

# 热处理工艺对 30CrNiWVA 钢的组织 和力学性能的影响

王毛球 董 瀚

( 钢铁研究总院结构所 北京 100081 )

李建新

( 抚顺特殊钢股份有限公司 抚顺 112001 )

**文 摘** 研究了一种新型低合金超高强度钢 30CrNiWVA 经不同温度淬火、回火后的力学性能和微观组织的变化规律。结果发现,淬火温度在 900 ~ 940、回火温度在 340 左右时,30CrNiWVA 钢回火马氏体组织均匀细小, $\sigma_b$  1 700 MPa、 $\sigma_{0.2}$  1 500 MPa、 $\delta_5$  12 %、 $\psi_5$  55 %、 $A_{ku}$  50 J,可以满足某些航空结构件在 350 回火后高强度和高韧性的要求。

**关键词** 超高强度钢,热处理,力学性能

## Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of High Strength Steel 30CrNiWVA

Wang Maoqiu Dong Han

( Central Iron & Steel Research Institute Beijing 100081 )

Li Jianxin

( Fushun Special Steel Co. Ltd. Fushun 112001 )

**Abstract** In this paper, high strength steel 30CrNiWVA was thermally treated under different quenching and tempering temperatures so as to investigate the effect of heat treatment on its microstructure and mechanical properties. The results show that, after 900 ~ 940 quenching and about 340 tempering, the steel was composed of fine martensitic microstructure and had superior mechanical properties as follows:  $\sigma_b$  1 700 MPa,  $\sigma_{0.2}$  1 500 MPa,  $\delta_5$  12 %,  $\psi_5$  55 %,  $A_{ku}$  50 J. 30CrNiWVA can meet with the requirement of both high strength and high toughness of aerospace components with high resistance to tempering softening.

**Key words** High strength steel, Heat treatment, Mechanical property

### 1 前言

低合金超高强度钢如 4340 和 300M 等经淬火和低温回火后获得回火马氏体组织,具有较高的强度和比强度<sup>[1~4]</sup>,在航空航天应用范围较大。由于其回火温度低于 300,抗热性能较差,因此使用温度

一般较低<sup>[1]</sup>。随着现代高速飞行器的发展,对材料的抗热性要求日益提高<sup>[2]</sup>,为此有必要开发使用温度高于 300 的低合金超高强度钢。30CrNiWVA 钢就是根据这一要求设计的一种新型低合金超高强度钢。为解决淬火马氏体回火软化的问题,需要阻止

收稿日期:2001-08-16

王毛球,1970 年出生,博士后,主要从事合金结构钢的基础和应用研究工作

宇航材料工艺 2002 年 第 4 期

— 41 —

淬火马氏体回火时碳化物的析出。30CrNiWVA 钢成分设计特点如下:通过增加 Si 含量和降低 C 含量来抑制回火碳化物的析出,添加 Cr 和 Ni 来提高淬透性,添加 V 来控制晶粒大小以细化组织,添加 W 来提高红硬性。本文对不同淬火和回火工艺下,30CrNiWVA 钢的组织 and 性能变化规律进行研究,探索其最佳淬火及回火热处理工艺。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料及热处理

试验用 30CrNiWVA 钢是抚钢电渣重熔料,其成分为 Fe - 0.32C - 0.70Mn - 1.13Si - 1.03Cr - 0.85Ni - 0.66W - 0.09V - 0.007P - 0.005S(%,质量分数)。利用热膨胀方法,测得其相变点温度依次为: $A_{c_3} = 835$ ,  $A_{c_1} = 710$ ,  $M_s = 325$ ,  $M_f = 190$ 。在 400 mm × 400 mm × 45 mm 热轧板坯上取纵向冲击试样和拉伸试样毛坯,经 920 × 20 min 奥氏体化后正火,并在 870 ~ 960 不同温度下淬火,淬火介质为油,然后在 200 ~ 430 不同温度下回火 2 h,空冷。

