

金属纤维增强陶瓷复合材料及其应用

姜汉成 高长瑾 蔡军 张雨虹

(吉林大学材料科学系 吉林大学材料科学研究所)

研究了以不锈钢纤维增强的陶瓷基复合材料的制造工艺及其结构与性能,并成功地制造出塑料件真空吸塑成型模具,展现了良好的应用前景。

A Metallic Fibre Reinforced Ceramic Composite and its Application

Jiang Hancheng Gao Changjin Cai Jun Zhang Yuhong

(Materials Science Dept. and Materials Science Institute of Jilin University)

The technique of composite ceramics reinforced by stainless fibre has been investigated. The structure and the properties of this material have been studied as well. A model for suction molding is made with this composite successfully. There are bright prospects for its application.

一、引言

陶瓷材料一般具有耐高温、高硬度、抗氧化、耐腐蚀等一系列优点,因此很久以来人们就试图用它替代金属材料制造各种模具、工具及机械部件等^[1,2]。但是由于其烧结尺寸稳定性差、脆、加工性能差等原因至今尚不能在机械工业中得到广泛的应用。

近年来日本等国开始用金属纤维增强陶瓷的办法制造出具有特殊性能的复合材料,并开始用于各种模具的制造中^[3]。

我们用自制的振动切削金属纤维^[4]增强陶瓷材料,试制出具有透气特性的陶瓷复合材料,并用于真空吸塑模具中,效果很好。

本文简要介绍这类透气性陶瓷复合材料的制造方法、结构、特性及其应用前景。

二、材料的组织结构、特性及其与 制造工艺条件的关系

这类具有透气性的复合材料是用一定量的氧化铝、氧化硅、莫来石等陶瓷粉与铁、镍、铬等金属粉充分混合后,再混入适量不锈钢短纤维,以具有挥发性的硅溶胶为粘合剂调合成均匀的浆糊状流体注入所要做的各种形状的容器中,待硬化后取出干燥,再烧结而成。

图1为未含有金属纤维的复合材料烧结后断面的低倍组织。表面层为暗紫色的烧结硬化层,内部为灰白色的未硬化层。表面硬化层的扫描电镜照片见图2所示,可

材料工程

以看出有很多微孔洞。X射线相分析表明,硬化层由 Fe_2O_3 (金属粉全部用Fe粉的试样进行分析的结果)与陶瓷(Al_2O_3 、 SiO_2)相所构成。这是由烧结过程中Fe被氧化和粘合剂中大量挥发性物质气化逸出造成微孔洞所致。这一层的强度、硬度、耐磨性都很高,用一般的钢锯是很难锯开的。一般认为,在陶瓷基复合材料烧结过程中,可借助金属的氧化现象促进各相间的润湿性与结合强度^[5]。本文研究的这种材料恰好基于这个想法,把金属粉与陶瓷粉以适当的配比混合后在氧化气氛中烧结而成。在烧结过程中金属被氧化造成体积的膨胀,而陶瓷粉随着烧结过程体积收缩,二者互相抵消可有效地保证材料烧结尺寸的稳定性,同时使材料的强度也能提高到适当的程度。

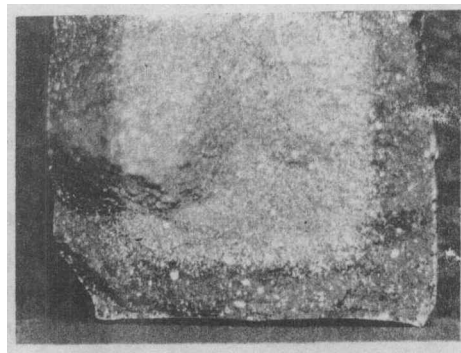


图1 复合材料断面低倍组织

材料的内层,由于表面硬化层的存在阻碍了烧结过程中充分向内层供氧,致使金属粉的氧化过程不能很充



图2 复合材料表面硬化层扫描电镜照片

分。X射线相分析表明,材料的心部是由原来的金属相与陶瓷相构成,而表面硬化层与内部未烧结层之间有一个很狭的过渡层,由 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、Fe及陶瓷相构成。这个过渡层与内层的强度都较低,但孔隙率较高,有利于材料整体的透气性能。

图3为材料的压缩强度与烧结温度关系曲线。可以看出,这类材料的烧结温度有一个下限。当金属粉全部使用Fe粉时,其下限为 800°C ;低于 800°C 以下时,材料的强度明显偏低。X射线相分析表明,此时的试样表面还残留着相当数量的 Fe_3O_4 相,说明 Fe_3O_4 转化为 Fe_2O_3 的过程尚未进行完,它仍属于前面所述的过渡层,而不是真正的表面硬化层,因此其强度偏低。这个现象给了我们一个启示,即这种材料的烧结过程与金属氧化过程密切相关,其烧结温度的选择必须考虑金属的高温氧化反应过程。

