

热处理工艺对 Cr12MoV 钢组织及硬度的影响

杜思敏^{1,2}, 李 雄^{1,2}, 林发驹^{1,2}

(1. 成都先进金属材料产业技术研究院股份有限公司, 四川 成都 610300; 2. 海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室, 辽宁 鞍山 114009)

摘 要:采用金相显微镜、XRD 射线衍射仪及维氏硬度计等, 研究了普通热处理和深冷处理工艺对 Cr12MoV 钢显微组织及硬度的影响。结果表明: Cr12MoV 钢经普通热处理和深冷处理淬火后的组织均为隐针马氏体+残余奥氏体+碳化物, 200 °C 低温回火后组织转变为回火马氏体+碳化物+残余奥氏体。深冷处理可大幅减少钢中残余奥氏体, 提升钢的硬度; 热处理采用 1 020 °C 加热保温 60 min 淬火+(-196 °C)深冷 2 h+200 °C 回火保温 120 min, 硬度 (HV30)值最高, 可达 780。

关键词:Cr12MoV 钢; 热处理; 深冷; 组织; 硬度

中图分类号: TF76, TG161

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2021)03-0148-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2021.03.023

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Effect of heat treatment process on microstructure and hardness of Cr12MoV steel

Du Simin^{1,2}, Li Xiong^{1,2}, Lin Faju^{1,2}

(1. Chengdu Advanced Metal Materials Industry Technology Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610300, Sichuan, China; 2. State Key Laboratory of Marine Equipment Made of Metal Material and Application, Anshan 114009, Liaoning, China)

Abstract: In this paper the effect of ordinary heat treatment and cryogenic treatment on the microstructure and hardness of Cr12MoV steel had been investigated by microstructure observation using a metallographic microscope, the retained austenite determination by XRD, and the hardness measurement. The results show that the microstructure of Cr12MoV steel after ordinary heat treatment and cryogenic treatment are crypto needle martensite and retained austenite and carbide, and the microstructure changes into tempered martensite and carbide and retained austenite after low temperature tempering at 200 °C. Cryogenic treatment can greatly reduce the retained austenite in the steel and improve the hardness. The highest hardness is 780 HV30 when steel are quenched at 1 020 °C and held for 60 min at -196 °C for 2 h and tempered at 200 °C for 120 min.

Key words: Cr12MoV steel, heat treatment, cryogenic treatment, microstructure, hardness

0 引言

Cr12MoV 是目前冷作模具钢中用量最大, 用途

最广泛的钢种之一。因其具有较高的耐磨性、淬透性、高热稳定性、高抗弯强度等, 被广泛用来制作形状复杂、断面大并且需要经受大冲击负荷的模具,

收稿日期: 2021-03-24

作者简介: 杜思敏 (1986—), 女, 云南彝良人, 工程师, 本科, 主要从事特殊钢的热加工及热处理工艺研究, E-mail: 2926747855@qq.com。

如形状复杂的冲孔凹模、拉丝模、螺纹搓丝板、冷挤压模等。

大量生产实践和研究^[1-2]表明,磨损是 Cr12MoV 冷作模具钢的主要失效形式之一。已有失效分析^[3-4]表明,热处理因素对 Cr12MoV 冷作模具钢的磨损失效影响最大,约占 50%。通常认为,材料的强度、硬度越高,其耐磨性越好,所以高的硬度和良好的塑性是耐磨钢具有高耐磨性的基础^[5]。过去 Cr12MoV 钢通常采用一次硬化和二次硬化两种方式进行热处理,以获得良好的硬度与耐磨性等综合性能。近年来,随着深冷技术的发展,有研究^[6-7]表明,通过制定合理的深冷处理工艺可以明显提高合金工具钢和碳素工具钢等钢材的硬度、红硬性、耐磨性等性能和使用寿命,但是由于材料深冷处理后的力学性能结果差异较大,故而对深冷处理的效果评价也存在较大差异。因此,只有将不同的热处理、深冷处理工艺和结果作为一体进行整体研究,才能使其工艺具有可行性和参考价值,才能确定热处理的工程价值。

