

不同时效状态 3J21 合金拉伸性能

金晓鸥¹ 张松愉² 薛文博¹ 何世禹²

(1 黑龙江大学建筑工程学院, 哈尔滨 150086)

(2 哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

文 摘 在万能拉伸试验机上对大气环境下欠时效态、峰时效态和过时效态 3J21 合金的拉伸性能进行研究, 并采用金相显微镜、X 射线衍射仪对各时效态金相组织及物相进行分析, 采用 TEM 对固溶态、时效态试样及拉伸断口附近形变的显微组织进行分析, 采用扫描电镜对拉伸断口进行观察。结果表明, 峰时效态 3J21 合金的拉伸强度和屈服强度均略高于欠时效态和过时效态合金, 但其伸长率略低于欠时效态和过时效态合金; 各时效态合金的拉伸断口均为韧窝断口, 欠时效态合金断口附近显微组织中滑移线之间的距离最小, 峰时效态合金滑移线之间的距离最大, 而过时效态合金滑移线之间的距离介于两者之间。

关键词 3J21 合金, 时效, 拉伸性能

Tensile Properties of 3J21 Alloy at Different Aged States

Jin Xiaou¹ Zhang Songyu² Xue Wenbo¹ He Shiyu²

(1 School of Architecture and Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150086)

(2 School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract A study was conducted of the tensile properties of 3J21 alloy at under-aged, peak-aged and over-aged states on a universal tensile test machine at room temperature under atmospheric conditions. Moreover, a metallographic microscope and X-ray diffractometer were used to analyze the metallographic structure and physical phase of the alloy at various aged states. By employing a transmission electron microscope an analysis was conducted of the specimens of solid solution state and aged state as well as the microstructure of deformation near the tensile fracture. With the use of a scanning electron microscope a tensile fracture was observed. It is found that at room temperature and peak-aged state the strength of extension and yield strength of 3J21 alloy are slightly higher than those of the alloy at under-aged and over-aged states. However, its elongation rate is lower than that of the alloy at under-aged and over-aged states. The tensile fracture of the alloy at various aged state is, without exception, of the dimple fracture. The distance between the slip lines in the microstructure near the fracture of the alloy at under-aged state is the smallest, while that of the alloy at peak-aged state is the largest. The distance between the slip lines of the alloy at over-aged state assumes a value intermediate of the above two distances.

Key words 3J21 alloy, Aging, Tensile

0 引言

3J21 合金被认为是综合性能最好的钴基高弹性合金之一。已有研究结果表明^[1-4]对该合金进行形变热处理后, 可获得高的弹性性能、强度、硬度、耐磨性、耐疲劳性和无磁性等, 同时在许多介质中具有很高的耐腐蚀能力, 具有一定的热稳定性和较低的缺口敏感性。因此 3J21 合金在国防和民用工业领域都有

广泛的应用。适宜制作小截面的弹性元件以及航空航天器上的精密器件, 航天器的空间工作环境具有特殊性和复杂性, 如: (1) 真空环境 (真空度约为 $10^{-12} \sim 10^2$ Pa); (2) 高低温交变的环境 (约 $-200 \sim 199$); (3) 紫外线和高能粒子的辐射; (4) 近地轨道原子氧的侵蚀。在这样的环境下工作会使合金的性能受到影响, 为保持其性能的稳定性的, 在制造前需进

收稿日期: 2008 - 07 - 31

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999065005)

作者简介: 金晓鸥, 1962 年出生, 副教授, 主要从事材料可靠性模拟研究。E-mail: hanjin8623@163.com

行时效处理。本文主要以大气条件下欠时效态、峰时效态和过时效态 3J21 合金为典型材料,研究不同时效状态对合金拉伸性能及断裂行为的影响,为设计选材提供理论依据。

1 实验

3J21 合金的化学成分见表 1。

表 1 3J21 合金化学成分

Tab 1 Chemical composition of 3J21 alloy % (质量分数)						
C	Si	Mn	Co	Ni	Cr	Mo
0.08	0.55	1.9	40	15	20	7.0

