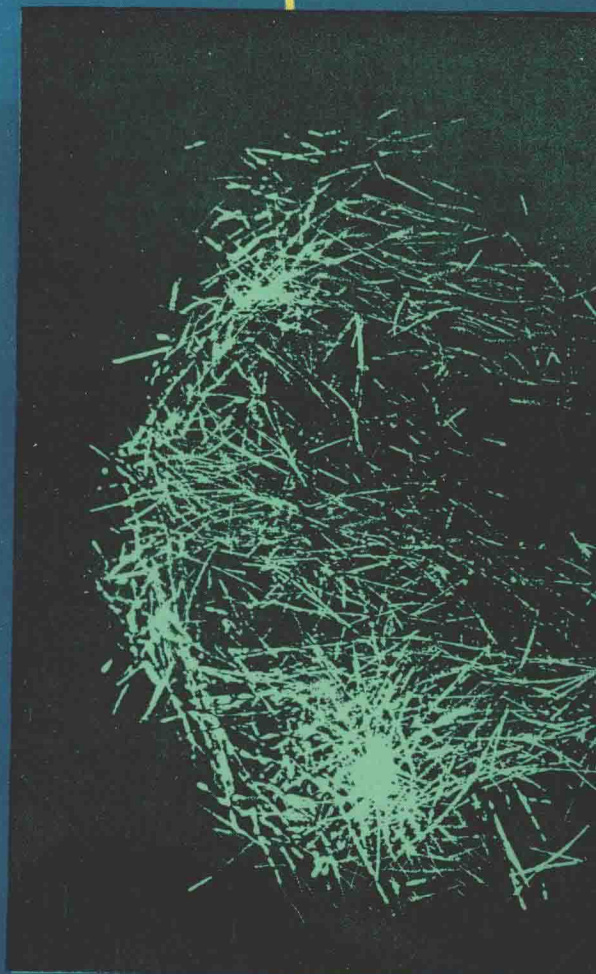


李加種 編著
浙江大學出版社

JINSHUXIANWEI

ZHEJIANGDAXUECHUBANSHE



金屬纖維及其應用

JINSHUXIANWEI

LIJIAZHONG BIANZHU

金属纤维及其应用

李加种 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

浙江大學出版社

(浙)新登字第10号

内容简介

本书扼要地介绍了国内外金属纤维的发展与应用情况,并叙述了金属纤维的物理机械性质、金相结构、形貌和制造方法,同时对颤振车削法制造金属短纤维的特点、纤维形成机理、切削过程动态行为、影响纤维性状的因素、振动参数和切削参数合理组合、金属纤维复合材料及其应用实例进行了系统和全面地讨论与分析。

本书可供从事金属纤维制造,复合材料研制与使用等方面工作的工程技术人员以及大专院校有关专业的师生参考。

金属纤维及其应用

李加种 编著

责任编辑 涂红

*

浙江大学出版社出版

浙江煤田印刷厂印制

浙江省新华书店发行

*

开本:850×1168 1/32 印张:8 字数:200千字

1992年4月第1版 1992年4月第1次印刷

印数0001—1000

ISBN 7—308—00907—6

TG·008 定价:2.70元

序 言

金属纤维是一种新型的多用途的工程材料,同有机和无机纤维相比,它和它的复合材料具有高的导电性、导热性、导磁性、耐高温、耐磨、抗冲击等优异性能。因此,当它在工业上崭露头角,就引起有关学者和工程界的兴趣和普遍关注。金属纤维制品已开始用于汽车、化工、纺织、造纸、食品、家电各个领域。目前金属纤维仍处于发展阶段,纤维制造方法不断完善、其性能还在提高、规格更加齐全、产量也在增加,多性能的纤维复合材料及工业产品陆续出现,应用范围日益扩大。

国外金属纤维发展较早,最先是利用钢纤维来增强混凝土,提高了混凝土的韧性、抗拉和抗剪强度,这种水泥基的新型复合材料目前国外已广泛用于建筑、交通、水利、矿山、军工等领域并取得了良好的技术经济效益。随着金属纤维制造方法的不断出现,纤维的材质和规格也日益增多,其应用范围远远超出上述各领域,利用细长不锈钢纤维可以进行纺纱、织布和缝制成高压带电工作服,金属短纤维可作为导电塑料的填料,制成的导电塑料具有良好屏蔽和抗静电效应,纤维烧结体可以制成滤毡,特别适合于高温、高压、高粘度条件下的过滤过程等等。