为获得 Cr12MoV 钢的最佳热处理工艺,笔者

开展了大量试验研究,分析了不同工艺条件下的组织转变与硬度之间的联系,为 Cr12MoV 钢的热处理提供理论指导。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为国内某钢厂生产的 Cr12MoV 锻制钢棒,主要化学成分如表 1 所示。

1.2 试验方法

在钢棒二分之一半径处切取 20 mm×20 mm×10 mm 的长方体试块进行热处理。热处理工艺具体见表 2,热处理后的试样经过砂纸打磨、抛光,采用三酸乙醇溶液腐蚀(浓盐酸、浓硝酸、饱和苦味酸和乙醇,按 2 : 1 : 2 : 5 的比例进行配制),腐蚀时间 15 ~ 20 s。分别采用金相显微镜观察试样显微组织、X 射线衍射仪测量试样中的残余奥氏体含量、维氏硬度计测定材料热处理后的硬度,每组试样测 9 个点,排除最大值和最小值后取平均值作为材料的硬度值。

表 1 Cr12MoV 钢的主要化学成分
Table 1 Main chemical compositions of Cr12MoV steel

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1.46	0.25	0.33	0.025	0.001	11.67	0.41	0.2

表 2 Cr12MoV 钢的热处理工艺
Table 2 Heat treatment processes of Cr12MoV steel

试样号	奥氏体化温度/℃	保温时间/min	深冷时间/h	回火温度/℃	回火保温时间/min	备注
1	950	30		200	120	
2	980	30		200	120	
3	1 000	30		200	120	
4	1 020	30		200	120	
5	1 020	60		200	120	
6	1 020	120		200	120	
7	1 050	30		200	120	
1-2	950	30	2	200	120	深冷处理
2-2	980	30	2	200	120	深冷处理
3-2	1 000	30	2	200	120	深冷处理
4-2	1 020	30	2	200	120	深冷处理
5-2	1 020	60	2	200	120	深冷处理
5-4	1 020	60	4	200	120	深冷处理
5-8	1 020	60	8	200	120	深冷处理
6-2	1 020	120	2	200	120	深冷处理
7-2	1 050	30	2	200	120	深冷处理

注: 淬火冷却方式均为油冷,深冷处理均为(-196 ℃)液氮浸泡冷却。

2 结果分析与讨论

2.1 热处理工艺对淬火组织及残余奥氏体含量的影响

图1为试验钢不同热处理工艺淬火及深冷处理后的显微组织。可以看出,试验钢经普通热处理和深冷处理后组织均为隐针马氏体、残余奥氏体和块状碳化物。差别在于马氏体、残余奥氏体和碳化物的含量、形貌及晶粒度大小的不同。

从图1中1、2、3、4和7试样组织可以看出,

随着淬火温度的升高,组织中块粒状碳化物逐渐减少,残余奥氏体量逐渐增加,温度达1 050 ℃时晶粒尺寸明显增大。碳化物减少和残余奥氏体增加是因为在950 ℃及以上奥氏体化温度加热,随着加热温度的升高,碳化物逐渐溶解到奥氏体中,增加了奥氏体的稳定性,油冷后奥氏体转变为马氏体,剩余部分奥氏体因较为稳定而难以转变,成为残余奥氏体保留于钢中。因此在950~1 050 ℃不同温度加热后淬火,室温下的组织均为马氏体、残余奥氏体和块粒状未溶碳化物。

