

Ni₃Al 基复合材料的组织与性能*

冯 涤 叶武俊 张春福 陈蓓京 骆合力

(钢铁研究总院, 北京 100081)

摘 要 通过机械法将 NiAl 粉、Ni 粉、WC 粉混合后烧结, 堆焊制备成 Ni₃Al + WC 复合材料. 研究表明, 该复合材料在堆焊过程中, 可促使大部分 WC 不溶于熔池而直接以颗粒状分布于 Ni₃Al 基体上, 在 WC 的抗磨特性和基体的抗汽蚀性能联合作用下, 使该复合材料具有高的硬度及较好的抗汽蚀和抗水砂磨损的性能.

关键词 复合材料, Ni₃Al 基合金, 抗汽蚀性能, 硬度

中图法分类号 TB331

文献标识码 A

文章编号 0412 - 1961(1999)01 - 0086 - 88

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF Ni₃Al BASE COMPOSITE

FENG Di, YE Wujun, ZHANG Chunfu, CHEN Beijing, LUO Heli

Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081

Correspondent: YE Wujun, Tel: (010) 62184624, Fax: (010) 62181018, E-mail: htmrd@public.bta.net.cn

Manuscript received 1998 - 08 - 06

ABSTRACT Through mechanical mixing of NiAl, Ni and WC powders, and then presintering and lap welding the mixed powders, a Ni₃Al base composite—Ni₃Al base alloy bonded WC cermet has been successfully made. The composite shows high hardness, good cavitation resistance and excellent silt-laden water wear.

KEY WORDS composite, Ni₃Al base alloy, resistance of cavitation erosion, hardness

目前, 有关研究发现 Ni₃Al 基合金具有良好的抗汽蚀性能^[1-3], 水轮机叶片强汽蚀区的模拟汽蚀试验已证实这一结果^[4]. 文献[5]报道了大型叶片的防护试验, 在实际工况条件下运行了两年, 尚未出现较大的汽蚀损伤. 但对于 Ni₃Al 的含砂水流磨蚀的报道却结果各异. 文献[2]表明, Ni₃Al 基合金 IC-218 的耐磨性能的效果不显著, 类似于 304 不锈钢; 旋转水砂磨蚀试验^[6]表明, Ni₃Al 基合金表现出良好的耐磨性能. 而中国的河流多为泥沙型, 因此水力机械过流部件必须要经受汽蚀损伤和泥沙磨蚀联合作用的考验. 已进行的这类模拟试验^[7]表明, Ni₃Al 基 IC-218 合金明显比低碳低合金钢、不锈钢更抗汽蚀和水砂磨蚀, 但总体效果不够理想. 本工作研究了以 Ni₃Al 为基颗粒强化的复合材料, 并进行了显微组织分析以及抗水砂射流磨蚀试验, 以期进一步开发一种可用于该条件下的材料.

1 实验方法

实验采用真空感应炉冶炼并浇铸成钢锭再机械粉碎至

150 目的 NiAl 粉, 气雾化法制取的商用 Ni 粉、Fe-B 粉以及 200 目的商用 WC 粉. 首先进行机械混合, 然后压制成型直径 5 mm 的丝状坯, 再经脱脂后进行真空烧结. 真空度为 0.1 Pa, 温度为 1320—1380, 再用烧结好的丝材进行氩弧焊堆焊, 最后获得堆焊的复合材料.

配制了三种不同 WC 含量的 Ni₃Al 基复合材料, 记为 No. 1, 2, 3, 相应的 WC 含量(质量分数, %)分别为 30, 40, 50. Ni₃Al 中均含有 0.08 % 的 B.

X 射线衍射分析采用 Cu K 辐射, 用扫描电子显微镜 (SEM) 观察材料的结构和显微组织. 对实验材料进行 850, 20 h 保温后空冷的热处理以考察组织变化. 含砂水流冲刷磨蚀试验采用 Ni₃Al 基 IC-218 合金以及 102 不锈钢和 STELLITE 6 Co-Cr-W 堆焊层两种对比合金. 水流速度为 20 m/s, 喷射角度为 45°, 喷嘴距试样表面为 3 mm, 取自黄河的砂主要成分为石英砂, 含量为 30 kg/m³; 试样面积为 10 mm × 20 mm, 试验时间为 3 h.

2 实验结果与分析

在烧结前, 经机械混合后组成物未发生变化. 烧结时由于烧结温度低于 Ni₃Al 的熔点, 且分别低于 NiAl 与 Ni 的熔点, 故未发生熔化现象. 由 X 射线衍射谱分析表明, 烧结时组成成分变化较小, 而在 TIG 堆焊时完成 NiAl + 2Ni

*国家 863 计划资助项目 715 - 005 - 0010

收稿日期: 1998 - 08 - 06

作者简介: 冯 涤, 男, 1944 年生, 教授级高级工程师, 硕士

Ni₃Al 的转变,基体组织为 + 相以及少量 相.由于该反应为放热反应,加速了焊丝的熔化,又由于焊缝冷却速度较快,WC 来不及全部熔入熔池,使大部分 WC 以粒状形式沉淀在焊缝中(见图 1).分析认为,在焊接过程中的放热反应,对保持焊缝的一定韧性以避免焊接裂纹有好处,使得 WC 和 Ni₃Al 的熔池液体具有良好的浸润效果.

