

金属基复合材料导论

T. W. 克萊因 P. J. 威瑟斯 著

余永宁 房志刚 译 曹世广 校

冶金工业出版社

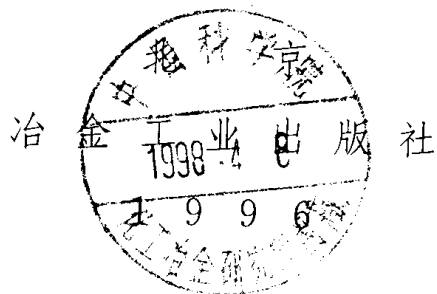
71.228
259

金属基复合材料导论

T. W. 克莱因 著
P. J. 威瑟斯

余永宁 房志刚 译

贾成厂 校



北京市版权局著作权合同登记号图字 01 - 96 - 0552

Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge
The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge CB2 1RP
40 West 20th Street, New York, NY 10011 - 4211, USA
10 Stamford Road, Oakleigh, Melbourne 3166, Australia

© Cambridge University Press 1993

First published 1993

First paperback edition 1995

图书在版编目(CIP)数据

金属基复合材料导论/(英)克莱因,(英)威瑟斯著;

余永宁,房志刚译.-北京:

冶金工业出版社,1996.11

书名原文:An Introduction to Metal Matrix Composites

ISBN 7 - 5024 - 1882 - 2

I. 金… II. ①克…②威…③余…④房… III. 金属复合材料-概论

IV. TB331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 20888 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

北京外文印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

北京市汇宇达公司激光照排

1996 年 11 月第 1 版,1996 年 11 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 15 印张; 386 千字; 459 页; 1 - 500 册

52.00 元

AN INTRODUCTION TO METAL MATRIX COMPOSITES

T. W. CLYNE

*Department of Materials Science and Metallurgy,
University of Cambridge*

P. J. WITHERS

*Department of Materials Science and Metallurgy,
University of Cambridge*



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

译者的话

金属基复合材料是一类新的重要材料,它正逐渐为工业各领域所应用。在我国还没有全面综合论述这类材料的著作。当 T. W. Clyne 和 P. J. Withers 所著的“An Introduction to Metal Matrix Composites”一书问世后,房志刚(美国史密斯公司材料研究室主任)向我们建议把此书介绍给中国读者,征得作者同意后,我们组织翻译了此书。

本书的第 1、2、8、9、12 章由房志刚翻译,第 3、4、5、6、7 章由余永宁(北京科技大学材料系教授)翻译,第 10 章由高锦华(美国阿拉巴马伯明翰大学材料系研究员)翻译,第 11 章由贾成厂(北京科技大学材料系副教授)翻译。全书经贾成厂校对。

在翻译过程中,北京科技大学材料系博士研究生朱国辉、付晓伟、赵子苏及硕士研究生严琛等协助作了很多工作,原书作者 T. W. Clyne 先生也给予大力支持,在此向他们表示衷心的感谢。

鉴于这本书涉及的面很广,包括生产工艺、理论分析以及在各个领域的应用,限于译者的知识范围,在书中不免会有不妥之处,望读者给予批评、指正。

1996 年 5 月

43947

内 容 简 介

《金属基复合材料导论》是到目前为止有关金属基复合材料的生产、组织、性能和应用的一本最全面的书。金属基复合材料是一种新型的,对许多工业领域有重要影响的材料。

金属基复合材料的出现,在一定程度上是以物理冶金原理、界面化学、应力分析和工艺科学为基础,对金属基复合材料的潜力和局限性的不断了解而出现的结果。这本书的目的是对这些材料的显微组织、行为和用法给予介绍。在每一章中,以基本原理为基础给出一个简单的大纲,然后是这个领域当前的研究状况的评价。本书在深入讨论问题时,虽然把重点放在涉及到的概念和机制上,但同时也介绍了分析处理的数学背景,包括 Eshelby 方法。

