

深冷处理对 CrWMn 钢力学性能的影响

胡生双¹, 张颖云¹, 史利利¹, 王文博¹, 梁 霄¹, 徐 勇²

(1.航空工业西安飞机工业(集团)有限责任公司, 陕西西安 710089; 2.南昌航空大学航空制造工程学院, 江西南昌 330063)

摘要: 研究深冷温度及保温时间对CrWMn钢力学性能和耐磨性能的影响。结果表明: 深冷处理能够提高CrWMn钢的硬度、抗拉强度和耐磨性。提高抗拉强度的最佳处理工艺为-196 °C/6 h, 试样的抗拉强度比未深冷处理试样的抗拉强度提高了30%。提高耐磨性的最佳处理工艺为-100 °C/6 h, 试样的耐磨性比未深冷试样的耐磨性提高了约250%。

关键词: CrWMn钢; 深冷处理; 力学性能; 耐磨性

CrWMn钢是应用较为广泛的冷作模具钢, 被誉为“不变形钢”。主要用作淬火时要求变形很小、长而形状复杂的切削刀具包括拉刀、长丝锥、长铰刀、专用铣刀和量具包括板牙、块规、量规以及截面不大而形状复杂的高精度的冷冲模等。为挖掘CrWMn钢更为优异的使用性能, 国内很多学者已经对该钢有较多研究。周健^[1]等采用激光宽带扫描对CrWMn钢进行了相变强韧化处理, 对硬化层的显微组织和硬度进行了分析与测试。徐洪烟^[2]等研究了CrWMn钢激光相变硬化层的组织、耐磨性及磨损机理。为提高CrWMn钢等工模具钢的使用性能, 常使用深冷处理工艺处理。深冷处理可以使工/模具钢的组织发生转变, 并明显改善其力学性能^[3-5]。邓黎辉^[6]等对高强韧冷作模具钢SDC55经液氮深冷处理后的组织和性能进行了研究。经过深冷之后, SDC55钢的硬度和耐磨性都有很大的提高, 并且其冲击韧性不会降低很多。SDC55钢的硬度和耐磨性显著提高的主要原因是由于深冷处理促进了残留奥氏体向马氏体转变和细小的 ϵ -碳化物在马氏体上析出。关于深冷处理工艺对CrWMn钢的使用性能的影响却少见报道。本研究对CrWMn钢在不同深冷处理温度下保温不同时间, 研究不同工艺对CrWMn钢力学性能和耐磨性能的影响, 并归纳出最佳深冷处理工艺。

1 试验试样加工和方案

1.1 试样加工

试验用材料是一根 $\Phi 38 \text{ mm} \times 3\ 950 \text{ mm}$ 的CrWMn钢棒, 其化学成分如表1所列。经普通车床粗加工、数控车床精加工等工序加工至成品试样。按照国标制备冲击试样、拉伸试样及摩擦磨损试样, 试样见图1。

1.2 试验方法

CrWMn试样深冷处理在SLX型设备中进行, 冷却介质为液氮, 深冷处理系统原理图如图2。温度控制通过箱体内置温度传感器, 由控制系统调节液氮传输电磁阀实现。深冷处理在淬火后回火前进行, 按表2执行, 热处理工艺参数如表3所示。深冷处理降温速率均为 $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, 到达设定温度后开始保温, 保温结束后取出试样, 在空气中冷却至室温, 之后进行回火处理。

作者简介:

胡生双(1989-), 男, 工程师, 主要从事热处理工作。电话: 029-86844529, E-mail: hushengshuang2000@163.com

通讯作者:

徐 勇, 男, 博士, 副教授。E-mail: xuyong@nchu.edu.cn

中图分类号: TG156.91

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)11-1139-05

收稿日期:

2020-04-24 收到初稿,
2020-05-29 收到修订稿。

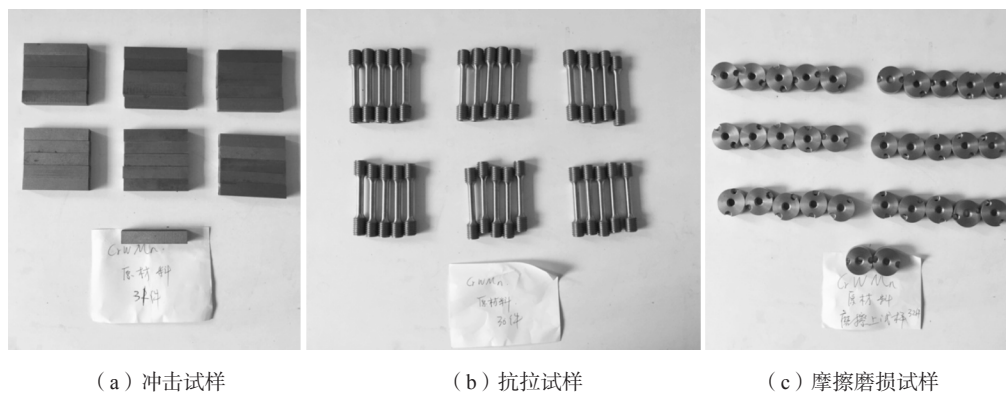
1.3 性能检测

拉伸试验在MTS-SANS CMT500拉伸试验机进行,冲击试验在JB-308型冲击试验机进行,硬度采用SHBRV-187.5数显布洛维硬度计测试,摩擦磨损试验按

照GB/T 12444.2—1990标准在MMU-10G高温端面摩擦磨损试验机进行,金相组织在TG3000型金相显微镜进行观察。性能测试时,每组工艺参数重复试验3次。

表1 CrWMn钢主要化学成分
Table 1 Chemical composition of CrWMn steel

项目	C	Si	Mn	Cr	W	P	S	$w_B/\%$
要求值	0.90~1.05	≤0.40	0.08~1.10	0.90~1.20	1.20~1.60	≤0.020	≤0.020	
实测值	0.95	0.23	0.92	0.94	1.40			



(a) 冲击试样

(b) 抗拉试样

(c) 摩擦磨损试样

图1 冲击试样、抗拉试样及摩擦磨损试样

Fig. 1 Impact specimens, tensile specimens, and frictional and wear specimens

2 试验结果与分析

2.1 力学性能

CrWMn钢不同工艺处理后抗拉强度和冲击韧性测试结果如图3所示。从图3a中可以看出,与未深冷处理的试样相比,CrWMn钢经过深冷处理后抗拉强度有明显提高。在-100℃进行深冷处理时,随着处理时间的增加,抗拉强度逐渐增加,抗拉强度从2 046.7 MPa提高到2 193.3 MPa,增强幅度由20.6%增加到29.3%。而随着深冷处理温度的降低,延长处理时间,强度有所下降。当深冷处理时间为6 h时,抗拉强度随着处理温度的降低而提高,当处理时间延长至12 h / 24 h时,抗拉强度在-100℃处理时抗拉强度达到最大值。因此,在较高处理温度进行深冷处理,为获得更高的抗拉强度应延长处理时间;在较短的处理时间进行深冷处理时,应降低深冷处理温度,随着处理温度的降低,增强效果逐步减小。对于本研究中的CrWMn钢,获得较好抗拉强度的处理工艺为-100℃/24 h、-150℃/6 h和-196℃/6 h。图3b为CrWMn钢经过深冷处理后冲击韧性测试结果,由图可知,深冷处理对CrWMn钢冲击韧性的增强效果不明显。在-100℃深冷处理时,冲击功变化很小;当温度降至-150℃时,处理时间对冲击功有影响增大,处理时间较短时,冲击功有较小提高,而处理24 h后冲击功显著下降。综合深冷处理对抗拉强

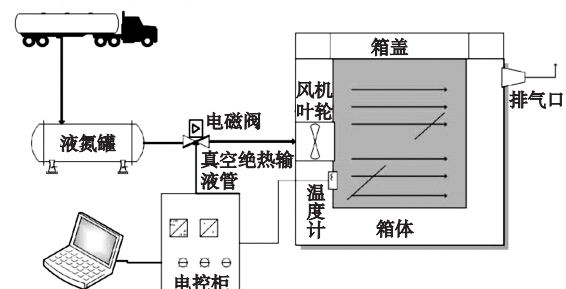


图2 SLX深冷处理系统原理图

Fig. 2 Schematic diagram of SLX cryogenic treatment system

表2 深冷处理工艺参数
Table 2 Cryogenic treatment process parameters

编号	深冷温度/℃	保温时间/h	降温速率/(℃·min ⁻¹)
M-0	对照组, 未深冷处理		
M-1	-100	6	
M-2	-100	12	
M-3	-100	24	
M-4	-150	6	
M-5	-150	12	2
M-6	-150	24	
M-7	-196	6	
M-8	-196	12	
M-9	-196	24	

