

多孔金属材料的应用*

刘培生¹,李铁藩²,傅超²,吕明²

(1. 清华大学材料科学与工程系,北京 100084;2. 金属腐蚀与防护国家重点实验室,辽宁 沈阳 110015)

摘要: 本文综合介绍了多孔金属材料的应用,目的在于促进该材料性能结构的进一步改善,并获得更好的应用前景。

关键词: 多孔金属;应用;介绍

中图分类号: TB383 文献标识码:A

1 引言

多孔金属由金属骨架及孔隙所组成,具有金属材料的可焊性等基本的金属属性。相对于致密金属材料,多孔金属的显著特征是其内部具有大量的孔隙。而大量的内部孔隙又使多孔金属材料具有诸多优异的特性,如比重小、比表面大、能量吸收性好、导热率低(闭孔体)、换热散热能力高(通孔体)、吸声性好(通孔体)、渗透性优(通孔体)、电磁波吸收性好(通孔体)、阻焰、耐热耐火、抗热震、气敏(一些多孔金属对某些气体十分敏感)、能再生、加工性好,等等。多孔有机高分子材料强度低且不耐高温,多孔陶瓷则质脆且不抗热震,因此,多孔金属材料被广泛应用于航空航天、原子能、电化学、石油化工、冶金、机械、医药、环保、建筑等行业的分离、过滤、布气、催化、电化学过程、消音、吸震、屏蔽、热交换等工艺过程中,制作过滤器、催化剂及催化剂载体、多孔电极、能量吸收器、消音器、减震缓冲器、电磁屏蔽器件、电磁兼容器件、换热器和阻燃器,等等^[1~7]。另外,还可制作多种的复合材料和填充材料。多孔金属既可作为许多场合的功能材料,也可作为一些场合的结构材料,而一般情况下它兼有功能和结构双重作用,是一种性能优异的多用工程材料。本文以文献[1~7]为基础分别介绍该材料的不同用途。

2 过滤与分离

多孔金属具有优良的渗透性,是适合于制备多种过滤器的理想材料。利用多孔金属的孔道对流体介质中固体粒子的阻留和捕集作用,将气体或液体进行过滤与分离,从而达到介质的净化或分离作用。多孔金属过滤器可用于从液体(如石油、汽油、致冷剂、聚合物熔体和悬浮液等)或空气和其它气流中滤掉固体颗粒。使用最广的金属过滤器材料是多孔青铜和多孔不锈钢。多孔金属材料用作分离媒介,如从水中分离出油、从冷冻剂中分离水。还可作充气液体或液体分布 CO₂ 等的扩散媒介。在生物化学领域,金属泡沫用作肾器中渗透膜的支撑体。该原理也能扩展到那些取决于渗透或反向渗透作用的过程,如流出物处理中的脱盐和脱氢。

日本住友电气工业公司在世界上首次开发出能容易净化柴油机废气的、并且实用而廉价的柴油机微粒过滤器(DPF)系统,

采用的过滤材料是孔率为 85% 的三维网状 Ni-Cr-Al 合金多孔体,从而通过了 1997 年以后的排放烟灰量限制值^[8]。在发动机排气管道上安装 DPF 的方法,在十几年前就已研究过采用陶瓷作为过滤器材料来捕集废气中烟灰的系统。若烟灰的捕集量过多,则燃烧部分会发生局部温升,由于陶瓷热导率较低而产生过度的温差,过滤器就会发生破裂而熔化的现象。

Ban 等^[9]发明的 Ni-20Cr 和 Ni-33Cr-1.8Al 合金多孔体,可以抵抗柴油机废气的高温腐蚀且无多孔陶瓷的开裂问题,同样适于柴油机的排气过滤材料,大大减少环境污染。

经过青铜、不锈钢、镍等多孔金属过滤器净化的空气,已广泛用于各种厌氧细菌的生长,它几乎取代了原用的活性炭加脱脂棉的空气过滤器。大输液制剂中的脱炭,采用多孔不锈钢或钛,过滤效果提高数倍,而且降低了维护费用,它已基本取代原用的砂滤棒。在冶金工业湿法冶炼钽粉生产中,熔融金属钠采用镍过滤器。锌冶炼中硫酸锌溶液的过滤采用多孔钛,钢铁厂中高炉煤气的净化采用不锈钢过滤器。