WC 含量少时,将以颗粒状分布于 Ni₃Al 基体上,基体相呈连续分布(图 2a);当 WC 含量为 50 %时,将呈半连续分布(图 2b).三种实验合金的 EDS(energy diffuse spectrum)分析表明,基体成分相近,同时还有少量的 W 和 Fe,这两种元素是在焊接过程中熔入的.在观察中发现有 WC 团凝聚的现象,这正是由于 WC 和基体重熔而造成的,从而也表明,WC 不是全部从液体中析出,而是在焊接过程中未熔进熔池而先期存在的.这充分说明 WC 和 Ni₃Al 具有很好的浸润性能,该性能同时是 WC 颗粒发挥硬度高特点的保证,否则在强烈的汽蚀负压下,硬质点颗粒均将被吸落而失去原有的作用.另外,WC 粒子和基体的界面结合强度的高低同时反映了材料的抗汽蚀能力,因为该界面是抗汽蚀的弱区.

经 850 , 20 h 处理后试样的金相组织如图 2c,d 所示,与处理前相比未见明显变化,碳化物保持原来的颗粒度和分布.这说明在 850 时 WC 还是比较稳定的,由于合金中无其它强碳化物形成元素,也未发生 WC 的退化和

颗粒长大.因此,实验合金在该温度下表现出良好的组织稳定性.基体的显微硬度随着 WC 含量的增加而增加,宏观硬度也表现出同样的趋势(表 1).基体硬度的提高应归因于基体中可以溶解部分碳及间隙固溶强化.这部分碳来源于 WC 在基体中的溶解.EDS 分析表明,5 %—4 % 的 W

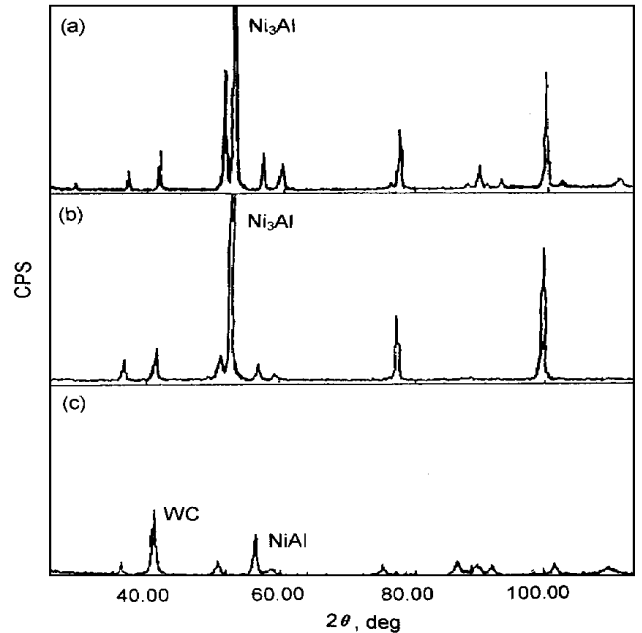


图 1 三种实验合金的 X 射线衍射谱

Fig. 1 X - ray diffraction spectrum (Cu K) of test alloys No. 1 (a) , No. 2 (b) and No. 3 (c)