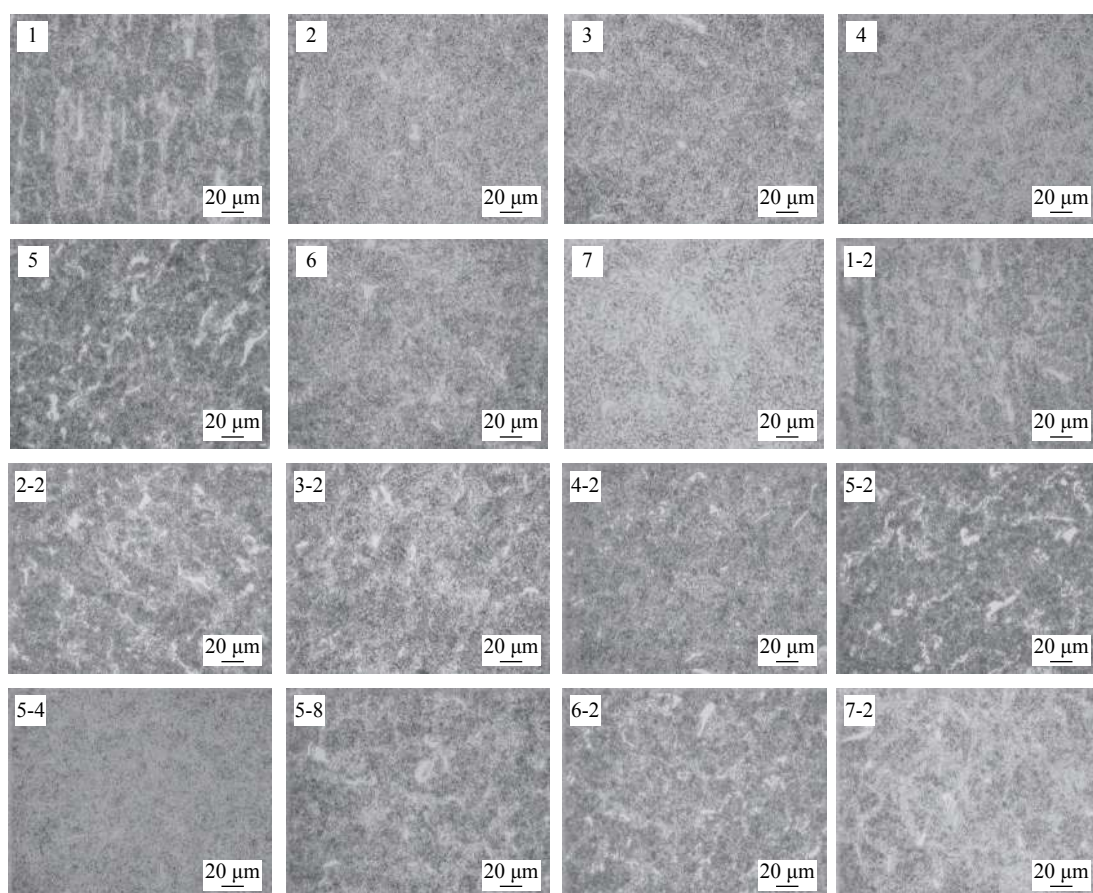


图1 试验钢不同热处理工艺淬火及深冷组织

Fig. 1 Quenching and cryogenic microstructure of tested steel after different heat treatment processes

从图1中4、5、6试样组织可以看出,保温30 min与60 min的试样金相显微组织类似,但保温120 min后的试样组织略显粗大。由此可见,延长淬火保温时间对晶粒尺寸的影响不明显。一般的碳素钢或低合金钢在奥氏体化过程中,晶粒尺寸随着淬火保温时间的延长会有不同程度的长大。而试验钢中由于大量合金碳化物的存在,在淬火保温过程中对奥氏体晶界具有钉扎作用,阻碍奥氏体晶界的迁移,使晶粒难以长大。

各工艺淬火后经-196 ℃深冷处理2 h试样的金相组织分别如图1的1-2、2-2、3-2、4-2、5-2、6-2、7-2所示,从常规热处理与深冷处理样品的形貌可以看出,二者的基体组织存在一定差异。深冷处理后,由于大量的C与合金元素(Cr、Mo、V等)以第二相碳化物粒子的形式从基体中析出,降低了马氏体基体中合金元素的固溶度,导致基体的电极电位下降。因此,普通热处理与深冷处理样品在腐蚀过程中由于基体耐腐蚀性不同,导致了它们在形貌上

的差异。同时,这种基体组织的差异也侧面说明了深冷处理后大量的合金元素与 C 元素结合,以碳化物形式从基体中析出,进而导致基体中合金元素的固溶含量与普通热处理相比有所下降。

