



粘结相含量和相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响

赵 迪¹, 余海洲¹, 李 阳¹, 孙彩红¹, 刘文俊¹, 郑 勇²

(1. 三峡大学 材料与化工学院, 宜昌 443002;

2. 南京航空航天大学 材料科学与技术学院, 南京 210016)

摘 要: 通过真空液相烧结工艺制备不同粘结相含量和相组成的 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷, 并用压痕法测量其断裂韧性, 研究粘结相含量和相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响。结果表明: 粘结相含量对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的断裂韧性具有一定影响, 当粘结相含量(质量分数)由 27% 增加到 37% 时, 断裂韧性从 $12.8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 提高到了 $17.3 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$; 与粘结相含量的影响相比, 粘结相相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的断裂韧性具有更加显著的影响, 当粘结相为铁素体时, 金属陶瓷的断裂韧性为 $28.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 增加了约一倍; 硬质相颗粒与粘结相的沿晶断裂, 尤其是粘结相的撕裂对其断裂韧性的增加起重要的贡献。

关键词: Mo_2FeB_2 基金属陶瓷; 粘结相含量; 粘结相组成; 断裂韧性

文章编号: 1004-0609(2017)-05-0967-07

中图分类号: TG148

文献标志码: A

Mo_2FeB_2 基金属陶瓷作为一种典型的金属陶瓷材料, 是以 Fe、Mo、FeB 等主要金属粉末为原料, 在真空高温条件下通过反应硼化烧结制备而成, 其硬质相和粘结相分别为三元硼化物 Mo_2FeB_2 和 $\text{Fe}^{[1-3]}$ 。与普通硬质合金 WC-Co 相比, Mo_2FeB_2 基金属陶瓷不仅成本相对低廉, 而且力学性能相当, 而密度却只有普通硬质合金的五分之三^[4-5], 这使其成为一种很有潜力的硬质合金替代品。目前, 该金属陶瓷已经应用于注射成型模、有色金属加工刀具和窑炉的衬板等领域^[6]。为进一步扩大其应用范围, 国内外学者对此做了大量研究。庞旭明等^[7]和 YANG 等^[8]研究了 Mn 对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷微观组织和力学性能的影响, 发现 Mn 可以降低液相形成的温度, 改善液相对硬质相的润湿性, 使得烧结体组织致密均匀, 晶粒更加细小, 从而获得更好的力学性能; 魏祥等^[9]将 Fe_2B 相和 Mo_2FeB_2 相共同作为强化相成功制备出 $\text{Fe}_2\text{B}-\text{Mo}_2\text{FeB}_2$ 基系列金属陶瓷, 并对其显微组织和性能进行了研究, 为研制高性价比的硼化物基金属陶瓷提供了一定的研究基础; MA 等^[10]利用反应热喷涂技术在 Q235 钢表面成功制备出了 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷覆层, 覆层与钢基体之间的结合强度达到了 58.06 MPa, 抗热震次数为 65 次, 将 Q235 钢表面的耐磨性提高了 8 倍以上, 拓展了

Mo_2FeB_2 基金属陶瓷在覆层方面的应用。然而, 有关如何提高 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的断裂韧性研究却鲜有报道。因此, 系统研究 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的断裂韧性和断裂机制具有重要的理论意义和实际应用价值。

通常, 金属陶瓷和硬质合金其断裂韧性会受硬质相颗粒尺寸、粘结相含量和粘结相平均自由程等因素的影响^[11-15]。但与典型的金属陶瓷 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})-\text{Ni}$ 和硬质合金 WC-Co 不同, Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的粘结相是 Fe, 在一定条件下其粘结相的相组成会发生变化。因而, 除了硬质相晶粒尺寸和粘结相含量, 粘结相的相组成也会影响 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的断裂韧性。陈继欣等^[16]前期已经对硬质相晶粒尺寸对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响进行了研究, 本文作者主要研究粘结相含量和相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响规律。

1 实验

实验所用原料为市场所售的 Mo、Fe、FeB、Cr、Ni 等粉末, 以及纯石墨粉。在 Mo/B 摩尔比不变的情况下通过改变 Fe 含量调整粘结相含量, 通过改变碳含

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51304124); 宜昌市科学基金资助项目(A16-302-a09)