本书环绕颗粒、短纤维和长纤维增强体,着重金属基复合材料的力学性能,描述了增强体的存在对刚性、强化和断裂特性的影响,其中包括评价纤维或颗粒的存在对载荷传递和改善微观组织方面的作用。本书还介绍了金属基复合材料的其他一些性能,包括导热和导电性能,抗热冲击、磨损和耐腐蚀的能力等。对生产和工艺也进行了较为详细的讨论。最后两章提供了一些实用的信息,如金属基复合材料研究的专门技术和商业应用的详细的例子。

这本书主要是针对科学家、工程师、生产的管理人员,尤其是从事一般新材料和金属基复合材料研究的人员编写的,但它也可以作为研究生和大学生的课本。

作者为中文版所写的序

自本书的英文初稿交付剑桥大学出版社至今,已有大约四年的时间了。首次出版在大约三年以前,十八个月后,剑桥大学出版社发行了有少许改动的简装版,其中有一些更正,中文版已包括了这些更正。自首次发行以来,金属基复合材料(MMC)的发展依然持续而迅速,这些进步包括一些工业应用上的长足进展。在许多国家里,由于经济上的原因大大妨碍了诸如使用新材料这样的大革新。尽管如此,可以肯定的是,MMC 在许多工业应用都已成为实际可行的材料选择之一。对于材料及力学工程师而言,深入地理解 MMC 是难能可贵的。然而,在所难免的是,本书的某些内容也许会很快过时,但本书所阐述的基本科学原理将依然成立,并且非常重要。我相信,房志刚博士所组织的中文翻译组的工作是一流的,中文版清晰准确。许多中国研究者们已对 MMC 的发展作出了贡献,我希望中文版的发行将进一步促进中国对这一领域在科学和技术两个方面的建树。

T. W. 克莱因

1996年2月于剑桥

前 言

在过去的三十年里,金属基复合材料(MMC)已发展成为一类重要的材料。在这个时期,人们从事了大量的研究工作,以求更好地了解这些材料的潜力与局限性,探讨其中的物理冶金原理、应力分析、以及工艺科学。本书旨在于作为此领域的一个导论,它涉及这些材料的结构、性能及应用的各个方面。本书主要为科学家及工程师而作。本书的内容亦适合于作为材料科学与工程专业的本科生在最后一年的教材或研究生的教科书。

本书的构思与编排适合于几种不同的使用方式。第二章与第三章介绍一些用于描述 MMC 的力学行为的应力分析方法的基础知识。在这些章节里,我们试图先形象地介绍概念,然后在主文里讨论细节。这些讨论中一些极为具体的细节对于那些对复合结构力学有强烈兴趣的人很重要,但对于本书的其他章节并不是必需的。接着的四章是关于承受载荷行为的核心。其中第四章和第五章讨论在一定的温度范围里的基本形变机理。然后一章是专门讲解与基体和增强体间界面有关的问题。界面与许多现象都有关,特别是与在第七章中所描述的断裂行为有关。再一章是讨论各种传导(例如热传导)现象,以及应用环境下的性能(例如耐磨性与抗腐蚀性)。最后四章讨论一些专题。其中第九章涉及制造和合成工艺的一些细节。然后较短的一章是讨论在制造与使用过程中,基体微观组织、结构的变化过程。最后两章基本上独立于全书。其中一章介绍一些实验技术及其在复合材料当中的应用。另外一章通过列举一系列应用实例,来说明如何在实践中充分利用金属基复合材料所具备的综合性能。为帮助读者使用此书,在附录中给出材料性能的一览表及专用词汇。