图 1 中 5-2、5-4、5-8 分别对应 1 020 °C 加热保温 60 min 油淬并经 -196 °C 深冷处理 2、4、8 h 试样的金相组织,对比可以看出,随着深冷处理时间的增加,晶体析出的弥散的细小碳化物逐渐增多,晶界处块状碳化物逐渐减少,奥氏体含量略有降低。深冷时间对奥氏体转变的影响是由于马氏体转变时需要深冷处理提供足够的过冷度和驱动力,使面心立方点阵 γ -Fe 以切变方式定向而有序地改组为体心立方点阵的 α -Fe,因此深冷处理可促使大量的残余奥氏体转变为马氏体。然而马氏体形成是降温过程中瞬间形核和长大的,在深冷处理开始后极短的时间内,残余奥氏体向马氏体的转变就已基本完成,故深冷处理时间的延长对残余奥氏体转变量的增加效果并不明显。

图 2 为不同热处理工艺对淬火及深冷处理后钢中残余奥氏体含量的影响,可以看出,随着淬火温度的增加,基体中的残余奥氏体含量逐渐增加。这是因为随着淬火温度的增加,大量合金元素的溶解导致基体中的合金元素含量增加,奥氏体稳定性增强,淬火冷却后残奥含量增加,故随淬火温度增加形成了更高的残余奥氏体分数。

经 1 020 °C 保温不同时间后,可见,淬火态残余奥氏体量随保温时间的延长而减少,保温 120 min 残余奥氏体降低的幅度最大。这是因为随保温时间的增加,奥氏体均匀性增加,保温时间越长温度系统越稳定,局部偏聚现象越不明显,残余奥氏体就越少。深冷处理 2 h 后大量的奥氏体转变为马氏体,残余奥氏体量整体降低。图 2(c) 为经 1 020 °C 保温 60 min 淬火后不同深冷处理时间对残余奥氏体的影响,可见,残余奥氏体量随深冷时间的增加不断减少,当深冷时间达 4 h 后残余奥氏体减少速度明显降低。

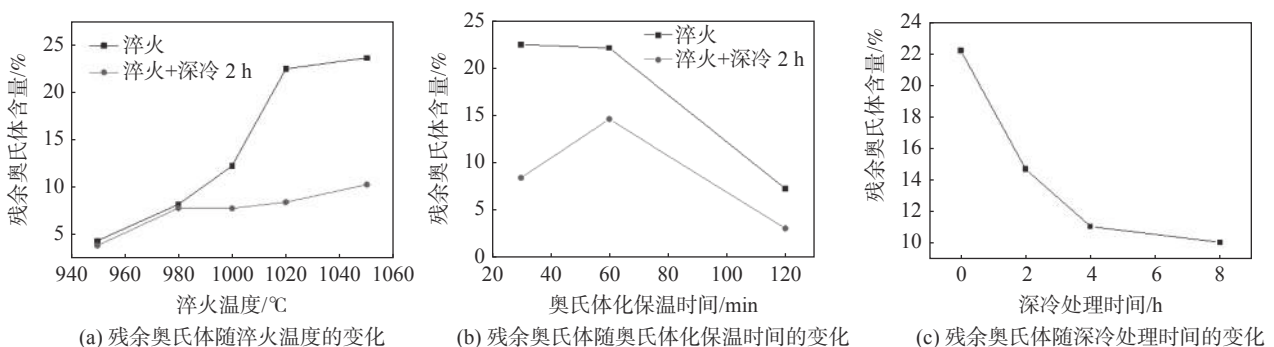


图 2 试验钢不同热处理工艺对残余奥氏体含量的影响

Fig. 2 Effect of different heat treatment processes on retained austenite of test steel

2.2 淬火及深冷工艺对回火组织的影响

试验钢经 200 °C 加热保温 120 min 回火后的金相组织如图 3 所示。从图 3 可以看出,不同热处理工艺下试验钢回火组织均为回火马氏体,同时还有较多的合金碳化物和部分残余奥氏体。