收稿日期: 2016-02-26; 修订日期: 2017-03-28

通信作者: 余海洲, 副教授, 博士; 电话: 0717-6397505; E-mail: yuhaizhou78@163.com

量调整粘结相的相组成，具体成分设计见表 1 和 2。以无水乙醇为球磨介质，使用 QM-1SP 行星式球磨机对所需成分进行球磨，其中粉料与无水乙醇的质量比为 1:1，球磨时间 24 h，球磨转速 260 r/min，球料比为 5:1。球磨完成后，用红外干燥箱对球磨后的料浆进行干燥，其中干燥温度为 75 ℃，干燥时间为 100~120 min。使用质量分数为 7%的聚乙烯醇溶液造粒，然后通过 DY-30 台式电动压片机采用双向压制的方法将粉料压制成型，其中压力大小约为 200 MPa。初坯的烧结在 ZT-15-20 型真空/气氛烧结炉中进行，最高烧结温度为 1250 ℃，保温 40 min，其中液相烧结时真空度控制在 $10^0\sim10^{-1}$ Pa 之间。

使用 Bruker AXS D8-Advance X 射线衍射仪(Cu 靶, K_{α} , $\lambda=0.15456$ nm)对金属陶瓷进行物相分析，用 QUANTA200 型扫描电镜(SEM)在二次电子模式下观察金属陶瓷的断口形貌，在背散射模式下观察金属陶瓷的显微组织。对部分试样，经离子减薄后，采用 TECNAI G2 型透射电子显微镜(TEM)对金属陶瓷的显微组织进行进一步分析，其中加速电压为 200 kV。在显微硬度计(HXS-1000A)上，采用压痕法测定金属陶瓷的断裂韧性 K_{IC} ，其中加载载荷为 30 kN，保压时间为 15 s。在测试前，试样首先经金刚石砂轮精磨，然后依次用粒径为 15、4 和 0.5 μm 的金刚石抛光膏抛光，最后用清水长时间抛洗，断裂韧性 K_{IC} 按式(1)^[17]计算：

表 1 不同粘结相含量 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的成分配比
Table 1 Compositions of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase contents

Cermet	Mass fraction/%						Binder phase contents
	Mo	Fe	FeB	Cr	Ni	C	
A1	44.4	23	26.7	2.5	2.9	0.5	37
B1	48.0	17.5	28.6	2.5	2.9	0.5	32
C1	51.6	12	30.5	2.5	2.9	0.5	27

表 2 不同粘结相组成 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的成分配比
Table 2 Compositions of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase contents

Cermet	Mass fraction/%					
	Mo	Fe	FeB	Cr	Ni	C
B0	48	18.0	28.6	2.5	2.9	0
B1	48	17.5	28.6	2.5	2.9	0.5
B2	48	17.0	28.6	2.5	2.9	1.0
B3	48	16.5	28.6	2.5	2.9	1.5

$$K_{IC} = 0.15 \sqrt{\frac{HV30}{\sum l}}$$

(1)

测量时每个样品测 5 次，然后取平均值。

2 结果与分析

2.1 粘结相含量对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响

图 1 所示为不同粘结相含量的金属陶瓷显微组织。从图 1 可以看出，3 种金属陶瓷的显微组织均由灰白色的棒状硬质相和黑色的粘结相组成，无明显孔隙存在，同时随粘结相含量的减少，棒状硬质相的长细比有所增加。表 3 所列不同粘结相含量时金属陶瓷的断裂韧性。从表 3 可以发现，粘结相含量对金属陶瓷的断裂韧性有一定影响，随粘结相含量的增多，

