

钨渗铜材料高温力学性能与组织研究

陈 伟 周武平 邝用庚 王铁军 熊 宁

(钢铁研究总院安泰科技股份有限公司,北京 100081)

文 摘 从不同原料钨粉粒度和不同钨骨架密度的角度,研究其对于材料高温强度性能的影响,同时结合 SEM 断口形貌观察,研究材料在高温下的断裂机制。结果表明:(1)随着钨骨架密度的提高,材料的高温强度都相应提高,在一定的骨架密度范围内,高的骨架密度有利于材料高温强度的提高;(2)对于两种粉末原料的钨渗铜试样,在相近骨架相对密度的情况下,由于细晶强化的作用,细颗粒试样从 800 ~ 1 800 的高温强度都明显高于相应的中颗粒试样;(3)对于钨渗铜材料,从 800 ~ 1 800 的过程中,断裂形式由穿晶和沿晶断裂两种形式并存逐渐过渡到单一的沿晶断裂。

关键词 钨渗铜材料,高温强度,微观组织

Research on the Mechanical Properties and Microstructure of W - Cu Composite Used in High-temperature Field

Chen Wei Zhou W up ing Kuang Yonggeng Wang Tiejun Xiong Ning

(Central Iron & Steel Research Institute , Beijing 100081)

Abstract The effect of different W -powder sizes and W -skeleton densities on the high-temperature strength of W /Cu composite is studied. Also, the research on its fracture mechanism at high temperature is conducted by SEM micrograph observation. The results show that (1) high-temperature strength of the composite is increased with the W -skeleton density increasing, and in certain skeleton density, high density is benefit to high-temperature strength increasment; (2) for two kinds of W /Cu powder samples of relative density of similar skeleton, samples fabricated by fine particle powder have obviously higher strength than that of med-particle powder at temperatures of 800 to 1 800 due to fine particle strengthening; (3) this material fracture is changed from transgranular, intergranular to intergranular alone at above temperatures range.

Key words Copper infiltrated tungsten material, High-temperature strength, Microstructure

1 引言

钨渗铜材料是由高熔点、高强度的钨骨架熔渗金属铜所得到的互不相溶型特殊复合材料,材料综合了钨与铜二者的优点,具备良好的抗高温、耐腐蚀及高强度、高硬度等性能,主要应用于航空航天、机械、电子等行业的高温领域^[1,2]。

为了系统地研究影响钨渗铜材料的力学性能的各项因素,本文从原料钨粉粒度和烧结钨骨架相对密度两方面出发,研究二者对于钨渗铜材料高温强

度的影响,并结合 SEM 断口形貌观察,研究钨渗铜材料在高温下的断裂形式。

2 实验

采用细颗粒和中颗粒两种粒度的钨粉原料,通过高温烧结——熔渗法分别制备 75%、80%、83% 和 86%四种骨架相对密度的钨渗铜试样。实验中冷等静压的成型压力和熔渗工艺制度保持不变,通过烧结工艺来调整钨骨架的相对密度。试样的密度和含铜量结果如表 1 所示。其中第一组试样采用中

收稿日期:2004 - 01 - 18;修回日期:2004 - 04 - 09

作者简介:陈伟,1978年出生,硕士,主要从事难熔金属基复合材料的研究工作

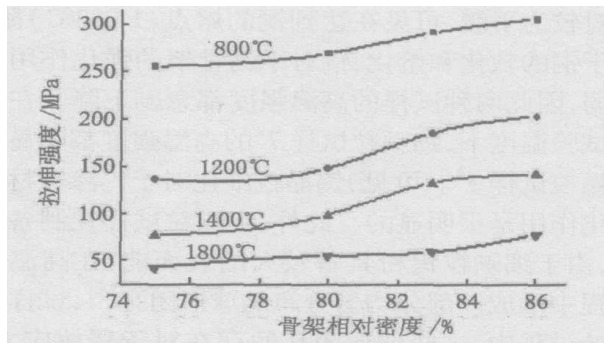
颗粒钨粉,第二组试样采用细颗粒钨粉。高温拉伸试验按照 GJB 2299—95的要求在 CSS - 6400型电子万能试验机上进行。其中,800 高温拉伸试验在高真空 (1×10^{-3} Pa)下进行,1 200 以及该温度以上的所有拉伸试验均在 Ar气保护的气氛下进行。高温拉伸试验的升温速度为 40 /min,拉伸速度为 1.5 mm /min,保温 5 min。对于拉伸断口形貌,采用 JSM - 6400型扫描电子显微镜进行观察。

