

挤压铸造 $\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料

液-固两相区包覆挤压^①

张文龙 丁冬雁 王德尊 姚忠凯

(哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

摘 要 研究了 $\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料固相区和液-固两相区挤压行为, 提出了包覆挤压方法。通过 SEM、图象分析和拉伸性能测试, 对铸态和挤压态 $\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料的组织和性能进行了观察、分析和测定。结果表明, 液-固两相区挤压虽然有效地减轻了晶须折断程度, 却造成了挤压棒表面质量的恶化; 液-固两相区包覆挤压既有效地减轻了晶须折断程度, 又保证了挤压棒的表面质量。与固态挤压相比, 液-固两相区包覆挤压的挤压棒强度进一步提高和塑性大幅度下降, 可归因于晶须折断程度减轻。

关键词 铝基复合材料 液固两相区 包覆挤压 组织 性能

中图法分类号 TG151

关于非连续增强金属基复合材料的研究已有大量报导^[1-10], 然而对该类复合材料的强化机制并不十分清楚。就 SiC_w/Al 复合材料而言, 碳化硅晶须承载无疑是最主要的发现, 这类材料的增强体与基体之间的界面结合强度虽对载荷的传递起着至关重要的作用, 但在界面结合强度足够满足载荷传递要求的前提下, SiC 晶须自身的状态, 如长度、方向性, 将是决定其承载能力的最重要的两个因素。保持 SiC 晶须定向排列和具有较大长度, 可以充分发挥 SiC 晶须在复合材料中的承载作用, 从而达到提高复合材料纵向强度的目的。

挤压是使复合材料中 SiC 晶须达到定向排列的行之有效的办法。遗憾的是, 挤压使 SiC 晶须定向排列的同时却造成了晶须的严重折断^[11], 势必限制复合材料强度的充分发挥。因此, 尽量减轻挤压过程中晶须的折断程度具有非常重要的意义。本文提出的液-固两相区包覆挤压方法, 在保证挤压棒表面质量的同时, 成功地减小了晶须折断程度, 是一种行之有效的方

法。

1 实验材料及方法

$\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料用挤压铸造法制备, L3 化学成分如表 1。压铸工艺为: 模具预热温度 510°C , 浇铸温度 800°C , 复合压力 80 MPa , 晶须体积分数 15%、平均长度 $8.5\text{ }\mu\text{m}$ 。由差热分析知, L3 起始熔化温度为 625.9°C , $\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料起始熔化温度为 605°C 。复合材料的起始熔化温度低于 L3 , 是由于复合材料中 SiC_w 与基体间相界面优先熔化的结果。复合材料挤压实验在 400 t 油压机上进行, 挤压速度为 4 mm/s , 挤压比为 $9:1$ 。包覆挤压是在普通挤压方法的基础上, 在坯料 (SiC_w/Al 复合材料) 的下面增加一层纯 Al , 利用纯铝和复合材料间起始熔化温度的差别来实现的, 如图 1。组织观察用日立 S-570 扫描电镜, 晶须长度及取向测定用英国产 MAGISCAN 2A 图像分析

① 国家自然科学基金重点资助项目 (5963108)

收稿日期: 1998-03-24; 修回日期: 1998-07-02

张文龙, 男, 35 岁, 博士

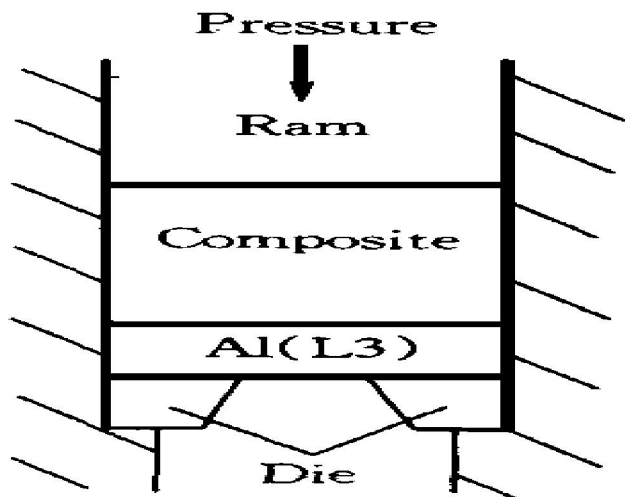


图1 包覆挤压示意图

Fig. 1 Scheme of clad extrusion

表1 纯铝 (L3) 化学成分 (GB3190-82)

