂纹的关键特征,因此,该曲轴锻件裂纹性质为淬火裂纹^[4]。横向低倍检验证实,曲轴锻件无明显冶金缺陷,纵向低倍检验证实,该锻件纤维

表 1 曲轴锻件化学成分分析结果 /%

Table 1 Analysis results of the crankshaft forging /%

项目	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
标准	0.38 ~ 0.43	0.75 ~ 1.00	0.15 ~ 0.35	≤ 0.040	≤ 0.030	0.8 ~ 1.1	≤ 0.03	0.15 ~ 0.25	≤ 0.03
曲轴锻件	0.43	0.77	0.24	0.014	0.007	1.08	0.02	0.17	0.01

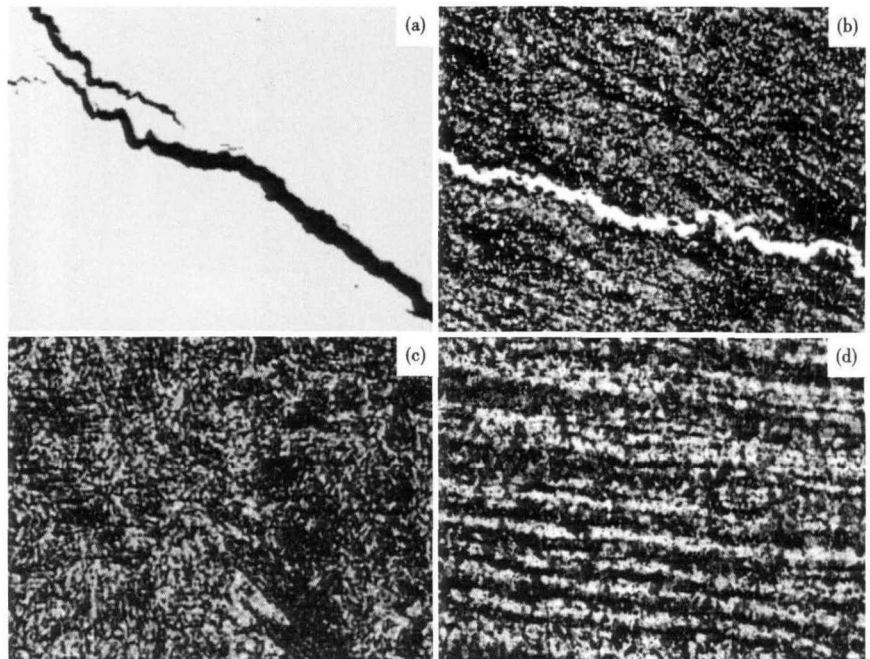


图 3 裂纹形貌, ×200 (a), 裂纹与带状组织, 回火马氏体, ×100 (b), 640 °C 4 h 重新回火后的组织, 回火索氏体, ×1 000 (c) 和完全退火后的带状组织, ×100 (d), 曲轴锻件

Fig. 3 Morphology of crack structure, ×200 (a), crack and banded orientation structure, tempered martensite, ×100 (b), structure of steel re-tempered at 640 °C for 4 h, tempered sorbite, ×1 000 (c) and banded orientation structure of steel full-annealed, ×100 (d), crankshaft forgings