表 1 两组试样的基本性能参数
Tab 1 Basic performance parameter of two kinds of samples

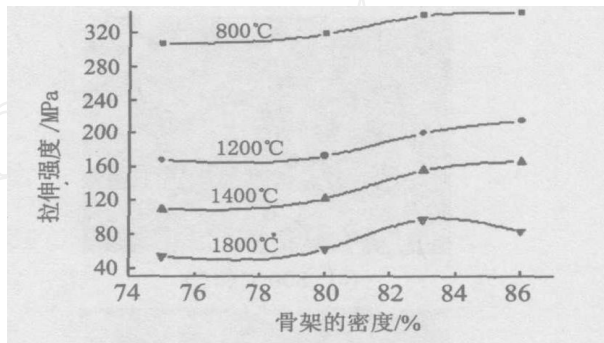
试样编号	骨架相对密度 /%	含铜量 /%	
第一组	1 [#]	75.0	12.8
	2 [#]	79.3	10.2
	3 [#]	84.4	7.2
	4 [#]	86.4	5.9
第二组	5 [#]	74.1	13.2
	6 [#]	79.3	10.1
	7 [#]	83.8	7.6
	8 [#]	85.7	5.8

3 结果与分析

图 1分别显示了两种粒度钨粉的钨渗铜材料在 800 、1 200 、1 400 、1 800 四个温度点骨架密度与拉伸强度的关系。图 1(a)表明对于中颗粒试样,在四个温度点的高温强度都随着试样骨架密度的提高而提高;图 1(b)表明对于细颗粒试样,在 800 、1 200 、1 400 三个温度点时,高温强度随着骨架密度的提高而提高,但是在 1 800 时,当骨架相对密度高于 83%时,强度随着骨架密度的提高而降低。对于钨渗铜材料来说,当试验温度在 1 200 及其以上温度时,钨骨架中的铜已处于熔化状态,而且随着试验温度的提高,铜对于材料的强化作用越来越小甚至没有,这时材料的强度主要决定于钨骨架的强度^[3]。根据粉末冶金的烧结原理^[4],由于高骨架密度的试样对应有较高的烧结温度,所以钨颗粒的结合强度相应也较高,从而在宏观上表现出较高的高温强度,对于细颗粒试样在 1 800 时所出现的反常现象,具体的原因有待于进一步的研究。



(a) 中颗粒



(b) 细颗粒

图 1 试样骨架密度与高温强度的关系

Fig 1 High-temperature strength vs W-skeleton density for W - Cu composite

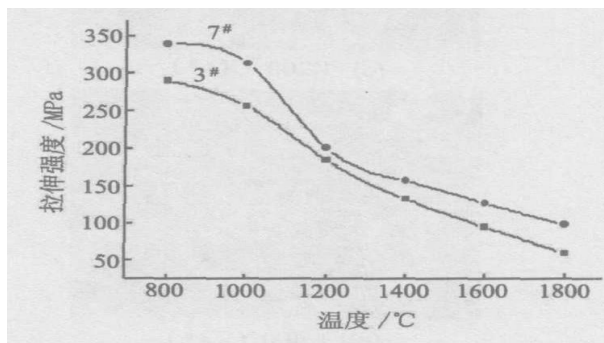


图 2 中、细颗粒试样高温强度的对比关系

Fig 2 High-temperature strength contrast of med-particle & fine particle samples

图 2以 3[#]和 7[#]试样为例,对相近骨架密度两种试样的高温强度变化趋势作一对比。从图 2看出,对于两种试样 800 ~ 1 800 的高温强度随温度变化的曲线,都在 1 200 附近出现了一个拐点,而且在 1 000 ~ 1 200 间,强度的变化斜率非常大,然而在 800 ~ 1 000 和 1 200 ~ 1 800 间,材料的高温强度变化则