度和冲击韧性的影响，-150 °C/6 h的处理工艺获得较佳的综合力学性能。

图4为深冷处理对CrWMn钢硬度的影响。可以看出，深冷处理能提高CrWMn钢的硬度，但深冷温度和处理时间对硬度的影响规律比较复杂，在本研究方案中没有明确的规律，有待深入研究。经-150 °C/6 h的深冷处理工艺，可获得HRC 63.3的硬度，较未处理试样提高了HRC 1.6。

2.2 摩擦磨损测试

摩擦磨损测试按照GB/T 12444.2—1990执行，采用

CrWMn钢上试样磨损前后的磨损量来对耐磨性进行评价，磨损量越小，说明耐磨性越高。CrWMn钢摩擦磨损相对耐磨性如图5所示。图中相对耐磨性是指未深冷处理（M-0组）的平均磨损量与不同工艺深冷处理后的平均磨损量之比，相对耐磨性越高说明耐磨性越好。从图中可以看出，经过深冷处理后试样的耐磨性普遍高于未经深冷处理试样，其中经-100 °C和-150 °C处理后，耐磨性的变化和保温时间之间没有明显的关系，说明此温度下耐磨性的提高主要是通过残余奥氏体向马氏体的转变来实现的。而-196 °C深冷处理，随着保温时间的延长，耐磨性有增加的趋势，说明该温度下

表3 热处理工艺参数
Table 3 Heat treatment process parameters

淬火					回火			
升温时间	淬火温度 /°C	保温时间 /min	冷却方式	淬火后深冷前间隔时间/min	升温时间	回火温度 /°C	保温时间 /min	冷却方式
到温装炉	840	20	室温油冷	20	到温装炉	160	150	空冷

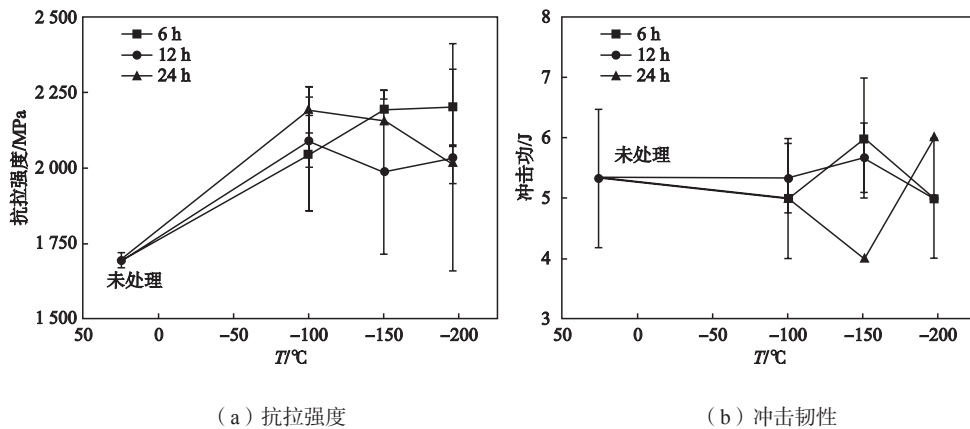


图3 不同工艺处理对CrWMn钢抗拉强度和冲击韧性的影响
Fig. 3 Tensile strength and impact energy of CrWMn steel treated by different processes

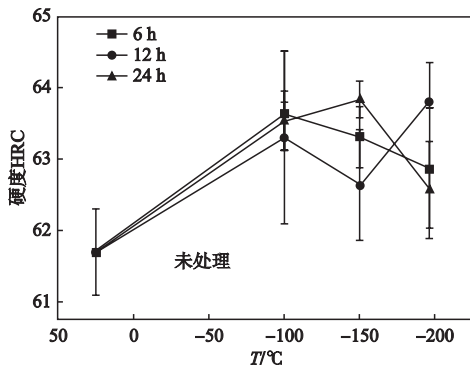


图4 CrWMn钢不同工艺处理后硬度测试结果
Fig. 4 Hardness of CrWMn steel treated by different processes