### 2.2 力学性能测试方法

热处理后的试样毛坯进行磨削精加工。单轴拉伸实验在 AMSLER-50 型材料实验机上进行,试样标距为 25 mm,采用的应变速率为  $10^{-2}$ /s。冲击实验则在冲击机上进行,采用夏比 U 型缺口试样。采用三点弯曲试验方法测试断裂韧性,试样厚度  $B = 15$  mm。

### 2.3 微观组织测试方法

从冲击试样上切取金相试样,经研磨、抛光和 2% 硝酸酒精溶液浸蚀后在 Neophot-1 型金相显微镜上观察微观组织。在 KYKY-1000B 型扫描电镜上观察冲击断口形貌。

## 3 结果与分析

### 3.1 淬火温度的影响

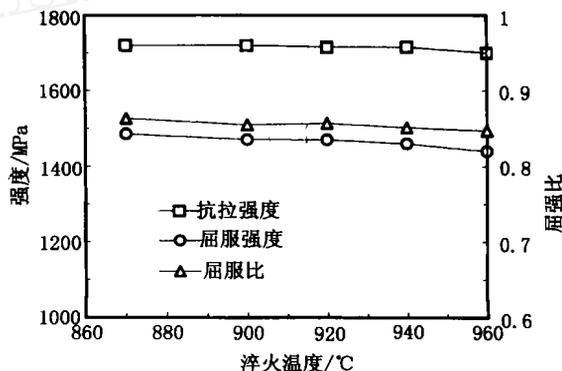
图 1 给出了淬火温度对 30CrNiWVA 钢力学性能的影响。从图 1(a) 中可见,经 870 ~ 960 淬火和 340 回火后,30CrNiWVA 钢的抗拉强度在 1 700 MPa 以上,屈服强度在 1 450 ~ 1 500 MPa 之间,屈强比在 0.85 左右。随淬火温度的升高,抗拉强度和屈服强度都呈下降趋势,并且屈服强度下降的程度稍大,屈强比降低。利用线性回归的方法可以得 30CrNiWVA 钢在 870 ~ 960 之间淬火和 340 回火后的屈服强度  $\sigma_{0.2}$  与淬火温度  $T_a$  的关系(相关系

数  $R^2 = 0.9$ ) 如下:

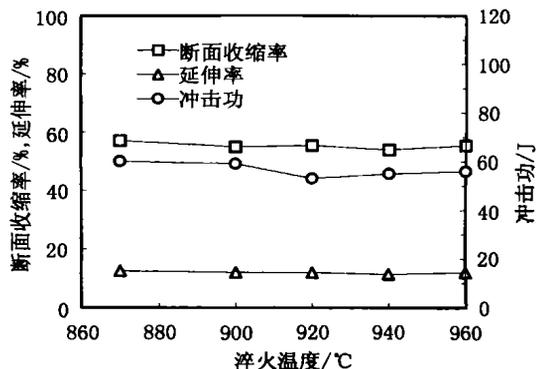
$$\sigma_{0.2} = 1500 - 0.45(T_a - A_{c_3}) \quad (1)$$

其中  $A_{c_3}$  为 835。可见当淬火温度提高 100 时,屈服强度降低约 45 MPa。

从图 1(b) 还可看出,30CrNiWVA 钢在 870 ~ 960 之间淬火和 340 回火后具有良好的塑性和较高的冲击功,断面收缩率约为 55%,延伸率约为 12%,冲击功为 50 J ~ 60 J。随淬火温度的升高,塑性和冲击功变化不大。