我国金属纤维的研究起步较晚,从70年代后期开始才进行了较多地研究,并率先生产和销售用于增强混凝土的钢纤维产品,在水利、交通等领域的应用也取得了初步成效。目前已有不少大专院校和研究所都在从事金属纤维生产技术、复合材料研制和开发应用并取得了不少研究成果,但与国外差距仍然较大,因此必须从各方面加强合作,以加快研究步伐,努力开拓新的应用领域。

此书的编写旨在通过对国内外有关金属纤维文献资料分析应用,结合我们的研究工作介绍金属纤维的几种制造方法,着重叙述振动法生产金属短纤维的有关问题、金属纤维的性能和金属纤维复合材料及其应用实例。作者期待通过本书的出版,对广大读者有所帮助,进一步促进我国金属纤维生产及其制品开发应用。

本书在编写过程中得到浙江大学程耀东教授的热情支持并对全文仔细审阅,提出了许多宝贵的意见。杨基勇同志提供了许多实验结果和计算分析数据以及部分章节的编写素材。顾惠瑛副教授和张开同志也给予有力支持,为本书的出版付出了辛勤的劳动。对此谨向他们致以衷心谢意。

限于作者水平,书中的缺点、错误在所难免,诚恳希望读者批评指正。

作者

1991年9月于浙江大学

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 国内外金属纤维发展现状和水平	(2)
1.2 金属纤维的应用前景	(4)
1.3 发展我国金属纤维工业的紧迫性	(6)
1.4 金属纤维的展望	(7)
第二章 金属纤维特性	(10)
2.1 金属纤维的分类	(10)
2.2 金属纤维的性质	(15)
2.3 金属纤维的几何形状和表面形貌	(24)
2.4 切削金属纤维的变形	(30)
第三章 金属纤维制造方法	(34)
3.1 金属纤维制造方法的分类	(34)
3.2 拉丝法	(36)
3.3 切削法	(40)
3.3.1 刮削法	(40)
3.3.2 振动切削法	(43)
3.3.3 铣削法	(49)
3.3.4 车削法	(52)
3.4 熔融纺丝及其有关方法	(54)
3.4.1 熔融纺丝法	(54)
3.4.2 熔融抽丝法	(56)
第四章 振动切削金属纤维的切削基础	(60)
4.1 概述	(60)
4.2 振动切削金属纤维形成过程	(64)

4.3	振动切削金属纤维形成机理·····	(66)
4.4	振动切削金属纤维形成几何条件·····	(70)
4.5	振动切削金属纤维刀具角度的变化·····	(72)
4.6	振动切削金属纤维切削力的变化规律·····	(74)
4.7	振动切削金属纤维切削温度的变化规律·····	(78)
4.8	振动切削金属纤维刀具磨损和破损规律·····	(81)
第五章	振动切削金属纤维过程的动态特性 ·····	(89)
5.1	振动切削金属纤维过程动态特性测试方法·····	(89)
5.2	金属纤维形成过程的动态分析·····	(91)
5.3	振动频率的变化规律 ·····	(104)
5.4	振动位移的变化规律 ·····	(108)
5.5	振动刀杆结构形状的选择 ·····	(111)
5.6	振动切削金属纤维过程中刀具破损监测的特征量分析 ·····	(112)
5.7	振动切削金属纤维过程中的噪声控制 ·····	(119)
附录	L型刀杆固有振动频率的理论计算 ·····	(120)
第六章	振动切削金属纤维工艺参数分析 ·····	(132)
6.1	纤维当量直径和加工效率 ·····	(132)
6.2	振动切削金属纤维形成域 ·····	(134)
6.3	影响纤维当量直径的因素 ·····	(140)
6.3.1	切削条件对纤维直径的影响 ·····	(140)
6.3.2	振动参数对纤维直径的影响 ·····	(144)
6.4	刀具磨损对纤维性状的影响 ·····	(146)
6.5	振动切削金属纤维刀具几何角度的选择 ·····	(149)
6.6	切削速度和进给量的选择 ·····	(150)
6.7	刀具材料的选择 ·····	(152)
附录	振动切削金属纤维试验设计—正交试验设计	