在原子能工业中,用镍、蒙乃尔、不锈钢过滤器对 UF₆ 提炼及氧铀基硝酸盐脱硝中硫化床尾气过滤。低碳钢、渗铬多孔铁、不锈钢以及钼过滤器,用于原子能电站中二氧化碳冷却气体的过滤,还用于反应堆净化液中细小放射线污染物的去除。

在宇航工业中,多孔不锈钢用于航空器及制导舵螺中液压油的净化,在自动燃料管路中净化气体及在碳氢化合工艺中回收催化剂。

80 年代以后,石化、纺织、造纸等行业的发展,对耐高温、高压和腐蚀多孔材料的需求不断扩大,要求不断提高,并促进了多孔材料的规模生产。如在纺织业,粉末烧结多孔不锈钢管用于喷丝头的前级过滤和分散及纺织厂热洗水中去除染料颗粒。在造纸业,316L、317LN 镍及镍合金、钛多孔材料用于纸浆漂洗和污水处理。

在石化行业,石油钻井中泥砂的排除是用低碳钢和不锈钢多孔材料;石油提炼中油蜡分离是用铁过滤器;天然气过滤用低碳渗铬钢和多层金属网;聚丙烯生产中的液体过滤、聚脂薄膜等高分子聚合物的过滤用不锈钢粉末或纤维多孔材料;邻苯二甲酐、己内酰胺生产中催化剂粉尘收集,液氮、氨基过滤等,均用粉末烧结多孔不锈钢;液体硫磺及丁酸制取工艺的过滤用多孔钛。

在化工行业,硝酸、96% 硫酸、醋酸、硼酸、亚硝酸、草酸、碱、硫化氢、乙炔、蒸汽、海水、熔融盐、氢氧化钠、气态氟化氢等,均用不锈钢、钛等耐蚀多孔金属材料进行过滤,以达到净化或回收的目的。

* 收稿日期:1999-09-20



利用孔的大小及表面张力作用,可获得介质的分离效果。具有 $0.01\sim0.02\mu\text{m}$ 孔径的多孔镍,可将 U^{235} 与 U^{238} 同位素进行气体扩散分离。

总之,只要涉及固-液、液-液、气-液过滤与分离的场合,基本上均可采用金属多孔材料。

多孔钛是一种新型的、更新换代的过滤净化材料,也是具有高弥散度的化工反应、节气新材料^[10]。其特点是耐蚀性强,能过滤多种介质如海水、氯化物、次氯酸盐、湿氯气、氧化性酸、碱及多种有机酸、多种强氧化剂及各种高低温介质;具有良好的物理机械性能,可以满足过滤工程对力学性能的需要;过滤精度高,适于从除菌“精滤”到一般“粗过滤”,如采油防砂过滤,使用精滤多孔钛材则可极有保证地除掉空气中的杆菌、霉菌体等细菌;强度高、刚度大,可以自支撑,能承受任意方向加压;可适应多种再生方法,如酸洗、碱洗和其它化学清洗,也可以进行超声波、高压气、水反冲和溶剂清洗,在各种应用环境中很容易选择到极为有效的再生的方法;使用寿命极长。

3 能量吸收

能量吸收是多孔金属材料的重要用途,其中缓冲器及吸震器是典型的能量吸收装置,其应用从汽车的防冲挡直至宇宙飞船的起落架,以及升降机、传送器安全垫和高速磨床防护罩吸能内衬。

在汽车冲击区使用泡沫铝制成的合适元件,可控制最大能耗的变形,对侧面冲击保护同样如此^[11]。例如,在中空钢材或铝材外壳中充入泡沫铝,可使这些部件在负载期间具备良好的变形行为。车体或发动机的另外一些部件可用泡沫金属制造或增强,以同时获得较高的刚性和较轻的质量。因为通过泡沫金属密度的选择可得到很大范围的弹性模量,故可匹配泡沫部件的共振频率,由此抑制有害振动。

由于运载工具安全性的要求不断提高(特别是在汽车工业中),使得其质量增加。这又和进一步的要求相矛盾,如降低燃料消耗。因此,低比重和高能量吸收能力的材料倍受青睐。有机泡沫体的比重小,但可转换成变形能的能量也少,强度又低。使用金属泡沫,即可实现相应的高能量吸收。Baumeister 等^[12]运用粉末冶金技术制备了孔率达 90% 的结构均匀泡沫铝产品,通过充模加热法可造成具有复杂形状的部件,从而满足上述要求。

