第 12 卷 第 4 期 复 合 材 料 学 报 Vol. 12 No. 4
1995 年 12 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Dec. 1995

镍包铁增强金属陶瓷材料的研究

穆柏春 刘秉余 贾天敏 弓自洁
(辽宁工学院热处理教研室，锦州 121001)

摘 要 用化学镀镍法对铁粉镀镍，然后与氧化铝粉复合制成金属陶瓷材料。研究了镀镍铁粉对材料性能的影响，探讨了镀镍铁粉增强机理

关键词 镍包铁、颗粒增强，金属陶瓷

1 引 言

自柳泽章等[1]发表了透气性金属陶瓷复合材料及其在模具方面的应用这一研究成果以来，人们对该材料进行了大量的研究[2-4]。这种材料是用一定量的氧化铝、氧化硅、莫来石等陶瓷粉与铁、镍、铬等金属粉加入适量的成型粘结剂成型后烧结而成的，具有一定的强度和较高的透气性能，耐腐蚀、耐高温。在透气性成型模具、过滤、吸音、隔热防护涂层、梯度功能材料等方面有着广阔的应用前景。但是由于用铁粉制造的材料质脆且强度偏低，而镍、铬粉较昂贵，因而尚未在工业中得到广泛的应用。

我们用化学镀镍铁粉与氧化铝粉复合，试制出具有较高强度及韧性和较大透气性的金属陶瓷材料，取得了良好的增强效果。

2 材料及方法

试验材料主要有化学镀镍原料，含 Al_2O_3 大于 98%的氧化铝粉，含 Fe 大于 98%的还原铁粉和粘结剂等。化学镀镍的镀液成分如表 1 所示。

表 1 镀液的基本成分(g/L)

硫酸镍	次磷酸钠	络合剂	缓冲剂	稳定剂
20	25	15	10	0.01

表 2 粉料的粒度分布(wt%)

粉 料	粒 径(μm)							
	50～40	40～30	30～20	20～10	10～8	8～6	6～4	4～2
氧化铝粉	31.6	17.5	18.5	20.2	3.7	3.5	1.6	3.4
铁 粉		45.7	32.5	16.5	0.5	0.9	0.5	3.4

本文于 1994 年 9 月 12 日收到第二次修改稿，1994 年 3 月 11 日收到初稿
本项目受国家自然科学基金资助(59274155)和学院青年基金资助

粉料的粒度分布列于表 2。首先将铁粉进行化学镀镍处理。施镀时间为 40min，镀层厚度为 6～10μm。将铁粉与氧化铝粉按 1∶1 的比例混合均匀，加入适量的粘结剂，用粉浆浇注法成型，在氧化性气氛中烧结即成试样。热处理试验是指在 300 C 保温 1h。分别按 GB 1964－80、GB 1965－80、GB 1966－80 测定抗压强度、抗弯强度和孔隙率。

3 结果与分析

3.1 烧结工艺对材料性能的影响

图 1 和图 2 分别示出了烧结温度对抗弯强度和抗压强度的影响。由图中可知，随着烧结温度的提高，抗弯强度和抗压强度均提高。并且未镀镍、镀镍、镀镍＋热处理试样的强度的整体水平依次提高。这说明镀镍确有提高材料强度的作用，热处理可以进一步增强。

