

粉末微注射技术的研究现状及其在钛合金零件制备领域的应用

骆接文, 陈 强, 蔡一湘

(广东省工业技术研究院, 广州 510640)

摘 要: 粉末微注射成型技术(μ PIM)是一种新型的技术, 采用传统的粉末注射成型的方法来制备整体尺寸为毫米级, 局部结构的尺寸达到微米级, 精度达到微米级的制品, 有着极其光明的前景。由于钛合金难以加工的特性, 采用 μ PIM 制备微型的钛合金零件能实现低成本、大批量的生产, 目前在医疗器械领域、高端音响制备以及微型传感器制备领域已经用到 μ PIM 技术来制备微型钛合金零件。

关键词: 钛合金; 粉末微注射成型技术; 超微型零件制备

中图分类号: TF 804.3

文献标志码: A

Current research situation of micro powder injection molding and its use in titanium alloy parts preparation

LUO Jie-wen, CHEN Qiang, CAI Yi-xiang

(Guangdong Research Institute of Industrial Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The micro powder injection molding (μ PIM) has been developed in recent years, based on the traditional powder injection molding (PIM) for producing complex shaped titanium micro-components possessing lateral dimensions in the sub-millimeter range, and structural details in the tens of micrometers range at low production cost. Now, the μ PIM has been used in the medical application, the sound and the micro-sensor field.

Key words: titanium; micro powder injection molding; micro-component

粉末微注射成型技术(Micro powder injection molding, μ PIM)是采用金属粉末或者是陶瓷粉末为原料, 通过微型注射机, 微型模具来成型制品毛坯, 然后经过脱脂烧结工艺后得到最终制品的一种新型加工成型技术。粉末微注射成型技术可以制备尺寸为微米级、质量为几毫克的注射制品, 可以制备局部结构尺寸达到微米级微结构的注射制品以及其尺寸公差为微米级高精密注射制品。

微注射成型技术是注射成型技术设备发展的一个新方向, 开创了微细结构零件和系统制造研究的新途径, 其突出优点就是能够实现高精度、超微型零件的大批量、低成本生产。

微制造技术的运用预期年增长速度是 20%。随着科学技术的进步, 产品不断向微型化方向发展, 产生

了新世纪产业需求的微机电系统(MEMS)技术。微机电一直是这几年备受瞩目的研究方向, 在光通讯、3C、生化等产业的快速进步中已可看出, 产品体积持续小型化、轻量化、功能更多样化, 加上 IC 的制程纳米化技术的纯熟, 微细化零组件的生产制程将有急迫性的需求。

本文作者综述国内外粉末微注射成型技术的研究现状, 并列举微注射成型技术在钛合金零件制备领域的具体应用。

1 微注射成型技术的优势

微注射成型工艺最主要的是微注射成型机, 其注

射过程具有高注射速率, 精密注射量计量和快速反应能力的特点, 图 1 所示为 BABYPLAST 微型注射机。



图 1 微注射成型机 BABYPLAST

Fig.1 μ PIM machine BABYPLAST

随着微机电工程技术(Micro electronic mechanic system, MEMS)的快速发展, 对尺寸微型化、精度超高化制品的需求速度急剧加快, 这对微型零件的制备厂商提出了很高的要求。目前普遍的加工微型零件的加工方法比如 LIGA 技术, 通常只适用于制造具有二维几何结构的制品, 虽然最近 LIGA 技术通过与微型电火花技术(EDM)的结合, 用以深加工制备出具有复杂几何结构的零件, 但是与其他的包括电化学微加工技术、微型磨床及微型铣床等加工技术一样, 这些技术的一个共同的特点就是造价成本很高, 不适合制造大批量的具有复杂三维结构的微型结构件。在这样的背景之下, 微型注射成型技术呼之欲出, 微注射成型作为一种微成形工艺, 能加工制备整体尺寸或局部尺寸为微米级甚至是亚微米级的零件, 加工成本低、成型效率高以及可连续化、自动化生产等一系列优点, 受到了人们的极大重视。2002 年全世界在微注射成型加工这一领域创造出 450 亿美元的产值, 被誉为朝阳产业。

微注射成型技术首先出现在塑料微型零部件的加工制备领域, 通过塑料的良好的加工性能, 成型出了用在各个行业的微型产品。但是这样的微型制品因为其材料为塑料, 塑料有其本身的应用范围的限制, 在一些对材料的强度硬度、耐高温性及耐摩擦磨损有特殊要求的应用场合, 塑料制品显露出了其极大的缺陷性, 于是, 德国的科学家提出通过将粉末注射成型技术(PIM)与微注射成型技术这两种技术的完美结合, 出