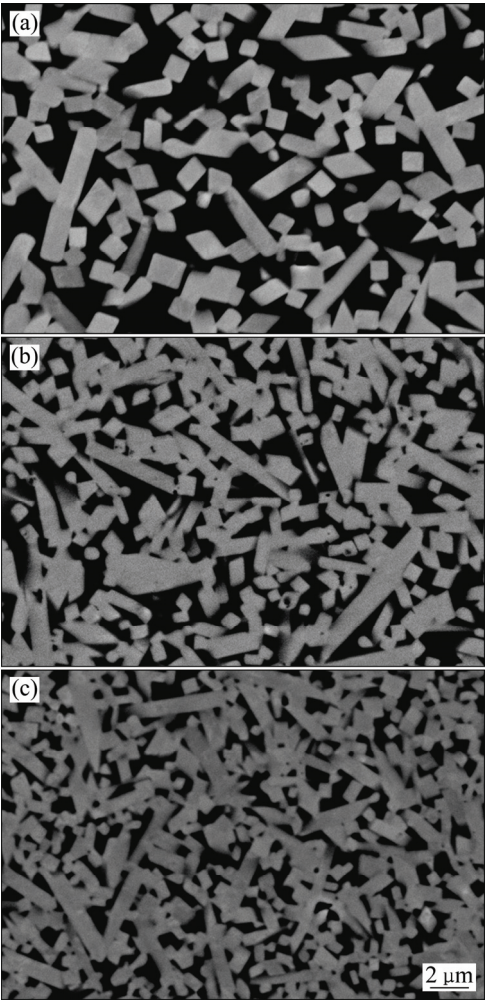


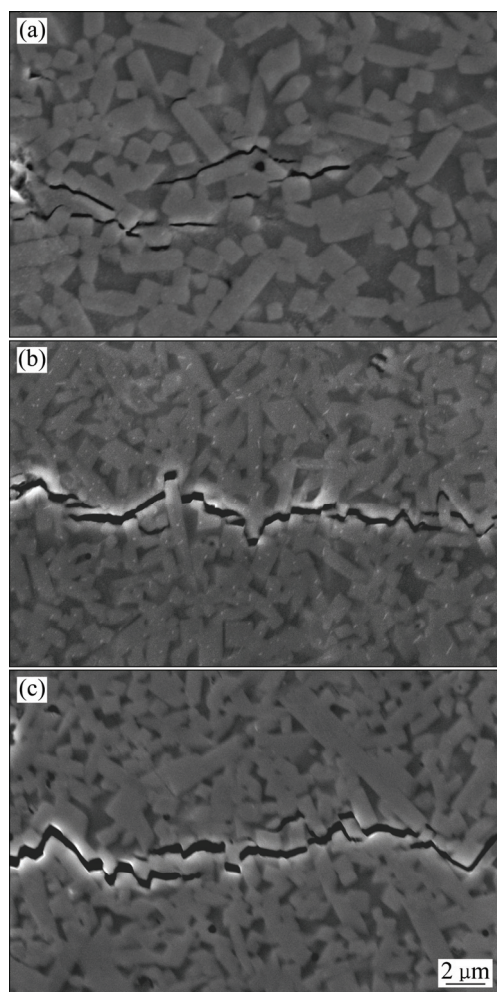
图 1 不同粘结相含量的 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的显微组织
Fig. 1 Microstructures of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase contents: (a) 37%; (b) 32%; (c) 27%

表 3 不同粘结相含量的 Mo_2FeB_2 金属陶瓷断裂韧性Table 3 Fracture toughness of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase contents

Binder phase content, w/%	Fracture toughness/($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
37	17.3
32	14.2
27	12.8

金属陶瓷的断裂韧性增加。

图 2 所示为金属陶瓷不同粘结相含量时的压痕裂纹相貌。由图 2 可知, 尽管随粘结相含量的减少, 棒状硬质相颗粒的桥接和裂纹偏转作用明显, 但当金属陶瓷粘结相含量为 37% 时, 其压痕裂纹长度不仅明显较短, 而且试样沿压痕对角线方向几乎看不到明显的主裂纹。在靠近压痕对角线附近出现了许多小裂纹, 并且这些小裂纹沿晶偏转和分叉, 如图 2(a) 所示。与只在压痕对角线形成一条主裂纹相比, 多条裂纹同时

图 2 不同粘结相含量的 Mo_2FeB_2 金属陶瓷压痕形貌Fig. 2 Indentation morphologies of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase contents: (a) 37%; (b) 32%; (c) 27%

形成并且各自扩展显然要消耗更多的能量, 这可能是其断裂韧性提高的原因之一。另外, 从图 2 也可以看出, 当金属陶瓷粘结相含量为 37% 时, 相当一部分裂纹在粘结相内部扩展。当裂纹在粘结相内部扩展时需要消耗大量的塑性变形功, 因此其断裂韧性会相应增加。

在以前的硬质相颗粒尺寸对金属陶瓷断裂韧性影响的研究中^[16], 发现硬质相颗粒的长细化生长促进了裂纹偏转, 提高了金属陶瓷的断裂韧性。在目前的研究中, 粘结相含量的增加虽然使得硬质相颗粒的长细比减小, 但断裂韧性依然有明显提高, 这说明相比于硬质相颗粒尺寸, 粘结相含量对断裂韧性的影响相对显著。其原因可能是相比于裂纹偏转, 粘结相含量增加时, 其裂纹在粘结相内部扩展时所消耗的塑性变形功对断裂韧性影响更加显著。

2.2 粘结相相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响

在相同的制备工艺条件下, 通过碳添加量的变化调整粘结相的相组成, 对不同碳含量的 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷进行 XRD 衍射分析, 结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, 尽管 4 种金属陶瓷均包含硬质相 Mo_2FeB_2 和少量的 Fe_2B 相, 但随碳含量的增加, 金属陶瓷粘结相的相组成发生了一定的变化。当碳含量为 0 和 0.5% 时, 金属陶瓷的粘结相为铁素体, 随碳含量的增加, 金属陶瓷的粘结相由铁素体转变为马氏体, 同时伴随着渗碳体相的出现。