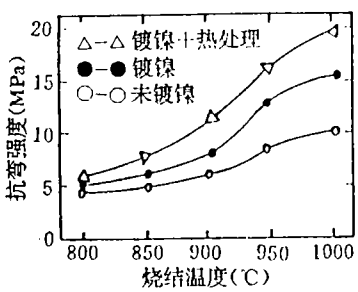


图 1 烧结温度对抗弯强度的影响

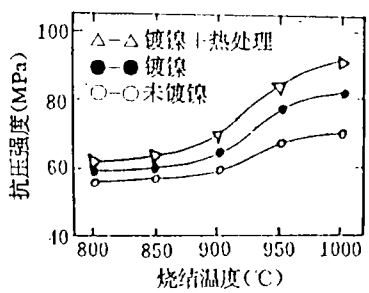


图 2 烧结温度对抗压强度的影响

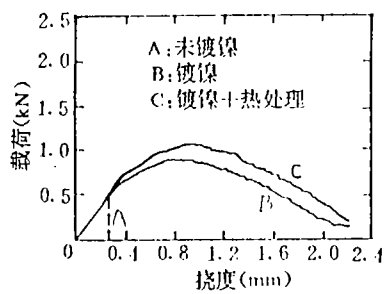


图 3 载荷-挠度曲线

图 3 是试样的载荷-挠度关系曲线。曲线下的面积表征了材料在变形与断裂过程中所吸收的形变功和断裂功，可以代表材料的韧性大小，其计算结果如下：1014N · mm（镀镍＋热处理）、800N · mm（镀镍）、75N · mm（未镀镍）。由此可见，镀镍和镀镍＋热处理的韧性分别比未镀镍的提高 10 倍和 13 倍。

对孔隙率和透气系数的测定表明，未镀镍、镀镍及镀镍＋热处理三种试样的孔隙率和透气系数的大小和变化规律基本上是一致的。孔隙率在 800 C～1000 C 烧结温度范围内变化不大，约为 38%～40%。图 4 是试样的透气系数与烧结时间的关系曲线。可见，透气系数随烧结时间的延长而提高，到 6h 达稳定值。粘结剂的粘度较大，残留在材料中的易挥发物较多。在烧结过程中，残存在粒子表面的硅醇要在很高温度才能自缩合脱水[5]。硅醇的自缩合脱水以及易挥发物的烧失都需要一定的时间，因此，随烧结时间的延长，烧失物增多，孔隙增多，透气系数亦提高。至 6h，这些过程基本完成，透气系数达稳定值。

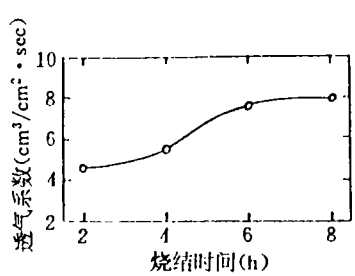
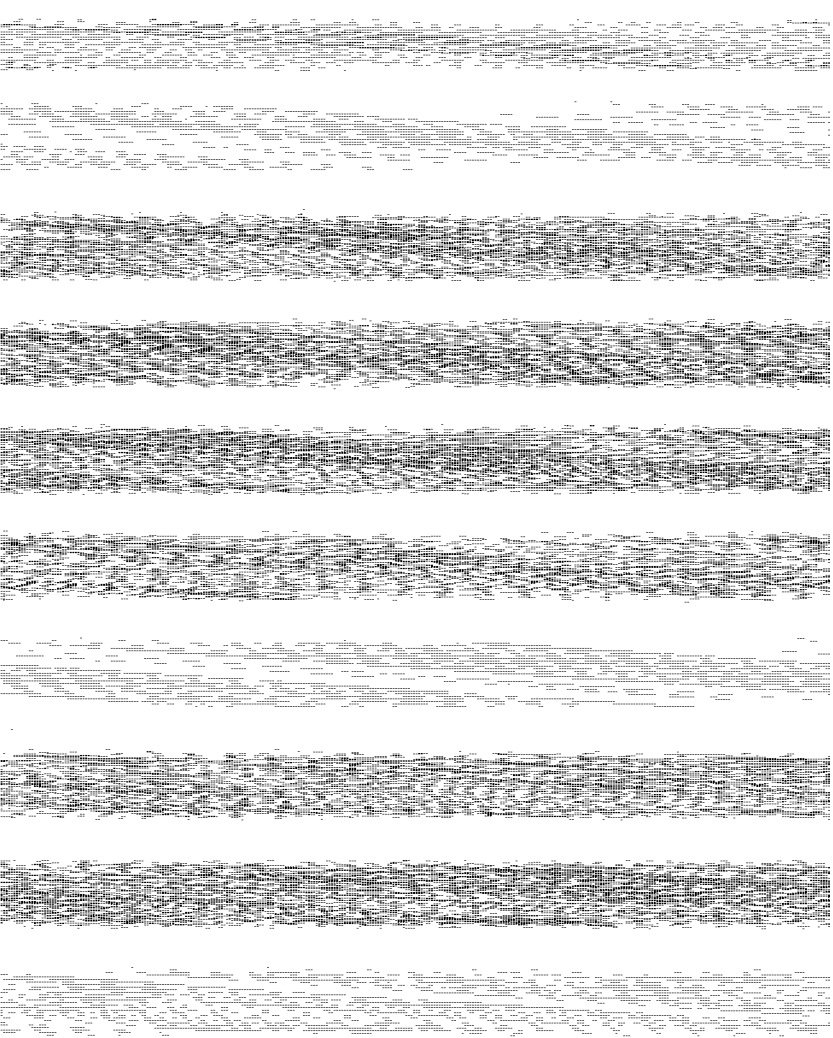