关于金属基复合材料的研究在剑桥大学很活跃,我们在过去的几年里参与了这些工作。在 1989 年后期,我们决定合作著此书。

实际写作是在 1990 年与 1991 年间完成的,每一章都是共同努力的结果。但愿这一点能够体现在风格与专用词汇的连贯性上。

我们非常感激与剑桥的许多同事及来访者们的讨论与接触。须特别指出的是,我们感谢 M. F. Ashby、C. Y. Barlow、W. J. Clegg、I. M. Hutchings、D. Juul Jensen、J. E. King、O. B. Pedersen、W. M. Stobbs, 还应感谢过去的及现在的学生们作出的显著贡献,特别是我们组内的同学们。此外,我们受惠于许多为我们提供图片,及未曾发表过的资料的人们,值得指出的是 A. Ardekani、A. Begg、A. W. Bower、G. S. Daehn、D. Double、J. F. Dolowy、T. J. Downes、D. C. Dunand、F. H. Gordon、E. A. Feest、J. A. G. Furness、W. R. Hoover、S. J. Howard、F. J. Humphreys、A. R. Kennedy、R. R. Rieschkl、J. J. Lewandowski、J. Linbo、Y. L. Liu、D. J. Lloyd、J. F. Mason、V. Massardier、A. Mertensen、A. J. Philips、P. B. Prangnell、D. A. J. Ramm、A. J. Reeves、K. A. Roberts、C. A. Stanford-Beale、R. A. Shahani、R. A. Ricks、A. Tanrant、T. J. Warner、C. M. Ward-Close、C. M. Warwick、M. C. Wutson、W. Wei、J. White、A. F. Whitehouse、F. Zok。我们还应该感谢在最近几年里,我们所得到的为金属基复合材料研究所需的经济上与精神上的支持。这些支持来源于科学与工程研究会、Alcan International、British Petroleum、帝国化学工业、国家物理实验室、Pechiney、RAE Farnborough Risø、国家实验室以及 Rolls Royce。我们与这些以及其它许多机构的人们有广泛的科学上的接触,这种接触对我们有很大的帮助。

最后,我们希望感谢我们的妻子 Gail 与 Lindsey。感谢她们所承受的超出普通婚姻关系所需求的一切。没有她们的支持,本书绝难完成。

T. W. 克莱因
P. J. 威瑟斯
1992 年 1 月于剑桥

目 录

译者的话

作者为中文版所写的序

前言

1 总论	(1)
1.1 MMC 的种类及其微观组织的一般特征	(1)
1.2 历史背景	(3)
1.3 组分间的交互作用及载荷传递	(6)
参考文献	(10)
2 基础复合材料力学	(11)
2.1 层板模型	(11)
2.1.1 轴向刚度	(11)
2.1.2 横向刚度	(13)
2.1.3 切变模量	(14)
2.1.4 泊桑收缩	(16)
2.2 切变延滞模型	(18)
2.2.1 应力与应变分布	(18)
2.2.2 跨过纤维端部的正应力传递	(22)
2.2.3 复合材料力学	(23)
2.2.4 非弹性行为的开始	(26)
2.3 连续同轴柱体模型	(28)
2.4 有限差分与有限元模型	(31)
2.4.1 数学基础	(32)
2.4.2 建立网格	(33)
2.4.3 模型单元的镶嵌	(36)
参考文献	(38)
3 模拟复合材料的 Eshelby 方法	(41)

3.1	错配应力	(42)
3.2	错配应变的一个例子——不均匀的热收缩	(45)
3.3	受载复合材料中的内应力	(48)
3.4	基体的应力场	(51)
3.5	非稀薄系统的模拟	(54)
3.6	复合材料的刚度	(58)
3.6.1	杨氏模量的实验值	(59)
3.6.2	粒子系统	(61)
3.6.3	晶须体系	(61)
3.7	Eshelby 方程的简单描述	(63)
3.7.1	球粒子体系的弹性性质	(63)
	参考文献	(65)
4	塑性变形	(67)
4.1	屈服开始:内应力影响	(69)
4.1.1	基体流变的屈服判据	(70)
4.1.2	不均匀热收缩应力	(72)
4.2	屈服的开始:基体显微组织的影响	(79)
4.2.1	位错强化	(79)
4.2.2	晶粒细化强化	(80)
4.2.3	Orowan 及弥散强化	(81)
4.3	宏观塑性流变的模拟	(82)
4.3.1	内应力加工硬化的潜力	(82)
4.3.2	显微组织的加工硬化	(87)
4.4	内应力松弛	(89)
4.4.1	能量最小化:松弛的驱动力	(89)
4.4.2	松弛的微观机制	(91)
4.5	内应力加工硬化的减小	(97)
4.6	长纤维及短纤维体系塑性变形的衍射研究	(101)
4.6.1	长纤维复合材料	(101)
4.6.2	短纤维复合材料	(103)