3J21 合金在真空炉中进行固溶处理,工艺为 (1 180 ±5) 保温 1.5 h 水淬后,经 30% 冷轧变形制成 1.1 mm 薄板,在 450 的恒温箱中进行时效处理^[5],时效过程中每间隔一定时间取样进行维氏硬度测试,硬度实验在 HVS-5 型维氏硬度试验机上进行,载荷为 1 kg,加载时间为 10 s,物镜放大倍数为 40 倍。所得时效硬化曲线如图 1 所示。该曲线的变化规律与时效过程中发生冷变形应力的消失和回复以及第二相粒子从固溶体中析出这两个过程有关。但在本阶段尚未深入探讨它们的微观结果,不能准确解释该曲线的变化规律,有待进一步研究。

根据图 1 选定的欠时效时间为 4 h,峰时效时间为 8 h,过时效时间为 14 h,时效后将薄板沿轧制方向剪成板状试样。拉伸实验在 3-71 万能拉伸机上进

行,夹头的移动速度为 2.4 mm/min,采用计算机与记录仪同时记录试样的应力-应变曲线。实验后对 3J21 合金冷轧态组织进行金相分析,采用 X 射线衍射仪和 TEM 对各时效状态合金的组织与微观结构以及拉伸断口附近的微观组织进行观察和分析,采用 SEM 扫描电镜观察拉伸断口形貌。

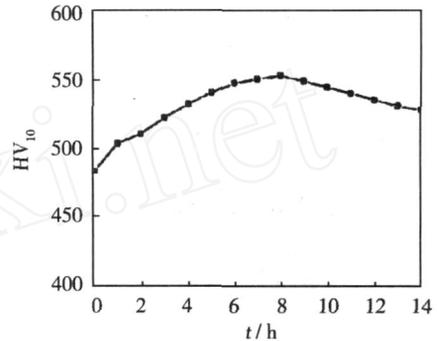


图 1 3J21 合金 450 时效硬化曲线

Fig 1 Age-Hardening curve of 3J21 alloy at 450

2 结果与分析

2.1 微观组织

2.1.1 金相组织分析

图 2 为不同状态 3J21 合金的金相组织。可以观察到 3J21 合金经固溶处理冷轧后的组织为单一的、晶粒大小较为均匀的、面心立方结构的 (Co) 固溶体。不同时效态的金相组织晶粒大小接近,平均粒径约为 3 μm。

