

深冷处理对 Cr12MoV 钢力学性能的影响

刘 勇¹, 刘新龙², 张金东¹

- (1. 河南省有色金属材料科学与加工技术重点实验室, 河南 洛阳 471003;
2. 鹤壁职业技术学院, 河南 鹤壁 458030)

摘要: 对经不同深冷处理后的 Cr12MoV 钢进行了力学性能检测和摩擦磨损试验。试验结果表明, 深冷处理可以明显提高 Cr12MoV 钢的硬度, 最高增量达到 228 HV0.2。深冷处理可减少 Cr12MoV 钢的残留奥氏体并提高其耐磨性, 经深冷处理 3 × 1 h + 180 °C × 1.5 h 回火处理后, 耐磨性提高最为显著, 其磨损失重率下降 37.1%; 而残留奥氏体量则由未冷处理的 34.36% 降至 2.58%, 降幅达 92.5%。

关键词: 深冷处理(DCT); 硬度; 耐磨性; 残留奥氏体

中图分类号: TG156.91 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2011)08-0038-04

Effect of deep cryogenic treatment on mechanical properties of Cr12MoV steel

LIU Yong¹, LIU Xin-long², ZHANG Jin-dong¹

- (1. Henan Key Laboratory of Advanced Non-Ferrous Materials, Luoyang Henan 471003, China;
2. Hebi Vocation and Technology College, Hebi Henan 458030, China)

Abstract: The mechanical properties and wear resistance of Cr12MoV steel with different deep cryogenic treatments(DCT) were investigated. The results show that the hardness of Cr12MoV steel is improved obviously by the deep cryogenic treatment, the highest increment of microhardness reaches 228 HV0.2, and the wear resistance is enhanced too. Tempered at 180 °C for 1.5 h after 3 times deep cryogenic treatment for 1 h, the Cr12MoV steel has the best wear resistance, and its rate of wear loss dropped 37.1%. Moreover, the retained austenite content decreases obviously to 2.58% due to the deep cryogenic treatment compared to that of 34.35% before deep cryogenic treatment. The percent reduction of retained austenite is 92.5%.

Key words: deep cryogenic treatment(DCT); hardness; wear resistance; retained austenite

深冷处理(DCT)又称超低温处理或超亚冷处理, 它的处理温度为 -100 °C 以下, 是常规冷处理的延伸^[1]。也有文献^[2]表明, 深冷处理是在 -130 °C 或 -160 °C 以下的冷处理。深冷处理作为低温处理的一个分支^[3] 指的是将被处理对象置于特定的、可控的低温环境中, 使其材料的微观组织结构产生变化, 从而达到提高或改善材料性能的一种技术^[4]。深冷处理技术不仅具有成本低、耗能少、不破坏工件且无污染等特点, 而且起到稳定尺寸、改善均匀性、减小变形等作用, 因此备受重视。深冷处理可显著提高工模具材料的耐磨性, 进而提高工模具的使用寿命^[5]。Cr12MoV 钢广泛用作模具行业的冷作模具钢, 为更大限度发挥材料的潜力, 改进传统零部件的热处理工艺, 提高产品使用效果是十分必要的。本文以 Cr12MoV 冷作模具钢为研究对象, 分析不同深冷处理工艺参数对力学性

能的影响, 为进一步优化深冷处理工艺提供依据。

1 试验材料和方法

为便于机加工, 需对试验用 Cr12MoV 钢原材料进行预先热处理, 方法为在箱式炉中进行 860 °C × 3 h 退火并随炉冷却。把加工好的试样在德国 IPSON 公司生产的 VUTK(Avac) -224(FV) -10bar 型卧式单室真空淬火炉中加热到 1040 °C 后真空冷却至 980 °C 淬火, 其淬火介质为高纯氮气(纯度大于 99.99%)。深冷处理工艺为: 淬火后在 20 min 内将试样浸入液氮中浸泡, 连续深冷 1、3、6 h 和循环深冷 3 × 1 h, 将所有深冷处理后的试样进行 180 °C × 1.5 h 回火。HVS-4000 型数显显微硬度计测量显微硬度, 载荷砝码为 200 g, 加载时间为 10 s, 每个试样测量次数不少于 5 次, 测量误差 ±5%, 取其平均值作为试样的平均显微硬度。磨损试样尺寸为 19 mm × 11 mm × 8 mm, 磨损试验在 MM200 试验机上进行, 对磨试样为 Cr12 钢圆环, 硬度在 60 ~ 62 HRC 之间, 试样在 294 N 下先预磨 1 min, 再终磨 20 min, 耐磨性以磨损质量损失率(%) 表示; 磨损形貌观察与分析在 JSM JEOL-5610LV 型扫描电镜上进行。