现了粉末微注射成型技术(μ PIM), 这种新技术可以用金属粉末或者陶瓷粉末制备高强度、高的硬度以及其他需求特殊性能的功能材料制品, 这可以大大的扩大大型制品的应用领域范围。

2 粉末微注射成型技术的国内外研究现状

粉末微注射成型技术最先由 GERMAN^[1]提出, 进而在全世界许多国家都先后开展研究。ZAUNER^[2]研究 μ PIM 技术中粉末的粒度与制品的最小尺寸之间的关系, 指出制品的最小尺寸为粉末粒度的 10 倍, 注射出并烧结了 5 μ m 微型结构件。LIU 和 LOH^[3-4]通过不同的实验配方, 制备能很好满足微注射成型技术用的 PAN250+EVA+ HDPE 黏结剂配方。TAY 和 LOH^[5]用 μ PIM 技术制备了直径为 1 mm 的微型齿轮, 并对齿根, 齿顶等部分进行性能评估, 发现齿顶会有粗晶的产生, 力学性能较差。CHEN 和 HO^[6]对陶瓷粉末微注射成型的注射收缩率进行了研究与改进, 提出步进分级(step-contracted cross-section)的注射方法。WU^[7]对氧化锆陶瓷粉末微注射成型技术的流变性能以及相分离性能进行了研究。在德国 Karlsruhe 的第三材料研究所^[8], 为纳米陶瓷粉与超细金属粉微注射成形开发出新的、低黏度黏结剂体系: 48%石蜡-48%聚乙烯-4%表面活性添加剂。FLEISCHER 和 BUCHHOLZ^[9]研究 μ PIM 的自动化生产技术, 实现自动脱模、水口与坯自动分离以及模内自动化取件技术以及采用了 μ PIM 的方法加工难溶高强度的钨。SHA 和 DIMOV^[10]对微注射成型工艺各参数进行研究, 指出影响 μ PIM 技术工业化应用的关键技术问题为料筒温度、模具温度、注射速率以及微型零件的异性特征结构等; 2009 年 3 月关于微注射成形的研讨会在美国奥兰多(Orlando)举行^[11], 深入讨论在医疗领域金属微注射成形和陶瓷微注射成形的应用范围。

而我国在微注射成型技术这方面才刚刚起步, 目前有包括大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室^[11], 主要研究方向微型模具的精密/超精密加工理论与技术, 精密及异型零件的测量新原理与新方法, 开发生化微系统与精密仪器装备和微执行器与传感器。YIN 和 QU^[12]采用 μ PIM 技术制备外径为 200~800 μ m 的齿轮。张凯峰^[13]做了注射速率、温度保压压力

与塑料制品缺陷的关系。庄俭和吴大鸣^[14]做了微注射成型过程流道的大小与工艺的关系研究。蒋炳炎等^[15]研究不同工艺参数对微结构零件复制度的影响,成型工艺参数对微结构零件成型质量的影响由大到小顺序为:保压压力、熔体温度、模具温度、保压时间、注射时间。西南交通大学柳葆生教授与法国 Franche-Comte 大学和 ENSMM 高等工程院校 Femto—ST 实验室合作^[16],对微注射的相分离的情况进行了基础研究。

3 粉末微注射成型技术在钛合金零件制备中的应用

钛是一种有银白色光泽、比强度高的结构金属,位居地壳中金属矿产储藏量的第9位,多以金红石(TiO_2)和钛铁矿(Fe_2TiO_3)形式存在。钛表面的氧化膜(TiO_2)致密,化学性能稳定,生物相容性良好,在海水、硝酸、碱性溶液和含水氯气中具有突出的抗蚀能力。正是因为金属钛及其合金具有低密度、高强度、良好高温强度、卓越的耐腐蚀性等性能,使得其广泛用于航空航天、汽车、生物工程(良好相容性)、手表和环保等领域。但是,钛及其合金的机加工性能差,成为大量生产复杂形状零件的障碍。因此,寻求超微型钛零件的低成本近终形规模化制造技术,是钛零件制造业不懈努力的方向。粉末微注射成型技术的出现,使得低成本、高效率、规模化、近终形制造三维复杂形状的高性能超微型钛零件成为可能。

