

树枝晶-非晶复合材料进展

Progress of Dendritic Crystal/Amorphous Composites

北京科技大学新金属材料国家重点实验室 张 勇



张 勇

北京科技大学博士生导师。现为 中国材料研究学会 (C-MRS) 金属间化合物与非晶合金分会理事、非晶合金分会干事长。至今已获得 8 项中国国家发明专利,和 1 项美国发明专利的授权。2005 年获得了教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET)。现主要从事非晶态合金材料的玻璃形成能力、微量元素的作用,块体非晶合金室温塑性的改善,高熵合金等的科学研究工作。

复合材料的性能对工艺的依赖性非常强,特别是金属基复合材料。如果工艺水平一般,制备出的复合材料的性能往往也就是混合律的水平,其优势无法得到很好的发挥。目前非晶合金复合材料主要有 3 种:(1) 固溶体树枝晶-非晶合金复合材料;(2) 金属丝-非晶合金复合材料;(3) 陶瓷颗粒或孔隙-非晶复合材料。本文主要阐述固溶体树枝晶-非晶复合材料。

复合材料是一类可以大幅度调节自身某种性能的材料,其性能更多的由工艺决定。设计复合材料的常用原则是混合律,即预测的性能接近于增强相和基体的性能按体积分数加权平均。但是由于机理的复杂性和工艺条件的影响,很多性能偏离其线性的预测混合律。这就是说,混合律是简单的线性近似,许多性能随体积分数的变化是非线性的,如塑性、断裂韧性等。另外,复合材料的性能对工艺的依赖性非常强,特别是金属基复合材料。如果工艺水平一般,制备出的复合材料的性能往往也就是混合律的水平,其优势无法得到很好的发挥。目前非晶合金复合材料主

要有 3 种:(1) 固溶体树枝晶-非晶合金复合材料^[1];(2) 金属丝-非晶合金复合材料^[2];(3) 陶瓷颗粒或孔隙-非晶复合材料。本文主要阐述固溶体树枝晶-非晶复合材料。

树枝晶-非晶合金 复合材料

制备树枝晶-非晶合金复合材料的工艺主要有 3 种:(1) 金属模铸造;(2) Bridgman 凝固技术;(3) 半固态技术或喷射成形技术。

金属模铸造技术比较简单,但是凝固条件不可控制,使得样品的表层冷却速率高、芯部冷却速率低,这就容易形成层状组织,如表层非晶含量

高而芯部晶体含量高。

Bridgman 技术可以精确地控制合金的凝固条件,可以采用较高的温度梯度 G ,可调节抽拉速率 V ,在稳态时近似的冷却速率 $R=GV$,假设 $G=35K/mm, V=10mm/s$,我们可以获得 $350K/s$ 的冷却速率。为了获得大的 G ,可以采用液态金属冷却 GaInSn 合金,液态金属再用水二次冷却。尽量减小样品和液态金属的隔热板厚度、并提高绝热效果,也是获得高温梯度方法。采用导热好的套管,并设法减少合金和套管的反应,更有利于大尺寸样品的制备。

通过采用 Bridgman 技术获得的断面树枝晶分布均匀的镧基和锆基树枝晶-非晶复合材料,样品整个断面组织均匀。通过控制加热温度,可以先加热到合金完全熔化,然后冷却到固-液两相区等温,随后再进行 Bridgman 生长,这样可以达到半固态和定向凝固的双重效果。更进一步,获得了拉伸延伸率 7% 的室温塑性^[4],

并观察到了颈缩现象,在某些样品中也观察到了加工硬化效应。

最近,在对树枝晶-非晶复合材料的塑性变形机制的研究中,发现剪切带间距对 Bridgman 工艺很敏感,非晶相体积分数不变的情况下,通过改变 V ,可以调节剪切带间距。

非晶复合材料主要应用于室温和低温环境,而在高温环境下则可以考虑高熵溶体合金及其复合材料,这类材料具有与非晶合金类似的高强度,并且室温塑性优于非晶合金,其性能可以在很大的范围内调节。目前该复合材料主要有体心立方结构(BCC)和面心立方结构(FCC)2种,BCC结构为基的高熵合金一般强度更高,其典型合金 AlCoCrFeNiTi0.5 的屈服强度大于 2GPa,断裂强度大于 3GPa,塑性变形



典型 Bridgman 凝固设备

大于 20%^[5-7]。

高熵合金的另一个特点是强度可以保持在更高的温度,如 AlCoCrFeNi 合金在 500℃ 的高温时,其屈服强度也能保持在大于 1000MPa 的水平上。高熵合金的高温强度正好弥补非晶合金只能在室温或低温使用的缺点。

分析讨论

材料科学的原理一般以材料的结构为根据,无论是成分还是工艺都



芬尔把手点缀精美机械



手柄类



水平调整件



合金拉手



手轮



把手



铰链

唯有更专业



● 压紧把手 ●

才有高品质



● 拉紧把手 ●



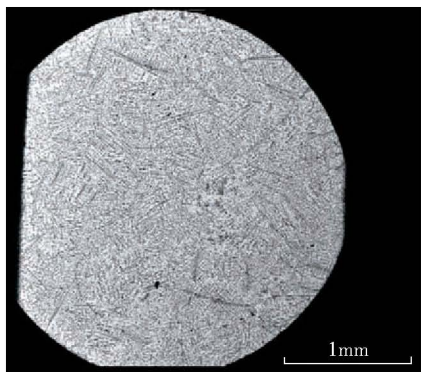
● 顶紧把手 ●



扬州芬尔机械配件有限公司
YANGZHOU FAIERR MECHANICAL FITTING CO., LTD.