消音材料是多孔金属在能量吸收方面的又一重大应用。泡沫金属具有与可得最好的声控材料——聚合物泡沫媲美的声性能,并能在高温下加以保持。吸声材料需要同时具有优良的吸声效率、透声损失、透气性、耐火性和结构强度^[13]。玻璃毛织品等纤维材料变形性差,且吸声效率在雨水条件下易于变坏,而陶瓷等烧结材料则冲击强度低。因此,多孔金属被广泛用于建筑和自动办公设备、无线电录音室等,既作外表装饰,又作吸声材料。

在燃气轮机排气系统等一些特殊的工作条件下,其排气消声装置要满足高效、长寿和轻型化的要求。一般常规的吸声构件和材料不能适用,而具有耐高温高速气流冲刷和抗腐蚀性能优越的轻质多孔钛可满足其要求,可应用于燃气轮机进、排气噪声控制^[14]。

《功能材料》2001,32(1)

十多年来,日本一直在发展火车的加速和减重技术,但有轨车辆的加速减重带来了震动和噪音的增加,故控制汽车和火车发出的噪音的要求也随之不断提高,成为发展这项技术的重要课题。直江正久^[15]开发的泡沫铝合金具有良好的消音吸震效果,可作汽车火车等减震、消声的阻尼材料,从而解决上述问题。

在超声检测方面,因泡沫金属的超声阻抗处于合适的范围,可用作接收器^[11]。

此外,在长距离高压管道送气时会产生高密噪音,并可沿管道传播,换用泡沫金属进行扩散气体方式的送气,即几乎可完全消除噪音。泡沫金属也可用于其它减压场合,如蒸汽发电站和气动工具等的消声器(如用密度为 5% 的泡沫铜作气动工具的消声器)。用作消声器时必须在获得消音效果的同时保证足够的空气流通量。

4 电极材料

多孔金属材料的另一类用途是作电极材料。各种蓄电池、燃料电池、空气电池中都用多孔镍作电极,并要求孔率尽可能高。

氢镍、镉镍等二次碱性电池在高技术和普通民用领域中不断提出高能量密度、长寿命和低成本的要求,致使传统的烧结镍基板受到挑战。轻质高孔率的发泡沫基板和纤维基板等多孔金属材料与传统烧结基板材料相比,可使镍材消耗降低约一半,极板质量减少 12% 左右,并大大提高能量密度^[16]。

利用有机泡沫电沉积法制备的泡沫铜可作电解铜还原的阴极以及电有机合成电极,泡沫镍则被用作化学反应工程中的流通性和流经性多孔电极,具有良好的电解质扩散、迁移和物质交换性能^[17~19]。

泡沫镍用于电化学反应器,由于增加了电极表面积,从而提高了电化学单元的性能,且在一些工业应用中可无膜使用^[20]。泡沫镍适合于作有机化合物电氧化的多孔三维阳极,如苯甲基乙醇的多相电催化氧化促进了乙醛的生成,泡沫镍电极提高电解电流和乙醇转换达 30%^[21]。

另外,泡沫铅作为铅酸电池的活性物质支撑体时,也使电极结构大大减轻^[22]。

5 流体分布与控制

多孔金属作为一种流体分布装置也得到广泛应用。如用多孔不锈钢控制火箭鼻锥体偏航指示仪外壳的冷却气体或液体;多孔粉末冶金材料则大量使用于磁带处理设备中的漂浮塑性膜的气浮辊筒中。另外一些布气元件用于液体中分布入气体,如用多孔钛管给啤酒充气,不锈钢或多孔钛板在医用氧合器中将氧气均匀充入血液中等等。

在石油化工、冶金等工业中,广泛采用流态化床技术。已广泛采用的流体分布板有青铜、镍、蒙乃尔合金、不锈钢等粉末烧结多孔板。

多孔金属材料还用于流体控制。如用于气体或液体的计量器、自动化系统中的信号控制延时器等。

6 热交换

多孔金属具有很大的比表面积,是热交换和加热的有效材



料,通孔体适作热交换器、加热器和散热器,其中循环空气加热器和电阻水加热器都表现了很高的效率和优良的使用性能。可根据需要制成管状或平面状金属与多孔金属的组合件,在强迫对流条件下使用有利于利用三维复杂流动,克服边界层的不利影响。闭孔多孔金属可作绝热材料,其强度及耐温性优于相应传统材料。