从图 3 中可以看出,试验钢经深冷处理较普通热处理后钢中有更多微细碳化物析出,微细碳化物的析出是由于淬火后直接浸入液氮中进行深冷处理,在快速冷却的过程中造成大量的残余奥氏体转变为马氏体,在 -196 °C 碳原子无法移动,导致更多的碳原子被困在淬火及深冷处理样品的马氏体中,造成原子排布相当大程度的紊乱,有利于回火时微观应力的释放和微细碳化物的大量析出。另一方面由于深冷处理时发生的马氏体相变导致位错及空位密度

的增加,这些高密度的位错及过饱和的空位会促进碳原子的扩散,位错应力场和间隙碳原子相互作用,碳原子趋向于分散。位错造成的微观结构转变会导致细小碳化物的析出。

图 3 的 5-2、5-4、5-8 分别对应 1 020 °C 加热保温 60 min 油淬+深冷 2、4、8 h+回火后试样的显微组织,可以看出,随深冷处理时间的增加,组织中弥散分布在晶粒之间的细小碳化物数量增多。这是因为随着深冷时间的延长,持续冷却增加了马氏体晶格的畸变程度,增加了应变能和马氏体不稳定性,位错结构可能发生改变,长时间处于低温下的碳原子趋向于位错迁移,位错周围的碳云作为碳化物形成的核心,这种新的碳化物核心会增加碳化物备份率和均匀分布,在回火过程中形成大量碳化物而析出^[8]。

