



动态与探讨

中国科学院固体物理研究所 韩福生

TG146.21

一种新型的物理功能材料

泡沫铝

1 泡沫铝的结构及性能特点

泡沫铝是一种在铝基体中包含无数个气泡的轻质多孔金属材料,它同时兼有金属和气泡特征,是一种具有广泛应用前景的物理功能材料。

1.1 主要结构特点

(1)孔结构可调。可分为两种情况:一种是具有独立孔洞结构,分散的气泡或空心的颗粒分布在金属基体中(有人称之为海绵铝);另一种是具有贯通的孔洞结构(有人称之为蜂窝铝)。

(2)孔径较大,变化范围为0.1~10.0mm(一般粉末冶金多孔金属孔径 \geq 0.3mm)。

(3)孔洞率高,变化范围为40%~90%(一般粉末冶金多孔金属孔洞率 \geq 30%)。

(4)密度小,变化范围为0.2~0.9g/cm³(仅为同体积铝的1/10~1/3)。

1.2 主要性能特点

(1)高阻尼性能和优异阻尼特征。具有很强的能量吸收特性,阻尼值随振幅的增大而显著增大(出现正常振幅效应);

(2)优良的热物理性能。

表观导热系数为Al的1/5~1/150,而与其他泡沫材料(如泡沫塑料)相比,具有耐高温和热强的特点;

(3)优秀的吸音或隔音性能。通孔结构的泡沫铝,可以通过其表面漫反射干涉消音,通过骨架振动释放热量消耗声能,通过孔径不同的孔洞膨胀消音等。闭孔结构的泡沫铝是良好的隔音材料(具有6~17dB的隔音性能);

(4)较理想的冲击能吸收性能。泡沫铝由于密度小,强度较高,因此可将大部分吸收的能量转化为变形所做的功(能量吸收率可达90%);

(5)较大的透过性和比表面积等。

2 泡沫铝的研究进展

自50年代美国Ethyl公司研制出泡沫铝试样以来,它的应用前景引起了世界各国众多研究者及政府的重视。但直到80年代中期,对泡沫铝的研究才取得了一些突破性的进展。目前,有关的研究主要集中在一些先进的工业国家,如美国、日本、德国、俄罗斯和乌克兰等,研究内容主要

涉及如下几个方面。

2.1 制备工艺

制备工艺合理与否,不仅关系到能否成功做出样品,而且与实际应用密切相关;有关制备方法的报道很多,但较理想的方法主要有3种。

(1)发泡法

首先熔化铝锭,然后加增粘剂Ca或Al粉,搅拌(800r/min)增粘,加发泡剂1%TiH₂或ZrH₂,再搅拌(1000r/min),保温发泡,浇注成形,精加工成产品。

这种工艺最早是1956年由美国的Borksten Res. Lab. Inc.开发出来的,后由Foamalum Corp.和Ethyl Corp.共同投入实际应用。1987年,日本神钢钢线工业(株)、九州工业技术研究所及日立造船集团日本建材(株)等对该工艺进行了一些改进,并在一些领域成功地进行了应用。近年来,我国台湾工业技术研究院又对这一工艺进行了更为细致的研究,为这一工艺的完善提供了有益的实验依据。

这一工艺的优点是,可以获得不同孔洞率、尺寸较大的

泡沫铝异形铸件,且孔洞均匀性相对较好。但由于液态 Al 的粘度与水相当,因此要保持发泡剂所产生的气体不外逸,就必须增加熔体粘度,这样就产生了两个问题:一是粘度过大,气泡均匀分布困难,而准确控制粘度,特别是合金凝固特性发生变化时的粘度也较困难;二是所用的增粘剂主要是 Ca 或 Al,其增粘机制是通过产生高熔点(高于 Al 或 Al 合金)的氧化物(如 CaO 或 Al_2O_3)增粘的,结果使泡沫铝中夹杂物数量增加,对其性能不利。其次,该工艺所得泡沫铝为闭孔,不适合制作有透过性要求的泡沫铝。这种方法存在的最主要问题是气泡的均匀性不够理想。