为进一步分析碳含量为 0.5% 的粘结相的相组成, 使用透射电子显微镜(TEM)对其进行观察, 分析结果如图 4 所示。从图 4 可以发现, 在碳含量为 0.5% 时, 粘结相中也存在少量的马氏体。另外, 当碳含量为

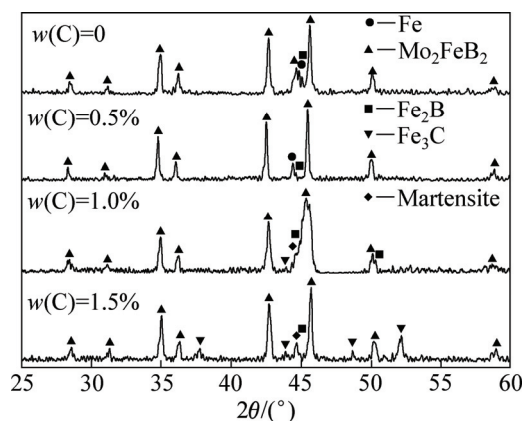


图 3 不同碳含量的金属陶瓷 XRD 谱

Fig. 3 XRD patterns of Mo_2FeB_2 based cermets with different carbon contents

1.5%的时, 金属陶瓷表面出现了边缘不规则的孔隙, 对孔隙区域进行放大和 EDS 分析, 可以发现孔隙为石墨相, 结果如图 5 所示。以上研究结果表明: 随碳含量的增加, 粘结相的相组成经历了铁素体(0%C)、铁

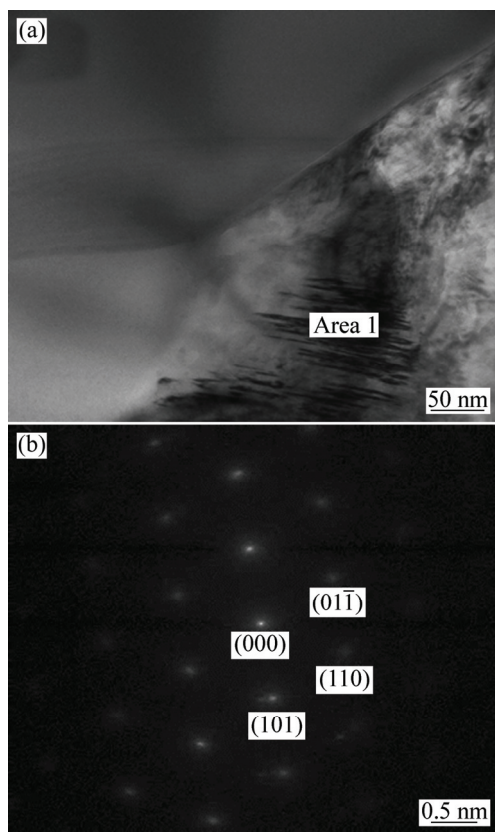


图 4 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷 TEM 明场像和电子衍射斑点及其标定(区域 1)

Fig. 4 TEM image (a) and corresponding diffraction pattern (b) of Mo_2FeB_2 based cermets (0.5%C) at area 1

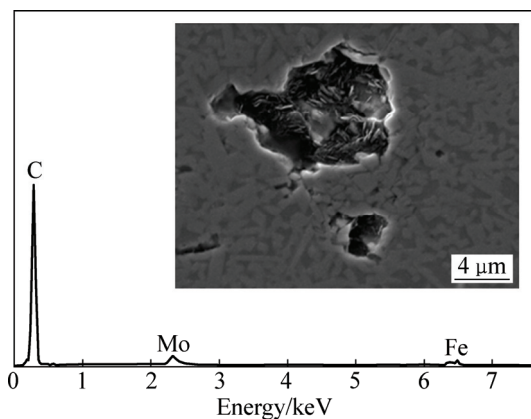


图 5 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷(1.5%C)中不规则孔洞形貌(a)及其 EDS 谱(b)

Fig. 5 Holes morphology of Mo_2FeB_2 based cermets (1.5%C) and EDS pattern (b)

素体+马氏体(0.5%C)、马氏体+渗碳体(1.0%C)、马氏

体+渗碳体+石墨(1.5%C)相的转变。对 4 种不同粘结相相组成的 Mo_2FeB_2 金属陶瓷的断裂韧性进行测试, 结果如表 4 所列。从表 4 可以发现, 粘结相相组成对金属陶瓷的断裂韧性有显著影响。当粘结相为铁素体时, 其硬度尽管有少量降低, 但是金属陶瓷不仅具有最大的断裂韧性 $28.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 而且其抗弯强度也最高。当粘结相中出现马氏体和渗碳体后其断裂韧性明显下降。

