Mater. Rep. B, 2019, Vol. 33, No. 11
DOI: 10.11896/cldb.18100185
http://www.mater-rep.com http://www.mr-int.net

[补充信息]

原位自生 TiCp/6061 复合材料的组织、硬度及耐磨性能

庄伟彬，田宗伟，刘广柱，孙跃军✉

辽宁工程技术大学材料科学与工程学院，阜新 123000

[Supplementary Information]

Microstructure, Hardness and Wear Resistance Properties of In-Situ TiCp/6061 Composites

ZHUANG Weibin, TIAN Zongwei, LIU Guangzhu, SUN Yuejun✉

College of Materials Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000

TiC 反应物预制块的制备

按照 Ti：C 摩尔比 1：1，（Ti+C）：Al 质量比 1：1 分别称取 Al 粉、Ti 粉和 C 粉。粉料的混合采用德国飞驰 Pulverisette 7 型球磨机，球料比（质量比）选用 5：1，粉料装入球磨罐后充入氩气保护，球磨机转速为 200 r/min，混合 4 h。混合粉末球磨后的 XRD 分析，如图 S1 所示。将混合粉末装入钢制模具中，在液压机上压制成块后，用铝箔包裹待用。由图 S1 可见，混合粉料中只有 Al、Ti 和 C 的衍射峰，未见杂质相的出现，由此可见粉料在球磨的过程中未诱发机械合金化，这保证了预制块成分能够与其设计成分一致，为制备原位自生 TiCp/6061 复合材料提供工艺基础。

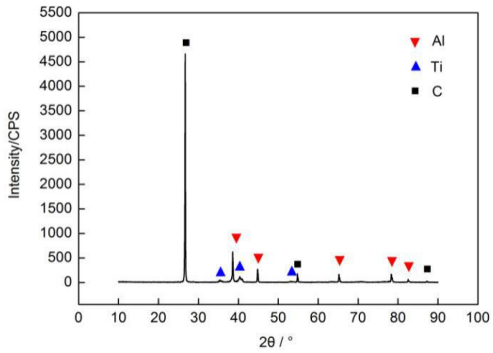

图 S1　球磨后 Al-Ti-C 混合粉料的 XRD 图谱

Fig.S1　XRD patterns of balled Al-Ti-C mixed powder

Al-Ti-C 反应体系的热力学分析

在 Al-Ti-C 三元反应体系中，可能发生以下化学反应：

$$3Al + [Ti] \rightarrow Al_3Ti \quad (S1)$$

$$Al + [Ti] \rightarrow AlTi \quad (S2)$$

$$4Al + 3[C] \rightarrow Al_4C_3 \quad (S3)$$

$$[Ti] + [C] \rightarrow TiC \quad (S4)$$

✉ sunyuejun0001@163.com

计算 Al-Ti-C 三元反应体系在 800~1 500 K 范围内，Al_3Ti、AlTi、Al_4C_3 和 TiC 的标准反应吉布斯自由能数值，计算结果如表 S1 所示。

表 S1　原位反应过程中标准反应吉布斯自由能差
Table S1　Standard reaction Gibbs free energy difference during the in-situ reactions

Temperature	3Al + Ti→ Al_3Ti	Al + Ti→AlTi	4Al + 3C→Al_4C_3	Ti + C→ TiC
1 500 K	-87 419 J·mol^{-1}	-55 439.5 J·mol^{-1}	-137 213 J·mol^{-1}	-166 370.5 J·mol^{-1}
1 400 K	-93 769.8 J·mol^{-1}	-57 610.6 J·mol^{-1}	-145 291.4 J·mol^{-1}	-167 840.6 J·mol^{-1}
1 300 K	-100 120.4 J·mol^{-1}	-59 790.3 J·mol^{-1}	-153 330.2 J·mol^{-1}	-169 279.9 J·mol^{-1}
1 200 K	-106 473.2 J·mol^{-1}	-61 984 J·mol^{-1}	-161 327 J·mol^{-1}	-170 723.2 J·mol^{-1}
1 100 K	-112 604.4 J·mol^{-1}	-63 983.3 J·mol^{-1}	-169 243.6 J·mol^{-1}	-171 968.5 J·mol^{-1}
1 000 K	-118 511 J·mol^{-1}	-65 796 J·mol^{-1}	-177 070 J·mol^{-1}	-173 027 J·mol^{-1}
900 K	-123 194.9 J·mol^{-1}	-67 198.6 J·mol^{-1}	-183 250.4 J·mol^{-1}	-174 059.2 J·mol^{-1}
800 K	-125 446.4 J·mol^{-1}	-67 794 J·mol^{-1}	-186 167 J·mol^{-1}	-175 072.8 J·mol^{-1}

由表 S1 可以看出在 800~1 100 K 温度范围内，Al-Ti-C 三元反应体系中 4 种可能的反应 $\Delta G_T^{\ominus}$ 均小于 0，说明 4 种反应物均可以自发进行。进一步分析可以看出，在 800~1 100 K 这一温度范围内反应（S3）的 $\Delta G_T^{\ominus}$ 最低，由此可以得出，在这一温度范围内 Al_4C_3 为生成物中最稳定的相，TiC、Al_3Ti、AlTi 稳定性依次降低。由表 S1 还可以看出作为 Al_xTi 化合物，生成 Al_3Ti 相的反应前后 $\Delta G_T^{\ominus}$ 始终低于生成 AlTi 相，因此可以推断，虽然按照热力学计算 AlTi 相是可能存在的，然而随着反应的进行 AlTi 相会不断地分解，生成更稳定的 Al_3Ti 相。当温度大于 1 100 K 时，与其他反应相比，反应（S4）的 $\Delta G_T^{\ominus}$ 最低，其余反应的 $\Delta G_T^{\ominus}$ 有明显上升趋势，这说明了反应（S4）在此温度更易自发的完成，其余反应有向反方向进行的趋势。TiC 为所有生成物中最稳定存在的相。