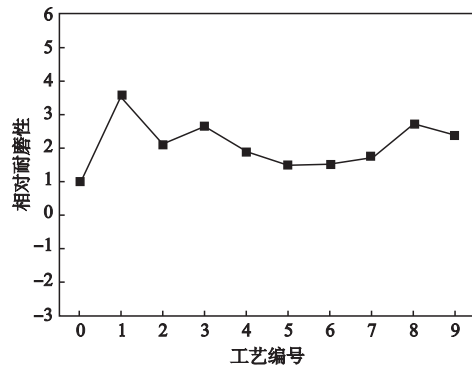


图5 CrWMn钢摩擦磨损相对耐磨性
Fig. 5 Relative wear resistance of CrWMn steel

开始析出超细碳化物颗粒^[8]，并且碳化物颗粒的析出随保温时间的延长而增加，达到一定时间（12 h）后继续保温则对耐磨性没有改善效果。对比发现，M-1试样相对耐磨性最大，其耐磨性比未深冷处理的试样提高了约250%。因此，提高CrWMn钢耐磨性的最佳深冷处理工艺为-100 ℃/6 h（M-1）。

2.3 金相组织

CrWMn属于典型的低合金工具钢，淬火后残余奥氏体含量较高，一般能达到10%左右，深冷处理能够使残余奥氏体的含量显著降低，从而提高硬度、强

度和耐磨性。此外，由于深冷处理过程中部分马氏体板条发生碎化，从而使得晶粒细化。不同工艺处理后CrWMn微观组织如图6所示。从图中可以看出，CrWMn基体组织为典型的回火马氏体组织，马氏体基体上弥散分布着白色的碳化物颗粒，由于深冷处理析出的二次碳化物颗粒细小，难以通过金相手段检测到。深冷处理对CrWMn的力学性能及耐磨性有明显的改善效果，其微观机理主要体现在残余奥氏体向马氏体的转变以及马氏体基体上析出超细碳化物颗粒。刘勇等^[7]研究表明，抗拉强度、硬度的提高主要由深冷处理使残余奥氏体转变为马氏体所导致。