(2) 烧结法。这种方法类似于一般粉末冶金多孔材料的制作方法,不同的是采用发气量更大的 TiH_2 作硬造孔剂,使之孔洞率更高,孔径更大。其工艺过程是:将 Al(或 Al 合金)粉与 TiH_2 粉($<1\%$)混合,压制,然后轧制,烧结发泡。

这种方法的主要优点是工艺较简单,无需加增粘剂,液态下无需搅拌,便于制做尺寸较大、形状较复杂的泡沫铝件。缺点是只能得到闭孔且孔径不均匀,烧结时须装模,成本较高。

(3) 渗流法。这种工艺是 1983 年由日本九州工业技术研究院提出的,90 年代初我国

东南大学也对此工艺进行了研究。它的主要工艺过程为:将 NaCl 颗粒进行模压(敲击紧实),然后烧结(640 ~ 780℃, 4 ~ 8h),渗入铝液(800℃, 1.47GPa),凝固后用水溶去 NaCl 即得泡沫铝。

这种方法的主要优点是生产工艺简单,成本较低,孔结构易于控制,均匀性较好,但只能做通孔,NaCl 骨架的烧结时间太长。最近,日本九州工业技术研究所的长田纯夫等人通过在 NaCl 表面涂覆一层 KCl 的方法,使烧结时间缩短至 0.5h。这种方法的另一个缺点是难以制做孔洞率很高($<80\%$)的泡沫铝。再就是所需设备也较复杂。

最近一二年来,相继出现了一些新的泡沫铝制备方法,乌克兰冶金学家 V. V. Sobolev 等人根据 Al—Ar 准平衡二相区理论,使载气熔体达到共晶成分,然后控制其共晶凝固过程从而可在较宽的范围内控制孔洞结构,使之可以“凝固”成等轴形、短棒形(沿径向)、长棒形(沿轴向)和层片形等等。用这种方法制做的泡沫铝与普通泡沫铝相比,强度和刚度都要高得多。尽管这种工艺目前仍处于摸索阶段,尚有一些问题有待解决(如孔洞度超过 50% 后强度剧烈下降等),但仍不失为一种极有前途的方法。

从实用的观点来看,上述的几种制备方法中,发泡法和

烧结法较为合适,但关键技术还处于高度保密阶段,从有限的文献资料来看,均未提及主要的工艺参数。有关泡沫铝制备工艺的专利,自 1970 年以来至少有 30 项。

2.2 物理性能研究

多孔泡沫铝的物性,在很大程度上取决于分布在基体金属中的孔洞组态,如孔的类型、孔的大小、多少。有关泡沫铝物理性能的研究目前主要集中在强度、声吸收性能、机械阻尼性能和电磁屏蔽特性等方面。

研究表明,泡沫铝的强度明显依赖于密度(孔洞率),二者成线性关系。一般而言,密度为 $0.3g/cm^3$ 的泡沫铝,其抗压强度约为 2.5MPa,抗弯强度约为 3.0MPa,抗拉强度约为 2.0MPa,仅相当于致密铝合金的 1/100 左右。

由以上结果可以看出,泡沫铝的强度较低,而要提高强度,则必须以牺牲孔洞率(提高密度)为代价,即降低其物理功能性。是否可以通过别的方法来提高泡沫铝的强度?

