

Effects of Tempering Temperature on the Microstructures and Properties of Steel with High Strength and High Tenacity

Qingyan Han, Jiangan Wu

Dongfeng Investment Casting Co., Ltd., Shiyan City
Email: xiaxuexiaxue158@163.com

Received: Jan. 6th, 2014; revised: Jan. 10th, 2014; accepted: Jan. 24th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

After series of tests, the effects of tempering temperature on the microstructures and properties of steel with high strength and high tenacity during tempering were discussed. The result shows that: various performance indicators show little change in the temperature range of 560°C - 580°C; with the increase of tempering temperature, strength and hardness decrease and toughness increases in the temperature range 580°C - 670°C. Reason Analysis: due to the combined action of Sorbite and Carbide, the tensile strength and yield strength first increase and then decrease, on the contrary, the toughness descends first and then increases.

Keywords

Steel with High Strength and High Tenacity; Tempering Temperature; Structure; Properties

回火温度对高强高韧钢组织及性能的影响

韩庆艳, 吴建刚

东风精密铸造有限公司, 十堰市
Email: xiaxuexiaxue158@163.com

收稿日期: 2014年1月6日; 修回日期: 2014年1月10日; 录用日期: 2014年1月24日

摘要

经系列试验,研究了调质过程不同回火温度对高强高韧钢组织及性能的影响。试验表明:在560℃~580℃温度范围内,各项性能指标变化不大;在580℃~670℃温度范围内,随回火温度升高,强度与硬度降低,韧性提高。原因分析:抗拉强度和屈服强度先增大后减小,延伸率先减小后增大,这源于索氏体组织和碳化物的共同作用。

关键词

高强高韧钢; 回火温度; 组织; 性能

1. 引言

汽车由三万多个零部件组成,其中,承受载荷、传递功率的典型零件占汽车总质量的绝大部分,并且多数是由铸钢等金属材料制成。随着新时代汽车安全、舒适、自重轻、污染排放低、能耗小等要求,汽车零件的轻量化要求日渐迫切。解决问题的根本途径是要运用先进的科学技术,充分发挥金属材料的潜力,实现所用材料的高强韧化。

提高材料的力学性能,可以提高零件的抗疲劳、抗磨损、抗塑变及抗断裂的能力,为汽车的轻量化,安全性提供条件。在热处理工艺上将淬火+高温回火成为调质处理,淬火后获得了位错与孪晶马氏体的混合组织,以及存在残余奥氏体和碳化物,经过高温回火后,马氏体的分界、碳化物的弥散析出,残余奥氏体的转变、内应力的消除,最终获得回火索氏体组织,从而得到了良好的综合力学性能。经研究发现,通过高温回火工艺可以大幅度提高低合金钢的综合性能[1],本文主要研究了铸造低合金钢 ZG30CrMnSi 经不同回火温度对其强度、韧性及组织的影响,得到满足最优机械性能的最合适的回火温度。

2. 试验

试验对象材料为高强高韧钢,牌号为 ZG30CrMnSi,其化学成分见表 1。试验时将材料首先进行 900℃×2 h 的正火热处理,然后将试块分成五份,每份三根,分别在 560℃、580℃、600℃、620℃和 670℃进行历时 1.5 小时回火处理。将正火后的试块加工成标准试棒进行室温拉伸试验,将拉伸后试棒进行硬度及金相测试,金相测试采用常规金相样品处理方法。硬度试验采用布氏硬度计,拉伸试验采用 WF-60 液压式万能试验机。

3. 试验结果与讨论

3.1. 力学性能分析

温度升高时,原子活动能力增强,钢铁中的铁、碳和其他合金元素的原子可以较快地进行扩散,实现原子的重新排列组合,从而使不稳定的不平衡组织逐步转变为稳定的平衡组织。温度升高时金属强度降低,内应力消除。一般钢铁回火时,硬度和强度下降,塑性提高。回火温度越高,这些力学性能的变化越大[2]。

表 2 为经不同回火温度五组试棒的抗拉强度、屈服强度、延伸率及硬度值。将所有三个结果取平均值,得到图 1 和图 2 更为直观的各性能的趋势图。

如图 1 所示,随着回火温度的升高,试样抗拉强度和屈服强度先稍有增大,在 600℃回火时抗拉强

Table 1. Chemical composition of tested steel w (%)
表 1. 试验用钢化学成分 w (%)