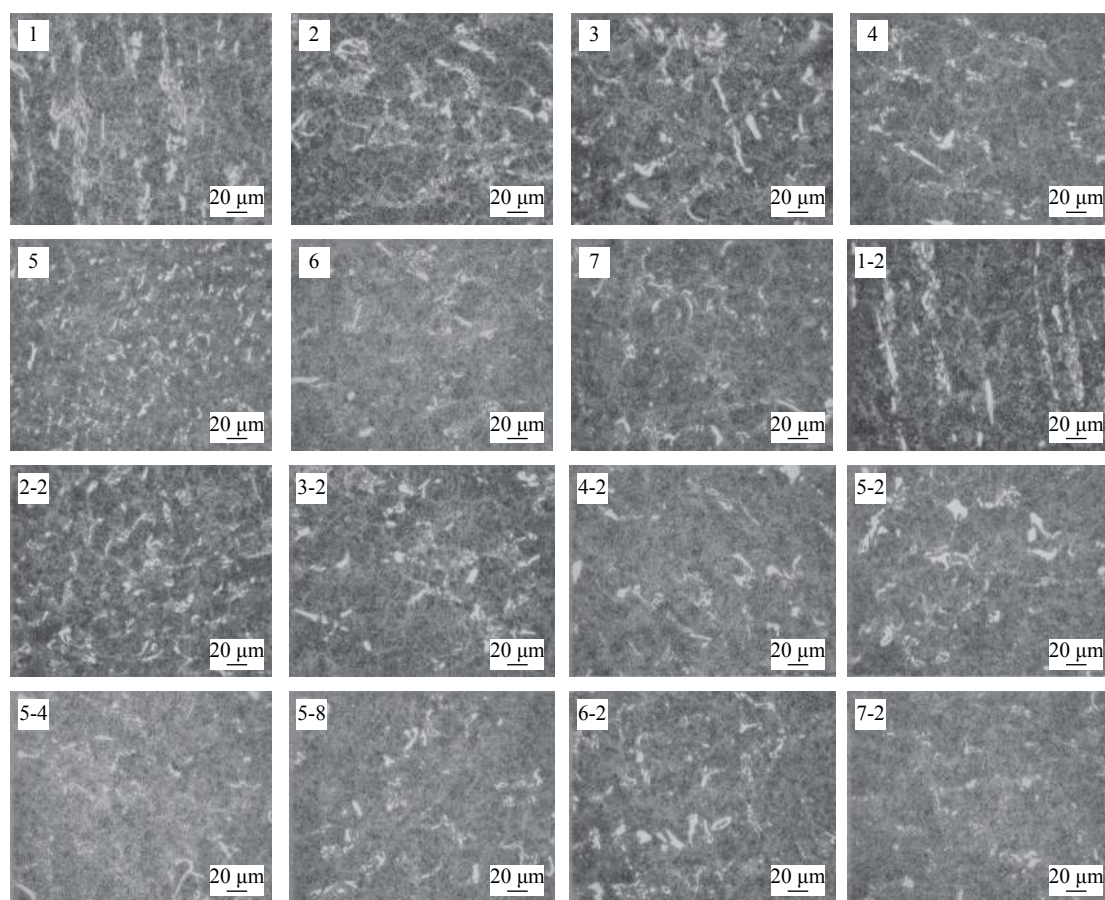


图 3 试验钢不同热处理工艺回火组织

Fig. 3 Microstructure of tempered steel with different heat treatment processes

2.3 热处理工艺对硬度的影响

2.3.1 奥氏体化温度对硬度的影响

图 4 为试验钢不同奥氏体化温度与硬度的关系曲线,可以看出,在 950 ~ 1 050 °C 淬火温度范围内,各工艺状态下钢的硬度值均随淬火温度的增加先升高后降低。深冷处理均不同程度地提高了 Cr12MoV 钢淬火及淬火+回火态试样的硬度值。

硬度值随淬火温度的增加先升高后降低是因为 Cr12MoV 钢淬火后的硬度主要受马氏体中过饱和碳的影响,马氏体中的碳占据 α -Fe 晶格间隙的位置,造成极大的晶格畸变,产生明显的固溶强化效果。碳含量越高,强化效果越好。在 950 ~ 1 020 °C 温度范围淬火加热,随着加热温度的升高,溶解到奥氏体中的碳化物数量逐渐增加,奥氏体中碳和合金元素的含量增加,由于淬火冷却速度较快,奥氏体中的碳和合金元素来不及扩散,全部保留到马氏体中。因此室温下马氏体中碳含量随着淬火加热温度的升高逐渐增加,导致硬度也逐渐升高。当淬火温度达到 1 050 °C 时,由于奥氏体中碳和合金元素的过饱和,

增加了过冷奥氏体的稳定性,降低了马氏体转变点,导致室温下一部分奥氏体未能发生马氏体相变,成为残余奥氏体保留在钢中,该组织硬度低,与马氏体混合在一起会降低钢的硬度。另外,加热温度的升高,使得淬火后得到的马氏体晶粒粗大,也使得钢的硬度值降低。

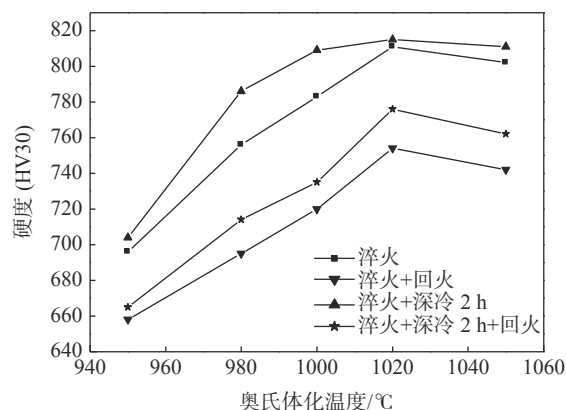


图 4 试验钢不同奥氏体化温度与硬度的关系

Fig. 4 Relationship between austenitic temperature and hardness of test steel by different heat treatment processes

与普通热处理相比,深冷处理后的硬度均有不同程度的提高,这与深冷处理过程中奥氏体数量的变化以及碳化物的析出有关^[9],深冷处理时,部分残余奥氏体转变成亚结构为微细孪晶的马氏体,这种孪晶亚结构强化了马氏体基体^[10],从而促使试样硬度升高。同时,深冷处理使过饱和的亚稳定马氏体在从-196℃至室温过程中会降低过饱和度,析出弥散超细微碳化物,从而强化基体使硬度增加。因此深冷处理后硬度较普通热处理均有不同程度的提高。