图 6 所示为具有代表性的 3 种不同粘结相相组成的金属陶瓷的压痕形貌。从图 6(a)可以看出, 压痕的四端点并无明显的可见裂纹。图 7 所示为铁素体粘结相金属陶瓷压痕的形貌。从图 7(a)的相对高倍的压痕形貌可以看出, 金属陶瓷的粘结相在高的局部载荷下发生了明显的塑性变形。对不同区域的金属陶瓷进行了多次压痕试验, 发现部分压痕的端部无明显可见裂纹的生成, 部分压痕端部出现了尺寸小于 $10 \mu\text{m}$ 的裂纹, 如图 7(b)所示。以上的试验结果表明, 当金属陶瓷粘结相为铁素体时, 粘结相具有极好的塑性变形能力, 它能钝化和捕获压痕裂纹, 阻碍其扩展, 因此表现出较高的断裂韧性。当粘结相为铁素体+马氏体(Fe+M)时, 压痕裂纹在粘结相内部及粘结相与硬质相界面扩展(见图 6(b)), 金属陶瓷表现出中等程度的断裂韧性。而当粘结相为马氏体+渗碳体+石墨(M+ Fe_3C +C)时, 粘结相脆性加大, 不仅压痕裂纹长度增加, 而且裂纹切过硬质相的现象加大(见图 6(c)), 从而导致金属陶瓷低的断裂韧性。

为进一步研究粘结相相组成对其断裂韧性的影响, 对不同粘结相相组成的金属陶瓷断口形貌进行观察, 如图 8 所示。从图 8 可以看出, 金属陶瓷断裂表面存在 4 种不同形式的断裂模式: Mo_2FeB_2 颗粒的穿晶断裂(c)、 Mo_2FeB_2 颗粒与 Mo_2FeB_2 颗粒的沿晶断裂(c/c)、 Mo_2FeB_2 颗粒与粘结相的沿晶断裂(b/c)和粘结相的撕裂(b)。当粘结相成分为马氏体+渗碳体+石墨(M+ Fe_3C +C)

表 4 不同粘结相相组成的 Mo_2FeB_2 金属陶瓷力学性能

Table 4 Mechanical property of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase

Binder phase composition	Fracture toughness/ ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)	Transverse rupture strength/MPa	Hardness, HRA
Fe	28.5	2018	88.8
Fe+M	14.2	1774	90.4
M+ Fe_3C	12.7	1653	90.3
M+ Fe_3C +C	11.5	1256	87.4