.....	(155)
第七章 金属纤维复合材料及其应用	(171)
7.1 复合材料性能特点	(171)
7.2 金属纤维复合材料开发应用	(176)
7.3 有机基复合材料及其应用	(178)
7.3.1 摩阻材料	(178)
7.3.2 导电塑料	(186)
7.4 无机基复合材料及其应用	(202)
7.4.1 钢纤维增强混凝土	(203)
7.4.2 钢纤维增韧陶瓷	(216)
7.5 金属基复合材料及其应用	(225)
7.5.1 金属纤维增强铝合金	(225)
7.5.2 纤维烧结体	(227)
参考文献	(242)

第一章 绪论

金属纤维同有机和无机纤维一样具有独特的性能和广泛的用途。当今复合材料正在迅速发展,尤其是短纤维复合材料的发展更是突飞猛进。纤维按其特性不同,在复合材料中的作用也有差异。众所周知,现代科学技术迅速发展,特别是宇宙航空、原子能、重型机械和化工等部门的迅速发展,对结构材料不断提出新的要求,从而加快了材料科学与材料工程的发展。结构材料的主要目标是在提高材质性能的同时减轻材料的重量,以降低成本提高效率。具体说,对工程结构材料的主要要求是三高一低,即强度高、弹性模量大、高温性能好和密度低。此外,对韧性、摩擦系数、抗腐蚀性、稳定性等也有特殊的要求,从本世纪 30 年代后发展起来的玻璃纤维及其复合材料能满足这一目标要求,在应用上一直居于领先地位。但这种纤维存在着两种严重的缺点,即弹性模量低和高温强度差,在使用上仍有很大的局限性,因而 60 年代以后又成功地研制出一批无机纤维及其复合材料,诸如碳纤维、硼纤维、碳化硅纤维、氮化硼纤维及其相应的复合材料,这些新材料的优点是弹性模量大,高温性能好,因此,在航空工程、宇宙工程等领域得到广泛应用,但是由于价格较贵,在民用工业中推广受到一定限制。金属纤维具有良好的导电、导热、导磁和耐高温性能,而且制造方法较简单,成本低价格便宜。以金属纤维为填充剂的复合材料在民用工业如电子、化工、机械、纺织、食品、医药部门开拓了广阔的应用前景。在民用工业上应用金属纤维复合材料已势在必行。金属纤维作为一种新兴的纤维材料已经受到各行各业的重视。

1.1 国内外金属纤维发展现状和水平

金属纤维是一种新型实用工程材料,早在本世纪初,国外一些工业发达的国家就开始研究金属纤维,并用来制造钢纤维混凝土,试图取代部分钢筋混凝土,钢纤维混凝土就是将短的异型钢纤维均匀地分散在细石混凝土中制成一种新型复合材料。早在 1910 年,在美国发表了第一篇钢纤维混凝土的论文,40 年代由于军事工程的需要,英国、日本、德国都相继进行了研究,但进展不大,直到 60 年代后,钢纤维约束混凝土裂缝发展机理和应用逐步得到解决后,这种新型复合材料的发展才有所突破。钢纤维混凝土以它独有的特性增强了混凝土的韧性、抗拉和抗剪强度,在建筑、交通、矿山、水利、军工等领域广泛得到应用。以后,随着各国工业发展,科学技术的进步,各种材料的金属纤维如不锈钢、碳钢、有色金属、铸铁及其合金纤维不断出现,而且规格也有了进一步扩大,如长纤维、短纤维、粗纤维、细纤维、异形纤维等。钢纤维的生产技术也从传统的拉丝切断法发展到熔抽法、刮削法、切削法等,使价格大幅度地降低,以钢纤维为原料制成的产品及其应用领域大大超出了建筑业,在国防、汽车、机床、纺织、化工、家电等工业都有较大的发展。

70 年代后,在国外工业发达的国家已生产了各种材质和规格的钢纤维,并开始在市场上销售,大大促进了钢纤维制品的开发。日本东京大学技术研究所已成功地开发了多种制造金属纤维的技术,如振动切削法、铣削法、车削法,日本爱亲精机株式会社也已生产金属纤维切削机床,美国 Trasmitt 公司研制了高温喷射法,德国研制刮削法加工金属纤维,此外还有从传统的拉丝切断法发展起来的拉束法。由于制造方法的不同,纤维的规格和价格也有较大差

