第 16 卷 第 2 期 复 合 材 料 学 报 Vol 16 No. 2
1999 年 5 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA May 1999

SiCw/6061Al 复合材料热挤压杯及管材组织和性能

张文龙 蔡柳春 彭华新 王德尊 姚忠凯
(哈尔滨工业大学 433 信箱, 哈尔滨 150001)

摘 要 通过 SEM、TEM 及硬度和拉伸性能测试对 SiCw/6061Al 复合材料正挤压管材和反挤压杯的组织和性能进行了观察和测定。研究结果表明, 挤压使 SiCw 发生了定向排列和折断, 挤压温度是影响挤压件组织和性能的重要因素, 挤压件硬度分布不均匀是由于金属流动不均匀所致, 挤压后固溶时效处理能够大幅度地提高复合材料的抗拉强度。

关键词 SiCw/6061Al 复合材料, 挤压, 组织, 性能
中图分类号 TB333; TG323

SiCw (碳化硅晶须) 增强铝基复合材料具有高比强度、高比模量、较低的热膨胀系数和耐磨性等一系列特性, 并且可用传统的加工技术和设备进行二次加工, 是一种有广泛应用前景的材料。近年来, 国内外众多的研究者对 SiCw/Al 复合材料进行了多方面的研究, 在国外该复合材料已得到应用[1, 2]。以往对 SiCw/Al 复合材料的研究主要集中于微观组织、界面特征、变形行为等方面[3~5], 而对二次加工的研究虽也有一些报道, 但主要集中于正挤压方面[6, 7]。二次加工(包括塑性成形)是复合材料应用中必须解决的关键性问题。本文中针对 SiCw/6061Al 复合材料的塑性成形, 不仅对正挤压管材的组织和性能进行了研究, 而且对反挤压杯的组织和性能也进行了研究, 以期为进一步拓宽 SiCw/Al 复合材料的应用奠定基础。

1 实验材料及方法

SiCw/6061Al 复合材料用挤压铸造法制备。压铸工艺为: 模具预热温度 510℃, 浇铸温度 800℃, 复合压力 50MPa; 晶须体积分数为 20%, 其固相线温度为 580℃。挤压装置示意图如图 1。挤压试验在 400 吨油压机上进行。固溶时效处理工艺为: 淬火温度 510℃, 保温 1 h, 时效温度 175℃, 保温 10 h。组织观察采用日立 S-570 扫描电镜。硬度测试采用维氏硬度计, 其载荷值为 10 kg。拉伸试验在 Instron 电子拉伸试验机上进行, 拉伸速度 1 mm/min。

2 试验结果及分析

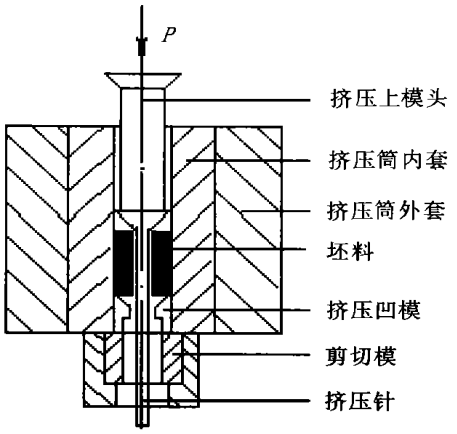
2.1 组织观察

2.1.1 反挤压杯中晶须取向和折断

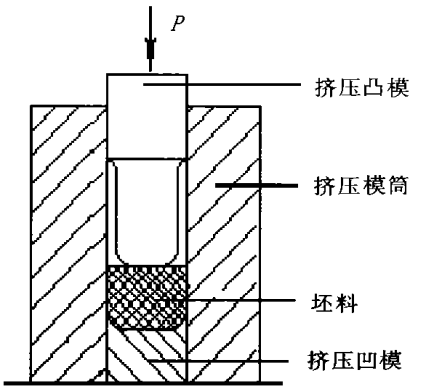
图 2 为反挤压杯(540 ℃挤压)剖面图, 图 3 为其相应部位的 SEM 照片。由图 3 可见, 挤压杯不同部位 SiCw 均沿挤压方向发生了一定程度的定向排列, 而且基体金属由 I 区向 II 区、III

收修改稿、初稿日期: 1998-01-05, 1997-09-18

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) 正挤压



(b) 反挤压

图 1 挤压装置示意图 Fig. 1 Schematic of the extrusion devices

区塑性流动过程中受模具的限制晶须的取向由横向逐渐过渡到纵向, 与金属流动方向完全一致, 说明晶须的定向排列是由金属塑性流动所致。图 4 为 III 区晶须取向分布直方图。可见挤压杯 III 区晶须定向排列情况是中间取向程度最高、内侧次之、外侧最差。I 区、II 区也同样具有这种现象。这是由于两侧受摩擦力所限金属流动量小, 而中间部位金属流动量大所致[8]。