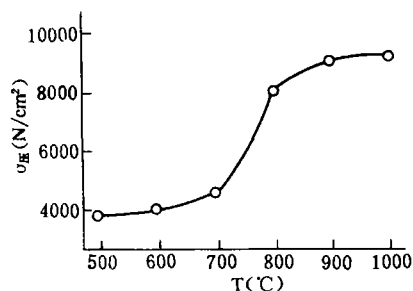


图3 压缩强度与烧结温度的关系

图4为 σ_K 与材料中金属粉(Fe)与陶瓷粉的配比之间关系曲线,说明金属粉与陶瓷粉的配比量是影响强度的关键性因素。

材料的其它性能也同金属粉与陶瓷粉比例相关。图5为材料的孔隙率、透气性与金属粉对陶瓷粉配比之间的关系曲线。金属粉含量增多时,由于表面层中的金属氧化量大,体积膨胀的多,故形成较致密的硬化层,这样透气率就必然下降。同时,烧结过程中,向内层供氧通道也被严重堵塞,致使烧结硬化层的厚度相对变薄,造成内部过多的未硬化层存在,总的空隙率就变大。反之,金属粉的含量变少时,烧结硬化层的厚度可增大,但

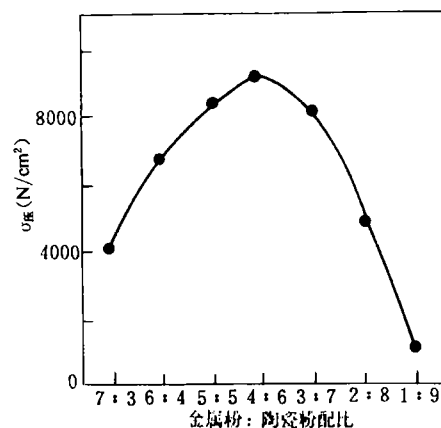


图4 金属对陶瓷配比与压缩强度的关系

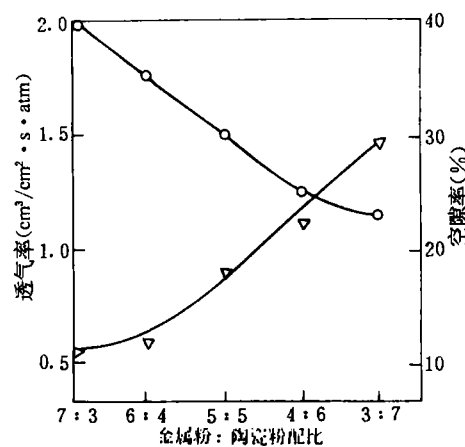


图5 金属对陶瓷配比与透气性(△)、孔隙率(○)的关系

相对不很致密。这样整体的透气性较高,空隙率却变小。

图6是用长度为4mm,直径为 $60\mu\text{m}$ 的不锈钢纤维增强的复合材料弯曲强度(σ_q)、压缩强度(σ_K)与纤维含量关系曲线。从图可见,弯曲强度比压缩强度提高得明显,说明纤维确实对材料韧性的改善起到了作用。

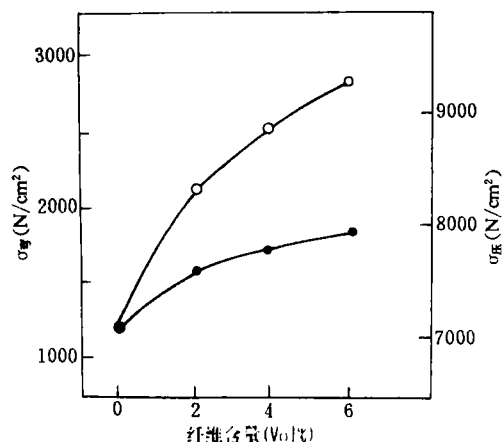


图6 纤维含量与 σ_q (○)、 σ_K (●)的关系

实验还表明金属与陶瓷粉的粒度分布及粘合剂相对

含量对材料的强度、空隙率、透气性及尺寸稳定性有着密切的关系。尤其是粘合剂的合成条件与材料的强度有着十分密切的关系。我们曾用X射线小角衍射方法测量过不同合成条件下合成的硅溶胶分子团的回转半径 R_g 。当使用 R_g 值超过一定范围的粘合剂时,材料的强度急剧地下降,基本不能使用。这说明必须严格控制硅溶胶粘合剂的合成条件(主要是成分、温度、pH值、时间等),使其分子团的大小与形状符合使用要求。

