

# 定向结晶对多孔股骨柄室温拉伸性能的影响

Effects of Directional Solidification on Tensile Property of Femoral Stem with Porous Surface

张 伟, 刘 慧, 梁芳慧, 黄永玲

(北京百慕航材高科技股份有限公司, 北京 100095)

ZHANG Wei, LIU Hui, LIANG Fang-hui, HUANG Yong-ling

(Baimtec Material Co., Ltd., Beijing 100095, China)

摘要: 采用医用钴铬钼合金, 通过普通铸造和定向结晶铸造两种技术制得多孔股骨柄毛坯, 经高温烧结制成多孔股骨柄。对比研究了普通铸造技术和定向结晶对多孔股骨柄的室温拉伸性能的影响, 分析了两种股骨柄的宏观与显微组织以及断口形貌。结果表明: 经高温烧结的定向结晶铸造股骨柄, 其宏观组织呈柱状晶, 室温拉伸性能比高温烧结的普通铸造股骨柄显著提高, 抗拉强度和延伸率分别至少提高了 1.2 倍和 2 倍。

关键词: 定向结晶; 多孔股骨柄; 抗拉强度; 延伸率

中图分类号: TG113.25<sup>+</sup>1 文献标识码: A 文章编号: 1004-4381(2009)09-0013-03

**Abstract:** Femoral stems with porous surface of hip joint prostheses were manufactured using biomedical Co-Cr-Mo alloys by usual casting and directional solidification casting, followed by sintering at high temperatures. Effects of two different casting processes on mechanical properties of femoral stems were studied. Macro- and micro-structure and fracture appearance were compared. The results indicate that for femoral stems manufactured by directional solidification followed by sintering, column crystals are observed and the tensile strength at room temperature increased greatly by the technology. The tensile strength and elongation of femoral stems with porous surface increased to 1.2 and 2.0 times, respectively.

**Key words:** directional solidification; femoral stem with porous surface; tensile strength; elongation

多孔人工髋关节假体是用于治疗髋关节疾病的外科植入物, 通过外科手术植入, 替代疾患组织, 解除疼痛, 恢复人体髋关节的运动功能, 目前在临床应用非常广泛<sup>[1]</sup>。其股骨柄采用医用钴铬钼合金材料, 表面通过高温烧结钴铬钼合金颗粒形成厚度约为 2.5mm 的多孔层。这一多孔层具有三维联通孔隙结构, 允许人体骨细胞在孔隙内生长, 形成嵌锁性结合, 从而提高多孔股骨柄与骨之间的结合强度, 临床远期效果也随之得到提高<sup>[2]</sup>。

制备表面多孔层需要进行高温烧结, 烧结温度达到 1200℃以上, 经过高温烧结工艺处理的股骨柄, 其室温拉伸性能还不能达到 YY0118《髋关节假体》标准<sup>[3]</sup>中对股骨柄室温拉伸性能的规定。

定向结晶铸造技术是使晶粒沿一个方向生长即晶界平行于凝固方向, 零件的宏观组织是由与凝固方向平行的柱状晶组成。由于定向凝固的柱状晶消除了横向晶界, 使晶粒择优方向成长, 改善了零件的受力条件, 可提高合金强度和塑性<sup>[4]</sup>。因此, 为提高多孔股骨

柄的室温拉伸性能, 本工作将定向结晶铸造技术应用与多孔股骨柄制造, 并与普通铸造多孔股骨柄进行了比较研究。

## 1 实验方法

多孔股骨柄毛坯分别采用普通精密铸造和定向结晶铸造技术制成, 成分相近。采用与本公司多孔股骨柄相同的烧结工艺, 对普通铸造股骨柄和定向结晶铸造股骨柄进行高温烧结, 然后对股骨柄非多孔层表面进行喷砂处理。

按 YY0117.3—2005 行业标准<sup>[5]</sup>要求, 室温拉伸试样需取自股骨柄的柄部, 如图 1 所示。由于股骨柄尺寸影响, 本次实验所取试样为  $\phi 3$  试样, 标距 15mm。横向试样取自板材模拟件, 对所取拉伸试样, 在 INSTRON 4057 万能材料试验机上进行测试, 确定其室温拉伸性能。