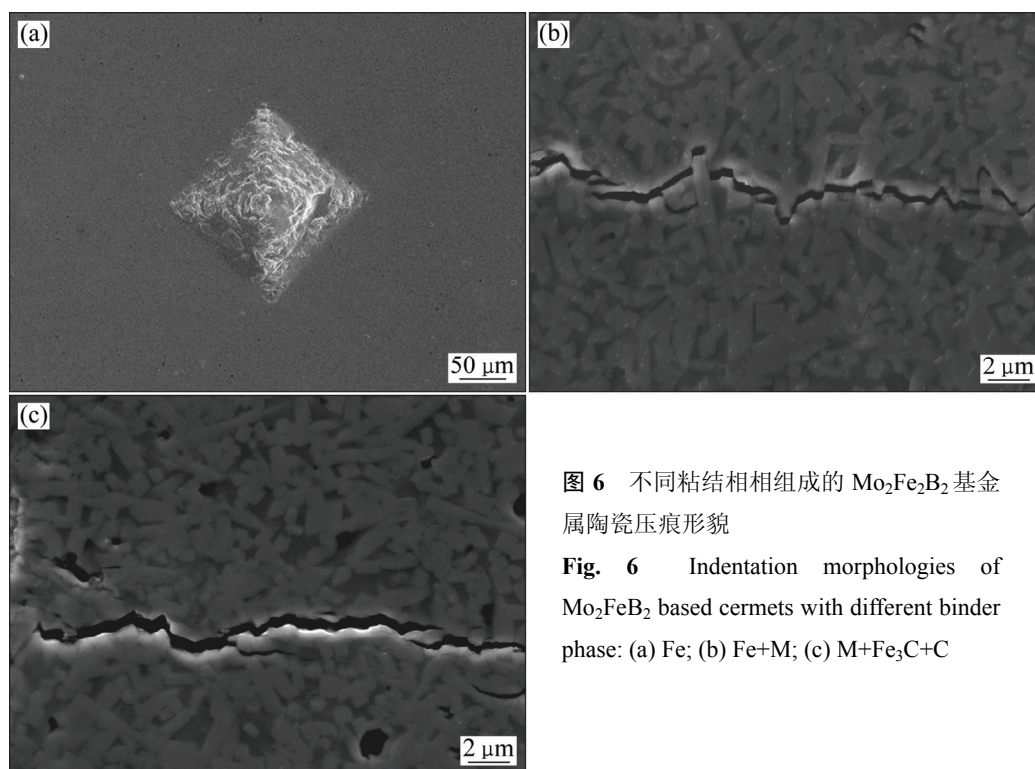


图 6 不同粘结相组成的 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷压痕形貌

Fig. 6 Indentation morphologies of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase: (a) Fe; (b) Fe+M; (c) M+ Fe_3C +C

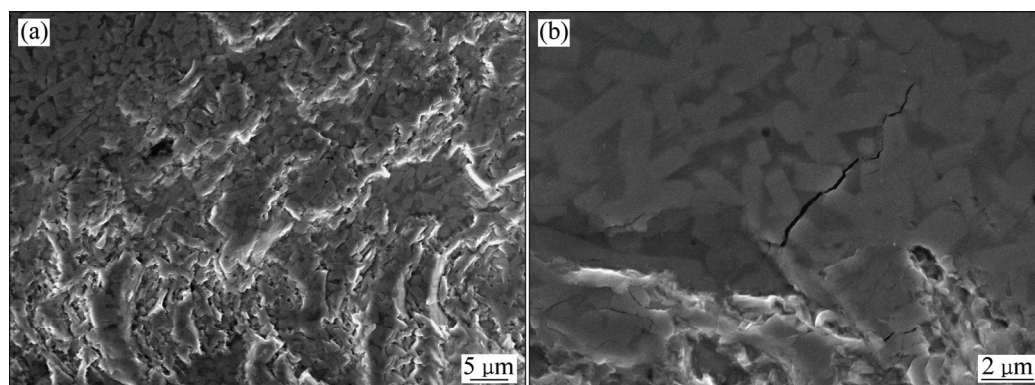


图 7 铁素体粘结相 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷压痕的形貌

Fig. 7 Indentation morphologies of Mo_2FeB_2 based cermets with Fe binder phase: (a) Without crack; (b) With crack

时, 断裂表面还存在着由于石墨相脱落而形成的圆形或片状孔洞(C)。从图 8 可以看出, 当粘结相为铁素体时, 硬质相颗粒与粘结相的沿晶断裂, 特别是粘结相的撕裂明显较多, 因此, 金属陶瓷断裂时能吸收更多的能量, 从而表现出高的断裂韧性和抗弯强度。与此相反, 当粘结相中存在马氏体时, 粘结相的撕裂断裂明显变少, 硬质相与硬质相沿晶断裂增加。尤其是当粘结相为马氏体+渗碳体+石墨时, 如图 8(c)所示, 金属陶瓷不仅存在着硬质相的穿晶断裂, 而且还存在着大量由于石墨脱落而形成的孔隙, 因此, 其断裂韧性最低。

3 结论

1) Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性随着粘结相含量的增加而增加。当粘结相含量(质量分数)由 27%增加到 37%时, 断裂韧性从 $12.8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 提高到 $17.3 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 其增韧机制为裂纹偏转和分叉。

2) 粘结相的相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性影响显著。当粘结相的相组成为铁素体时, 其断裂韧性明显增加, 硬质相颗粒与粘结相的沿晶断裂,