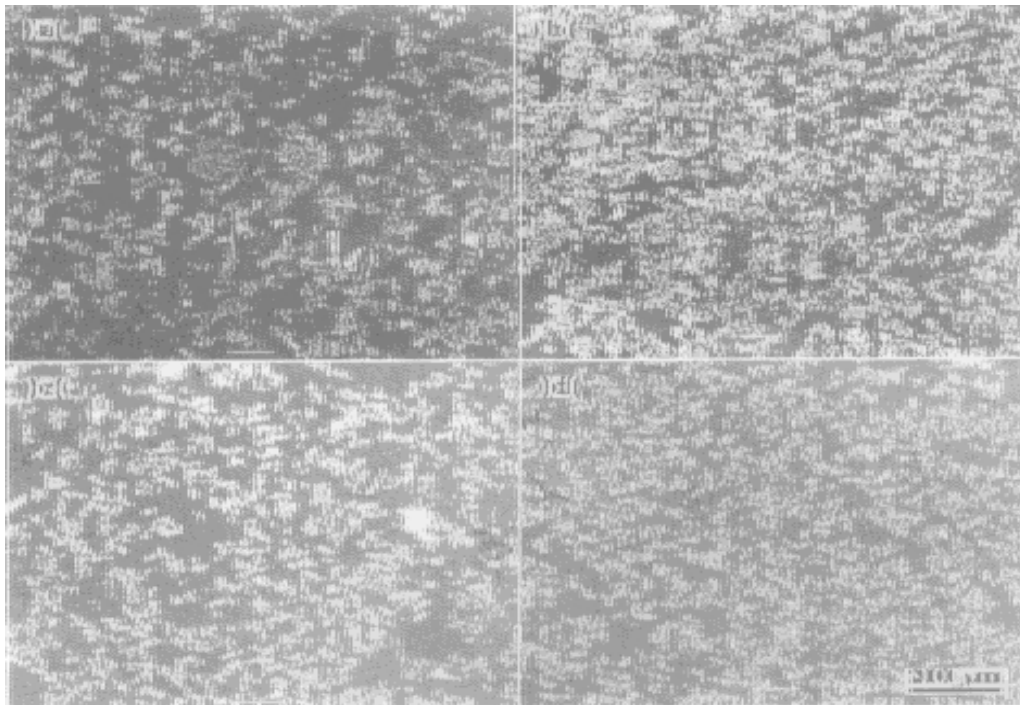


图 2 No. 1, 3 合金热处理前后的金相组织

Fig. 2 Metallographs before (a, b) and after (c, d) heat treatment of test alloys No. 1 and No. 3 (a) , (c) No. 1 (b) , (d) No. 3

表 1 实验合金的显微硬度和宏观硬度

Table 1 Microhardness and marohardness of test alloys

Alloy No.	Microhardness(HV)		Macrohardness (HRC)
	Base	Hard phase	
1	383	1700	48.8
2	512	1500	55.5
3	577	1500	61.0

溶入基体,同时部分碳元素也成为间隙原子溶入基体.

分别对 IC-218、102 堆焊层、STELLITE 6 堆焊层及本工作 No. 1, 3 实验合金进行了抗汽蚀及水砂磨损性能的对比较测试,经石英砂水流冲刷磨损试验,测得相应的失重率分别为 18.58, 28.5, 12.7, 4.5 和 3.5. 石英砂的硬度 HV 为 1350, 低于 WC 的硬度, 因此实验合金可以抵抗含石英砂水流的冲刷. 而当 WC 含量达 50% (No. 3 合金) 而呈半连续分布时情况更好. 由于基体的硬度稍低, 成为抵抗含石英射流冲刷的弱区, 故为获得更佳效果, 还应提高 WC 相的比例. 但由于氩弧焊堆焊工艺要求焊丝必须熔化后再凝固, 限制了硬化相比例的提高.

对汽蚀加水砂磨损联合作用的机制尚无定论, 有人认为是水中砂粒加重了汽蚀强度, 而汽蚀又使砂粒的速度提高, 从而加大了损伤. 文献[6]在等间距观察中发现汽蚀后造成的表面不完整大大降低了抗磨损性能. 由于实验合金的组织特点, 首先 WC 的抗磨特性大大降低了由于汽蚀造成的表面损伤而引起的附加损伤; 其次, 基体本身具有优越的抗汽蚀性能, 故该类材料具有较好的抗水砂磨损和汽蚀双重作用的能力. 有关基体和 WC 的界面抗汽蚀和水砂磨损的问题, 尚需进一步研究.

3 结论

由机械法将 NiAl 粉、Ni 粉和 WC 粉混合后, 通过低于组成相熔点烧结, 组成相发生部分变化(即生成部分 Ni₃Al 以及部分 WC 熔进基体). 随后进行的氩弧焊堆焊最终生成基体为 Ni₃Al, WC 为硬质点相的复合材料. 该复合材料具有较高的硬度, 基体的显微硬度 HV 可达 570, 而因 WC 的硬度高于石英砂的硬度, 从而使该复合材料表现出良好的抗水砂冲刷磨损性能, 同时具有较好的抗汽蚀和水砂磨损联合作用的性能.

参考文献

- [1] Sikka V K, Mavity J T. *Mater Sci Eng*, 1992; A153: 172
- [2] Johnson M L, Mikkola D E, Wright R N. *Intermetallics*, 1995; 3: 389
- [3] Han G W, Feng D, Ye W J. *High Technol Lett*, 1993; (10): 13 (韩光玮, 冯涤, 叶武俊. 高技术通讯, 1993; (10): 13)
- [4] Ye W J, Feng D, Han G W. *J Iron Steel Res*, 1997; 9(Suppl.): 231 (叶武俊, 冯涤, 韩光玮. 钢铁研究学报, 1997; 9(增刊): 231)
- [5] Ye W J, Feng D. *Report*, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing, 1998 (叶武俊, 冯涤. 钢铁研究总院内部资料, 北京, 1988)
- [6] Ye W J, Feng D. '85' *Final Research Report*, Beijing: Central Iron and Steel Research Institute, Beijing, 1996 (叶武俊, 冯涤. 863 计划 85 最终科技报告, 钢铁研究总院, 北京, 1996)
- [7] Duan C G. *Silt Abrasive Erosion of Hydraulic Turbine*. Beijing: Tsinghua University Press, 1981: 169 (段昌国. 水轮机沙粒磨损. 北京: 清华大学出版社, 1981: 169)