

UHMWPE-SiC 生物摩擦学的特性及机理*

王昌祥 郑昌琼 周 馨 尹光福

(四川联合大学无机材料系 成都 610065)

邓 杰

(四川省机械研究设计院 成都 610041)

孟永钢 温诗铸

(清华大学摩擦学国家重点实验室 北京 100084)

摘 要

为了探索超高分子量聚乙烯(UHMWPE)与碳化硅(SiC)陶瓷组合作为人工关节置换材料的可能性,利用 Falex 摩擦磨损实验机测定了 37°C 下 UHMWPE 与 SiC 陶瓷摩擦副在血浆润滑条件下的生物摩擦学性能.结果表明, UHMWPE-SiC 摩擦副的摩擦系数为 0.05; UHMWPE 的磨损系数 $<8.45 \times 10^{-10} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$. 表面轮廓仪对磨损前后 SiC 陶瓷表面进行测试,未发现明显变化,说明 SiC 陶瓷磨损甚微. 根据 XPS 分析结果,提出了生物摩擦磨损机理.

关键词 超高分子量聚乙烯(UHMWPE), SiC 陶瓷, 血浆, 生物摩擦学特性及机理

分类号 TQ 174

1 引言

自 1960 年英国医生 Charnley 采用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)作为骨水泥以来,关节置换,特别是全髋置换,已广泛应用于关节炎晚期治疗、外伤致残和骨瘤切除手术中,并已成为一种常规的外科手术.据不完全估计,全世界每年有几十万人进行了关节置换^[1,2],而需要进行关节置换的患者远超过此数.

由于置换关节长时间承受着载荷的冲击,置换关节和骨水泥、骨水泥与骨之间均存在着界面.在外力和机体环境作用下,它们之间必然产生摩擦磨损,即生物摩擦磨损.

研究表明,钛合金、UHMWPE、骨水泥等置换材料经生物摩擦磨损的产物—磨屑,直接引起置换关节晚期松动,是导致关节置换失败的重要原因之一^[3].磨屑对关节置换的影响,促使人们寻求生物摩擦磨损性能更优异的人工关节置换材料,或对材料表面进行表面改性,以达到提高材料耐磨性的目的^[4,5].

碳化硅陶瓷是近年来发展起来的一种新型非金属结构陶瓷,它具有耐磨损、耐腐蚀、耐高温、导热性能好、抗热震性好、密度小等优点,广泛应用于石油、化工、机械、冶金、汽车、航空等领域.为了探索 UHMWPE 与 SiC 陶瓷组合作为人工关节置换材料的可能性,本

* 1998-01-13 收到初稿, 1998-03-09 收到修改稿

清华大学摩擦学国家重点实验室开放基金资助项目

文利用 Falex 摩擦磨损实验机研究了它们的生物摩擦学性能.

2 材料与方法

实验用陶瓷材料为自制烧结 SiC, 偶件材料为 UHMWPE, 我校塑料工程系提供, 压模成型, 其主要性能分别列于表 1、2. 两种材料的形状和尺寸如图 1 所示, SiC 陶瓷的表面光洁度 $R_a=0.06$, UHMWPE 的表面为压模成型后的状态.

表 1 SiC 陶瓷的物理机械性能
Table 1 Physical and mechanical properties of SiC ceramics

Material	Density/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Hardness (HRA)	Bending strength/MPa
SiC	3.00~3.10	91~92	400~500

Note: SiC was sintered in normal pressure

表 2 UHMWPE 的物理机械性能
Table 2 Physical and mechanical properties of UHMWPE

Material	MW/ $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	Density/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Modulus/MPa	%EL
UHMWPE	3×10^6	0.93~0.94	400~450	350~450

摩擦磨损实验在美国产 Falex 摩擦磨损实验机上进行. 采用单销-盘对磨, 其中销为 UHMWPE, 盘为烧结 SiC 陶瓷. 所选用的实验条件为: 载荷 2LBS(相当于接触应力 4.92MPa), 速度为 21mm/s(相当于转动速度 90r/min), 温度为 37°C(为人体体温温度), 累计运转 100,000 转, 环境为新鲜抗凝人血浆. 实验前所有试样均需用丙酮清洗干净, 待干燥后使用. 实验结束后对试样进行 SEM、表面轮廓观察及 XPS 分析.