Table 1 Composition of pure aluminium (%)

Cu	Fe	Si	Fe+ Si	Al	Bal.
≤0. 015	≤0. 3	≤0. 3	≤0. 45	≥99. 5	≤0. 03

仪；拉伸试验在英国产 Instron 1186 电子拉伸试验机上进行，拉伸速度 1 mm/min。

2 实验结果和讨论

2. 1 挤压力和挤压棒中 SiC_w 的取向和长度

图2为稳态挤压压力随挤压温度的变化情况，可见，稳态挤压压力随温度升高而降低。液-固两相区挤压显著地降低稳态挤压压力，所以液-固两相区挤压有利于 $\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料的塑性成形。

图3为 570 °C 固相区挤压和 620 °C 液-固两相区挤压的挤压棒中 SiC_w 取向的 SEM 照片，可见，挤压使 SiC_w 沿挤压方向定向排列，而且 620 °C 液-固两相区挤压的晶须平均长度较 570 °C 固相区挤压的较大。经图象分析仪测定大量照片可知，570 °C 时晶须长度约为 4 μm ，620 °C 时约为 7 μm ；可见，液-固两相区挤压可有效地减少晶须折断，这与液-固两相区稳态挤压力低是一致的。

2. 2 挤压棒表面质量

图4为挤压棒表面形貌照片。采用普通挤压方法，挤压温度低于 605 °C（起始熔化温度）时挤压棒表面比较光滑，表面质量较好，如图4(a)，(b) 和 (c) 所示。620 °C 液-固两相区挤压时，挤压棒表面质量不好，出现鱼鳞状宏观裂纹，如图4(d) 所示。