图 4 透气系数与烧结时间的关系

3.2 显微结构分析

用 JSM-35C 扫描电镜（带能谱分析）对试样进行了微观形貌观察和能谱分析（见图 5 和表 3）。

由图 5 可知，随着烧结温度的提高，试样的孔隙减小。到 900℃时，试样中开始形成烧结



镀镍铁粉镀层组织为非晶态 Ni-P 合金，含磷量为 8.5%。在与 Al_2O_3 粉复合烧结过程中，除了非晶态向晶态转化外，还将可能发生表 5 所示的反应。根据材料热力学计算方法[6]，查有关图表计算自由能的结果列入表 5。

表 4 烧结温度对 Al_2O_3 晶格常数的影响

烧结温度(℃)	800	850	900	950	1000
a(Å)	4.7568	4.7569	4.7572	4.7581	4.7597
c(Å)	12.9796	12.9811	12.9838	12.9895	12.9978

表 5 各种反应的自由能计算结果(温度 298～1300K)

序号	反 应 式	自由能近似计算方程(卡/摩尔)
(1)	$Ni+\frac{1}{2}O_2=NiO$	$\Delta G^\circ_T=-57500+22.165T$
(2)	$Fe+\frac{1}{2}O_2=FeO$	$\Delta G^\circ_T=-65020+16.375T$
(3)	$2FeO+\frac{1}{2}O_2=Fe_2O_3$	$\Delta G^\circ_T=-197170+31.425T$
(4)	$NiO+Fe_2O_3=NiO\cdot Fe_2O_3$	$\Delta G^\circ_T=-4400+1.43T$
(5)	$NiO+Al_2O_3=NiAl_2O_4$	$\Delta G^\circ_T=-10140+2.56T$

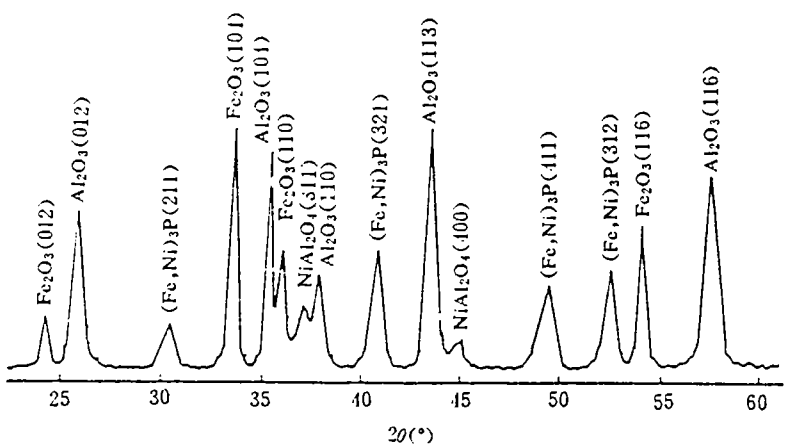


图 6 X-射线衍射图(即 X-射线)