将多孔股骨柄在腐蚀液中浸泡后制成低倍试样,

目视观察其宏观组织。

在多孔股骨柄上切取样块,制成金相试样,经腐蚀液浸泡后,用 FEI QUANTA600 环境扫描电镜进行显微组织观察。

拉伸试样断裂后,用 FEI QUANTA600 环境扫描电镜对其断口形貌进行观察。

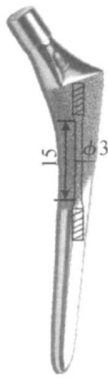


图 1 多孔股骨柄拉伸性能试样取样部位

Fig. 1 Specimen location of femoral stem with porous surface for tensile test

2 结果与讨论

2.1 力学性能

普通铸造和定向结晶两种技术制造的多孔股骨柄,其室温拉伸性能结果见表 1。从表 1 可以看出,取自普通铸造股骨柄的试样,其  $R_{P0.2}$  和  $R_m$  值均出现了低于行业要求的情况。而取自定向结晶的  $R_{P0.2}$  和  $R_m$  拉伸性能全部高于行业标准的要求,与普通铸造股骨柄的抗拉强度和延伸率相比,二者均显著提高。其中抗拉强度提高了 1.2 倍以上,延伸率提高了 2 倍以上。定向凝固过程使得晶粒沿零件纵向生长,消除了与零件主应力轴相垂直的横向晶界,晶界一般情况下是合金显微组织中的薄弱环节,裂纹容易在晶界处萌生并扩展。表 1 的横向性能测试结果表明:定向结晶的横向拉伸性能满足行业标准的要求,拉伸塑性也得到提高。因此,采用定向结晶工艺生产的关节在使用过程中不会产生纵向裂纹。对于屈服强度,定向结晶试样的屈服强度虽然高于行业标准的要求,但数值比较接近,还需对合金成分或定向结晶工艺进行进一步研究以得到改善。

表 1 采用不同铸造技术的试样的室温拉伸性能

Table 1 Tensile strength of specimens casted by different technology

Tensile property	Longitudinal			Transverse		
	$R_{P0.2}$ /MPa	$R_m$ /MPa	$A$ /%	$R_{P0.2}$ /MPa	$R_m$ /MPa	$A$ /%
Solidificated directionally	491	970	35.4	470	910	14.0
	495	973	33.6	465	720	13.0
	469	912	41.5	-	-	-
Casted usually	508	709	13.9	455	750	9.5
	441	542	17.1	465	745	8.5
	475	590	12.3	-	-	-
Requirement of standard YY0118	≥450	≥665	≥8	-	-	-

2.2 组织

图 2a 所示为普通铸造多孔股骨柄的宏观组织,其晶粒为等轴晶。图 2b 所示定向结晶多孔股骨柄的宏观组织呈柱状晶,几乎没有横向晶界存在。

图 3 是髋关节股骨柄植入人体后的受力示意图。由图 3 可看出,股骨柄受到与轴向相平行的应力;而定向结晶股骨柄的晶界方向与股骨柄受力方向一致,在这一方向上抗拉强度和延伸率显著提高,使得这种股骨柄更适合于人体植入,在人体服役期间降低断裂失效的风险。

图 4a 为普通铸造多孔股骨柄的铸态显微组织,图中显示在凝固过程中形成的碳化物和  $\gamma'$  基体交替排列组成板条状共晶组织。图 4b 为定向结晶多孔股骨柄的铸态显微组织,图中显示碳化物在枝晶间和晶界

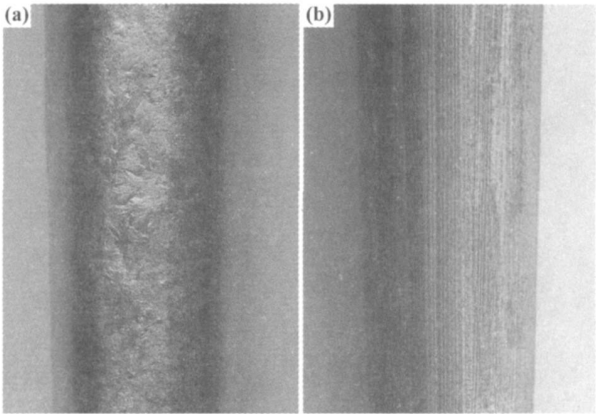


图 2 关节低倍组织 (a) 普通铸造; (b) 定向结晶  
Fig. 2 Macroscopic structure of specimens  
(a) casted usually; (b) solidificated directionally



图 3 髋关节股骨柄植入后受力示意图<sup>[1]</sup>

Fig. 3 Illustration of load on femoral stem implanted in femur<sup>[1]</sup>

上均匀分布。图 5 是两种铸造工艺合金烧结态显微组织,可以看出普通铸造+ 烧结处理后,晶界组织呈细线状;而定向结晶+ 烧结处理后,晶界组织上分布着长条状和块状碳化物,定向凝固消除了横向晶界,减少了裂纹的萌生;碳化物在晶界上均匀分布,有助于强化晶界,阻碍裂纹的扩展,因此,使合金的强度和塑性都得到显著提高。而拉伸性能实验的结果也与此一致,采用定向结晶技术的多孔股骨柄,其拉伸性能显著高于普通铸造的多孔股骨柄拉伸性能。