2.3.2 奥氏体化保温时间对硬度的影响

图5显示试验钢经1020℃淬火加热保温30、60、120 min后,除深冷处理试样硬度逐渐增加外,其余试样淬火及回火硬度均逐渐降低,保温120 min时降幅最大。这是因为保温时间60 min时,碳元素和合金元素已经能够均匀扩散,二次碳化物晶粒非常细小,且分布较为弥散。过长的保温时间,让一部分碳保留在残余奥氏体中,降低了马氏体的平均碳含量,从而使得钢的硬度大幅降低。而经淬火+深冷2 h的试样因深冷过程残余奥氏体大量转变为马氏体导致硬度升高。

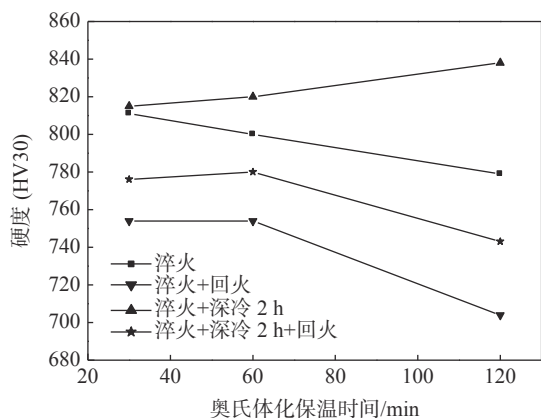


图5 试验钢不同奥氏体化保温时间与硬度的关系

Fig. 5 Relationship between austenitic holding time and hardness of test steel by different heat treatment processes

2.3.3 深冷时间对硬度的影响

图6为试验钢在1020℃淬火加热保温60 min后不同深冷处理时间与Cr12MoV钢硬度的关系曲线,可以看出,随深冷处理时间的增加,钢的淬火态硬度逐渐增加,而回火态硬度则先增加后降低。结

合图2(c)深冷处理时间对残余奥氏体转变的影响结果可知,淬火态硬度增加是由于钢中残余奥氏体量的降低所致;而经回火处理后由于残余应力的去除及碳化物的析出,试样的硬度整体降低。与深冷0 h试样相比较,深冷处理2 h后残奥的减少导致硬度升高,而当深冷时间延长至4 h后由于长时间深冷过程造成大量的残余奥氏体转变为马氏体,马氏体转变体积的变化和热膨胀系数的变化,造成深冷处理过程中内应力的产生,应力造成位错不断的攀移。通过位错的移动捕获的分散的碳原子,随着深冷时间的增加,碳原子团聚在晶体缺陷处,成为随后回火过程析出微细碳化物的核心,促进回火过程碳化物的析出。一方面更多碳化物的析出引起硬度的下降,另一方面长时间深冷处理引起微观组织相当大程度的紊乱,加剧了回火时微应力的释放,也促使试样的硬度降低。

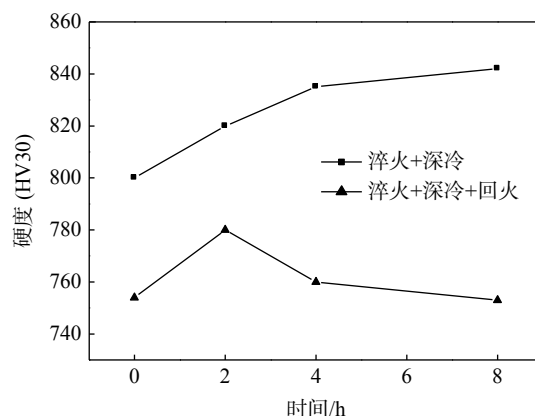


图6 试验钢不同深冷处理时间与硬度的关系

Fig. 6 Relationship between hardness and cryogenic time of test steel by different heat treatment processes

3 结论

- 1) 随着奥氏体化温度的上升,Cr12MoV钢硬度出现先上升后下降的趋势。
- 2) 随着奥氏体化保温时间的延长,硬度逐渐下降。
- 3) 1020℃淬火加热保温60 min+200℃回火后硬度值随深冷时间的增加出现先上升后下降的趋势,但深冷处理均显著提高了Cr12MoV钢的硬度。
- 4) Cr12MoV钢最佳深冷工艺是:1020℃淬火加热保温60 min油淬+(-196℃)深冷2 h+200℃回火保温120 min,其硬度(HV30)可达780。