参考文献	(106)
5 热的作用和高温性能	(111)
5.1 热应力和热应变	(111)
5.1.1 不均匀热收缩应力	(111)
5.1.2 热膨胀	(113)
5.2 等温蠕变	(117)
5.2.1 金属的蠕变机制和应变速率的表达式	(117)
5.2.2 弥散强化金属的蠕变	(121)
5.2.3 MMC 的蠕变	(123)
5.3 热循环蠕变	(134)
5.3.1 热循环	(134)
5.3.2 加载热循环	(139)
5.3.3 预热循环对性能的影响	(148)
参考文献	(149)
6 界面区域	(158)
6.1 界面粘结强度的重要性	(158)
6.1.1 界面应力和非弹性过程	(159)
6.1.2 临界应力值	(160)
6.1.3 界面断裂韧性	(161)
6.1.4 复合材料的性能	(162)
6.2 粘结强度的特征	(169)
6.2.1 单纤维加载试验	(171)
6.2.2 其它实验	(177)
6.3 界面化学	(180)
6.3.1 界面反应的热力学和动力学	(180)
6.3.2 反应对力学行为的影响	(184)
6.3.3 反应的转变应变效应	(188)
6.4 纤维覆盖层	(191)
6.4.1 覆盖技术	(191)
6.4.2 扩散障碍覆盖层	(192)

6.4.3	促进浸润覆盖层	(194)
6.4.4	覆盖层的力学	(194)
	参考文献	(196)
7	断裂过程和失效机制	(206)
7.1	长纤维 MMC 中的失效过程	(206)
7.1.1	层片的失效	(206)
7.1.2	非轴向加载	(213)
7.1.3	层叠板的失效	(215)
7.2	不连续 MMC 的失效过程	(218)
7.2.1	显微损伤过程	(218)
7.2.2	损伤发展和复合物塑性的模型化	(221)
7.2.3	损伤发展及塑性的实验资料	(227)
7.3	MMC 的断裂韧性和疲劳裂纹长大	(227)
7.3.1	断裂韧性简介	(229)
7.3.2	MMC 韧性的模型化	(232)
7.3.3	MMC 的疲劳和亚临界裂纹长大	(237)
7.4	微结构变化的影响	(242)
7.4.1	普遍的断裂途径的观察	(242)
7.4.2	增强体形状	(243)
7.4.3	增强体的尺寸	(246)
7.4.4	粘结强度	(246)
7.4.5	增强体分布	(247)
7.4.6	基体时效	(247)
7.5	测量变量的影响	(249)
7.5.1	应变速率	(249)
7.5.2	温度	(250)
7.5.3	水静压力	(250)
	参考文献	(254)
8	传导性能及环境影响	(263)
8.1	热导与电导性	(263)

8.1.1	通过电子和声子传热	(263)
8.1.2	关于 MMC 中热传导的模型	(264)
8.1.3	界面热阻与反应层	(269)
8.1.4	电阻率	(274)
8.1.5	抗热冲击性	(276)
8.2	摩擦行为	(278)
8.2.1	磨损的原理	(279)
8.2.2	含硬质增强体 MMC 的磨损	(280)
8.2.3	含软增强体粒子 MMC 的磨损	(284)
8.3	机械阻尼性能	(286)
8.3.1	阻尼容量的起源及测量	(286)
8.3.2	MMC 的阻尼效应	(287)
8.4	氧化及抗腐蚀性	(291)
8.4.1	MMC 的高温表面退化	(291)
8.4.2	MMC 的水腐蚀	(293)
	参考文献	(295)
9	制造工艺	(301)
9.1	主要的液相工艺	(303)
9.1.1	压挤铸造与压挤渗透	(303)
9.1.2	喷雾沉积	(303)
9.1.3	浆体铸造(复合铸造)	(319)
9.1.4	反应性工艺(即时复合材料)	(323)
9.2	主要的固相工艺	(325)
9.2.1	混粉与压制	(325)
9.2.2	薄膜的扩展键合	(326)
9.2.3	物理气相沉积(PVD)	(327)
9.3	后续加工	(328)
9.3.1	挤压与拉拔	(329)
9.3.2	轧、锻及热等静压	(331)
9.3.3	超塑性及薄板成形工艺	(332)