从文献报道可以看出:尽管国内外的研究者已经开始对 μPIM 技术进行研究,但对钛粉末微注射成型技术的研究较少。随着先进制造工业技术的高速发展,各行各业对钛微注射制品的渴求越来越大。德国(IFAM, Bremen)的学者 Philipp Imgrund 说,采用微注射成型的技术,几乎可以制备各种结构形状复杂的超细钛零件,而且通过调节元素的成分制备不同的金属粉末,可以制备具有不同功能的零件。Philipp Imgrund 在实验阶段用粉末微注射成型的方法可以制备具有 5.4 mg,厚度仅有 0.3 mm 的钛合金零件。

目前用作注射成型用的常用材料有 Ti, Ti-6Al-7Nb, Ti-Al-Cr, Ti-Al-Cr-Nb, Ti-Mo, Ti-Al-Mo, Ti-6Al-4V, Ti-12Mo, Ti-6Al-4V-Mo 和 Ti-47.5Al-2.5V-1.0Cr 等。

3.1 钛的微注射成型技术在医疗方面的应用

由于具有高强度、低密度、良好的生物相容性及优良的耐腐蚀性能等特点,钛和钛合金作为少数几种能够完全满足人体植入条件的金属材料,在医疗领域有着越来越广泛的应用。每一年,全世界有超过 1 000 t 的不同种类、不同功能的钛和钛合金材料医疗部件被植入人体,帮助患者重获新生。

位于德国不莱梅的 Fraunhofer 材料应用与制备研究院(IFAM, Bremen, Germany)的研究者用具有生物相容性很好的性能的 Ti 基做材料^[18],应用微注射成型技术的方法开发了可用于人的听小骨的(Stirrup)。

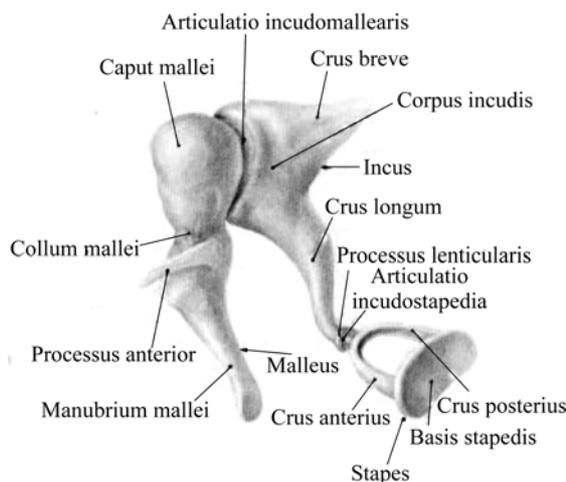


图2 听小骨结构图

Fig.2 Auditory ossicles (right side)



图3 微注射成型技术制备听小骨中的蹬骨

Fig.3 Stapes of auditory ossicles made by μPIM

3.2 钛的微注射成型技术在医疗方面的应用

牙科植入物,作为牙科材料,钛作为镶嵌体、齿冠、桥接材、义牙床和人工牙根等植入材正在越来越广泛的应用于临床。

3.3 μPIM 微型传感器的应用

和传统的传感器相比, 钛合金微型传感器具有许多新特性, 它们能够弥补传统传感器的不足, 具有广泛的应用前景, 越来越受到重视。

产品产地: 俄罗斯联邦、AP19、超高频超小型、钛合金材料、用于机械结构试验。

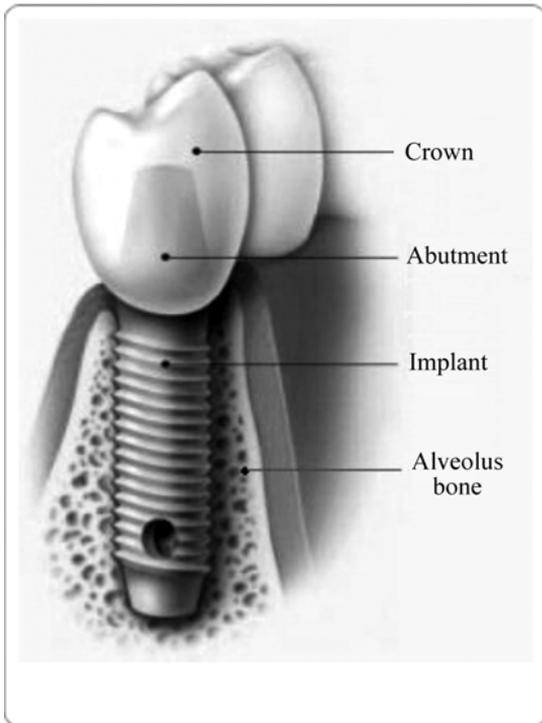


图 4 μPIM 制备钛种植体

Fig.4 Tooth implant made by μPIM

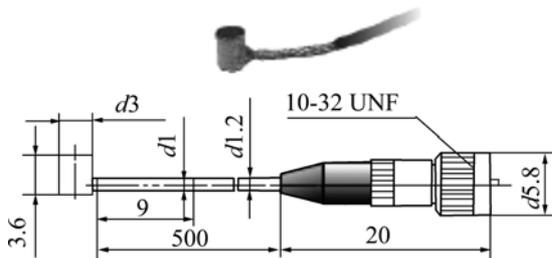


图 5 μPIM 微型传感器的零件

Fig.5 Micro-sensor parts made by μPIM (Unit: mm)