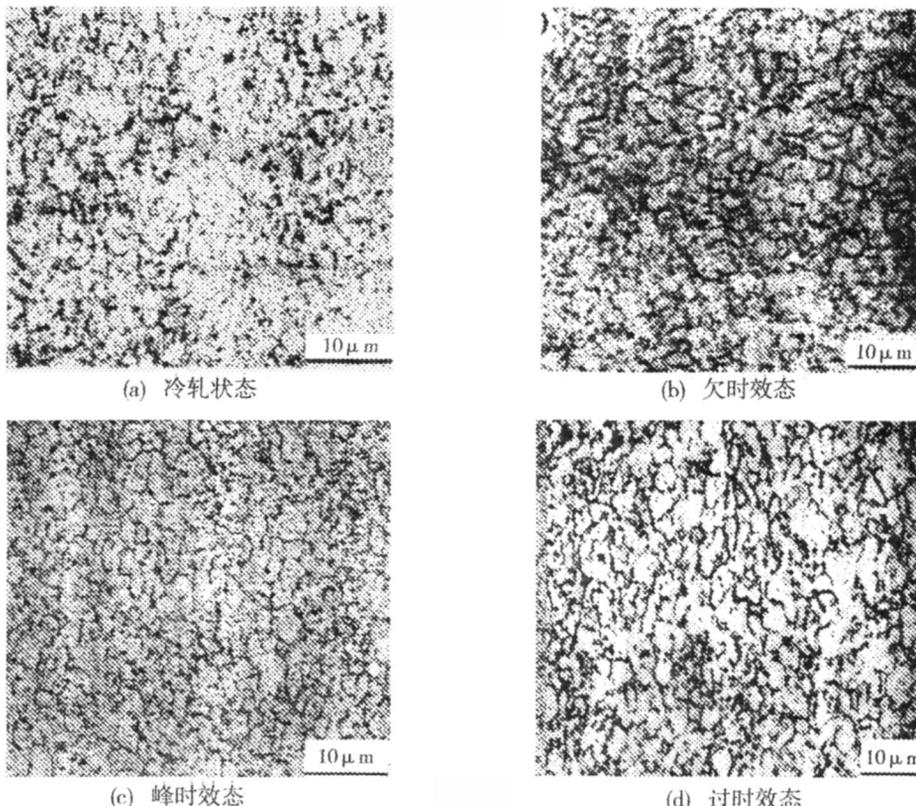


图 2 不同状态 3J21 合金金相组织

Fig 2 Metallographic structure of 3J21 alloy at different states

2.1.2 XRD 分析

图 3 为冷轧状态和欠时效态 3J21 合金的 X 射线衍射图。结果表明,3J21 合金经固溶处理冷轧后的组织为面心立方结构的 (Co) 固溶体。欠时效态 3J21 合金结构未发生改变,仍然是面心立方结构,而且在 450 没有发现第二相。

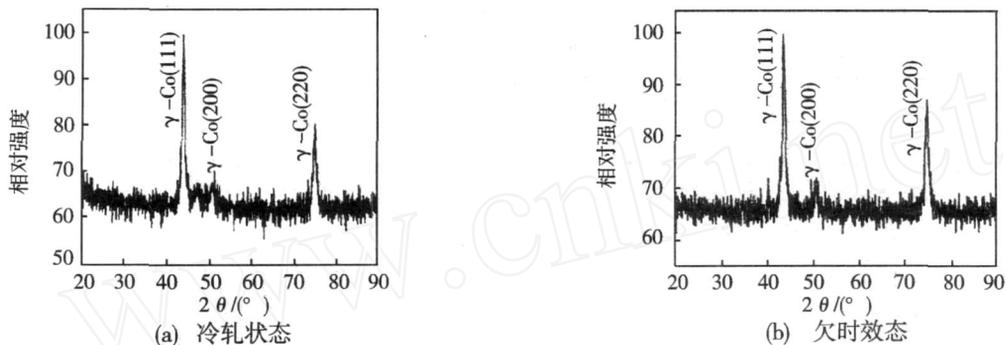


图 3 不同状态 3J21 合金 X 射线衍射图

Fig 3 X-ray diffraction diagram of 3J21 alloy at different states

2.1.3 TEM 分析

图 4 为冷轧状态和欠时效态 3J21 合金的 TEM 照片。观察显示 3J21 合金经固溶处理冷轧后位错密度增高,形成胞状亚结构,有大量的滑移痕迹。欠时效态 3J21 合金位错密度明显降低,但仍可看到大量的滑移痕迹,没有发现析出相。采用 TEM 观察两种状态的组织和结构,与 X 射线衍射结果一致。

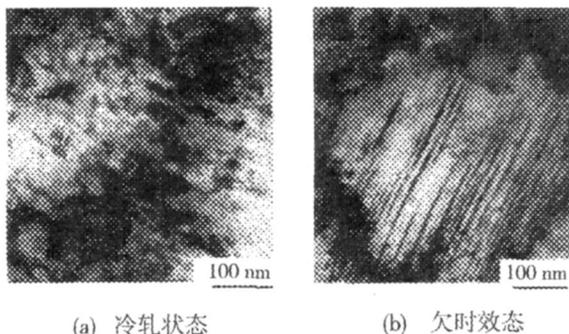


图 4 不同状态 3J21 合金的 TEM 照片

Fig 4 TEM micrograph of 3J21 alloy at different states

2.2 拉伸性能

不同时效态 3J21 合金的拉伸性能测试结果见表 2。

表 2 不同时效状态 3J21 合金拉伸性能

Tab 2 Tensile properties of 3J21 alloy at different aged states

时效状态	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%
欠时效态	1693	1839	3.7
峰时效态	1779	1897	2.6
过时效态	1766	1868	2.8