9.4	机加工与连接	(333)
9.4.1	机切削	(334)
9.4.2	电切割	(334)
9.4.3	高能光束及液体喷流切割	(335)
9.4.4	连接方法	(335)
	参考文献	(336)
10	基体显微组织的变化	(348)
10.1	位错的结构和行为	(348)
10.1.1	热应力对位错结构的影响	(348)
10.1.2	塑性应变对位错结构的影响	(352)
10.2	析出行为	(355)
10.2.1	时效动力学的监测	(355)
10.2.2	在位错上形核的析出	(355)
10.2.3	与空位相关的析出	(357)
10.2.4	均匀形核的析出	(358)
10.2.5	界面析出与无析出区	(359)
10.3	晶粒结构、织构、回复和再结晶	(359)
10.3.1	变形诱发的特征	(359)
10.3.2	再结晶	(364)
	参考文献	(369)
11	性能表征与检测技术	(374)
11.1	杨氏模量的测量	(374)
11.1.1	基本原理和测试能力	(374)
11.1.2	在 MMC 中的应用	(375)
	参考文献	(380)
11.2	塑性应变历史的表征	(382)
11.2.1	基本原理和能力	(382)
11.2.2	在 MMC 中的应用	(382)
	参考文献	(391)
11.3	衍射法测量内应力	(393)

11.3.1	基本原理和测试能力	(393)
11.3.2	在金属基复合材料中的应用	(393)
	参考文献	(395)
11.4	光弹性法测量内应力	(396)
11.4.1	基本原理和测试能力	(396)
11.4.2	在 MMC 中的应用	(399)
	参考文献	(401)
11.5	金相试样制备	(401)
11.5.1	基本原理和测试能力	(401)
11.5.2	在 MMC 中的应用	(402)
	参考文献	(405)
11.6	透射电镜试样制备	(405)
11.6.1	基本原理及测试能力	(405)
11.6.2	在 MMC 中的应用	(406)
	参考文献	(408)
11.7	强体参数的表征	(408)
11.7.1	基本原理和测试能力	(408)
11.7.2	增强体长径比	(408)
11.7.3	增强体的取向	(409)
11.7.4	增强体的分布	(411)
	参考文献	(413)
11.8	阿基米德测密度法	(414)
11.8.1	基本原理和能力	(414)
11.8.2	在 MMC 中的应用	(415)
	参考文献	(416)
11.9	热导和电导性	(417)
11.9.1	基本原理与测试能力	(417)
11.9.2	在 MMC 中的应用	(418)
	参考文献	(419)
11.10	高温膨胀仪	(420)

11.10.1	基本原理和测试能力	(420)
参考文献	(422)
11.11	声发射技术对损伤现象的检测	(422)
11.11.1	基本原理与测试能力	(422)
11.11.2	在 MMC 中的应用	(423)
参考文献	(425)
12	应用	(427)
12.1	MMC 的工程性能	(427)
12.1.1	刚度的增强	(427)
12.1.2	强度的增强	(429)
12.1.3	抗蠕变能力的增加	(429)
12.1.4	耐磨性能的增加	(429)
12.1.5	降低密度	(430)
12.1.6	热膨胀的控制	(430)
12.2	实例分析	(431)
12.2.1	柴油机活塞	(432)
12.2.2	汽车驱动轴	(434)
12.2.3	设备架	(435)
12.2.4	制动器转盘	(436)
12.2.5	自行车体	(437)
12.2.6	发动机缸体	(438)
12.2.7	宇航望远镜	(439)
12.2.8	微电子器件的基座	(440)
12.2.9	飞机发动机部件	(441)
参考文献	(442)
附录 I	术语	(445)
附录 II	基体和增强体的一些热物理性能	(451)
附录 III	基本的 Eshelby S 张量	(454)
附录 IV	Eshelby 计算的程序清单	(456)