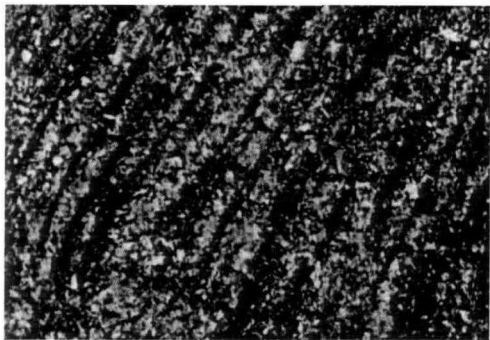


图4 合格曲轴显微组织形貌, ×100

Fig.4 Morphology of structure of qualified crankshaft, ×100

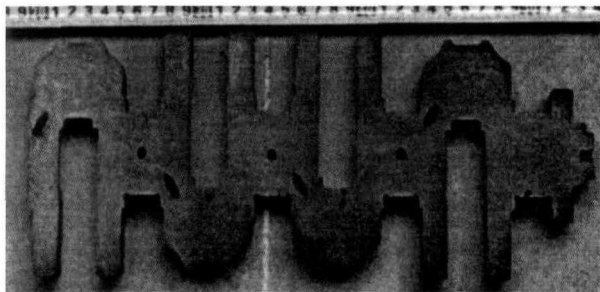


图5 曲轴锻件纵向低倍组织形貌

Fig.5 Morphology of longitudinal macrostructure of crankshaft forgings

流线基本随形,除表面几条裂纹外,无其他明显的冶金缺陷,这就是说,曲轴锻件淬火裂纹的产生与锻件冶金质量缺陷无关。

42CrMo 钢的正常淬火组织为马氏体组织,冷却速度不足时会出现珠光体组织^[5]。从2[#]试样显微组织形貌来看,裂纹处显微组织仍保留马氏体位向的回火马氏体组织,锻件晶粒度评定为7.5级,因此,淬火温度和淬火冷却速度均满足要求,淬火裂纹的产生与淬火因素无关;将试样重新回火后,组织转变为均匀的回火索氏体组织,这可以肯定,锻件在调质的回火过程中回火不足或者基本未回火,回火不足则无法完全消除淬火过程中形成的应力^[6]。而正常无裂纹曲轴的显微组织则为均匀的回火索氏体组织,上述事实表明,该曲轴回火不足是导致锻件裂纹的关键原因。

锻件内部分区域存在较为严重的带状组织偏析,从曲轴锻件生产厂家了解,曲轴锻件的带状组织

偏析要求控制在2级以下,而该曲轴锻件裂纹试样经完全退火处理后,带状组织级别为3级,超过了技术协议要求。严重带状组织的存在,无疑会增加淬裂的可能性^[7],而且裂纹均产生在锻件的带状组织区内,因此,曲轴锻件内存在较严重的带状组织是曲轴淬火裂纹产生的另一重要原因。

对调质热处理工艺进行了改进,首炉回火热处理时随炉升温,仍保温4h,次炉回火热处理时,仍采用炉温达到回火温度时再装炉的方式,但回火时间延长,由4h延长为5h;另外曲轴锻件入厂进行调质热处理前,进行带状组织抽检,带状组织抽检不合格的一批,均不进行调质热处理。经过上述两方面改进措施后,曲轴锻件调质后未再发现有裂纹,产品合格率达到100%。

4 结论

42CrMo 钢曲轴锻件调质热处理后的裂纹为淬火裂纹,回火不足是淬火裂纹产生的关键原因,曲轴锻件存在较严重的带状组织偏析是曲轴淬火裂纹产生的另一重要因素。

参考文献

- [1] 杨雪春. 汽车曲轴用调质钢 42CrMo 生产工艺研究[J]. 河南城建学院学报, 2010, 19(4): 75-78.
- [2] 高维进, 吴超凤, 曾繁友, 等. 国产 42CrMo 调质钢曲轴的开发[J]. 车用发动机, 2007(6): 64-67.
- [3] 孙捷, 万明攀, 何敏, 等. 汽车曲轴热加工表面开裂原因分析[J]. 机械工程材料, 2006, 30(9): 73-75.
- [4] 曾振鹏, 张慧娟, 戴维嘉. 齿座裂纹分析[J]. 理化检验-物理分册, 2000, 36(12): 562-564.
- [5] 聂振国, 石伟. 应力影响 42CrMo 钢马氏体相变的实验研究[C]. 天津: 第十次全国热处理大会论文集, 2011.
- [6] 陈灵, 梁思祖. 水泵壳压铸模开裂原因分析[J]. 金属热处理, 2006, 31(11): 99-101.
- [7] 白宝忠. 搬手头淬火开裂原因分析[J]. 热加工工艺, 2010, 39(4): 162-166.

王长健(1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 2000年四川工业学院(本科)毕业, 冶金产品失效分析和热处理工艺研究。

E-mail: wangchangjian1978@163.com

收稿日期: 2013-12-20