3J21 合金不同时效状态下的应力 - 应变曲线如

文献 [6] 认为,3J21 合金的回火强化主要是弥散的第二相金属间化合物 Fe_3Mo 和碳化物析出所致。但多数研究证实,只有当回火温度大于 600 时才可发现第二相。小角度 X 射线衍射结果证明,当回火温度为 600~650 时,只可看到 1~10 nm 的不均匀区,当回火温度为 700 时才出现碳化物相。

图 5 所示。从表 2 和图 5 可见,峰时效态 3J21 合金的拉伸强度和屈服强度最大,伸长率最低。欠时效态与过时效态的拉伸强度和屈服强度相差不大,但欠时效态合金的伸长率比过时效态的高一些。这说明工程上多使用欠时效态 3J21 合金不但能够保证该合金的强度指标,同时也能保证合金具有良好的塑性。

不同时效状态对 3J21 合金拉伸性能的影响不大。这可能是在时效时,冷变形应力消失与回复使得拉伸强度降低,而第二相粒子弥散析出又使拉伸强度提高两方面共同作用的结果。不同时效状态微观组织对拉伸性能的影响还有待进一步研究。

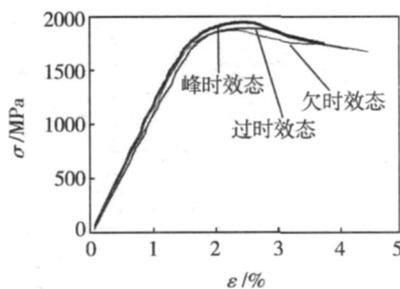


图 5 3J21 合金不同时效态下的应力 - 应变曲线

Fig 5 Stress-Strain curves of 3J21 alloy at different aged states

2.3 拉伸断口分析

2.3.1 宏观分析

图 6 为不同时效态 3J21 合金拉伸断口 SEM 照片。可观察到各时效态断口都是正断^[7],由中间粗糙不平的纤维区和剪切唇组成,纤维区又由无数纤维状“小峰”组成。在靠近断口区域,都有颈缩发生。