(a) 淬火温度对强度影响



(b) 淬火温度对塑性和冲击功的影响

图 1 淬火温度对 30CrNiWVA 钢力学性能的影响

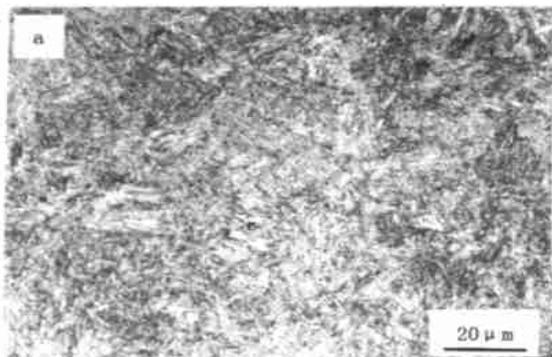
Fig. 1 Influence of quenching temperature on mechanical property

图 2 为 30CrNiWVA 钢在经 900 和 960 淬火再经 340 回火后的微观组织,可见所得组织均为回火马氏体组织。由于 Si 的加入,使得回火时碳化物的析出和转变推迟。随淬火温度的升高,马氏体板条束尺寸增大。图 2 组织还含有少量白色残余奥氏体。淬火时残余奥氏体含量与  $M_s$  点温度和淬火后温度  $T_q$  有关,由下式计算<sup>[3]</sup>:

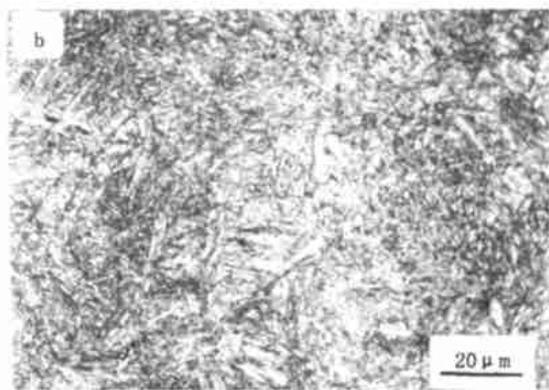
$$V = \exp[-1.1 \times 10^{-2}(M_s - T_q)] \quad (2)$$

宇航材料工艺 2002 年 第 4 期

热膨胀法测定试验用 30CrNiWVA 钢的  $M_s$  点为 325 ,利用式(2) 计算得淬火冷却到 25 时残余奥氏体的含量仅为 4 %。



(a) 900 淬火 + 340 回火



(b) 960 淬火 + 340 回火

图 2 30CrNiWVA 钢在经淬火回火后的微观组织

Fig. 2 Optical morphologies of specimens quenched and tempered

随淬火温度的升高,一方面奥氏体晶粒长大,淬火后马氏体板条束尺寸增大,强度下降;另一方面碳化物的溶解更充分,特别是 V 的碳化物一般要在 900 以上时才会大量溶解在奥氏体中,合金元素的固溶强化和回火时碳化物的析出强化会使强度升高。两方面综合作用,结果强度随淬火温度的升高而稍有下降。由此可见,30CrNiWVA 钢的最佳淬火温度范围为 900 ~ 940 。

### 3.2 回火温度的影响

图 3 给出了回火温度对 30CrNiWVA 钢力学性能的影响。利用式(3) 所示低合金超高强度钢淬火后强度与碳含量 (C) 的关系计算得出试验用 30CrNiWVA 钢的淬火强度为 1 760 MPa<sup>[1]</sup>。

$$\sigma_b = 2940 C + 820 \quad (3)$$

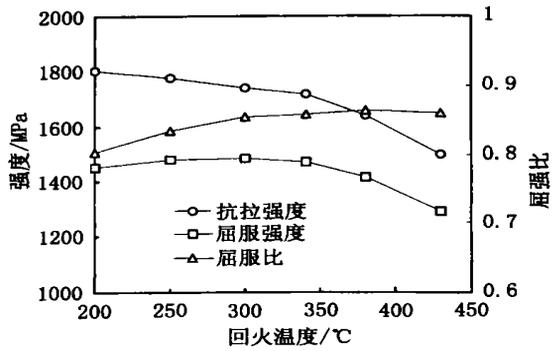
宇航材料工艺 2002 年 第 4 期

从图 3(a)中可以看出,低于 340 回火时,随回火温度的升高抗拉强度稍有下降,但都在 1 700 MPa 以上,与淬火后强度相当。380 回火抗拉强度下降至 1 640 MPa,而 430 回火抗拉强度下降到 1 500 MPa。从屈服强度来看,低于 380 回火,随回火温度的升高屈服强度下降幅度很小;在 250 ~ 350 之间回火时,屈服甚至出现峰值;随回火温度的升高,屈强比有所增加。