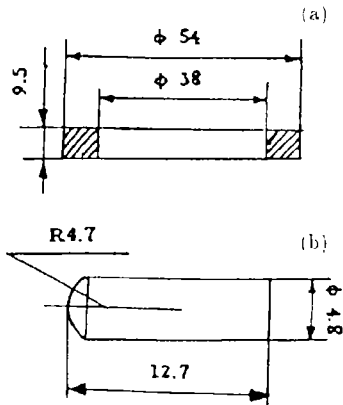


图 1 试样的材质和形状
Fig. 1 Materials and shape of friction pair
(a) SiC ceramic; (b) UHMWPE

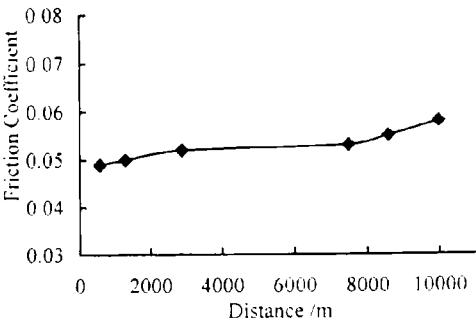


图 2 UHMWPE 与 SiC 陶瓷在新鲜血浆润滑时的生物摩擦学特性
Fig. 2 Friction coefficient of UHMWPE against SiC under fresh plasma lubrication

3 实验结果与讨论

3.1 摩擦学特性

图 2 为 UHMWPE 在血浆润滑条件下的摩擦学特性, 可以看出, UHMWPE-SiC 陶瓷摩擦副的摩擦系数始终稳定在 0.05 左右, 只是在实验最后略有上升, 实验结束时接近 0.06.

3.2 磨损特性

100,000 周 (相当于 14.5km) 摩擦磨损实验后, UHMWPE 的磨损较小, 其磨损系数 $< 8.45 \times 10^{-10} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$. 这是因为在摩擦磨损过程中, 一方面血浆粘附在摩擦副界面, 形成了润滑性能很好的润滑膜; 另一方面有 UHMWPE 转移到 SiC 表面, 减少了 UHMWPE 与 SiC 陶瓷间的直接接触, 使 UHMWPE 的磨损系数很小.

对 SiC 陶瓷磨损实验前后的表面轮廓仪分析发现, 陶瓷表面磨损前后几乎无变化, 这说明摩擦磨损实验过程中 SiC 陶瓷的磨损甚微, 用表面轮廓仪观察不到 SiC 陶瓷的磨损.

3.3 摩擦表面的 SEM 观察

图 3 为磨损前后 SiC 陶瓷样品表面的扫描电镜照片.