欠时效态拉伸断口的纤维区最大,峰时效态次之,过时效态纤维区最小,三种断口均未呈现光亮的金属亮色,都是延性断裂。

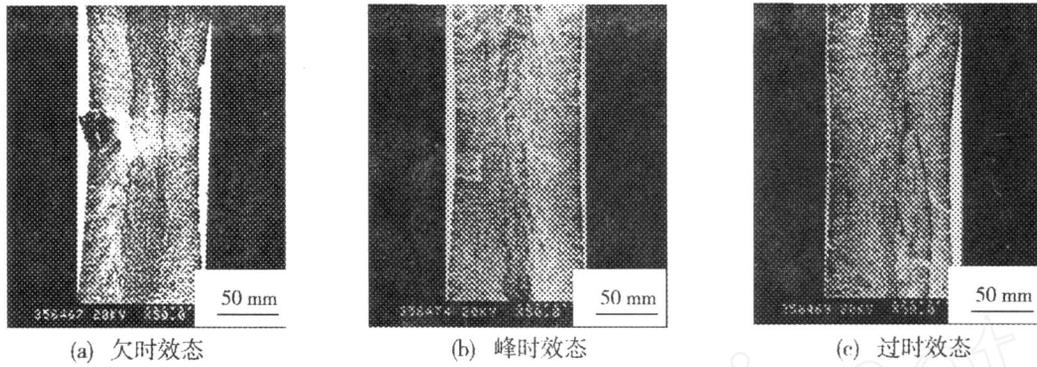


图 6 不同时效态 3J21合金拉伸断口 SEM照片

Fig 6 SEM micrographs of tensile fracture of 3J21 alloy at different aged states

2.3.2 微观分析

不同时效态 3J21合金微观拉伸断口 SEM照片

见图 7。

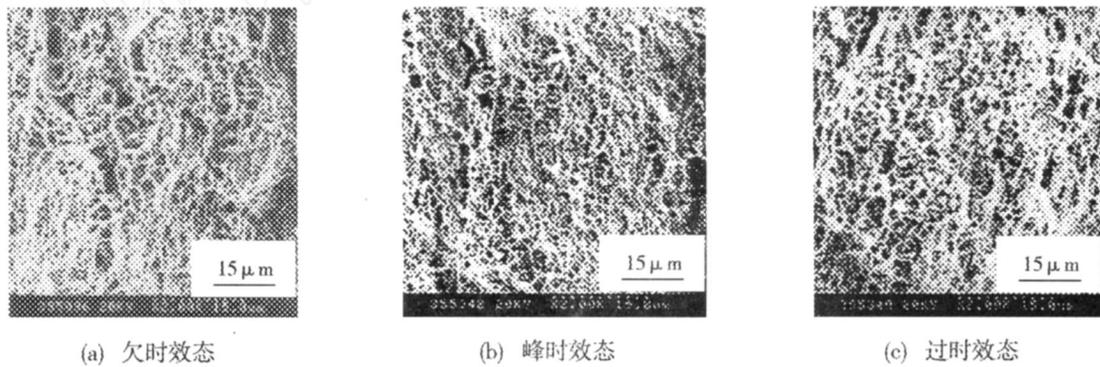


图 7 3J21合金不同时效态微观拉伸断口 SEM照片

Fig 7 SEM micrographs of tensile fracture of 3J21 alloy at different aged states

可观察到,三种断口均呈现大量的韧窝,欠时效态的断口中还呈现明显的撕裂棱,且韧窝较大,部分韧窝的底部有孔洞。峰时效态的断口韧窝较小、较浅,过时效态的断口韧窝大小介于欠时效态和峰时效态韧窝尺寸之间,这些特征与欠时效态和过时效态合金伸长率高,拉伸强度低,而峰时效态合金延伸率低,拉伸强度高相吻合。

图 8为不同时效态 3J21合金拉伸断口附近组织的 TEM照片。可以看到各时效状态下断口附近显微组织都有变化。欠时效态合金的滑移线最细,滑移线之间的距离最小,而峰时效态和过时效态合金滑移线之间的距离较大,这与欠时效态合金的塑性好于峰时效态和过时效态合金的塑性相吻合。三种时效态均未有析出相,所以它们的强度相近。

2.3.3 拉伸断口附近的组织分析

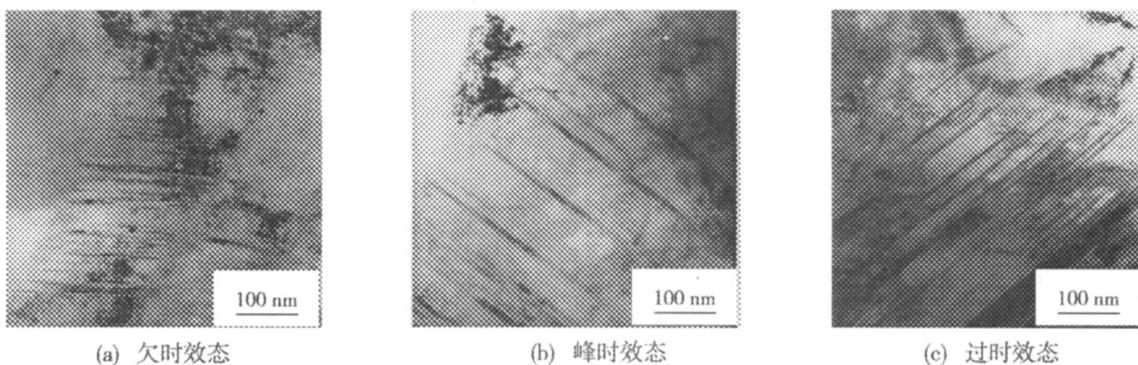


图 8 不同时效态 3J21合金拉伸变形组织 TEM照片

Fig 8 TEM micrographs of tensile deformation structure of 3J21 alloy at different aged states

(下转第 67页)

晶化后,形成细小弥散的晶化相,接着 Ni_3P 沉淀物形成,硬度大幅度上升;当超过 400 之后,镀层中 Ni 要发生再结晶,沉淀物 Ni_3P 聚集粗化,畸变消失,镀层软化,硬度和耐磨性又下降了。