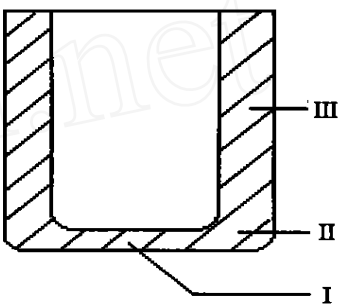


图 2 挤压杯剖面图

Fig. 2 Longitudinal section of the extruded cup

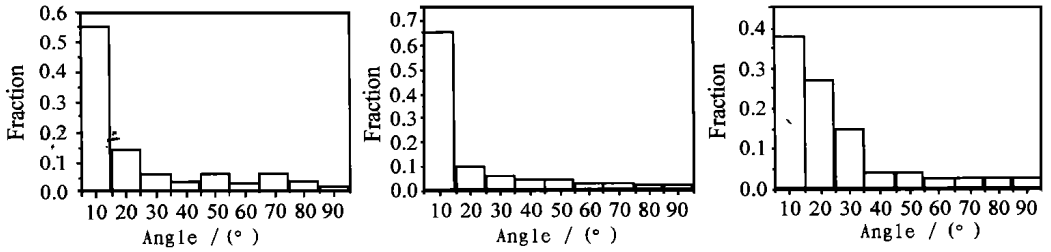
图 5 为挤压杯不同部位晶须长度分布直方图。可见, 复合材料反挤压后晶须长度由铸态 8.5 μm 左右变为 3.75 μm 左右, 说明反挤压成形过程中晶须折断是严重的。挤压杯不同部位晶须折断情况不同, 中部折断最严重, 内侧次之, 外侧折断最轻, 与金属流动程度相对应。

(a) I 区 (b) II 区 (c) III 区

图 3 挤压杯不同部位 SEM 照片

Fig. 3 SEM photographs of different locations in the extruded cup

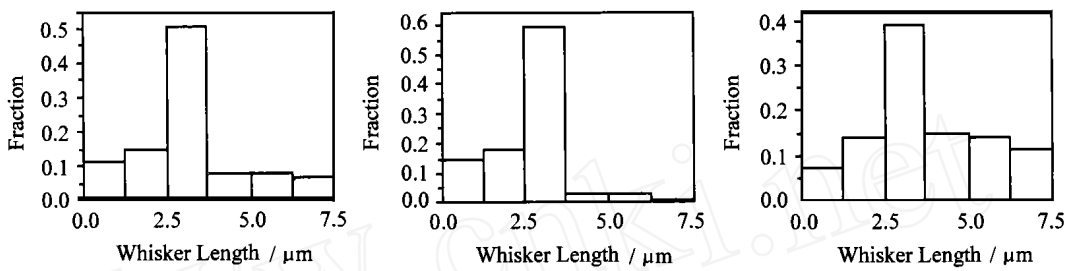
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) III 区内侧　　(b) III 区中间　　(c) III 区外侧

图 4　挤压杯 III 区晶须取向分布直方图

Fig. 4　Whiskers' orientation distribution in region III of the extruded cup



(a) III 区内侧　　(b) III 区中间　　(c) III 区外侧

图 5　挤压杯不同部位晶须长度分布直方图

Fig. 5　Whiskers' length distribution in different parts of the extruded cup

2.1.2　正挤压管材晶须取向和折断

图 6 为管材剖面图及相应部位的 SEM 照片。可见挤压后晶须均排向了挤压方向, 受模具限制金属由 II 区向 I 区流动过程中晶须由与纵向成一定角度变成与纵向平行。统计结果表明, 管材中晶须取向及折断规律与反挤压杯中规律完全相同, 即中部取向程度最高折断最严重, 内侧次之, 外侧再次之。

(a) 管材剖面图　　(b) 压余(II 区)　　(c) 管材(I 区)

图 6　管材剖面图及相应的 SEM 照片

Fig. 6　Longitudinal section of the tube and corresponding SEM photographs

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.1.3 SiC_w/6061Al 复合材料中的位错

图 7 分别示出了 580℃和 540℃反挤压成形杯状件中位错 TEM 形貌。可见 580℃挤压时杯状件中位错以网状形式存在, 而 540℃挤压时杯状件中则形成了位错胞壁。说明挤压温度不同时, 所形成的位错密度不同, 挤压温度降低, 位错密度增加。与铝合金挤压时规律基本相同。