噪声污染与大气污染、水污染一起被认为是当代世界三大污染,因此噪声和噪声控制是当今环境保护的重要内容。

实验证明,泡沫铝具有优异的吸音性能,特别是在一般内燃机等辐射的低频噪声的频率范围内(500Hz 以下),即吸音较为困难的区域,其混响

声吸收系数 α 可达 1.0, 通过一定的声结构, 则可改变声吸收系数峰值所对应的频率, 从而可应用于不同的噪声环境。

泡沫铝的水下声吸收性能也较好, 在 16~32kHz 的范围内, 水下声吸收系数的最大值可以达到 0.94, 这一特性对于国防建设有重要意义。

实验还表明, 泡沫铝的声吸收性能是结构敏感量, 泡沫铝的孔洞率、孔径、孔的形貌及均匀度等对其声吸收性能都将产生较大影响。但是目前尚没有有关的系统研究, 更没有关于声在泡沫铝中传播特征及声吸收机制的理论研究。

很多研究者在测定了泡沫铝的压缩应力—应变曲线后发现, 在该曲线上有一平稳段, 即在这一范围内, 应力随应变增加很少。这一结果显示了泡沫铝具有较强的吸收压缩能的能力(即较强的机械阻尼性能)。

对泡沫铝不同压缩变形阶段进行组织观察后发现, 应变在整个试样内部是不均匀的。在压应力作用下, 试样高度(与应力平行)的变化是平面变化(与应力垂直)的 2 倍。首先是表面附近的孔壁发生弯曲、断裂, 直至致密化, 然后应变才扩展到里层, 甚至发生了 70% 的变形后, 仍有一部分孔未发生变形, 这说明泡沫铝的应变强烈滞后于应力, 因此可用内耗的理论对其阻尼机制进行探讨。

东南大学的研究表明, 泡沫铝的内耗值(0.1~10.0Hz)为阻尼合金 Al-80Zn 的 2.8 倍; 同时还发现, 随孔洞率增加, 内耗值大幅度增加, 而孔径增加, 内耗值则下降, 因此具有较小孔径和较大孔洞率的泡沫铝具有较强的阻尼性能。

泡沫铝对电磁波的屏蔽特性随电磁波频率增加而逐渐上升, 密度对这一性能的影响只在 10Hz 以上才表现出来, 密度增加, 屏蔽效果增加, 如密度为 0.35 时, 最大值为 140dB, 密度为 0.23 时, 最大值为 110dB。

2.3 应用研究

目前国外的一些公司已开始出售泡沫铝产品, 如日本神钢钢线工业(株)生产的泡沫铝商品名为 ALPORS, 日立造船株式会社的商标(TM)为 FALSOAB, 美国 Energy Research & Generation Inc. 的商标为 Duocel 等等。

日本在高速旅游列车发电机室用泡沫铝制做吸音板, 使噪声声压级由最高值 105dB(无法忍受)降至最高值仅为 55dB(符合大多数国家噪声设计标准); 用泡沫铝和背后空气层所组成的吸声结构, 用于高速公路的隔音墙, 不仅比过去所用的隔音墙单位面积重量减轻 70%, 而且在距桥 40m 处测得的声压级不到 20dB, 仅相当于树叶的沙沙声。日本还将泡沫铝用于建筑物内装饰

材料, 如用作珠宝商店、精品商店内的吸音板, 使室内具有舒适、安逸的环境。

随着电子设备的发展, 对电磁波噪声的危害已日益引起关注, 例如, 电磁波会对电子计算机产生干扰, 造成机器人误动作。欧美及日本等国已对电磁波的控制制定了标准, 与其他的屏蔽方法(如喷涂金属薄膜等)相比, 泡沫铝具有最大的屏蔽系数(80~110dB), 且重量轻, 并兼有吸音效果, 已用于制做电子仪器的外壳、电磁波屏蔽室等。

德国和美国的一些汽车公司(如 Ford)从 70 年代开始将泡沫铝用于汽车防冲击安全装置, 以及飞机起落架冲击柱、高速研磨机外罩内衬等。密度为 0.37g/cm³ 的泡沫铝, 可吸收 58800J/kg 的冲击能。在这方面还有德国某研究所已开发出生产各种泡沫铝异形件的技术, 包括板、“Sandwich”、泡沫铝充填的铝管等等, 可分别在能量吸收、热和声隔离、振动与冲击阻尼、过滤、催化剂载体、医用植体等领域选用。