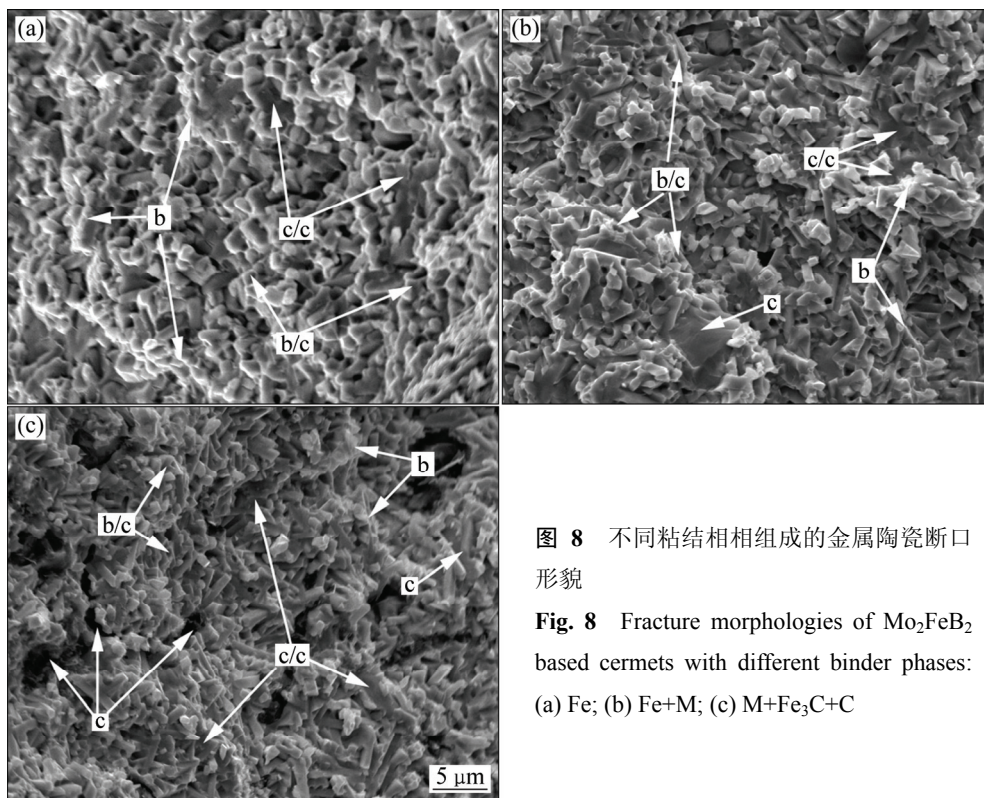


图8 不同粘结相组成的金属陶瓷断口形貌

Fig. 8 Fracture morphologies of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phases: (a) Fe; (b) Fe+M; (c) M+ Fe_3C +C

尤其是粘结相本身的撕裂对其断裂韧性的增加起重要的贡献。

3) 相比粘结相含量, 粘结相的相组成对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响更为明显。

REFERENCES

- [1] TAKAGI K. High tough boride base cermets produced by reaction sintering[J]. Materials Chemistry and Physics, 2001, 67(1/3): 214–219.
- [2] TAKAGI K. Development and application of high strength ternary boride base cermets[J]. Journal of Solid State Chemistry, 2006, 179(9): 2809–2818.
- [3] IDE T, ANDO T. Reaction sintering of an Fe-6 Wt Pct B-48 Wt Pct Mo alloy in the presence of liquid phases[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1989, 20(1): 17–24.
- [4] 王永国, 李兆前, 张 获. 新型三元硼化物基金属陶瓷的研究[J]. 无机材料学报, 2003, 18(6): 1217–1221.
WANG Yong-guo, Li Zhao-qian, ZHANG Di. Research on ternary boride based cermets[J]. Journal of Inorganic Materials, 2003, 18(6): 1217–1221.
- [5] 董 飞, 刘福田, 芦令超, 常 钧, 李兆前. 三元硼化物基金属陶瓷的制备及性能研究[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2004, 18(1): 28–30.
DONG Fei, LIU Fu-tian, LU Ling-chao, CHANG Ju, LI Zhao-qian. Production and properties's study of the ternary-boride based cermets[J]. Journal of Jinan University (Science & Technology), 2004, 18(1): 28–30.
- [6] 承 新, 郑 勇, 于海军, 卜海建, 严永林, 赵能伟. 三元硼化物基金属陶瓷的研究进展[J]. 材料导报, 2007, 21(7): 52–55.
CHENG Xin, ZHENG Yong, YU Hai-jun, BU Hai-jian, YAN Yong-lin, ZHAO Neng-wei. Research progress in the ternary boride base cermets[J]. Materials Review, 2007, 21(7): 52–55.
- [7] 庞旭明, 郑 勇, 王少刚, 王秋红. Mn对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷组织和力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2009, 19(9): 1618–1624.
PANG Xu-ming, ZHENG Yong, WANG Shao-gang, WANG Qiu-hong. Effects of Mn on structure and mechanical properties of Mo_2FeB_2 -based cermets[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2009, 19(9): 1618–1624.
- [8] YANG Feng-hao, WU You-zhi, HAN Jie-sheng, MENG Jun-hu. Microstructure, mechanical and tribological properties of Mo_2FeB_2 based cermets with Mn addition[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 665: 373–380.
- [9] 魏 祥, 陈志国, 黄奇胜. Fe_2B - Mo_2FeB_2 基金属陶瓷的显微组织与性能[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(4): 1012–1017.
WEI Xiang, CHEN Zhi-guo, HUANG Qi-sheng. Microstructure and properties of Fe_2B - Mo_2FeB_2 based cermets[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(4): 1012–1017.
- [10] MA Zhuang, WANG Wei, ZOU Ji-feng, DONG Shi-zhi, ZHANG Lian-yong, LI Zhi-chao. Preparation and properties of