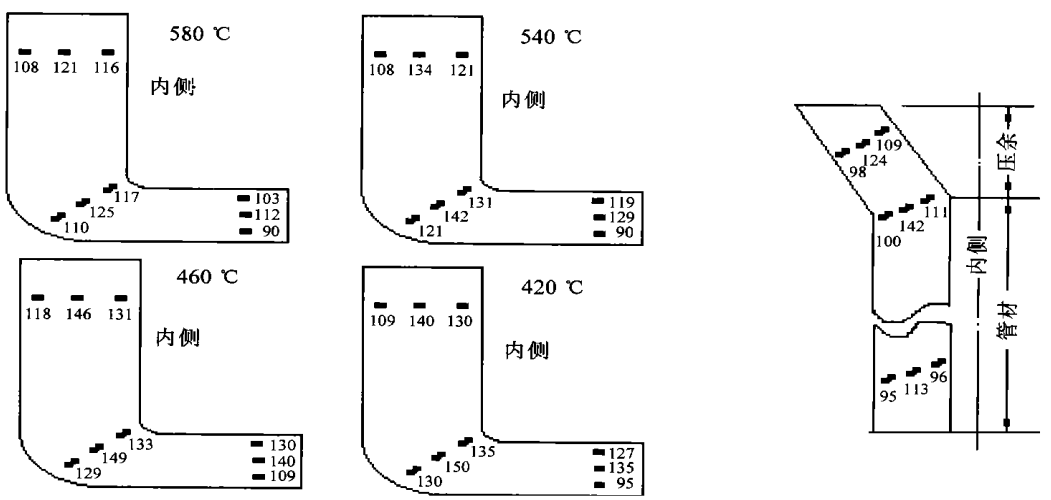
(a) 580℃挤压 (b) 540℃挤压

图 7 杯状件中位错的 TEM 照片

Fig. 7 TEM microphotographs of dislocations in the cup-like parts

2.2 挤压后材料的性能

2.2.1 维氏硬度



(a) 挤压杯 (b) 管材

图 8 不同挤压温度下杯状件及管材的硬度分布(HV)

Fig. 8 Hardness distributions of the tubes and cup-like parts under different extrusion temperatures (HV)

图 8 为不同挤压温度下杯状件及管材的硬度分布。由图 8(a) 可见挤压温度越低挤压杯的硬度越高, 这可由 2.1.3 中低温挤压时位错密度高来解释。由图 8(a) 还可见挤压杯中部硬度高于两侧, 且内侧硬度普遍高于外侧。由文献[8]可知, 反挤压过程中金属的塑性流动程度是中部最大、内侧次之、外侧最差。可见硬度分布与金属塑性流动程度完全一致。由图 8(b) 可见管

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

材中部硬度最高、内侧次之、外侧最低。与挤压过程中金属的塑性流动程度一致。

表 1　SiCw/6061Al 复合材料管材的拉伸性能

Table 1　Tensile properties of SiCw/6061Al composite tubes

性能	铸态	铸态+ 固溶时效	挤压态	挤压态+ 固溶时效
σ_s/MPa	152.7	347.9	216.7	—
σ_b/MPa	282.4	400.3	295	470.1
E/GPa	115.2	108	119.3	139.6
δ/%	1.0	0.2	1.0	0.2

2.2.2　管材的拉伸性能

表 1 为 SiCw/6061Al 复合材料管材拉伸性能数据。可见, 挤压态与铸态相比, 挤压态复合材料的抗拉强度、弹性模量、延伸率与铸态基本相同, 而屈服强度则有较大的提高, 由铸态的 152.7MPa 提高到 216.7MPa, 提高了约 40%; 同时还可发现, 经时效处理后, 复合材料的抗拉强度均较同类未经时效处理的有较大幅度的提高, 弹性模量提高不大, 塑性有所下降。值得注意的是, 虽然挤压态较铸态抗拉强度并未有多大的提高, 但挤压态材料经时效处理后, 其抗拉强度较铸态经时效处理后材料有较大的提高, 由 400.3MPa 提高到 470.1MPa, 提高了约 18%。这可能是由于挤压使基体产生大量位错促进了时效效果所致。所以, 可以通过挤压后固溶时效处理的方法大幅度提高复合材料的抗拉强度。