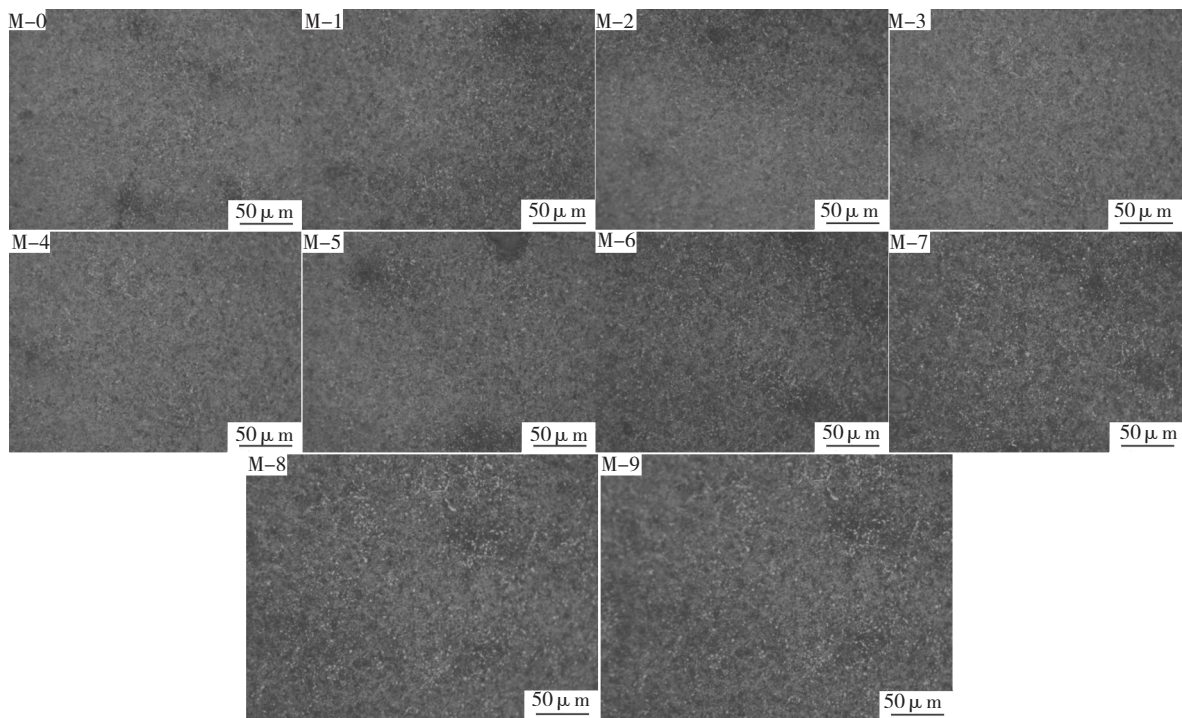


图6 CrWMn钢不同工艺处理后微观组织
Fig. 6 Microstructure of CrWMn steel treated by different processes

3 结论

（1）深冷处理能够使CrWMn钢残余奥氏体的含量显著降低，并且部分马氏体板条发生碎化，产生晶粒细化，从而提高硬度、抗拉强度和耐磨性。

（2）改善抗拉强度的最佳处理工艺为-196 ℃/6 h，抗拉强度达到最大值2 200.0 MPa，相对未经深冷处理的抗拉强度提高了约30%；而为获得较好的抗拉强度和冲击韧性匹配，深冷处理工艺应为-150 ℃/6 h。

（3）CrWMn钢经深冷处理后耐磨性有较大提高。提高耐磨性的最佳处理工艺-100 ℃保温6 h，此工艺下耐磨性比未深冷的耐磨性提高了约250%。

参考文献:

- [1] 周健, 李立君, 曹志强. CrWMn钢激光宽带相变强韧化处理 [J]. 金属热处理, 2008, 33 (4): 52-54.
- [2] 徐洪烟, 袁国定, 周建忠. CrWMn钢激光相变硬化层的耐磨性 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2004, 33 (1): 129-132.
- [3] 张红, 王俊杰, 郭嘉. 深冷处理对3Cr13对组织和力学性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2008 (22): 64-66.
- [4] 闫献国, 庞思勤, 李永堂. 高速钢身冷处理技术研究进展 [J]. 新技术新工艺, 2008 (3): 14-18.
- [5] 陈鼎, 肖廷, 蒋琼, 等. 深冷处理对钢铁材料耐磨性的影响 [J]. 矿冶工程, 2010, 30 (2): 107-111.
- [6] 邓黎辉, 汪宏斌, 李绍宏, 等. 高强韧冷作模具钢深冷处理性能及组织 [J]. 材料热处理学报, 2011, 32 (4): 76-81.
- [7] 刘勇, 于文平, 张金东. 田保红深冷处理对T8A钢组织和力学性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2010, 30 (10): 48-51.
- [8] 陈长风, 李士燕, 严密林, 等. 深冷处理对T12钢磨料磨损性能的影响 [J]. 金属热处理, 2000 (10): 12-14.

Effect of Cryogenic Treatment on Mechanical Properties of CrWMn Steel

HU Sheng-shuang¹, ZHANG Ying-yun¹, SHI Li-li¹, WANG Wen-bo¹, LIANG Xiao¹, XU Yong²

(1. Avic Xi'an Aircraft Industry(Group) Company Ltd., Xi'an 710089, Shaanxi, China; 2. Institute of Aeronautic and Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, Jiangxi, China)

Abstract:

The effects of cryogenic temperature and holding time on the mechanical properties and wear resistance of CrWMn steel were studied. The results show that cryogenic treatment can improve the hardness, tensile strength and wear resistance of CrWMn steel. The best treatment process to improve the tensile strength is $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 6 h; using this process, the tensile strength of the sample is 30% higher than that of the sample without cryogenic treatment. The best process to improve the wear resistance is to keep temperature at $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 6; under this process, the wear resistance of the sample is about 250% higher than that of the sample without cryogenic treatment.

Key words:

CrWMn steel; cryogenic treatment; mechanical properties; wear resistance