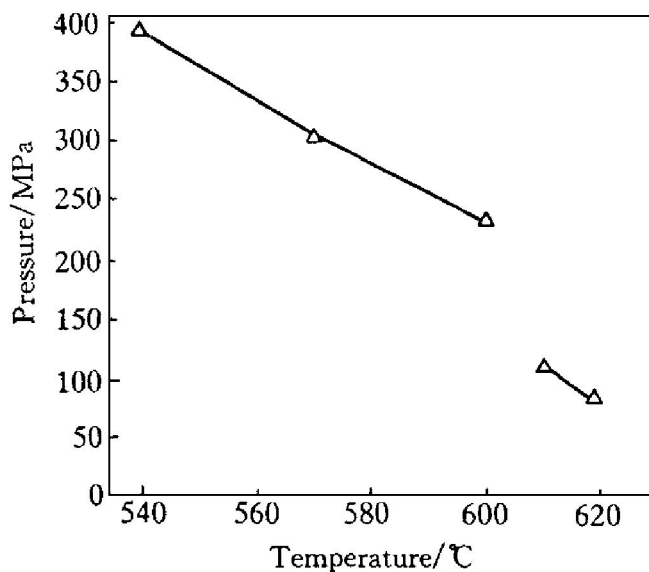


图2 稳态挤压压力与挤压温度的关系

Fig. 2 Relation between steady-extrusion pressure and temperature

虽然液-固两相区挤压达到了减小晶须折断的目的，却导致了表面质量恶化的新问题。为了改善液-固两相区挤压表面质量，提出了包覆挤压方法。

采用液-固两相区包覆挤压方法，挤压棒表面很光滑，表面质量很好，挤压棒表面没有出现鱼鳞状宏观裂纹，如图4(e)。

图5为液-固两相区挤压的挤压棒表面微观裂纹 SEM 照片。裂纹与挤压方向约呈 60° 角，长度约为 66 μm 。图6为液-固两相区包覆挤压的挤压棒表面层 SEM 照片，可见挤压棒表面有一层厚约 130 μm 的包覆层。图7为液-固两相区包覆挤压的挤压棒表面层与心部之间边界区域的 SEM 照片，可见：包覆层与心部结合较好，边界区域 $\text{SiC}_w/\text{L3}$ 复合材料一侧没有发现微观裂纹的存在。因此，包覆挤压是改善液-固两相区挤压的挤压棒表面质量的行之有效的方法。将图7与图3(a) 比较，发现液-固两相区包覆挤压的晶须折断明显减少。经图像

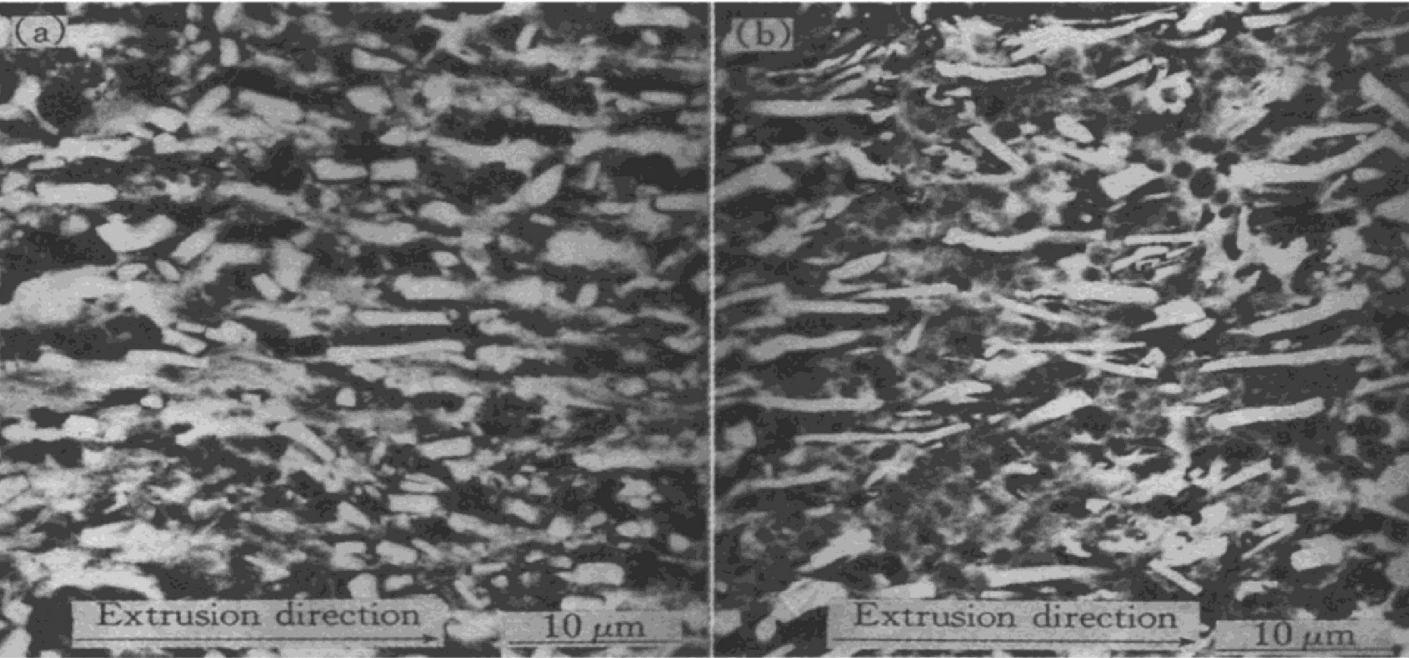


图 3 挤压棒中 SiC_w 取向的 SEM 照片

Fig. 3 SEM photographs along SiC whiskers orientation in extruded bars
(a) —Extrusion in solid phase region; (b) —Extrusion in liquid-solid two phase region