收稿日期: 2011-04-06

基金项目: 河南科技大学博士研究启动基金(09001199)

作者简介: 刘 勇(1967—), 男, 河南洛阳人, 博士, 副教授, 主要从事功能铜合金、表面技术研究, 已发表论文 70 余篇, 编著出版著作 5 部。联系电话: 0379-64229405, E-mail: liuyong@mail.haust.edu.cn

使用德国产 D8 Advanced X 射线衍射仪测定残留奥氏体含量。

2 试验结果与分析

2.1 显微硬度测试结果

Cr12MoV 钢经不同深冷工艺处理后的显微硬度, 如表 1 所示。由表 1 可以看出, Cr12MoV 钢在 980 °C 淬火后, 进行深冷处理的试样的硬度有所提高, 其中 3 h 深冷处理硬度提高幅度最大, 达到 228 HV0.2, 3 × 1 h 循环深冷处理后提高幅度次之, 为 140 HV0.2。这是由于淬火组织中的残留奥氏体在超低温条件下发生马氏体转变引起的。淬火加热温度越高, 残留奥氏体数量越多, 残留奥氏体中含碳量也越大, 经短时间多次循环深冷处理后残留奥氏体继续转变为马氏体, 析出碳化物增多, 力学性能明显提高, 多次循环深冷(3 × 1 h) 效果优于一次长时间深冷(6 h)。

表 1 不同处理后的 Cr12MoV 钢的显微硬度(HV0.2)

Table 1 Microhardness of Cr12MoV steel under various treatment(HV0.2)

热处理工艺		显微硬度/ HV0.2	硬度增量/ ΔHV0.2
980 °C 淬火	未冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火	899	0
980 °C 淬火	1 h 深冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火	998	99
980 °C 淬火	3 h 深冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火	1127	228
980 °C 淬火	6 h 深冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火	988	89
980 °C 淬火	3 × 1 h 循环深冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火	1039	140

注: 硬度增量 = 深冷处理后试样的显微硬度 - 未冷处理试样的显微硬度

2.2 摩擦磨损试验分析

图 1 是 Cr12MoV 钢试样在不同的深冷处理状态下, 试样的磨损试验结果。在图 1 中, 未冷处理的 Cr12MoV 钢试样作为参考标准, 其相对磨损率为 100%, 即定义其相对质量损失 $\Delta W/W_1$ 为标准。经过深冷处理各试样的相对质量损失以未冷处理试样的相对质量损失 $\Delta W/W_1$ 为参考, 即可得到相应的相对磨损率数值: 冷处理 1 h、3 h、6 h、3 × 1 h 后经 180 °C 回火试样的相对磨损率分别为 75.6%、68.7%、67.2%、62.9%。可以看出, 经过深冷处理, 试样耐磨性都有不同程度的提高。

在深冷处理过程中淬火后留下的残留奥氏体向马氏体转变, 提高了钢的硬度从而有利于钢的耐磨性能的提高。Cr12MoV 钢属于高碳钢, 其强化手段主要有相变强化、析出强化和细晶强化。深冷处理的作用在

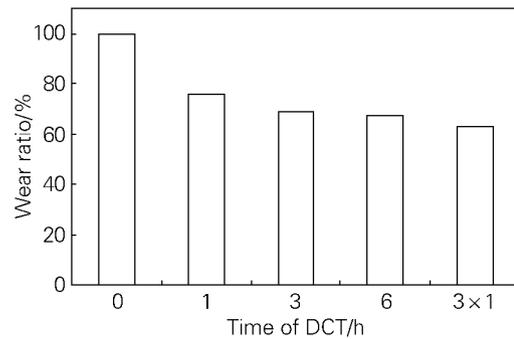


图 1 Cr12MoV 钢试样的相对磨损率
Fig. 1 Wear ratio of the different Cr12MoV steel samples

于通过在较低的温度下促使残留奥氏体进一步转变为马氏体, 发挥其相变强化和析出强化的潜力^[6-7]。

2.3 磨损形貌观察与分析

图 2 为 Cr12MoV 钢不同深冷工艺处理后磨损形貌。对比图 2 中不同处理状态下的试样的摩擦磨损微观形貌可知, 除图 2(d) 中有轻微的粘着磨损形貌外, 其余四幅图均为干摩擦磨损形貌。