- flame-sprayed Mo-FeB-Fe cermet coatings[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(6): 1314–1321.
- [11] 李晨辉, 余立新, 熊惟皓. 硬质相尺寸对金属陶瓷断裂韧性的影响[J]. 复合材料学报, 2003, 20(1): 20–25.
- LI Chen-hui, YU Li-xin, XIONG Wei-hao. Effect of hard phase grain size on cermets fracture toughness[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2003, 20(1): 20–25.
- [12] 刘文俊, 熊惟皓, 郑勇. $\text{Ti}(\text{C,N})$ 基金属陶瓷断口形貌及增韧机理[J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(5): 800–804.
- LIU Wen-jun, XIONG Wei-hao, ZHENG Yong. Appearance of fracture and toughening mechanisms of $\text{Ti}(\text{C,N})$ -based cermets[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2006, 16(5): 800–804.
- [13] 瞿峻, 熊惟皓, 刘文俊, 叶大萌. SiC 晶须改性金属陶瓷断裂韧性及增韧机理[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(3): 25–28.
- QU Jun, XIONG Wei-hao, LIU Wen-jun, YE Da-meng. Fracture toughness and toughening mechanisms of SiC whisker modified $\text{Ti}(\text{C,N})$ -based cermet[J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2010, 38(3): 25–28.
- [14] 夏志强, 郑勇, 吕学鹏, 周伟, 赵毅杰. FeB 粒度对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷硬质相形貌及力学性能的影响[J]. 硬质合金, 2014, 31(5): 290–296.
- XIA Zhi-qiang, ZHENG Yong, LÜ Xue-peng, ZHOU wei, ZHAO Yi-jie. Effects of FeB particle size on hard phase morphology and mechanical properties of Mo_2FeB_2 -based cermet[J]. Cemented Carbide, 2014, 31(5): 290–296.
- [15] BIBI M M, DIEGO G G, ARTURO D R, RICHARD I T. Grain size dependence of hardness and fracture toughness in pure near fully-dense boron carbide ceramics[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2016, 36: 1829–1834.
- [16] 陈继欣, 郑勇, 程鹏, 吕学鹏, 王秋红. 硬质相晶粒尺寸对 Mo_2FeB_2 基金属陶瓷断裂韧性的影响[J]. 硬质合金, 2013, 30(5): 237–241.
- CHEN Ji-xin, ZHENG Yong, CHENG Peng, LU Xue-peng, WANG Qiu-hong. Effect of grain size on fracture toughness of Mo_2FeB_2 -based cermets[J]. Cemented Carbide, 2013, 30(5): 237–241.
- [17] CHUBERT W D, NEUMEISTER H, KINGER G, LUX B. Hardness to toughness relationship of fine-grained WC-Co hardmetals[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 1998, 16(2): 133–142.

Effect of binder phase contents and compositions on fracture toughness of Mo_2FeB_2 based cermets

ZHAO Di¹, YU Hai-zhou¹, LI Yang¹, SUN Cai-hong¹, LIU Wen-jun¹, ZHENG Yong²

(1. College of Mechanical and Material Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002, China

2. College of Materials Science and Technology,

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A series of Mo_2FeB_2 based cermets with different binder phase contents and compositions were fabricated by liquid phase sintering. The fracture toughness was measured by the indentation method, and the effects of binder phase contents and compositions on fracture toughness of Mo_2FeB_2 based cermets were investigated. The results show that the fracture toughness increases from $12.8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ to $17.3 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ with an increase of binder phase content (mass fraction) from 27% to 37%. In addition, the effect of the binder phase compositions on the fracture toughness of Mo_2FeB_2 based cermets is more obvious compared with that of the binder phase contents. The fracture toughness improves to $28.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ when the binder phase is ferrite, which is twice higher than that of martensite binder phase. The toughening mechanism is characterized by dimple rupture across the binder and near a binder/hard phase interface.

Key words: Mo_2FeB_2 based cermets; binder phase content; binder phase composition; fracture toughness

Foundation item: Project(51304124) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project(A16-302-a09) supported by the Science Foundation of Yichang, China

Received date: 2016-02-26; **Accepted date:** 2017-03-28

Corresponding author: YU Hai-zhou; Tel: +86-717-6397505; E-mail: yuhaizhou78@163.com

(编辑 何学锋)