3 结论

(1)在氯化钠腐蚀介质中,当 $C_{Pb(Ac)_2} = 1.0 \text{ mg/L}$ 时, $Ni-Fe-P-B$ 镀层合金腐蚀电流密度最小 (1.259 mA/cm^2),腐蚀电位最正 (-0.192 V),孔隙率最低 (0.33 个/cm^2),即它最耐腐蚀;在 $3.5\% \text{ NaCl}$ 、 $10\% \text{ NaOH}$ 和 1 mol/L HCl 介质中,当 $C_{Pb(Ac)_2} = 1.0 \text{ mg/L}$ 时,镀层的失重腐蚀速率最小,同时,在盐和碱性介质中,合金的耐蚀性能比在酸性介质中高 10 倍。

(2)经 $200 \sim 600$ 热处理后,合金耐蚀性有不同程度的下降,当 $C_{Pb(Ac)_2} = 1.0 \text{ mg/L}$ 时,耐蚀性下降程度最小;晶格变化、镀层与基体间扩散层形成,都会对合金耐蚀性能起重要作用。

(3)经 $200 \sim 400$ 热处理后,合金硬度和耐磨性有所提高,当 $C_{Pb(Ac)_2} = 1.0 \text{ mg/L}$ 、 $400 \times 1 \text{ h}$ 热处理

后,合金硬度高达 939 HV ,是镀态的 2 倍。

参考文献

- 1 Wang Senlin. Electroless plating and magnetic properties of Fe-Ni-B alloy. 功能材料, 2006; 37(7): 1153~1159
- 2 王玲玲,赵立华. 化学沉积 Ni-Fe-P 及 Ni-Fe-P-B 合金膜的结构和显微硬度. 湖南大学学报, 2001; 28(6): 41~47
- 3 聂书红. 复合络合剂、稳定剂及加速剂在酸性镍磷共镀中作用规律研究. 西安:西安理工大学硕士论文, 2000
- 4 张刚,陆柱. 热处理对化学镀 Ni-Mo-P 合金耐蚀性能的影响及其机理. 华东理工大学学报, 1994; 20(3): 373~376
- 5 White J L. The interdiffusion of phosphorus electroless in nickel deposits. Metal Finishing, 1987; 85(8): 35~41
- 6 孙冬柏,俞宏英,杨德钧. 短时间热处理后镍磷合金镀层的性能. 金属热处理, 1999; (1): 7~9
- 7 宋锦福,郭凯铭. 热处理对化学镀 Ni-W-P 三元合金的组织 and 性能的影响. 金属热处理, 1998; (2): 15~18

(编辑 李洪泉)

(上接第 63 页)

3 结论

(1)冷轧状态 3J21 合金经过欠时效、峰时效和过时效处理后,晶粒大小相近,与时效状态无关。冷轧状态和欠时效态 3J21 合金的结构均为面心立方结构,且欠时效态、峰时效态和过时效态均没有发现析出相。

(2)室温条件下,峰时效态 3J21 合金的拉伸强度和屈服强度均略高于欠时效态和过时效态,但其伸长率略低于欠时效态和过时效态。

(3)3J21 合金欠时效态、峰时效态和过时效态的拉伸断口均为韧窝断口。峰时效态合金的断口韧窝小且浅,拉伸断口附近组织中滑移线之间的距离最大,过时效态的次之,欠时效态合金滑移线之间的距离最小。

参考文献

- 1 束德林. 金属力学性能. 北京:机械工业出版社, 1987
- 2 潘肃,李成功. 金属功能材料在航天航空工业方面的应用. 金属功能材料, 1995; (1): 1~4
- 3 阿·诺伊曼. 材料和材料的未来. 北京:科学普及出版社, 1986
- 4 何开元. 精密合金材料学. 北京:冶金工业出版社, 1991
- 5 庞芳仙. 弹性合金的热处理. 金属热处理, 1996; (6): 42~44
- 6 陈复民,李国俊. 弹性合金. 上海:上海科学技术出版社, 1986
- 7 崔约贤,王长利. 金属断口分析. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1998

(编辑 李洪泉)