磨损是指机件表面相接触并作相对运动时, 表面逐渐有微小颗粒分离出来形成磨屑, 使表面材料逐渐流失, 造成表面损伤的现象^[8]。对磨轮与被磨试样的两表面在相对滑动的过程中, 在外加载荷引起的交变应力作用下, 裂纹在被磨面的表面或次表面形成、扩展并连通, 最后剥离下来, 形成点蚀或剥落即疲劳磨损。在深冷处理 6 h + 180 °C × 1.5 h 回火后, 试样微观形貌出现粘着磨损形貌, 粘着形貌的出现可能是干摩擦过程中产生大量的摩擦热, 使陪试试样与对磨试样产生原子间的键合作用。随后两相对运动的表面发生相互焊合, 焊合表面中的粘着点被剪切并转移到一方金属表面, 然后脱落下来便形成磨屑, 并伴随有材料的转移。所以, 本试验条件下试样的磨损形式为粘着磨损、磨粒磨损和氧化磨损并存^[9-11]。

2.4 残留奥氏体 X 射线衍射法测定

根据 GB 8362—1987《钢中残余奥氏体定量测定 X 射线衍射仪法》, 可对图 3 中衍射数据进行计算, 得到残留奥氏体含量:

$$E_A = \frac{1 - F_C}{1 + G \frac{I_M(hkl)}{I_A(hkl)}} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, E_A —残留奥氏体的体积分数, %; F_C —碳化物相总量体积分数, %; $I_M(hkl)$ —钢中马氏体晶面衍射线累积强度; $I_A(hkl)$ —钢中奥氏体晶面衍射线累积强度; G —因子比, 奥氏体晶面与马氏体晶面对应的强度。