泡沫钢可应用的温度区间很宽,如可制作汽车发动机的排气歧管。因为歧管传热率的大大减小,达到排气催化的正常操作温度所需时间也随之减少。

此外,多孔金属耐火且具有与阻火能力协调的高渗透性,可作为防止火焰沿管道蔓延的优质材料,故可制成灭火器。

7 反应材料

在化学工业中,可利用多孔金属比表面大并具有支撑强度等特点,制作高效催化剂或催化剂载体。本身即可作某些反应催化体的多孔金属如多孔拉内铜(Raney Copper)^[23]、多孔镍^[24]等,作催化剂载体的如多孔Cr-Ni不锈钢^[25]等。基于多孔金属的催化剂可用于碳氢化物的深度氧化、乙醇的选择性氧化^[26]、石油化工中的己烷重组^[27]等反应工程。将泡沫金属制作汽车所排有毒废气的催化中和器,可减少排放的CO为2~3倍,毒性减小达90%^[28]。环保方面还用泡沫镍对水溶液中的6价Cr离子(剧毒)进行氧化还原反应^[29],用材质均匀的多孔钛作工业废水处理装置^[30]。

据日刊《工业材料》(Vol. 38, No. 12)报道,新日本钢铁公司和松下电器工业公司共同开发出性能好、寿命长的新型去臭材料,是在三维网状铁系多孔体上复合铁系金属微细粉末和有机酸络合物而形成的产物,应用于多功能脱臭、自动空气净化器和去臭建材等方面^[31]。这种去臭材料的制造方法是,将10μm以下的铁系金属细粉的粉浆浸渗到氨基甲酸乙酯泡沫中,经烧结,在微观上形成具有多孔质结构的三维网状铁系多孔体。然后,用有机酸(抗坏血酸系)对其进行表面处理,形成金属络合物后,再进行特殊的化学处理(碱处理),在铁系多孔体微观表面生成的金属络合物可吸附并贮存臭气成分。由金属铁供给必须的电子来维持金属络合物的活性,去臭效果可持续很长时间。与活性炭的性能相比,其去臭速度高,可作为家庭、大厦、商店用空气净化器、汽车用去臭器等。

8 结构材料

多孔金属具有一定的强度、延展性和可加工性,可作轻质结构材料,尤其是温度超过200℃的场合。泡沫铝很早就用于飞机夹合件的芯材^[32]。将多孔金属与致密基体连结在一起,可提高其作为结构材料的使用性。

在飞机和导弹工业中,多孔网状金属被用作轻质、传热的支撑结构^[33]。因其能焊接、胶粘或电镀到结构体上,故可做成夹层构件。如作机翼金属外壳的支撑体、导弹鼻锥的防外壳高温倒坍支撑体(因其良好的导热性)、雷达镜的反射材料等。

在建筑上,需要多孔金属制作轻、硬、耐火的元件,栏杆或这些东西的支撑体。现代化电梯高频高速的加速和减速,特别需要轻质结构(如泡沫铝或泡沫镍板)来降低能耗。而安全规则常常排除传统的轻质结构技术,故泡沫铝以其同时具备吸能和刚

硬的特性,在这些应用中充满前景^[22]。

圆柱形壳体广泛存在于工程结构中,如远离岸边的油井平台和飞机机身。薄壁圆柱壳在轴向压缩或弯曲时易于弯折损坏,但若外壳由连续的低密多孔芯支持,作抵御弯折的弹性基衬,则该结构比同样直径和大小的未加强中心壳体具有较大的弹性弯折抗力^[34,35]。

泡沫铜较易制得,且便于变形,故适合作紧固器^[36]。

泡沫金属还可作许多有机和无机材料的增强材料。如在泡沫镍中充入熔融铝凝固后制成泡沫镍增强的铝合金(NFRA)材料——铝合金基复合材料^[37]。孔率为6%~30%的铝合金基复合材料(如Fe或Ni泡沫等增强)可用于内燃机引擎^[38]。

此外,多孔金属还可作镍板、壳体和管体的轻质芯,制成多种层压复合材料^[39]。

9 电磁屏蔽

多孔金属的电磁波吸收性能可用于电磁屏蔽、电磁兼容器件。

现代电子工业的高速发展和电子电器的普遍使用。使电磁波辐射日益严重,不仅干扰其它电子仪器设备,而且造成信息泄漏,因此屏蔽措施十分重要。多孔金属在这方面应用的主要是孔隙相互之间全部连通的三维网状铜或镍,这种结构透气散热性好,比重轻,比金属网的屏蔽性能高得多,可达到波导窗的屏蔽效果,但体积比波导窗小、轻便,更适合于移动的仪器设备使用^[40]。