可见，各反应式的自由能在烧结温度范围内均为负值，反应可自发进行。由于反应式(5)的自由能低于反应式(4)，因此 NiO 优先与 Al_2O_3 反应，而参与 Fe_2O_3 反应的 NiO 的数量有限，所以在图 6 中只出现 $NiAl_2O_4$ 而没有 $NiO\cdot Fe_2O_3$ 的峰值。

NiO 和 Al_2O_3 的反应属于固相反应。NiO 与 Al_2O_3 间的互扩散系数为 10^{-10}～$10^{-8}cm^2\cdot s^{-1}$(600℃～1300℃)。表面扩散在 $0.3T_m$ 以上就能发生[7]，而 Al_2O_3、NiO 的熔点(T_m)分别为 2040℃和 1955℃，所以，其互扩散在 600℃以上即可沿表面进行。随温度的提高，晶界扩散和晶格扩散也将进行。随着互扩散的进行，NiO 与 Al_2O_3 间实现固相反应，生成 $NiAl_2O_4$。

Ni 对 Al_2O_3 及许多金属或化合物的润湿性有一定改善作用[7,8]。金属的氧化现象也能促进各相间的润湿性与结合强度的改善[4]。

由图 6 可知，试样中有 $(Fe,Ni)_3P$ 生成。化学镀镍层结构为非晶态 Ni-P 合金，经 300℃、1h

热处理的X-射线衍射图上可以明显看出$(Fe,Ni)_3P$衍射峰。说明300℃时非晶态开始晶化,产生沉淀硬化现象。在沉淀硬化的开始阶段,磷原子聚集沉淀并扩散到某一定上的晶面上,并使镍原子与沉淀相之间的共格关系产生严重的局部弹性应力场,产生强化作用。当热处理温度提高时,形成相当数量的$(Fe,Ni)_3P$相并且粗化,硬化效果下降。

在烧结前于300℃下停留足够的时间,则Ni可被部分氧化,并且与Al_2O_3反应生成$NiO \cdot Al_2O_3$。此相又可与$(Fe,Ni)_3P$相互作用,阻止其在升温过程中的粗化,保持强化效果。

综上所述,镀镍铁粉通过生成新相$NiO \cdot Al_2O_3$、改善润湿性、析晶$(Fe,Ni)_3P$沉淀硬化,提高了材料的强度和韧性。在300℃进行热处理,$(Fe,Ni)_3P$细化且$NiO \cdot Al_2O_3$阻止其在升温过程中的粗化,保持了强化效果,进一步强化了复合材料。

4 结　论

用镀镍铁粉制造金属陶瓷材料具有较明显的强化效果,热处理可进一步强化。其抗弯强度、抗压强度和韧性可达19MPa、92MPa和1014 N·mm。孔隙率为38%～40%,透气系数为6～8$cm^3/cm^2 \cdot sec$。

镀镍铁粉通过生成新相,改善润湿性,沉淀硬化等机制强化金属陶瓷材料。

参 考 文 献

1 柳泽章等. 生产研究, 1984; (2): 120

2 穆柏春等. 氧化铝基透气性陶瓷材料的研究. 硅酸盐通报, 1990; (3): 62

3 Culter R A, *et al*. J Am Ceram Soc, 1992; 75(1): 36

4 姜汉成等. 材料工程, 1992; (1): 11

5 陈冰. 硅溶胶粘结剂. 现代铸造, 1982; (4): 53

6 叶大伦. 实用无机物热力学数据手册. 北京: 冶金工业出版社, 1981: 9～10

7 黄培云. 粉末冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1982: 146～376

8 仇宁等. α氧化铝-铝合金的润湿现象及其机理. 复合材料学报, 1990; 7(1): 24

RESEARCH ON CERAMIC MATRIX COMPOSITE STRENGTHENED BY IRON GRAIN WITH ELECTROLESS NICKEL COATING

Mu Baichun　Liu Bingyu　Jia Tianmin　Gong Zijie

(Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001)

Abstract　A ceramic matrix composite was made from alumina and iron grain with electroless nickel coating. The influence of the iron grain on the properties of the composite material was investigated. The strengthening mechanism of iron grain with nickel coating was studied.

Key words　iron grain with electroless nickel coating, grain strengthening, cermet