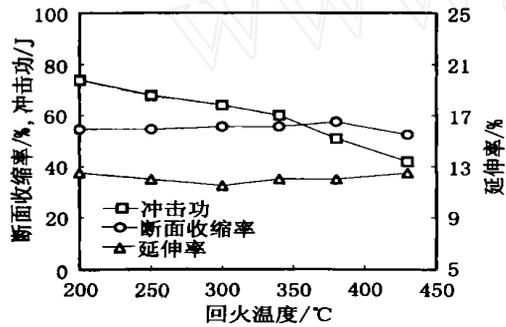
从图 3(b)中可见,随回火温度的升高,延伸率和断面收缩率等塑性指标变化不大,延伸率约为 12 %,断面收缩率约为 55 %。可见,30CrNiWVA 钢在低温回火条件下具有优良的塑性,在 430 以下回火温度对塑性影响不大。在图 3(b)中随回火温度的升高,冲击功下降。在 250 ~ 340 回火时,冲击功在 60 J 以上,下降幅度较小。当回火温度升高到 430 时,冲击功降低到 40 J,下降幅度较大。试验用 30CrNiWVA 钢中 P 含量较低,并且其淬火组织中残余奥氏体含量较低,因此其回火马氏体脆性并不明显,并且由于 Si 含量的提高,脆性倾向推迟到 380 以上。从图 4 所示冲击试样的断口形貌可以看出,当回火温度为 250 时,断口的纤维区为典型的韧窝断裂方式,非稳扩展区为韧窝和准解理混合断裂方式。当回火温度为 430 时,断口纤维区的韧窝比较浅,非稳扩展区中没有韧窝出现,由准解理面组成。另外,在 340 左右回火后 30CrNiWVA 钢具有较高的断裂韧性,其  $K_{IC}$  值高于 90 MPa · m<sup>1/2</sup>。综合回火温度对力学性能的影响可见,30CrNiWVA 钢的最佳回火温度范围为 300 ~ 350 。

图 5 为 30CrNiWVA 钢在 920 淬火经 200 ~ 430 回火后的微观组织。当回火温度低于 340 时,为回火马氏体组织,马氏体板条束清晰可见;此时,随回火温度的升高,组织没有明显变化。当回火温度在 380 以上时,组织中出现了回火屈氏体,特别是当回火温度为 430 时,组织中全为回火屈氏体。由于碳化物在晶界处的析出和长大,430 回火组织中 原奥氏体晶界清晰可见。

4340 钢<sup>[5]</sup>在 340 回火后也为回火马氏体组织,其力学性能:  $\sigma_b$  1 600 MPa、 $\sigma_{0.2}$  1 400 MPa、 $\delta_5$  13 %、 $\psi_{50}$  50 %、 $A_{ku}$  40 J。与 4340 钢相比,30CrNiWVA 钢由于马氏体组织细小,在 340 回火后强度较高,而且塑性和韧性较好。