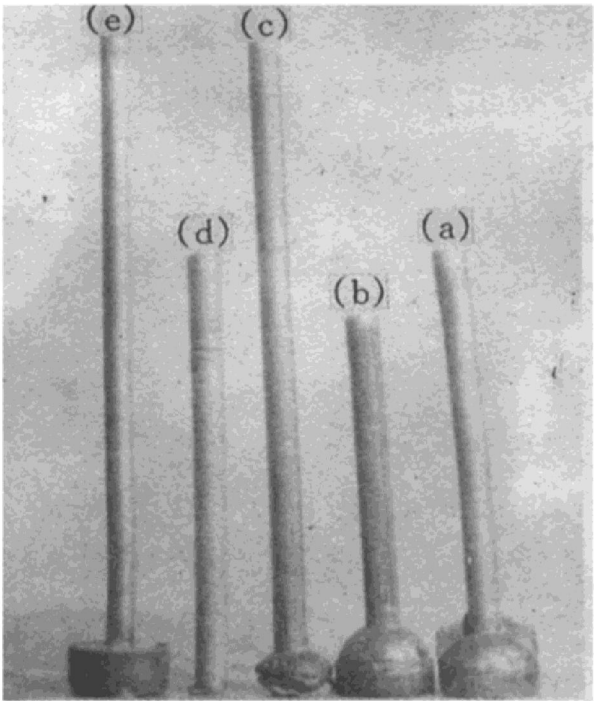


图 4 挤压棒表面形貌照片

Fig. 4 Surface morphology of extruded bars
(a) —540 °C; (b) —570 °C;
(c) —600 °C; (d), (e) —620 °C

分析仪测定大量照片可知, 620 °C液-固两相区包覆挤压的挤压棒中晶须长度约为 7 μm, 与液-固两相区挤压 (非包覆) 时基本相同。这样, 运用液固两相区包覆挤压方法, 在保证表面质

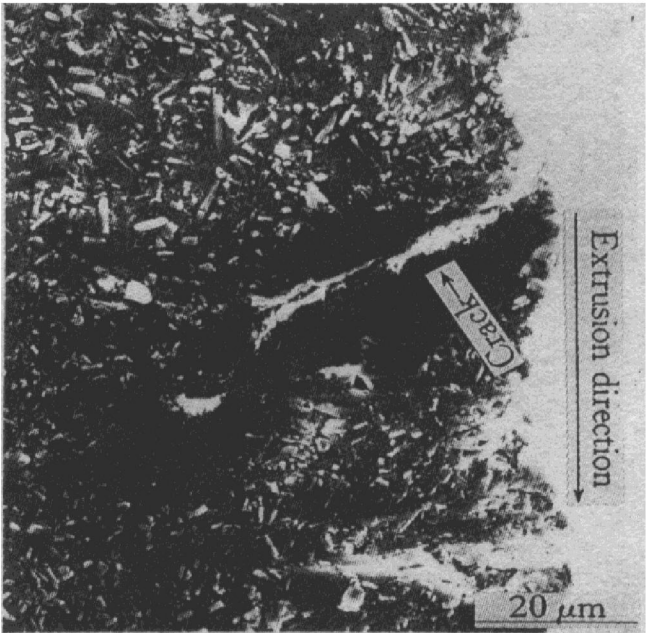


图 5 液-固两相区挤压的挤压棒
表面微观裂纹 SEM 照片

Fig. 5 SEM photograph of surface microcrack in extruded bars prepared by liquid-solid two phase region extrusion