3.4 μPIM 音响制备领域的应用

钛金属微型单体内含钕磁体, 能够实现水晶般纯净的高音, 并撷取丰富的音效细节。I-Trigue L3800 最终能够实现极为精确的音效, 这是许多只具有普通铝质单体的喇叭系统所无法做到的。



图 6 μPIM 制备钛金属微型音响

Fig.6 Micro soundic Ti parts made by μPIM

4 结论

微注射成型技术是微型零件加工技术的重要发展分支, 是一种具有优势的技术, 有着其突出优点就是能够实现高精度、超微型零件的大批量、低成本生产, 开创了微细结构钛金属合金零件制备的新途径, 具有非常光明的前景。

REFERENCES

- [1] GERMAN R M. Powder injection molding[M]. Princeton: Powder Industries Federation, 1997: 1-10.
- [2] ZAUNER R. Micro powder injection moulding[J]. Micro-electronic Engineering, 2006, 83: 1442-1444.
- [3] LIU Z Y, LOH N H. Binder system for micropowder injection molding[J]. Materials Letters, 2001, 48: 31-38.
- [4] LIU Z Y, LOH N H. Micro-powder injection molding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 127: 165-168.
- [5] TAY B Y, LOH N H. Characterization of micro gears produced by micro powder injection moulding[J]. Powder Technology, 2009, 188: 179-182.
- [6] CHEN R H, HO C H. Shrinkage properties of ceramic injection moulding part with a step-contracted cross-section in the filling direction[J]. Ceramics International, 2004, 30: 991-996.
- [7] WU Rong-yuan, WEI Wen-cheng. Kneading behaviour and homogeneity of zirconia feedstocks for micro-injection molding[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2004, 24: 3653-3662.
- [8] PETZOLDT D F. Miniaturization miroPIM[EB/OL]. [2009-10-12]

- www.pim-international.com
- [9] FLEISCHER J, BUCHHOLZ C. Automation of the powder-injection-moulding process for micro-mechanical parts[J]. Powder Technology, 2008, 17: 19–22.
- [10] SHA B, DIMOV S. Investigation of micro-injection moulding: Factors affecting the replication quality[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 183: 284–296.
- [11] Szvup. 大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室简介[EB/OL]. [2004–11–12]. <http://www.szvup.com/html.sys/cyjs/1816383.html>.
- [12] YIN Hai-qing, QU Xuan-hui. Fabrication of micro gear wheels by micro-powder injection molding[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008(15): 480–483.
- [13] 张凯锋, 雷鹏. 面向微细制造的微成形技术[J]. 中国机械工程, 2004, 15(12): 1121–1128.
- ZHANG Kai-feng, LEI Kun. Microforming technology facing to the micromanufacture[J]. China Mechanical Engineering, 2004, 15(12): 1121–1128.
- [14] 庄 俭, 吴大鸣. 微注射成型工艺的实验研究[J]. 化工学报, 2009, 60: 1040–1045.
- ZHUANG Jian, WU Da-ming. Experimental investigation into process of micro injection molding[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2009, 60: 1040–1045.
- [15] 蒋炳炎, 申瑞霞, 等. 注射成型工艺参数对微结构零件复制度的影响[J]. 光学精密工程, 2008(2): 248–246.
- JIANG Bin-yan, SHEN Rui-xia, et al. Influence of processing parameters in injection molding on replication fidelity of microstructure parts[J]. Optics and Precision Engineering, 2008(2): 248–246.
- [16] 柳葆生, 宋久鹏, 成志强. 粉末注射成形研究和国际合作[J]. 重庆工学院学报(自然科学版), 2008, 22(11): 31–37.
- LIU Bao-sheng, SONG Jiu-peng, CENG Zhi-qiang. Research on powder injection molding and international cooperation[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology (Natural Science), 2008, 22(11): 31–37.
- [17] Materials and processes for medical devices[EB/OL]. [2007–10]. www.asminternational.org/amp.

(编辑 陈爱华)