相对较为平缓,可见在达到铜的熔点(1 083)附近,由于铜的软化和熔化,铜对于钨骨架的强化作用明显减弱,因此两种试样的高温强度都急剧下降。在相同的试验温度下,细颗粒试样 7[#]的高温强度都明显高于中颗粒试样 3[#]。可见,钨晶粒细化对于钨渗铜材料的强化作用是很明显的。此外,细颗粒试样在制备过程中,由于细颗粒钨粉具备较大的表面能,在高温烧结过程中形成一部分均匀分布的球形闭孔^[5],试样在拉伸的过程中,这些球形闭孔的存在对于释放应力、降

低应力集中倾向有一定的作用,从而对于提高材料的高温强度有一定的贡献。

4[#]和 8[#]试样的高温拉伸断口形貌如图 3所示。从 SEM 照片看出,800 的断口为穿晶断裂和沿晶断裂两种形态,其中以沿晶断裂为主,当温度达到 1 200 及其以上温度时,材料的断口基本都是沿晶断裂,而且随着温度的升高,钨颗粒的晶间结合逐渐削弱,断口表面的晶间性随之增大,钨颗粒的边界则逐渐由模糊变成完全钝化,其中还伴随着部分钨颗粒的变形。

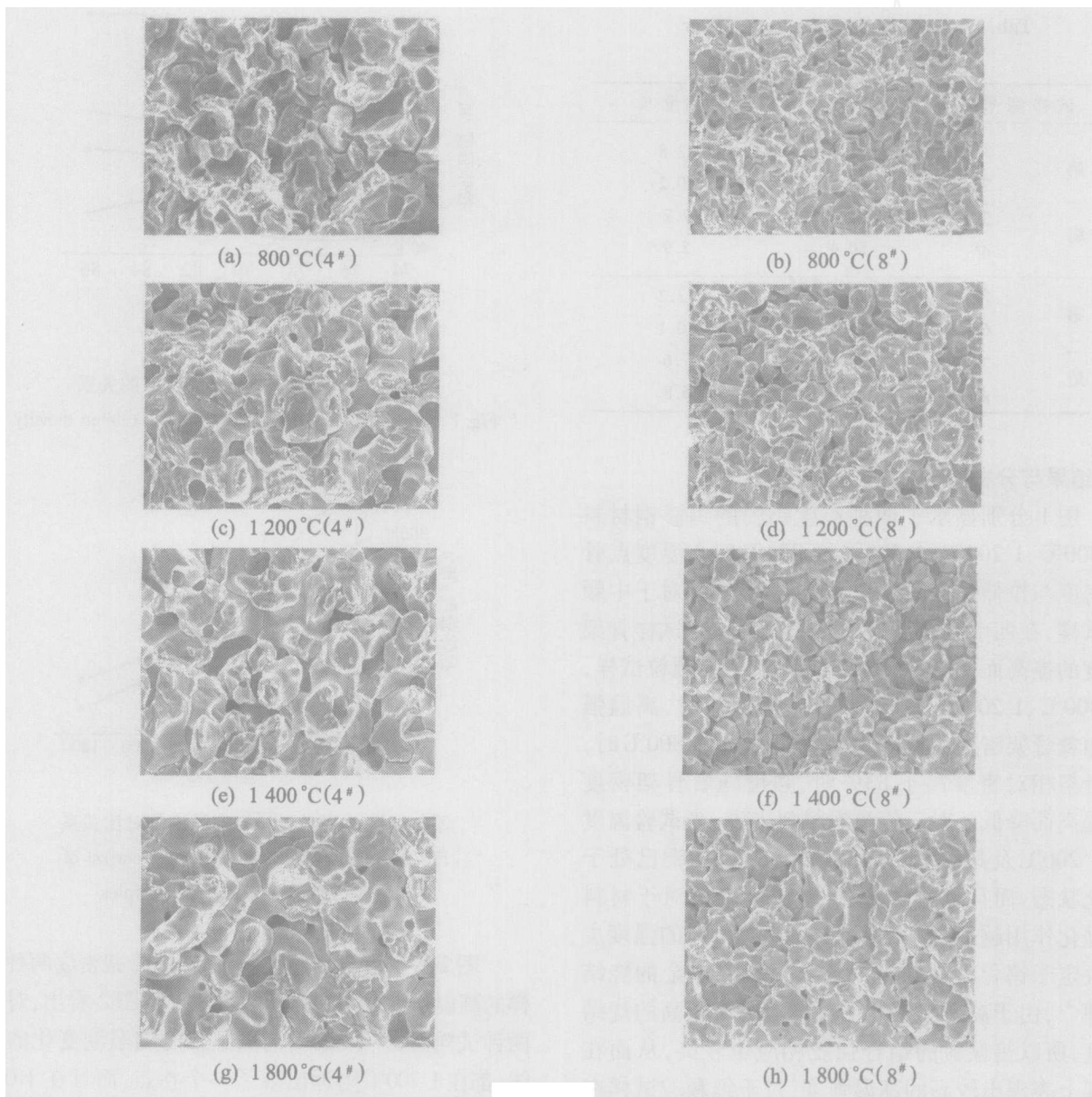


图 3 4[#]和 8[#]试样的高温拉伸断口形貌 2 000 ×

Fig 3 SEM micrographs of 4[#] and 8[#] samples

4 结论

(1)随着钨骨架密度的提高,材料的高温强度相应提高,在一定的骨架密度范围内,高的骨架密度有利于材料高温强度的提高。

(2)对于两种粉末原料的钨渗铜试样,在相近骨架相对密度的情况下,细颗粒试样的高温强度明显高于相应的中颗粒试样,说明了钨骨架的晶粒细化对钨渗铜材料有明显的强化作用。

(3)对于钨渗铜材料,从 800 到 1 800 ,断裂形式由穿晶和沿晶断裂两种形式并存逐渐过渡到单一的沿晶断裂;而且随着温度的升高,断口表面的晶间性随之增大,钨颗粒的边界逐渐由模糊变成完全钝化,其中还伴随着部分钨颗粒的变形。

参考文献

- 1 徐桂兰. 高温用特殊复合材料. 北京:冶金工业出版社, 2001: 1~
- 2 Ahearn R L. Development of jet vanes for solid propellant missiles. In: National Aeronautic Meeting, New York, 1962: 1~3