量的同时, 达到了减少晶须折断的目的。

2. 3 性能

表 2 示出了 L3、铸态及挤压态 SiC_w/L3 复合材料间性能的对比情况。可见, 铸态 SiC_w/

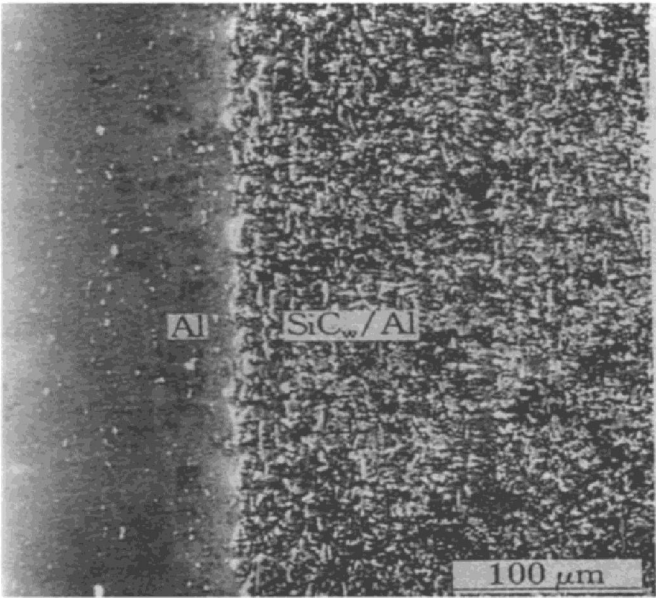


图 6 液-固两相区包覆挤压的
挤压棒表面层 SEM 照片

Fig. 6 Surface layer of extruded bars
prepared by liquid-solid
two-phase region extrusion

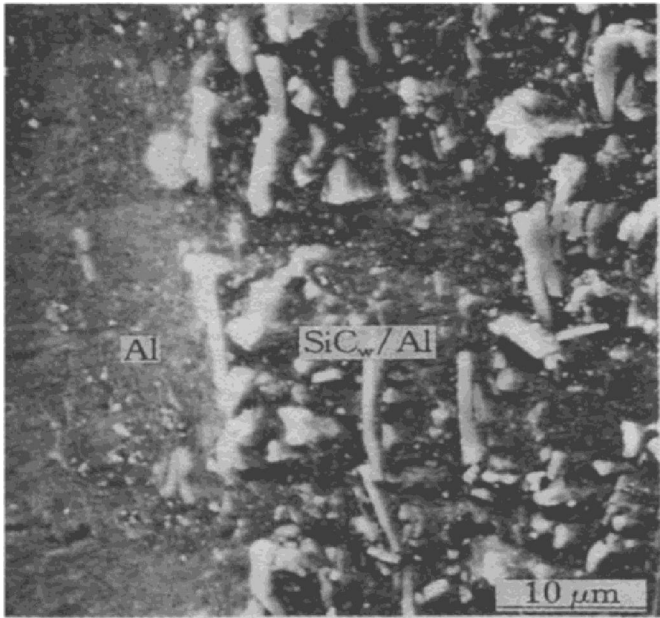


图 7 液-固两相区包覆挤压的挤压棒
表面层与心部之间边界区域 SEM 照片

Fig. 7 Boundary between surface layer and
center of extruded bars prepared by
liquid-solid two-phase region extrusion

L3 复合材料较纯 Al 的抗拉强度提高了 64. 81 MPa, 而塑性却下降了约 87%; 与铸态相比, 固态挤压时复合材料强度和塑性均有较大提高, 抗拉强度提高约 110 MPa, 屈服强度提高

表 2 纯铝及不同状态复合材料间性能对比

Table 2 Comparison of properties of pure
aluminium and different composites

Material	σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	E / GPa	δ / %
Al (L3)	119. 60	—	—	21. 50
15% SiC _w /L3 (as-cast)	184. 41	90. 25	77. 55	2. 70
Extruded SiC _w /L3 (15%)	0	292. 17	147. 85	84. 02
	1	298. 52	148. 08	83. 85
	2	291. 46	148. 65	80. 84
	3	322. 40	157. 05	96. 33

0—540 ℃, 1—570 ℃, 2—600 ℃ extrusion in solid region; 3—
620 ℃ extrusion in liquid-solid two-phase region