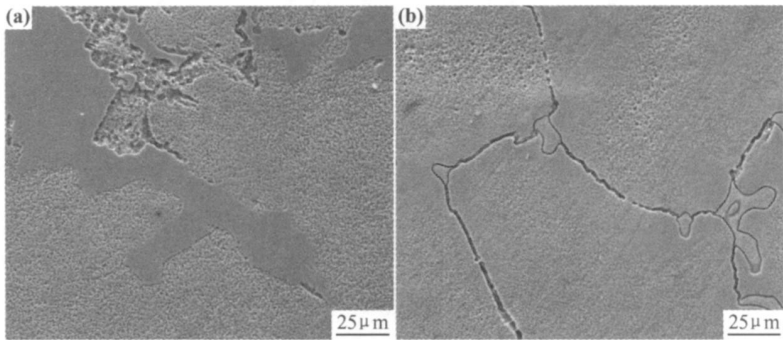


图 4 两种铸造工艺合金铸态显微组织 (a)普通铸造;(b)定向结晶

Fig. 4 SEM photographs of microstructure of specimens (a) casted usually; (b) solidificated directionally

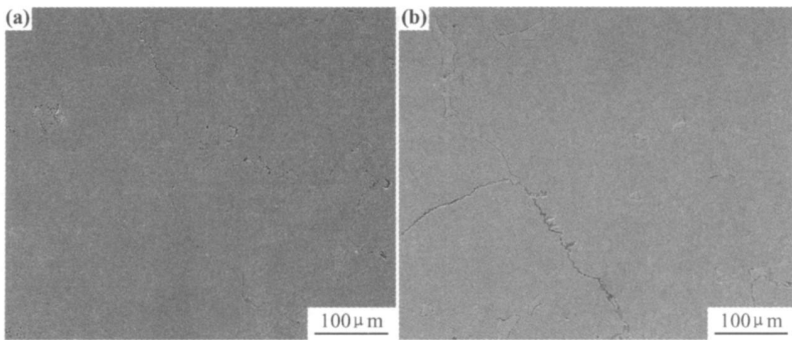


图 5 两种铸造工艺合金经烧结后的显微组织 (a)普通铸造;(b)定向结晶

Fig. 5 SEM photographs of microstructure of casted specimens after sintering (a) casted usually; (b) solidificated directionally

图 6a 为普通铸造多孔股骨柄拉伸试样断口的 SEM 图像,其断口比较平坦,断口表面有少量韧窝,主

要表现为沿晶断裂。图 6b 为定向结晶多孔股骨柄拉伸试样断口的 SEM 图像,其断口面高低不平,主要表

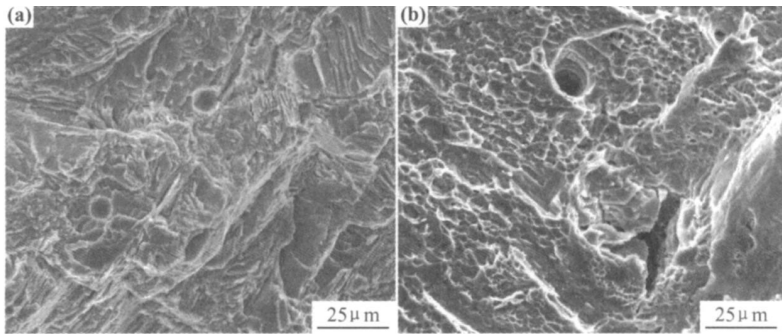


图 6 试样断口 SEM 图像 (a)普通铸造;(b)定向结晶

Fig. 6 Fracture SEM photographs of specimens (a) casted usually; (b) solidificated directionally

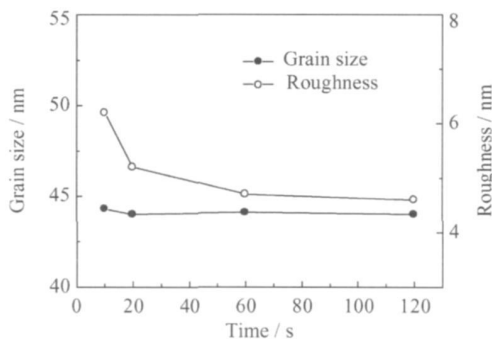


图6 退火时间对BST薄膜的晶粒尺寸及表面粗糙度的影响

Fig. 6 Dependences of grain sizes and surface roughness on annealing time

### 3 结论

(1) BST 薄膜的衍射峰强度和结晶度随退火温度的升高而提高。

(2) 随退火温度的升高, BST 薄膜的表面粗糙度经历先降低后增大的过程, 在 700 °C 达到最大值 7 nm, 而 BST 薄膜的晶粒尺寸单调减小。当退火温度为 700 °C 时, 随退火时间的增加, BST 薄膜的晶粒尺寸几乎不发生变化, 而表面粗糙度单调减小。