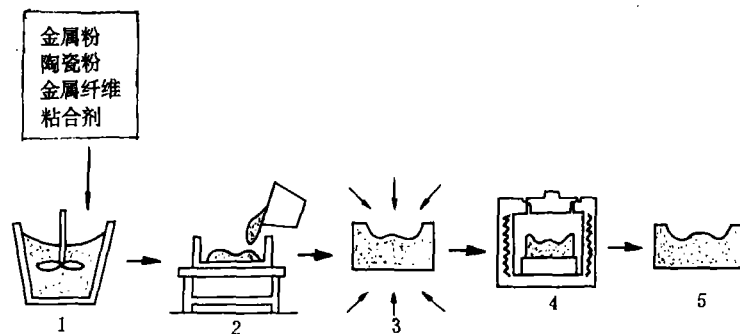


图7 模具制造工艺示意图

1—混炼; 2—注入; 3—脱模干燥; 4—烧结; 5—成品模具;

很适合于制造工件表面花纹精细、形状复杂、不易用一般金属材料机械加工办法制造的模具。比如一般金属做的真空吹塑模具均用机械加工的办法,在模具上打很多孔洞,以达到透气的目。但是由于微孔洞不能打得过多,总有一些透气性不理想的地方,因此必然影响吸塑件表面的精细程度。采用本文研究的这种本身就具有透气性的复合材料,而且用胶体状的流体注入成形方法制造模具,其精细度完全可以得到保证。我们曾用来制造具有树叶精细花纹模具,并用吸塑法使树叶的花纹准确地翻印到塑料薄膜上,达到了以假乱真的程度。这说明这种方法很适合于精细件的仿造工艺。

根据初步探索,这种具有透气性的陶瓷基复合材料除了可用于塑料件的成型模具之外,也可用于陶瓷、橡胶件的模具上,甚至也有可能用于低熔点金属材料的铸模上。同样是由于具有透气特性,将使金属铸件的精度得到提高。

四、结论

1. 用特殊的工艺制造的不锈钢纤维增强的具有透气性的陶瓷基复合材料。其压缩强度可达到 $8000\text{N}/\text{cm}^2$,透气性可达到 $1.2\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{atm}$,有关的实验数据及实际使用证实了加入纤维使材料的韧性有了一定程度的改善。

2. 对这种复合材料的制造工艺进行了较系统的研究,发现材料的结构、性能与材料成分、工艺有很大关系,尤其是粘合剂的合成条件严重地影响材料的性能。有必要对硅溶胶分子团的大小与形态如何影响材料性能的问题进一步进行研究。

3. 这种材料用于塑料件真空吸塑成型模具很成功,

三、透气性复合材料在模具中使用前景

模具的制造方法如前所述,是把所要的原形件放入适当的容器中固定好,将混合好的金属粉、陶瓷粉、金属纤维用粘合剂调成浆糊状注入其中,经过振实、硬化、脱模、干燥、烧结即可。其工艺过程如图7所示。

这种方法制作的透气性复合材料模具已在长春第一汽车厂用于以真空吸塑法成型轿车装饰塑料件;奥迪轿车上就用了这类塑料件,质量基本达到原进口件水平。

采用这种复合材料制造模具的优点:

1. 工艺简单,基本不需要机械加工,成本低;
2. 模具的尺寸精度高,耐高温,抗氧化,耐磨,具有较高强度与韧性;
3. 模具具有透气特性。

由于存在上述优点,特别是透气性特点,

有工艺简单、成本低、精度高等一系列优点,充分展现了这类陶瓷基复合材料用于模具工业的良好前景。

参考文献

1. Walker E. G., Trans. Brit. Ceram. Soc., Vol. 64, No. 4 (1965).
2. Carter, J. A., Bull. Amer. Ceram. Soc., Vol. 115, No. 3 (1966).
3. 柳泽等,生产研究,Vol. 36, No. 2 (1984)
4. 中川等,精密机械,Vol. 47, 110. 11 (1981).
5. 齐藤,セラミックス材料技术集成,产业技术センター。(1979) 778.

(上接第54页)

连续式定向凝固真空炉外,在热处理方面还有三室真空淬火炉、大容积的真空加压气淬炉、引进了美国 LINDBERG13型多用热处理炉。与此同时还建立了涡轴式、涡桨式航空发动机试车台、摩托车测试中心等。这些设备的建立已经并正在为南方公司的新工艺、新材料和新产品的开发作出贡献。

综上所述,南方公司根据产品开发需要,积极进行材料研究,既促进了生产的发展,加速了产品更新换代,又使研究工作方向明确、目的性强、提高了研究工作的时效性、完善了测试设备,增强了研究能力,并密切了科研与生产的关系。目前南方公司的广大科技人员正沿着这条道路进一步开展研究工作。

参考文献 (略)