约 58 MPa, 弹性模量提高 3~ 7 GPa, 塑性由铸态的 2. 7% 提高到 6. 6%~ 7. 72%。与固态挤压相比, 液-固两相区包覆挤压时, 复合材料强度进一步提高, 抗拉强度、弹性模量分别提高 10% 左右, 屈服强度提高 8%, 然而塑性却有很大的下降, 下降约 46%。与固态挤压相比, 液-固两相区包覆挤压使复合材料强度进一步提高而塑性下降很多, 是由于液-固两相区包覆挤压晶须折断程度减小所致。值得注意的是, 固态时挤压温度对挤压棒的强度和模量影响不大。

3 结论

(1) 稳态挤压力随挤压温度的升高而下降, 液-固两相区挤压可以大幅度降低稳态挤压力, 从而在改善 SiC_w/L3 复合材料的成形性的同时, 减少了挤压过程中的晶须折断。

(2) 固态挤压时, 挤压棒表面质量良好; 液-固两相区挤压时, 虽然减少了晶须折断, 却使挤压棒表面出现鱼鳞状宏观裂纹; 液-固两相区包覆挤压, 在保证挤压棒表面质量的同时, 能够有效地消除该种裂纹。

(3) 与纯铝相比, 铸态 15% SiC_w/L3 复合材料抗拉强度有较大提高而塑性却下降较多。

(4) 与铸态相比, 固态挤压使 SiC_w/L3 复合材料的强度、弹性模量和延伸率得到不同程

度的提高。与固态挤压相比,液-固两相区包覆挤压,虽进一步提高了复合材料的强度,却使延伸率大幅度下降,这是由于液-固两相区包覆挤压过程中晶须折断程度小的缘故。

REFERENCES

- 1 McDanel R and Welton W. Metal Progress, 1960, 78 (6): 118.
- 2 Ohori K, Watanabe H and Takeuchi Y. Materials Science and Technology, 1987, 3: 57– 60.
- 3 Miller W S and Humphreys F J. Scripta Metallurgica et Materialia, 1991, 25: 2623– 2626.
- 4 Liu Zongrong (刘宗荣). PhD Dissertation, (in Chinese). Harbin: Harbin Institute of Technology, 1994.
- 5 Davis L C and Alliwon J E. Metall Trans, 1993, 24A (11): 2487.
- 6 Liu Y L. Script Materialia, 1996, 35 (2): 253– 259.
- 7 Stanford– Beale C A and Clyne T W. Composites Science and Technology, 1989, 35: 121– 157.
- 8 Flom Y and Arsenault R J. Mater Sci Eng, 1986, 77: 191.
- 9 Yoo Y C *et al.* Composites Science and Technology, 1997, 57: 651– 654.
- 10 Zhang Wenlong, Cai Luchun *et al.* Transactions of Nonferrous Metals Society of China (accepted).

CLAD EXTRUSION OF SQUEEZE-CAST $\text{SiC}_w/\text{L3}$ COMPOSITE IN LIQUID-SOLID TWO-PHASE REGION

Zhang Wenlong, Ding Dongyan, Wang Dezun and Yao Zhongkai
*School of Materials Science and Engineering,
 Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China*

ABSTRACT The extrusion behavior of $\text{SiC}_w/\text{L3}$ composite in the liquid-solid two phase region as well as the solid phase region was studied. A process of clad extrusion is presented. Experiments on the microstructure and properties of both as-cast and as-extruded composites were conducted by SEM, graph-analyzer and tensile tests. Results showed that although the extrusion in liquid-solid two-phase region helps decrease the breakage degree of whiskers effectively, the surface quality of corresponding extruded bars becomes worse; clad extrusion in liquid-solid two phase region not only decreases the breakage degree of whiskers effectively, but also guarantees the surface quality. In comparison with solid phase extrusion, the strength of extruded bars after clad extrusion in liquid-solid two phase region increases to a certain degree and the plasticity decreases greatly. This phenomenon may be explained by the decrease in the breakage degree of whiskers.

Key words aluminium matrix composite liquid-solid two phase region clad extrusion microstructure mechanical properties

(编辑 彭超群)