10 生物材料

钛等多孔材料对人体无害且有较好的相容性而被大量用于医疗卫生行业,如多孔钛髓关节用于矫形术,多孔钛种植牙根用于牙缺损的修复,钨铬镍合金复合体用于多孔复合心瓣体等。

90年代以来还开发了其它一些新的用途,如用多孔钨进行Ag和Gd(粉末注入多孔体)的热蒸发^[41],用泡沫铜作粘弹体、低温焊料等基体^[42],用多孔铜或镍测定Pb和Sn-Pb合金的熔点^[43],用多孔金属作灯芯材料及火箭和喷气发动机的支护材料,用多孔青铜作铸模中的排气塞,等等。

Thomas等^[44]介绍的“多孔基体金属化→气相氧化性等离子区进行氧化→气相还原等离子区进行还原”法制成的多孔金属复合材料(多孔基体可为陶瓷或聚合物,金属可为Pb、Pd、Ni、Ag、Au-Pd或Cu等),可用于电化学领域的气体传感器和燃料电池电极,以及一般领域如化学反应催化剂、高比表面的催化活性表面和层析分离器等。

11 结语

除作隔热材料等少数用途在追求高孔率的同时还需要闭孔隙外,对多孔材料的绝大多数应用均是在保证基本的强度使用要求的基础上追求高孔率、高比表面积和高通孔率,以使产品的使用性能达到最佳状态。这不但促成了三维网状结构的多孔金属材料之大规模生产,同时也使三维网状的高孔率金属的应用几乎遍及所有多孔金属的应用领域并有所拓宽,如用于各种过滤器、流体混合器、催化剂及其载体、镍镉、镍氢、锂、燃烧电池等各种电池的电极、电合成和重金属回收等的电化学过程阴极、热

交换器、消音材料、电磁屏蔽材料、复合金属材料和宇航工业中的某些结构材料等^[37,45~50]。因此,为提高和促进多孔金属的已有应用优势,目前对高孔率金属的制备工艺改进和性能研究显得很有意义。