C	Si	Mn	S, P	V	Cr	RE
0.26~0.32	0.5~0.8	0.8~1.0	≤0.030	0.03~0.06	0.4~0.6	微量

Table 2. Mechanical properties of heat-treated steels
表 2. 回火后各试样的力学性能

回火温度(°C)	σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	δ (%)	硬度(HB)	金相
560	978	1050	12	341	S
	955	1010	12	341	
	985	1060	12	321	
580	1005	1070	9	309	S
	975	1030	10	298	
	955	1040	10	292	
600	795	875	14	266	S
	770	870	14	271	
	740	855	14	269	
	760	865	12	263	
620	755	865	13	259	S
	755	865	14	263	
	730	830	18	239	
	735	835	18	247	
670	733	834	17	244	S

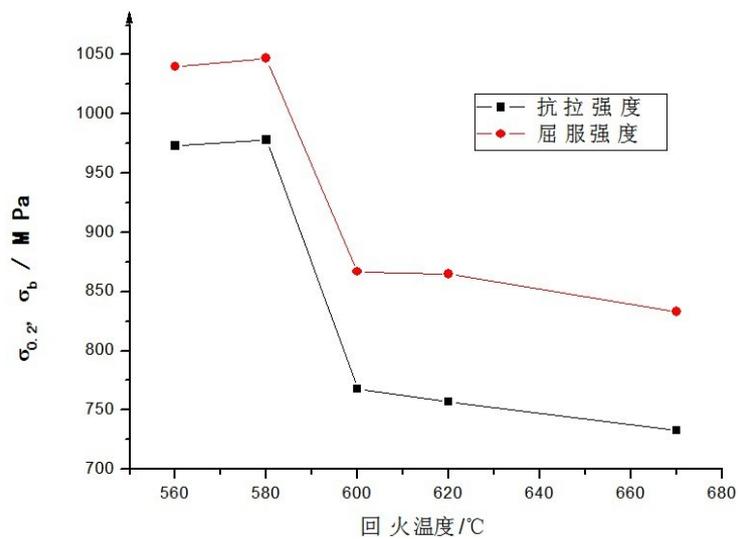


Figure 1. Effect of tempering temperature on the strength of material
图 1. 回火温度对材质强度的影响

度及屈服强度明显降低，大于此温度性能继续降低；延伸率的变化规律与抗拉强度变化恰相反(见图 2)，

先减小后增大但变化不是很大。

图 2 上部分曲线为不同回火温度下试棒硬度变化趋势，由图可见，硬度随之降低。这是由于 ϵ -碳化物转变为渗碳体，共格关系破坏以及渗碳体的聚集长大而导致[2]。回火过程中，随回火温度的升高，钢的韧性随着升高，可能原因是，回火过程中产生的合金碳化物首先与基体以共格关系析出，增加了基体的内应力，致钢的塑性较低，随着回火温度的升高，析出的合金化合物有聚集长大倾向，当析出物与基体脱离共格关系逐渐聚集长大时，基体的内应力会减小，有助于钢塑韧性的提高[3]。

3.2. 宏观断口分析

图 3 为拉伸试棒的宏观断口，用肉眼观察，在回火温度为 560℃ 和 580℃ 时，断口为暗灰色杯锥状，断面边缘有呈亮白色的剪切唇，有明显的撕裂棱，表面是韧窝型断裂[4]。回火温度升至 620℃ 以上宏观断口显示明显缩颈，与延伸率变化趋势相符。

3.3. 金相分析

不同回火态样品的金相组织不同，高温回火组织主要为索氏体、粒状碳化物、少量回火马氏体。其中索氏体呈等轴状、回火马氏体成板条状、粒状碳化物主要沿索氏体和回火马氏体边界析出。随着回火温度的升高，试验材质组织中回火索氏体的体积分数和平均晶粒尺寸增大，而回火马氏体的体积分数减小[5]，此现象也可以解释材质硬度变低的原因，由于硬度与强度有对应换算关系，故强度也变低，与试验结论相符(见图 4)，由图四可以看出组织特征差别不是很大，基本上为索氏体和少量回火马氏体，碳化物数量不多；回火温度为 620℃ 时，组织全部转化为索氏体，析出的碳化物数量增多；回火温度为 670℃ 时，索氏体平均尺寸最大，同时，析出的碳化物数量减少且聚集长大趋势增强[2]。该现象与图 3 对应的宏观断口形貌相匹配。