- 3 牟科强. 钨铜材料的高温强度和断裂韧性. 见:第七届全国难熔金属学术交流会文集, 1991: 98~101
- 4 黄培云. 粉末冶金原理. 北京:冶金工业出版社, 1997: 265~339
- 5 陈伟,周武平,邝用庚等. 粉末粒度对于高温钨渗铜材料骨架性能的影响. 粉末冶金工业, 2004; 14(2): 18~19

(编辑 李洪泉)

(上接第 51 页)

通过对某种发动机承力支架的结构特点分析和受力分析,设计了连接主承力用碳/环氧树脂材料承力管与承力支架端框和端板的金属整体接头。整体接头由底座和叉形部分组成,为了减轻接头的质量,对接头叉形部分的长度和壁厚进行了设计,设计表明整体接头许用拉伸强度为 250 MPa 时,接头叉形部分长度为 50 mm,壁厚为 3 mm 满足承力支架的承载要求。

参考文献

- 1 Lee C S, Hwang W, Park H C, Han K S. Failure of carbon/epoxy composite tubes under combined axial and torsional loading. Composites Science and Technology, 1999; 59(12): 1 789 - 1 804

- 2 彭超义,杜刚,曾竟成等. 大载荷下空间桁架结构主承力用碳/环氧推力管的重量优化设计. 玻璃钢/复合材料, 2003; (6): 33
- 3 彭超义,曾竟成,肖加余等. 航天器发动机推力支架桁架结构的有限元分析与优化设计. 宇航材料工艺, 2003; 33(6): 21
- 4 戴少度. 材料力学. 北京:国防工业出版社, 2000: 118
- 5 Liu D, Atkinson H V, Kapranos P et al. Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoformed high performance aluminium alloys. Mater Sci & Eng, 2003; A361: 221

(编辑 吴坚)