异。目前各国生产的金属纤维、碳钢纤维居多,其次是不锈钢、铝、黄铜纤维和铸铁纤维等。但从用途上看异型粗纤维的需要量最大,其次是细短纤维和细长纤维。

国内关于金属纤维的研究起步较晚,目前只有少数大专院校、研究所和工厂进行了金属纤维及其制品的开发研究工作,研究水平与国外差距较大,某些规格的钢纤维仍属空白,钢纤维制品的开展更是落后。为了尽快改变这种局面,国家对钢纤维的发展也很重视,在“六五”期间,就把半金属摩擦材料的研制列为“六五”重点科技攻关项目之一,不少省和市也将研制金属纤维及其复合材料列为重点科技项目,促进了金属纤维研究工作的开展,加快了金属纤维生产技术和纤维复合材料开发应用。浙江大学、哈尔滨工业大学、燕山大学、河北工学院等大专院校近几年都取得了许多有关金属纤维的科研成果,为制造金属纤维、开发应用金属纤维起了促进作用。长沙矿冶所对不锈钢长纤维作了较深入研究,已能生产1~100微米直径的不锈钢长纤维供应市场。浙江大学对细短金属纤维生产技术和纤维制品进行了多年的研究,开发了金属短纤维生产设备及多种金属纤维复合材料。杭州东岳钢纤维厂、浙江永康堰头农机厂等都在自力更生的基础上,自行设计或引进大专院校生产技术和设备,庆安钢铁厂、南阳和珠海等地也都分别从国外引进金属纤维生产技术和设备,生产各种钢纤维供应市场,这些工厂都为发展我国金属纤维及其制品作出了贡献。此外,还有不少塑料制品厂、摩擦材料厂、化工厂、砂轮厂等单位都在研制各种金属纤维的复合材料也取得了较大进展。可以预料,在不久的将来,我国也将形成自己的钢纤维工业,摆脱目前的落后局面赶上世界工业发达的国家。

1.2 金属纤维的应用前景

金属纤维与有机、无机纤维相比,具有高的弹性、高的耐磨性、好的通气性、导电性、导磁性、导热性以及自润滑性和烧结性,应用范围广阔,前景引人瞩目。

长期以来汽车、矿山、锻压机械所用的制动器都属于石棉摩擦材料。由于石棉在生产过程中对人体有致癌作用和使用中产生的石棉粉尘造成社会的公害。近来世界上不少国家已禁止生产或逐步淘汰石棉摩擦材料并代之以半金属无石棉的摩擦材料。无石棉半金属摩擦材料具有高温性能好、热衰退性能稳定、噪音低、安全可靠的特点。目前国内已有工厂生产半金属无石棉摩擦制动器,近来还开发了多种纤维复合的纤维增强高分子摩阻材料,称为第二代“半金属摩阻材料”。这种材料的抗热衰退性能、抗磨损性能比一般半金属摩阻材料有更进一步的提高。

随着微电子技术和各种电子显示技术的发展,防止微波幅射和电磁波的干扰是一个极重要的问题。强度极弱的微波幅射将会引起神经系统和精神系统的紊乱,对生殖能力、遗传能力也都有影响。大功率的微波幅射对人体有更严重的破坏作用,甚至引起死亡。微波不仅影响工作人员,还会影响人类的生存环境。电磁波的污染除了主要威胁人类健康和破坏生态环境外,还会使电子仪器工作失常,造成信息传送失误,使控制系统失灵。因此人们惊呼地称微波为“幽灵电波”、“电子迷雾”。以金属纤维为填料制成的屏蔽材料具有良好的抗电磁波干扰能力,可以用来制成各种电器外壳,日本最新一代电视机其外壳已是由不锈钢纤维作填料的导电塑料制成。纤维含量只需 $(0.5 \sim 1.0)\%$ (体积比)则可得到电阻率为 $10^0 \sim 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 的导电塑料,而且不改变塑料树脂的性能;电阻率

为 $10^0 \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 的导电材料还可作成导电涂料、导电油墨、导电橡胶等；用(1~5)%的不锈钢纤维与合成纤维或天然纤维混纺，可制成微波防护服；而含(20~30)%不锈钢纤维与天然或人造纤维混纺则可制成高压带电作业服。