地址: 江苏省扬州市沙头镇施沙路8号 邮编: 225105
电话: 0514-87533188 87533288 传真: 0514-87533288 87533088
http: //www.faierr.com E-mail: sale@faierr.com.cn

广告索引号10-077



Bridgman方法制备的
钢基树枝晶-非晶复合材料^[1]



Bridgman方法制备的铅基
树枝晶-非晶复合材料^[2]

通过改变材料的结构达到优化材料性能的目的。然而对于复合材料来讲,结构往往是已经事先设计好了,所需的主要工作是通过改进工艺达到性能的改善。不同工艺水平得到的材料其性能差别是很大的。目前非晶复合材料拉伸和压缩性能的不对称性,更多的是工艺问题导致的,制备缺陷在压缩条件下不敏感,而在拉伸时会很容易表现出来。树枝晶-非晶复合材料在压缩时加工硬化可以很大,拉伸时却很小,而目前认为该加工硬化以树枝晶贡献为主。当



日本东北大学用非晶合金制备
飞机的前缘缝翼导轨^[6]

然也有人认为,树枝晶-非晶合金复合材料拉伸和压缩在加工硬化方面的不对称性可能有特殊用途,比如一些体育用品材料就要求有这样的特性。

工程应用

(1) 航空航天领域。利用大块非晶合金的高比强度及比刚度的优异力学性能,制造航天飞行器的主框架、结构桁架、轴承、反射镜支架等结构材料,可大比例的减轻重量,相当于提高了航空发动机的推力比。日本东北大学^[8]提到了用非晶合金制备飞机的前缘缝翼导轨。燕山大学^[9]已经制备出了非晶合金轴承、四通管道等,在太空中使用具有不粘粘的特点,并且耐磨损性能大幅度提高。美国 NASA 利用非晶合金来捕获太阳风,目前已经获得了 0.1g 的太阳物质^[10]。

(2) 军事兵器领域。由于大块非晶合金材料在高速载荷作用下具有非常高的动态断裂韧性,在侵彻金属时具有良好的自锐性,是穿甲弹芯的首选材料之一。目前报道的钨丝非晶合金复合材料的强度可以达到 3695MPa, 室温塑性达到 25%^[11]。同时利用大块非晶合金的高硬度特性还可以研制穿甲防护材料,如装甲、防弹背心等。

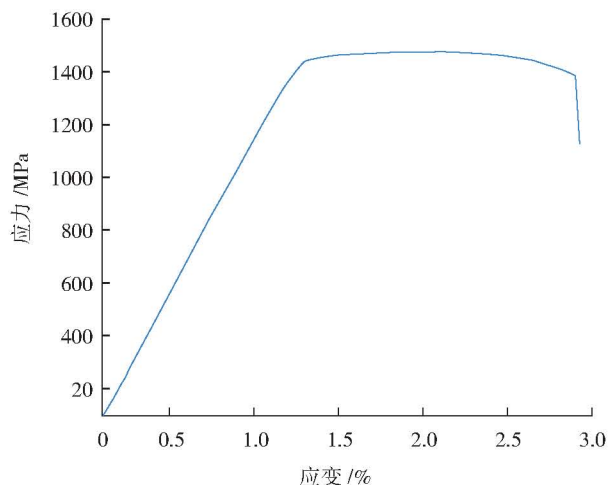
(3) 精密机械及汽车工业。利用非晶结构的特点可以加工出高精度、无缺陷的微型齿轮传动机构;利用其高硬度,高耐磨性能可制造汽车发动机中的液压油缸、活塞等耐磨零部件,大幅度提高其使用寿命。

(4) 化学工业。利用其抗多种

介质腐蚀的特性,可采用大块非晶合金材料制备耐腐蚀零部件。

(5) 医疗与体育器材。大块非晶合金的耐腐蚀性能可成为固定骨折夹板和钉的首选材料;优良的比刚度、比强度和高的硬度是高级体育竞赛(如单杠、双杠和撑杆)的器材最好材料。

(6) 其他方面。利用其优良的化学活性可生产出极好的化学反应催化和光催化材料,其优良的软磁、



铅基非晶-树枝晶复合材料拉伸应力-应变曲线^[3]

硬磁特性可作为传统磁性材料的升级替代品,其独特的膨胀特性等物理性能可用于制造具有更高灵敏度的各种精密零部件和热双金属器件,此外利用其在特定温度下的超塑性可实现超塑性变形和加工。

结论

(1) 目前非晶合金复合材料的工艺仍然有较多的改善空间;

(2) 非晶合金基复合材料有在室温和低温应用的潜力;

(3) 在高温条件下,高熵合金及其复合材料具有较大的发展空间。

本文有参考文献 11 篇,由于篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 小颖)