(3) 与退火温度相比, 退火时间对 BST 薄膜的晶粒尺寸和表面粗糙度的影响较小。

#### 参考文献

- [1] SONG M H, LEE Y H, HANN T S, et al. Effects of a new stacking method on characteristics of multilayered BaTiO<sub>3</sub> thin film[J]. J Appl Phys, 1996, 79: 3744– 3748.
- [2] OKAMOTO K, NASU Y, HAMAKAWA Y. Optical and structural properties of (Ba, Sr) TiO<sub>3</sub> thin films grown[J]. IEEE Transactions Electron Device, 1991, 28: 698– 704.
- [3] WANG Y P, TSENG T Y. Electronic defect and trap-related cur-

rent of (Ba<sub>0.4</sub>Sr<sub>0.6</sub>) TiO<sub>3</sub> thin films[J]. J Appl Phys, 1997, 81: 6762– 6766.

- [4] KINGON A, STREIFFER S K, BASCERI C, et al. Thin films for dynamic random access memories[J]. Mater Res Bull, 1996, 21: 46– 52.
- [5] HORIKAWA T, MIKAMI N, MAKITA T, et al. Dielectric properties of (Ba, Sr) TiO<sub>3</sub> thin films deposited by RF sputtering[J]. Jpn J Appl Phys, 1993, 32: 4126– 4130.
- [6] SAHA S, KARUPANIDHI S B. Dielectric response in pulsed laser ablated (Ba, Sr) TiO<sub>3</sub> thin films[J]. J Appl Phys, 2000, 87: 849– 854.
- [7] ZHANG T J, NI H. Fabrication and electrical properties of Ba<sub>0.64</sub>Sr<sub>0.36</sub>TiO<sub>3</sub> thin films by sol-gel on platinum coated silicon[J]. J Mater Sci, 2002, 37: 4155– 4158.
- [8] LEE J Y, JUANG J Y, WU K H. Pulsed laser deposited homoepitaxial SrTiO<sub>3</sub> thin films[J]. Surf Sci, 2001, 488: 277– 285.
- [9] HUBERT T, BECK U, KLEINKE H. Amorphous and nanocrystalline SrTiO<sub>3</sub> thin films[J]. J Non-Cryst Solids, 1996, 196: 150– 154.
- [10] GOTTMANN J, KREUTZ E W. Controlling crystal quality and orientation of pulsed laser-deposited BaTiO<sub>3</sub> thin films by the kinetic energy of the film-forming particles[J]. J Appl Phys, 2000, 70: 275– 281.
- [11] SUGII N, TAKAGI K. Change in surface morphologies with pulsed laser deposition-temperature for SrTiO<sub>3</sub> and Ba<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>TiO<sub>3</sub> thin films on Pt electrodes[J]. Thin Solid Films, 1998, 323: 63– 67.
- [12] CELINSKA J, JOSHI V, NARAYAN S, et al. Effects of scaling the film thickness on the ferroelectric properties of SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> ultra thin films[J]. Appl Phys Lett, 2003, 82: 3937– 3939.

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目(2007J13-005)

收稿日期: 2009-02-16; 修订日期: 2009-06-28

作者简介: 张雪峰(1965—), 男, 工学硕士, 副教授, 主要从事薄膜功能材料的研究工作, 联系地址: 四川省攀枝花市东区机场路10号攀枝花学院材料工程学院(617000), E-mail: wzyzxf@163.com

(上接第15页)

现为穿晶断裂, 在断面上存在大量的细小韧窝; 由于晶界上碳化物对裂纹的阻碍作用, 因此应力集中造成碳化物开裂。

### 3 结论

(1) 采用定向结晶铸造技术可显著提高髌关节股骨柄的室温拉伸性能。

(2) 定向结晶多孔髌关节股骨柄的晶粒状态呈柱状晶, 晶粒方向平行于关节的受力方向, 有利于改善髌关节生物力学性能。

#### 参考文献

- [1] 吕厚山. 现代人工关节外科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006.
- [2] PILLIAR RM. Porous-surfaced metallic implants for orthopedic applications[J]. J Biomed Mater Res, 1987, 21: 1– 33.
- [3] YY 0118– 2005, 髌关节假体[S].
- [4] 郑来苏, 刘忠元, 李玮, 等. 铸造合金及其熔炼[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994.
- [5] YY 0117.3– 2005, 外科植入物骨关节假体锻、铸件 钴铬钼合金铸件[S].

收稿日期: 2009-03-11; 修订日期: 2009-07-13

作者简介: 张伟(1976—), 男, 硕士, 主要从事人工关节产品的研究, 联系地址: 北京市81信箱77分箱(100095), E-mail: jhzw@vip.163.com