在纺织和化学工业中，由于摩擦生电造成的各种严重事故时有发生，利用(1~3)%的不锈钢纤维与人造纤维或天然纤维混纺，可制成抗静电作业服、抗静电手套、袜子等，这种织物的表面电阻为 $10^5 \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ (小于 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 就可抗静电)，可消除静电引起的火花放电，而以电晕放电形式使电荷消失，产生永久的导电性，避免因静电引起的爆炸。

将金属纤维压制并烧结成各种多孔体，可以制成过滤板、过滤器用于净化气体、液体和过滤细菌。不锈钢纤维过滤器在食品、医药和化学工业中已得到了广泛应用。金属纤维耐高温、强度高是一种新型的吸声材料，利用金属纤维烧结体可以压制成各种形式的消声器，非常适用于在高温环境中使用，如汽车消声器。铜纤维多孔材料还可以制成热交换器，能有效节约能源。

铸铁纤维结合剂的金刚石砂轮，结合强度高、烧结性能好、磨削比大、自锐性好，适用于磨削陶瓷材料、超导材料、硬质合金材料等，磨削效率高。而且具有其它金属结合剂不可比拟的抗烧伤和高耐熔度。

用钢纤维压制的纤维轴承同传统的用粉末冶金轴承比较有良好的自润滑性，适用于真空、高温或无供油状态环境下使用，效果好。不锈钢、铁粉、陶瓷材料进行压制烧结可以制成塑料模具，应用前景十分广阔。

在水泥中加入钢纤维制成钢纤维混凝土，是一种具有优良力学特性的无机复合材料，与钢筋混凝土相比，它有很高的抗震、抗冲击、抗拉、抗裂的性能。钢纤维混凝土的应用领域非常广泛，如交

通隧道、电站隧道、防震管道、交通公路、机场跑道等等。

1.3 发展我国金属纤维工业的紧迫性

随着国民经济和科学技术的不断发展,尽快实现社会主义四个现代化,迅速发展新技术、新工艺和新材料是极为重要的。近几年来,国外钢纤维制造技术和钢纤维制品的开发已有惊人的发展,形成了完整的钢纤维生产和应用体系,推动其他工业的发展。我国尽管最近几年在钢纤维生产技术、制品开发取得了一定成就,但发展很不平衡,用于增强混凝土的钢纤维生产技术和钢纤维增强混凝土的应用、开展学术交流、产品标准和设计、施工标准规范的制订都走在前列,而在其它方面发展步伐并不快,令人耽心。就目前水平来看,我国的金属纤维工业仍然处于落后状态,应该迎头赶上。

目前我国钢纤维的研究和应用存在着如下急待解决的问题:

1. 由于钢纤维的发展历史不长,人们对钢纤维及其制品应用的前景和发展钢纤维的重要性认识还不足。

2. 尽管国内近几年来钢纤维研究工作有了较快的进展,但系统地研究钢纤维理论、制造技术、纤维应用、产品标准化、产品设计、工艺等还有许多问题急待解决。

3. 钢纤维生产量和规格随着纤维制品的开发应用不断发展将会出现需大于供的局面。国内不少钢纤维厂生产潜力是不大的,产品质量不稳定,效率较低,另一方面,引进设备的消化吸收,原材料质量等也都有待进一步的完善。

4. 钢纤维制品研究开发单位仍然不多,目前仅在一些高等院校和研究所开展这方面工作。有些生产厂尽管有研究力量,但不愿意在新产品方面投入较大研究力量,高等院校和科研单位的研究

成果也由于各种原因很难转化为商品。鉴于上述存在的问题,必须做好如下工作:

1. 大力宣传钢纤维及其制品的应用前景,用其经济和社会效益来赢得人们对钢纤维制品的信任和加深对钢纤维的认识,动员更多的工程技术人员投入到金属纤维开发应用的行列中去。

2. 努力将钢纤维科研成果转化为生产力、转化为商品,谋福于人民,由于国内现有的钢纤维厂还为数不多,应该立足于本国,完善现有生产手段,开拓新的制造技术反对盲目引进纤维生产线。因此要创造一切条件,加快科研成果转化为生产力和商品的过程。建立钢纤维研究、生产和制品开发新体系的企业集团。