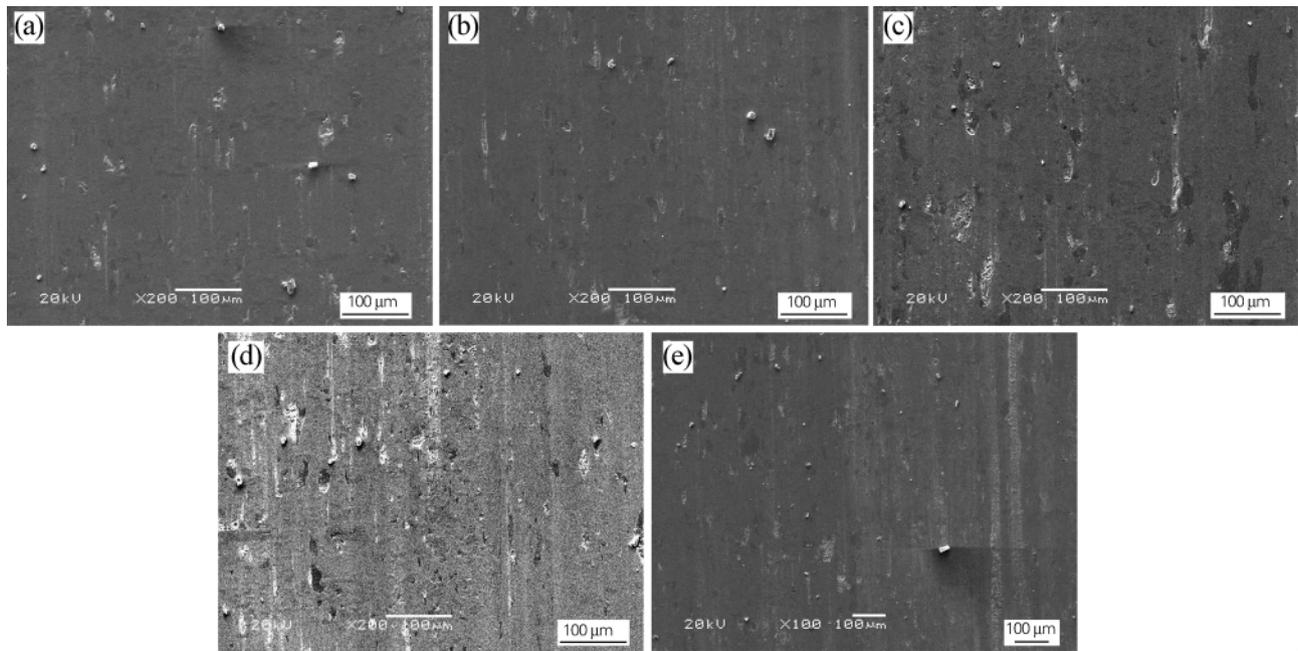


图2 Cr12MoV 钢试样经不同时间深冷处理后的磨损形貌

Fig. 2 Wear morphologies of the Cr12MoV steel samples deep cryogenic treated under different time (a) 0 h; (b) 1 h; (c) 3 h; (d) 6 h; (e) 3 × 1 h

为进一步证明试样中的残留奥氏体量对试样性能的影响,用 X 射线衍射分析残留奥氏体含量。图 3 为不同处理状态样品进行了 X 射线衍射分析,得到的 X 射线衍射谱线。

利用式(1)可计算出各试样组织中残留奥氏体的含量,由未经深冷处理的 34.36%,降至深冷 3 × 1 h + 180 °C × 1.5 h 的 2.58%,即深冷处理并经回火大大降低了残留奥氏体量,其降幅高达 92.5%。Cr12MoV 钢经常规 1020 ~ 1040 °C 淬火后,残留奥氏体量较多,约占 30% 左右,硬度、耐磨性不足,且易出现磨削裂纹,使材料提早破坏。深冷处理过程中,深冷处理 + 回火可以大幅度降低试样中的残留奥氏体含量,由于残留奥氏体转变成马氏体,以及超细碳化物析出,使钢的硬度、冲击韧性及耐磨性都得以提高^[12],从而显著提高了 Cr12MoV 钢的力学性能和工件的寿命。

深冷处理能降低材料中的奥氏体含量,但是深冷处理并不能消除材料中的残留奥氏体。增加深冷处理时间,即使深冷处理 + 回火后,试样中的残留奥氏体量仍有 3% 左右。

3 结论

1) 深冷处理后, Cr12MoV 钢的硬度明显提高,最高增量达到 228 HV0.2,增幅达到 25.4%。

2) 深冷处理可明显提高 Cr12MoV 钢耐磨性,其中 3 × 1 h 循环深冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火耐磨性

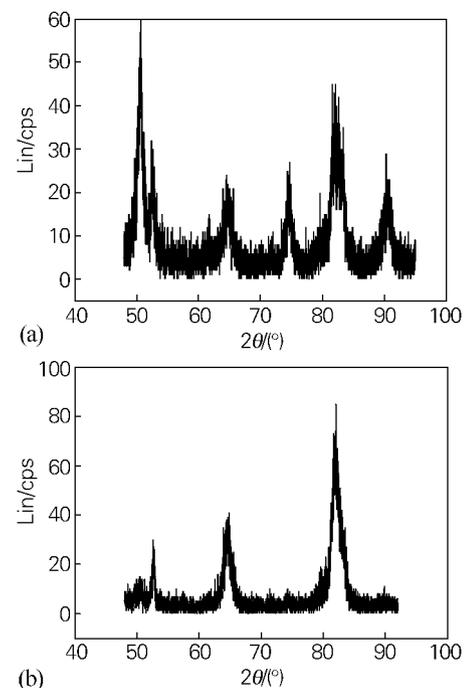


图3 经不同深冷处理和回火工艺试样的 X 射线衍射图谱

(a) 未深冷; (b) 深冷 3 × 1 h + 180 °C × 1.5 h

Fig. 3 X-ray diffraction of Cr12MoV steel after various deep cryogenic processing

(a) 0 h; (b) deep cryogenic treated for 3 × 1 h + tempered at 180 °C for 1.5 h

提高最为显著,其磨损失重率下降 37.1%;其磨损形式为粘着磨损、磨粒磨损和氧化磨损并存。

3) 深冷处理可显著降低 Cr12 钢中的残留奥氏体含量,经 3 × 1 h 循环深冷处理 + 180 °C × 1.5 h 回火

机械设计中感应淬火硬化层深及区域标注的 常见问题及解决方法

孔春花, 马春庆, 张沈洁, 曹淑芬, 杨永生

(中国一拖集团有限公司 工艺材料研究所, 河南 洛阳 471004)

Common problems and solution measure for labeling induction hardening depth in machine design