参 考 文 献

- 1 Bray H. [J]. Engineering Materials & Design ,1972 ,16(1) :19~21
- 2 Dilley D C. Machinery and Production Engineering , 1974 , 125 : 24~26
- 3 铃木 清,中川 威雄. [J]. 工业材料 , 1982 , 30(10) :104~108
- 4 Davies G J , Zhen Shu. [J]. J Mater Sci ,1983 ,18 : 1899~1911
- 5 余兴泉,何德坪,陈峰. [J]. 功能材料 ,1993 ,24(5) : 438~442
- 6 汤慧萍,张正德. [J]. 稀有金属材料与工程 ,1997 ,26(1) :1~6
- 7 李保山,牛玉舒,翟秀静,等. [J]. 中国有色金属学报 ,1998 ,8 (Suppl. 2) :18~22
- 8 郑长如. [J]. 上海有色金属 ,1995 ,16(5) : 272~273
- 9 Ban S , Shinoyama E , Shinozaki O , et al. [J]. SEA Trans J Mater Manuf ,1995 ,104:700~706
- 10 张国才. [J]. 钛合金信息 ,1997 ,(3) :3~4
- 11 Kunze H D,Baumeister J ,Banhart J ,et al. [J]. Powder Metallurg International (pmi) ,1993 ,25(4) : 182~185
- 12 Baumeister J , Banhart J , Weber M. [J]. Materials & Design ,1997 , 18(4/6) : 217~220
- 13 Morimoto T,Nakagawa F. [P]. UK Patent GB 2190417A , 1987
- 14 刘延昌. [J]. 稀有金属材料与工程 ,1989 ,(5) :36~39
- 15 直江 正久. [J]. 住友轻金属技报 ,1994 , 35 (3/4) :105~111
- 16 余根新. [J]. 电池 ,1996 ,26(2) :86~90
- 17 Chaussard J ,Rouget R ,Tassin M. [J]. J Appl Electrochem ,1986 ,16 : 803
- 18 Langlois S , Coeuret F. [J]. Journal of Applied Electrochemistry , 1989 ,19 :43~50
- 19 Langlois S , Coeuret F. [J]. Journal of Applied Electrochemistry , 1989 ,19 :51~60
- 20 Monillet A ,Comiti J ,Legrand J. [J]. J Appl Electrochem ,1993 ,23 : 1045~1050
- 21 Cognet P , Berlan J ,Lacoste G. [J]. J Appl Electrochem ,1996 , 26 : 631~637
- 22 Elsevier Science Ltd. Met Powder Rep (MPR) , 1997 : 38~41
- 23 Tomsett A D. [J]. Diss Abstr Int ,1988 , 48(11) : N. P.
- 24 Barbov A V , Kordeva N G , Pankratov Yu D ,et al. [J]. Zh Prikl Khim , 1995 , 68(5) : 915~918
- 25 Antsiferov V N ,Fillimonova I V , Kalashnikova M Yu ,et al. [J]. Zh Priki Khim ,1997 ,70(1) : 105~110
- 26 Pstryakov A N ,Fedorov A A ,Devochkin A N. [J]. J Adv Mater , 1994 ,5 :471~476
- 27 Antsiferov V N,Makarov A M. [J]. Zh Priki Khim ,1996 , 69(5) :855
- 28 Ametov V A , Pstryakov A N. [J]. Zh Priki Khim ,1994 , 67(2) : 306 ~309
- 29 Ibanez J G,Fregoso A ,Fresan A ,et al. [J]. Electrochemical Technology Applied to Environmental Problems [Proc. Conf.] , Reno , Nevada , USA , 1995 , PV 95 - 12:102~108
- 30 曾剑波,吴诚萍,邱培民,等. [J]. 粉末冶金技术 ,1992 ,10(4) :282~286
- 31 邹有武. [J]. 粉末冶金技术 , 1991 ,9(4) : 252
- 32 Thiele W. [J]. Met Mater ,1972 ,6 : 349
- 33 Hanusa H G. [P]. US Patent 3549505 ,1970
- 34 Karam G N , Gibson L J. [J]. Int J Solids Structure ,1995a ,32 :1259~1283
- 35 Karam G N ,Gibson L J. [J]. Int J Solids Structure ,1995b ,32 :1285~1306
- 36 Choi J B , Lakes R S. [J]. Cell Polym , 1991 ,10(3) : 205~212
- 37 Shiozawa K ,Nishino S ,Yoshikawa R ,et al. [J]. J Soc Mater Sci , 1992 ,41 (461) : 246~252
- 38 Suzuki Y,Dgiwara T , Kudo M. [P]. European Patent ,EP 0424109 , 1990 - 10 - 17
- 39 Sugimura Y ,Meyer J ,He M Y ,et al. [J]. Acta Materialia ,1997 , 45 (12) : 5245~5259
- 40 黄福祥,金吉琰,范嗣元,等. [J]. 材料导报 ,1997 , 11(3) : 18~21
- 41 柴田 猛顺,吉原 清次,小稿 章,等. [J]. 真空 ,1990 ,33 (3) : 304~306
- 42 Chen C P , Lakes R S. [J]. J Mater Sci ,1993 , 28(16) : 4288~4298
- 43 Khokonov Kh B ,Shidov Kh T , Sozaev V A. [J]. Teplofiz Vys Temp , 1995 ,33(2) :325~327
- 44 Thomas T R ,Badyal J P S. [P]. UK Patent , GB 2287720A , 1995 - 09 - 27
- 45 本多 正明,西 澈也,石井 正之,等. [J]. 公开特许公报 ,平 4 - 2795 ,1992
- 46 Brannan J R , Bean A S ,Vaccaro A J ,et al. [P]. US Patent 5098544 , 1992
- 47 高城 东一,串桥 和人,和田 澈也. [J]. 公开特许公报 ,特开平 6 - 248492 ,1994 - 09 - 06
- 48 前田 裕子,川越 博隆. 公开特许公报 ,特开平 7 - 109597 ,1995
- 49 黄福祥,金吉琰,范嗣元,等. [J]. 功能材料 ,1996 ,27(2) :147~149
- 50 田部井 正纪,松冈 宣夫,仓沪 利明. [J]. 公开特许公报 . 特开平 8 - 81800 ,1996 - 03 - 26

Applications of Porous Metal Materials

LIU Peisheng¹,LI Tiefan²,FU Chao²,L Ming²

(1. Department of Materials Science and Engineering ,Tsinghua University ,Beijing ,100084 ,China ;

2. The State Key Laboratory of Corrosion and Protection of Metals ,Shenyang ,110015 ,China)

Abstract : Applications of porous metal materials have been introduced , so as to promote improving the property and structure of these materials , and make them obtain the better and more applications.

Key words :porous metals; application; introduction