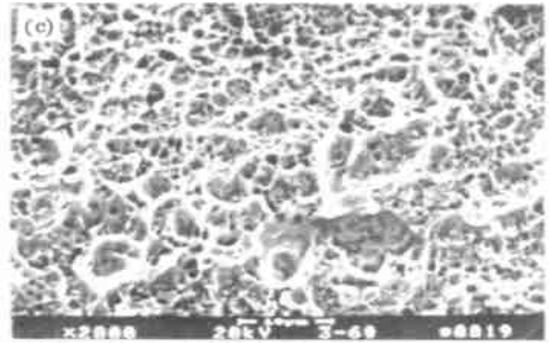
(a) 回火温度对强度影响



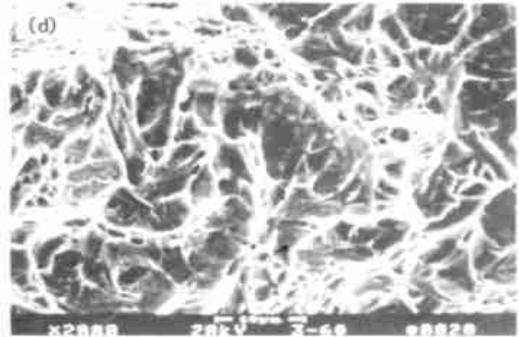
(b) 回火温度对塑性和冲击功的影响

图3 回火温度对30CrNiWVA钢力学性能的影响

Fig. 3 Influence of tempering temperature on mechanical property



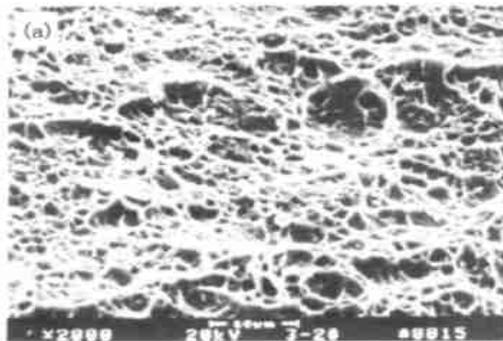
(c) 430 回火纤维区



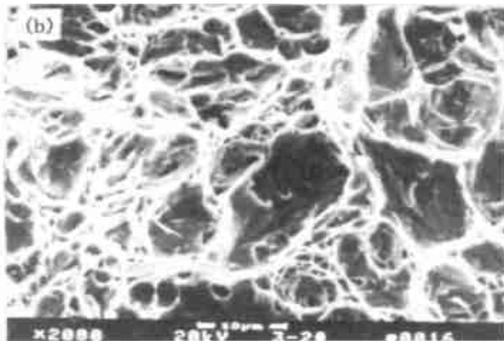
(d) 430 回火非稳扩展区

图4 30CrNiWVA钢的典型冲击断口形貌

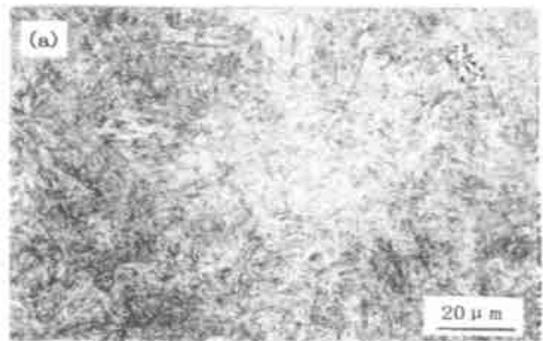
Fig. 4 Typical fractographs of CUN impact specimens