3 小结与展望

泡沫铝的发展初期着重于制备方法。为适应高新技术的发展, 近年来逐步加强了对泡沫铝各种物理性能的研究, 并付诸于实际应用。可以预料, 它所具备的高阻尼本领和广义阻尼性能, 将在阻尼技术领域发挥更大的作用, 特别是

在航空航天及国防高技术领域有着深远的应用前景。

例如,由于大功率发动机的激励、排流噪声和附面层流扰动,现代飞机因振动和噪声带来的问题已引起人们的关注。宽频带、随机激振引起结构的多共振峰响应,可使电子器件失效,仪器仪表失灵,机械部件疲劳,严重时可引发灾难性后果。海军舰艇,尤其是潜艇,发动机及螺旋桨对周围水域的激励,使之很容易被对方的声纳发现,降低隐身性和生存能力。可移动战斗雷达及导弹,其精度与主控装置所承受的振动密切相关。对于有毒物质的贮存,放射性物质的生产及核能的利用等方面均需采取严格的抗震减振措施。未来战争和空间技术的发展,其主要趋势是高速化和大功率化,更为严重的振动和噪声是其发展的必然结果。为防止宽频带激振对电子器件、仪器仪表的干扰和承力构件的共振疲劳,需要阻尼处理的范围将大幅度扩展,并且要求阻尼材料在极端工作环境下具有高内耗和良好的力学性能。因

此,开展具有大内耗、功能—结构一体化的新型阻尼材料的研究具有十分重要的科学意义和战略意义,也给泡沫铝提供了施展本领的机遇。

目前,在航空航天和其他军工领域里广泛使用的阻尼材料是高分子粘弹材料,这种材料虽有很高的阻尼本领,但因其弹性模量低,耐候性差,易老化,不能作为结构材料使用。在实际使用中往往将它粘贴在结构材料表面(自由阻尼)或夹在结构材料中间(约束阻尼)。这种简单的复合阻尼方式造成重量、体积一般较大,增加了机载设备的重量,并占用了宝贵的搭载空间。泡沫铝的阻尼本领虽不及高分子粘弹材料($Q^{-1}=0.025$),但却高于其他阻尼合金(如 Zn—Al, $Q^{-1}=0.0087$),而且具有弹性模量大、耐高温、耐候性好、不老化等优点,同时还可将泡沫铝与高分子粘弹材料制成复合材料,更充分地发挥结构阻尼的潜力。在这些领域内开发和应用泡沫铝,将是今后研究的热点之一。

个世纪,而且人们对它的研究与认识也已取得了相当的进展,但距巨大的潜在市场的要求特别是一些高技术领域的要求尚有较大的距离。与国外相比,我国的有关研究刚刚才起步,加上国外的技术保密,研究的深度和广度都十分有限,因此开展这项工作是十分紧迫的。

对泡沫铝研究的制约性因素是制备方法。事实上,不论是发泡法还是烧结法,均未达到结构可控的程度。因此,开拓新的制备方法,或在这两种制备方法的基础上进一步完善工艺,以实现结构参数可调的目标是今后研究的重点内容。

泡沫铝是一种功能材料,具有广义的阻尼特性,而这些特性又是结构敏感的。由于制备过程中孔洞结构参数随机性较大,因而对其功能性的认识与利用也是有限的。今后还须更深入地探讨结构组态与阻尼特性之间的关系。

本文于1996年4月4日收到。

尽管泡沫铝问世已近半

计算机, 计算机病毒, 安全
扫毒, 刻不容缓!

——网络时代计算机安全保护警示录

阿雷

TP309

如今,从科学研究、经济建设到国家管理,计算机已被广泛应用于人类生活的各个领域,

对经济发展、社会进步起到了积极的推动作用。然而,在计算机软件自动再生新的软件过程中,