KONG Chun-hua, MA Chun-qing, ZHANG Shen-jie, CAO Shu-fen, YANG Yong-sheng

(Technology and Material Research Institute, YTO Group Corporation, Luoyang Henan 471004, China)

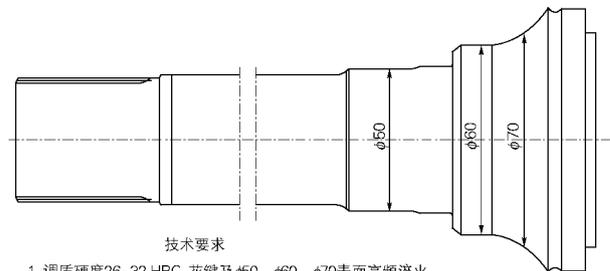
中图分类号: TG162; TG156.34 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2011)08-0041-05

近期在对公司内有些子公司或专业厂送检的感应淬火零件, 进行感应淬火质量诸如硬度、层深、淬火范围、组织、断裂失效分析等项目检测时, 发现因技术图纸标注存在严重的问题, 如轴类零件淬硬层深及淬火区域未标注, 感应淬火层深太浅、多台阶轴类零件中两轴颈之间的台阶处及截面变化处未要求感应淬火强化等, 使得零件表层扭转疲劳强度不足, 降低了产品整机可靠性, 使零件强度、耐磨性及使用寿命降低, 在使用中发生早期疲劳断裂。本文以拖拉机、工程机械和收获机械为例, 介绍了机械设计中热处理技术条件标注中的常见问题及正确做法。

1 存在情况

机械设计中热处理技术条件标注中的常见问题:

- ① 淬火区域及淬火轮廓均未标注, 见图 1;
- ② 淬火轮廓未标注, 且端头未留淬火过渡区(图 2(a));
- ③ 阶梯轴



技术要求

1. 调质硬度26~32 HRC, 花键及φ60、φ60、φ70表面高频淬火, 硬度45~55 HRC, 淬硬层深不小于1.2 mm
2. 未注圆角R2~R3
3. 未注倒角1×45°
4. 花键用综合量规检验。其余按Q/YT014.2-1993《图样通用技术要求》有关规定

图1 驱动轴零件简图

Fig. 1 Schematic of the drive shaft

收稿日期: 2011-04-06

作者简介: 孔春花(1965—), 女, 河南洛阳人, 高级工程师, 主要从事感应热处理科研工作, 发表论文 15 篇。联系电话: 0379-64968834, 13653877821, E-mail: lbnkch@163.com

后, 其残留奥氏体含量由未冷处理的 34.36% 降至 2.58%, 降幅高达 92.5%。

参考文献:

[1] 靳鹏飞, 吴志生, 王维新, 等. 深冷处理在金属材料中的应用及研究进展[J]. 铝加工, 2010(6): 16-19.

[2] 段春争, 王敏杰. 高速钢循环深冷处理后的显微组织和力学性能[J]. 金属热处理, 2008, 33(3): 90-93.

[3] Firouzdar V, Nejati E, Khomamizadeh F. Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 206(1-3): 467-472.

[4] 闫献国, 庞思勤, 李永堂. 高速钢深冷处理技术研究进展[J]. 新技术新工艺, 2008(3): 14-18.

[5] Paolo Baldissera, Cristiana Delpret. Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel [J].

Materials and Design 2009, 30: 1435-1440.

[6] 张红, 王俊杰, 郭嘉. 深冷处理 3Cr13 对组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2008, 37(22): 64-66.

[7] 阎红娟, 徐宏海. 深冷处理对 W4Mo3Cr4VSi 钻头耐磨性的影响[J]. 北方工业大学学报, 2009, 21(1): 63-66.

[8] 周美玲, 谢建新, 朱宝全. 材料工程基础[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2001: 100-101.

[9] 李雄. 深冷处理对高速钢力学性能及摩擦磨损影响机理的研究[D]. 甘肃: 甘肃工业大学, 2000: 33-36.

[10] 李士燕, 陈长风, 李雄, 等. 深冷处理对高碳钢抗磨粒磨损性能影响的研究[J]. 摩擦学学报, 2000, 20(4): 276-279.

[11] 刘勇, 于文平, 张金东, 等. 深冷处理对 T8A 钢组织和力学性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2010, 31(10): 48-52.

[12] 代威, 刘勇, 张金东, 等. 深冷处理对 Cr12 力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2010, 39(18): 149-151, 154.