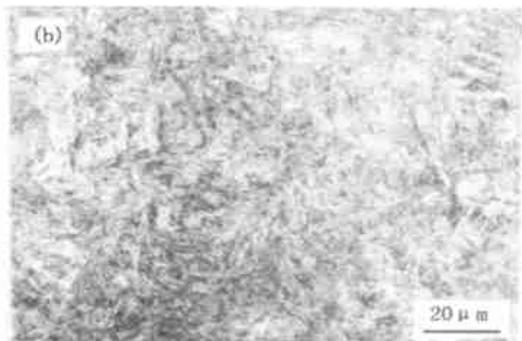
(a) 250 回火纤维区



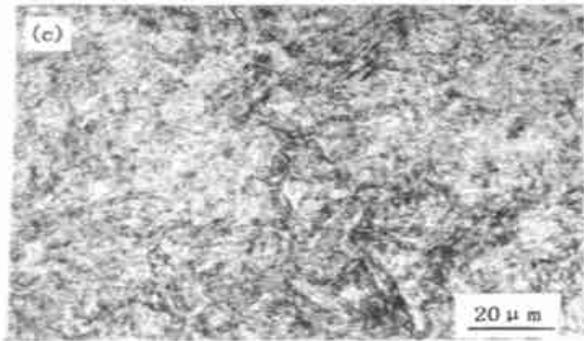
(b) 250 回火非稳扩展区



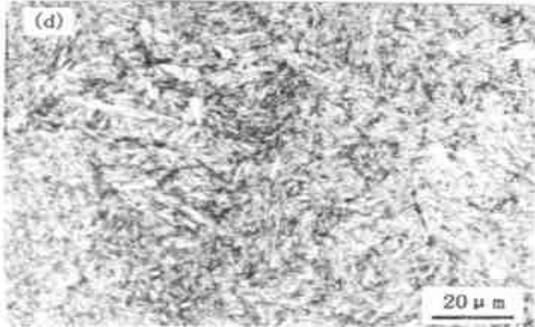
(a) 920 淬火 + 250 回火



(b) 920 淬火 + 340 回火



(c) 920 淬火 + 380 回火



(d) 920 淬火 + 430 回火

图 5 30CrNiWVA 钢经 920 淬火和不同温度回火后的微观组织

Fig. 5 Optical morphologies of specimens quenched at 920 and tempered at different temperature

#### 4 结论

(1) 随淬火温度的升高, 30CrNiWVA 钢的强度下降、塑性和韧性变化不大, 最佳淬火温度范围为 900 ~ 940 。随回火温度的升高, 30CrNiWVA 钢的强度下降、塑性变化不大、冲击功降低, 最佳回火范围为 300 ~ 350 。

(2) 经 900 ~ 940 淬火和 300 ~ 350 回火后, 30CrNiWVA 钢为均匀细小的回火马氏体组织, 力学性能:  $\sigma_b$  1 700 MPa、 $\sigma_{0.2}$  1 500 MPa、 $\delta_5$  12 %、55 %、 $A_{ku}$  50 J。可以满足航空结构件高强度高韧要求。

#### 参考文献

- 1 项程云. 合金结构钢. 北京: 冶金工业出版社, 1999: 279 ~ 283
- 2 赵振业. 合金钢设计. 北京: 国防工业出版社, 1999: 117 ~ 154
- 3 Krauss G. Deformation and fracture in martensitic carbon steels tempered at low temperatures. Metall Mater. Trans. A, 2001; 32A(4): 861 ~ 877
- 4 Tomita Y. Development of fracture toughness of ultrahigh strength low alloy steels for aircraft and aerospace applications. Mater. Sci. & Tech., 1991; 7(6): 481 ~ 489
- 5 Brooks C R. Principles of the heat treatment of plain carbon and low alloy steels. ASM International, 1996

(编辑 李洪泉)

## 高纯三氧化钨制备新工艺

本成果研究成功常温萃取—常温反萃取法制备高纯三氧化钨新工艺, 是将黑钨精矿压煮得到钨酸钠溶液, 经预处理后用活性有机试剂(各种胺类), 把其中有效成分钨提取出来, 获得纯化与转型效果。所得纯净的钨溶液经蒸发结晶, 便得到高纯的仲钨酸铵。此产品可作商品出口或内销, 广泛用于生产硬质合金、钨丝等。

本工艺技术先进, 在萃取—反萃取全过程中不需要加热, 操作简便, 重现性好, 粒度控制稳定。萃取率和反萃取率都大于 99.9 %, 产品中三氧化钨含量超过 99.95 %, 达到高级纯度标准。

本工艺废水废气可循环使用, 明显减少“三废”, 工艺流程简短, 使生产周期缩短三分之一, 大大提高了生产效率, 减轻了劳动强度。经济效益与社会效益可观。

· 李连清 ·