3　结　论

(1) SiCw/6061Al 复合材料经挤压成形后, SiCw 沿挤压方向发生了定向排列和折断, 定向排列程度与金属塑性流动程度相一致。

(2) 低温挤压挤压件硬度高, 可归因于其基体中较高的位错密度。

(3) 挤压件中硬度分布不均匀, 中部硬度最高、内侧次之、外侧最低, 是由于金属不均匀流动所致。

(4) 挤压大幅度提高了复合材料的屈服强度, 挤压后固溶时效处理可以大幅度提高复合材料的抗拉强度。

参　考　文　献

1 Mohn W R, Vukotratovich D. Recent applications of metal matrix composites in precision instruments and optical systems. *J Materials Engineering*, 1988, 10(3): 225

2 Mohn W R, Vukotratovich D. Engineered metal matrix composites for precision optical systems. *SAMPE J*, 1988(1～2): 26

3 耿　林. 压铸 SiCw/LD2 复合材料中晶须及界面的微观结构: [博士学位论文]. 哈尔滨工业大学, 1990

4 刘宗荣. SiCw/Al 复合材料界面区结构和形变断裂过程: [博士学位论文]. 哈尔滨工业大学, 1994

5 Liu Y L. A study on flow stress of Al-SiC composites deformed in large range of strain. *Script Materialia*, 1996, 35(2): 253～259

6 Stanford-Beale C A, Clyne T W. Extrusion and high-temperature deformation of fibre-reinforced aluminium. *Composites Science and Technology*, 1989, 35: 121～157

7 Suganuma K, Fujita T, Niihara K. Hot extrusion of AA7178 with AL_2O_3 fibre. *Materials Science and Technology*, 1989, 5(3): 249～254

8 汪大年. 金属塑性成形原理. 北京: 机械工业出版社, 1982. 161～162

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

MICROSTRUCTURES AND PROPERTIES OF HOT-EXTRUDED SiC$_w$/6061Al COMPOSITES

Zhang Wenlong Cai Liuchun Peng Huaxin Wang Dezun Yao Zhongkai
(P. O. 433, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract In this work, the microstructures of hot-extruded tubes and cup-like parts were observed by SEM and TEM. The Vickers-hardness and tensile properties were investigated. The results indicate that SiC whiskers tend to break and distribute directionally. The extrusion temperature is an important factor in final microstructure and properties of extruded parts. It is also shown that the unevenly distributed hardness is caused by the uneven flow of metals. An aging treatment of extruded parts will greatly increase the tensile strength.

Key words silicon carbide whisker, metal matrix composite, hot-extrusion, microstructure, properties

(上接第 61 页)

3. 第 2 届加拿大-日本复合材料讨论会(岛村佳伸, 东京工业大学)

Second Joint Canada-Japan Workshop on Composites 1998 年 8 月 19 日～21 日在加拿大蒙特利尔的 Concordia 大学举行。会议主席为京都工艺纤维大学的滨田泰以先生和 Concordia 大学的 S. V. Hoa 先生。第 1 届在京都于 1996 年召开, 这次首次在加拿大召开。

参会者加方 55 人, 日方 32 人, 表现出日本人参加国际交流的强烈意愿。

宣读论文 34 篇, 张贴论文 15 篇, 在 34 篇宣读论文中 PMC 占 30 篇。

论文集题目为"Design and Manufacturing of Composites", 可见讨论会的中心是 PMC 的成型和设计。比较双方研究重点, 与成型相关的论文全是加拿大的, 除一篇之外, 热塑性及解析模拟方面的论文则全是日方的。

下次讨论会决定在京都召开。

4. ECCM-CTS4(田中洁, 富山县立大学)

第 4 届欧洲复合材料会议: 试验方法与标准化(4th European Conference on Composite Materials: Testing & Standardization) 1998 年 8 月 31 日至 9 月 2 日于葡萄牙的里斯本召开。主办者是英国的 The Institute of Materials (IOM), 后援则是 ESCM (European Society for Composite Materials 和开会地点的 LNEC 国立 Civil Engineering Laboratoy)。

ESCM 由原来的 EACM (European Association for Composite Materials) 改组而成, 前三次 CTS 都是 EACM、IOM 等共同举办的。这一次是前三次的延续, 当初的名称是 Composite Testing & Standardization, 故仍沿袭 CTS。CTS 的基本任务是促进 FRP 诸试验方法国际间的协调和合作。

第 1 届会议在阿姆斯特丹, 第 2 届在汉堡, 第 3 届在伦敦举行。每次都是报告各国标准化的动向及研究结果。

鉴于这种背景和目的, 参加者的范围很窄。这次参加者共 45 名, 人数少, 但欧美日与制订试验方法标准相关的成员多半都出席, 是能够充分进行讨论的阵容。日本的参加者为金原勋(东京大学教授)、若狭邦男(广岛大学教授)、北条正树(京都大学教授)和笔者 4 人。

(下转第 81 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net