参考文献

- [1] Yan Lijing, Feng Jing, Zhang Yanhua, et al. Effect of heat treatment process on microstructure and mechanical properties of

- Cr12MoV cold extrusion die steel[J]. Hot Working Technology, 2017, 46(2): 205–207.
(闫丽静, 冯婧, 张艳华, 等. 热处理工艺对Cr12MoV冷挤压模具钢组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2017, 46(2): 205–207.)
- [2] Yang Weiwei, Song Guangli, Xu Lei. Effects of cryogenic treatment on properties of triangle cam made of Cr12MoV steel[J]. *New Technology & New Process*, 2014, (12): 62–64.
(杨伟伟, 宋广礼, 徐磊. 深冷处理对三角材质Cr12MoV钢性能的影响[J]. 新技术新工艺, 2014, (12): 62–64.)
- [3] Zou Jilin. Application of surface strengthening technology in die cavity[J]. *Die & Mould Industry*, 2001, (5): 44–47.
(邹济林. 表面强化技术在模具型腔的应用[J]. 模具工业, 2001, (5): 44–47.)
- [4] Zhou Jin'en. Selection and heat treatment of die materials and service life of dies[J]. Heat Treatment of Metals, 1999, (5): 129.
(周敬恩. 模具材料选用、热处理与使用寿命[J]. 金属热处理, 1999, (5): 129.)
- [5] Yang Xuesong. Review of medium low alloy wear resistant steel[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2007, 18(3): 34–71.
(杨雪松. 中低合金耐磨钢综述[J]. 科技创新导报, 2007, 18(3): 34–71.)
- [6] Duan Chunzheng. Study on cryogenic treatment process and mechanism of high speed steel[D]. Lanzhou: Gansu Polytechnical University, 2000.
(段春争. 高速钢深冷处理工艺及机理研究[D]. 兰州: 甘肃工业大学, 2000.)
- [7] Mohanlal D, Renganarayanan S, Kalanidhi A. Cryogenictreatment to augment wear resistance of tool and die steels[J]. *Cryogenics*, 2001, 41: 149–155.
- [8] Li S H, Min N, Deng L H, *et al.* Influence of deep cryogenic treatment on internal friction behavior in the process of tempering[J]. *Materials Science and Engineering*, 2011, 528: 1247–1250.
- [9] Lv Yanwen, Yan Xianguo, Han Xiaojun, *et al.* Effect of cryogenic treatment on hardness and microstructure of W6Mo5Cr4V2 high speed steel[J]. Hot Working Technology, 2015, 44(8): 174.
(吕雁文, 闫献国, 韩晓君, 等. 深冷处理对W6Mo5Cr4V2高速钢硬度及组织的影响[J]. 热加工工艺, 2015, 44(8): 174.)
- [10] Chi Hongxiao, Ma Dangshen, Wang Chang, *et al.* Study on secondary hardening mechanism of Cr8Mo2SiV steel[J]. *Acta Metallurgica Sinica*, 2010, 46(10): 1181.
(迟宏霄, 马党参, 王昌, 等. Cr8Mo2SiV钢二次硬化机理的研究[J]. 金属学报, 2010, 46(10): 1181.)

编辑 杨冬梅

2020 年版北大中文核心期刊名单公布

2020 年版北大中文核心期刊名单于今年 5 月公布, 冶金工业类有 22 家期刊入选, 分别为: 《钢铁》、《中国冶金》、《钢铁研究学报》、《有色金属·冶炼部分》、《稀有金属》、《炼钢》、《中国稀土学报》、《稀土》、《烧结球团》、《湿法冶金》、《贵金属》、《有色金属科学与工程》、《钢铁钒钛》、《粉末冶金技术》、《材料与冶金学报》、《粉末冶金工业》、《轻金属》、《稀有金属与硬质合金》、《有色金属工程》、《中国有色冶金》、《炼铁》、《冶金分析》。

(本刊讯)