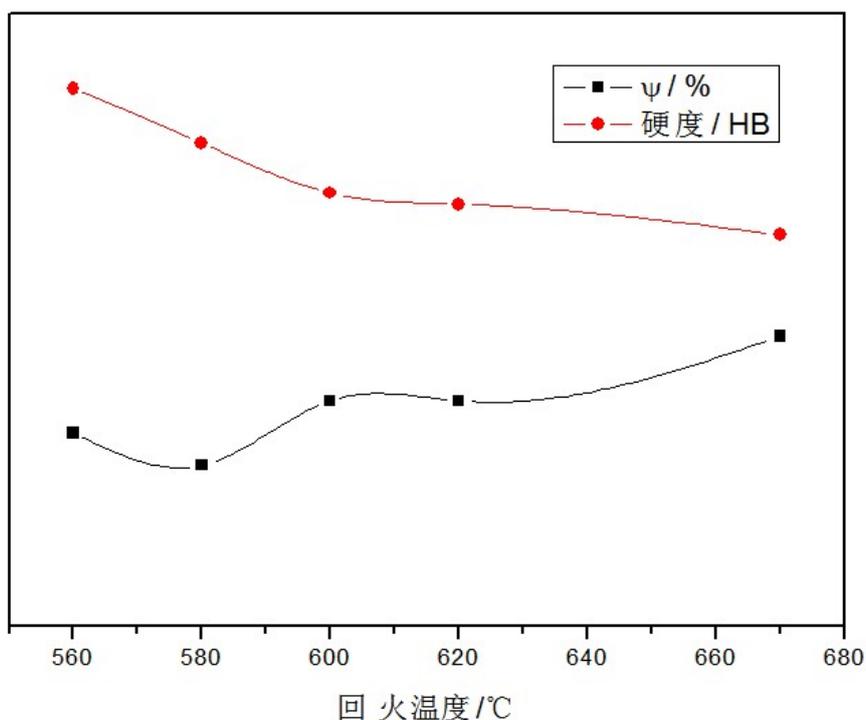


Figure 2. Effect of tempering temperature on the elongation and hardness change trend of material
图 2. 不同回火温度下试棒延伸率及硬度变化趋势



Figure 3. Tensile specimen macroscopic fracture at different tempering temperatures

图 3. 不同回火温度回火拉伸试棒宏观断口

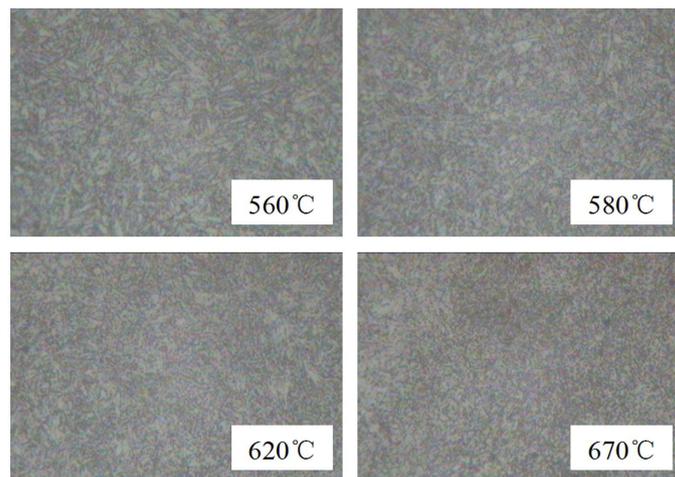


Figure 4. Microstructures of the tested steel at different tempering temperatures/500×

图 4. 不同回火温度材质的显微组织/500×

4. 结论

1) 回火温度在 560°C~670°C 范围内, 试验材料抗拉强度和屈服强度先少量增大后减少, 延伸率先少量减少后增大, 硬度降低, 这是由于索氏体转变和碳化物析出两种组织变化的综合反映。

2) 高强高韧钢回火工艺对于提高综合性能是有益的, 为获得最优的机械性能, 回火温度确定在 580°C 左右。

参考文献 (References)

- [1] 刘永铨 (1981) 钢的热处理. 冶金工业出版社, 北京.
- [2] 崔忠圻 (1999) 金属学与热处理. 哈尔滨工业大学机械工业出版社, 哈尔滨, 280-286.
- [3] Hui, W.J. (2002) Effect of heat treatment parameters on mechanical properties of high strength Cr2Mo2V steel. *Acta Metallurgica Sinica*, **38**, 1009-1014.
- [4] 牛靖, 董俊明 (2006) 超高强钢 30CrMnSiNi2A 冲击韧性试验研究. *机械强度*, **4**, 607-610.
- [5] 贺秀丽, 关小军, 徐洪庆 (2007) 回火温度对高强度容器钢组织结构域性能的影响. *山东轻工业学院学报*, **3**, 66-68.