3. 建立全国性的学术组织,成立金属纤维学会、出版刊物、开展国内外学术交流、建立科技情报信息网络。充分发挥和调动科研、工程技术人员积极性,加强合作,协调各方关系,积极促进钢纤维及其制品有一个更大的发展。

1.4 金属纤维的展望

金属纤维技术的发展尚处于发展阶段。潜在的成纤材料的广度以及很多生产工艺有待充分开发。不论是以经济还是以独特性能为依据的最优化,都还没有达到最完善的阶段。如同所有新材料或新的材料形态一样,产品被公认将取决于两个基本因素:即经济上的尺度和使用价值。在特殊的应用中,或是其中一个因素或是两个因素都是重要的,很可能由于广泛的发现和活力产品的应用计划,金属纤维以及其与聚合物的复合将会在广泛的应用范围内变得很重要。目前的一般倾向是转向已被广泛采用的一般形态的低成本金属和合金。铁类金属受到特别的注意,例如,不锈钢由于在抗腐蚀方面有显著的优点,因而成为一种很重要的优良纤维。普

通钢纤维的应用有发展趋势,钢材的成本低以及可能的经济性,液态金属纤维成型方法和刮削法、振动切削纤维方法的出现,使大吨位应用及在民用工业应用成为可能。

金属纤维同聚合物的复合,在近几年内导致许多重要产品的发展。导电塑料的广泛应用就是一例,不同金属纤维的掺入量可制造不同的体积电阻值,体积电阻为 $10^1 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的半导体材料可制成低电阻带(传真电极板)、抗静电传送带、医用橡胶制品、油印滚筒、棉纺辊; $10^0 \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 的导电材料可制成弹性电极、电镀模板、加热元件、建筑物电热元件; $10^{-3} \sim 10^0 \Omega \cdot \text{cm}$ 的高导电材料可制成导电涂料、导电油墨、导电粘结剂、还有目前在工业中得到公认的优质产品钢帘布气胎,它使用的纤维尺寸范围大多在 10 密耳或低于 10 密耳。在许多情况下上述尺寸范围的限制显然是基于经济观点。事实上,在一些产品中如果使用直径小的纤维可能在技术上有显著优越性,即弯曲性改善、寿命长(耐疲劳)、表面粘接好(较高的比表面积)、在相同的浓度下分散更均匀。

目前,金属纤维的应用一般还仅限于那些使用价值与现代价值相适应的产品,这些限制使重视这种纤维独特的性能成为必要,无论这些性质是机械的、电的、磁的或热的。目前,一般而言,细短金属纤维还没有由于力学性质、不论是抗拉强度还是弹性模量,而发现其有重要的应用。最大的应用在于其它性质方面,包括导电或传热以及磁性作用。由于填充塑料模片产品的发展,开拓了高导热性的金属纤维。

基于纤维同磁辐射的互相作用而发展起来的金属纤维塑料复合产品,应用于屏蔽和军事伪装。这种电磁屏蔽的应用涉及到电缆末端构件,并且不依赖于纤维固有的电或磁的特性而是依赖于纤维与纤维的接触和在塑料基体中的分布。在应用于伪装的情况下,具有适当的颜料,并适当裁剪的 PVC 编织材料装备雷达标志,饰

叶由精心设计的、直径很细的钢纤维相联。

考虑到金属与合金成纤的能力,加之广泛的物理特性范围,使得难以推测未来的广泛应用。其重要方面多半是制造成本问题。成本低能进一步扩大包括改善塑料导电性和传热性等方面的应用,而且复合的方法和工艺能够赋予所要求的各向异性。改进的或新的纤维特性可能是另一方面的发展,通过改变使用价值或提供复合物一种特性可导致需要量迅速增加,晶须的强度接近材料强度的理论值,所以一种能经济地制造金属晶须材料的工艺方法将会构成重大的突破并提供制造超高强度复合结构的可能性。钛镍合金纤维表现出明显的热活化记忆效应,将其加入弹性基体材料中,也许会为开辟一类独特产品打下基础。最近发现的“玻璃态”金属以及纤维形态将会为未来发展提供一类完全崭新的新材料。这类纤维具有无定型结构,其性能大概与通常的结晶态金属完全不同,它势必领先于其复合材料的设计及产品的发展。