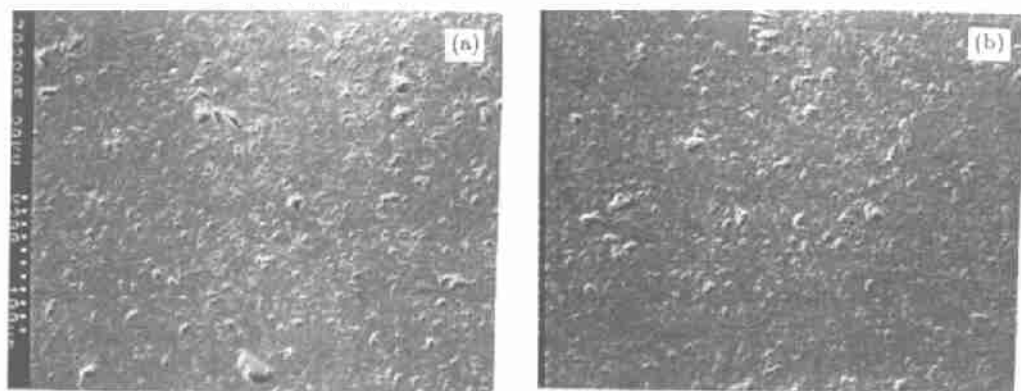


图 3 SiC 陶瓷的扫描电镜照片

Fig. 3 SEM images of SiC ceramics

(a) Before test; (b) After test

从扫描电镜照片可以看出, 与实验前相比, 实验后 SiC 陶瓷表面的孔洞数目明显减少, 深度明显变浅. 这是因为摩擦磨损实验后 SiC 陶瓷表面有血浆物质的吸附以及 UHMWPE 的转移, 遮盖了部分孔洞. 磨损前 SiC 表面的孔洞有两个来源: 一是烧结过程中形成的, 二是在加工过程中形成的. 在烧结过程中, 由于反应物 SiC、C、Si 等的尺寸较大, 反应不完全, 残余 Si 一般为 8%~12%, 影响了 SiC 陶瓷的致密度. 而加工过程中, 由于 SiC 刀具等的硬度与 SiC 陶瓷相差无几, 使 SiC 陶瓷粒或残余 Si 等脱落, 在 SiC 表面形成孔洞.

3.4 XPS 分析

图 4 为血浆润滑条件下 SiC 陶瓷表面的 XPS 分析图谱. 可以看出, Si2p 的 XPS 呈两条特征谱线, 其中结合能为 101.2eV 的特征谱线对应于 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 中的 Si-O 键, 结合能为 103.7eV

的特征谱线对应于 SiO_2 中的 Si-O 键。 C1s 的 XPS 图谱呈两条特征谱线, 其中结合能为 286.4eV 的特征谱线对应于 CH_2O 中的 C-O 键, 结合能为 289.0eV 的特征谱线对应于 $-\text{COOH}$ 中的 C-O 键。 N1s 的 XPS 图谱呈一条特征谱线, 其结合能为 401.6eV, 对应于 $-\text{NH}_2\text{COOH}$ 中的 N , 这是新鲜血浆中的物质, 说明有血浆物质粘附在 SiC 陶瓷表面。

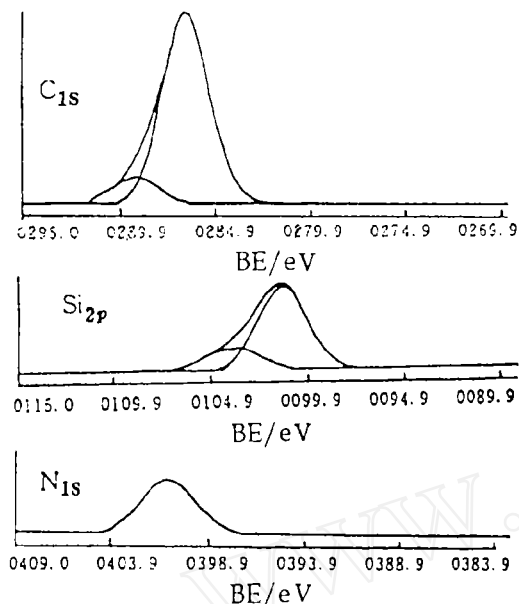
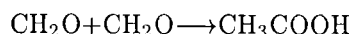
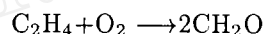


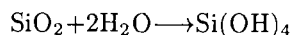
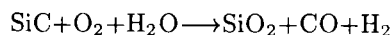
图 4 血浆润滑条件下 SiC 陶瓷表面的 XPS 分析
Fig. 4 XPS analysis of SiC ceramics under fresh plasma lubrication

4 生物摩擦磨损机理

从 SiC 磨损表面的 XPS 分析结果可以看出, UHMWPE 在摩擦磨损过程中会转移到 SiC 陶瓷表面, 其磨损机理主要为氧化磨损. 主要反应历程如下:



SiC 陶瓷的磨损主要为氧化磨损, 生成 Si-O 化合物, 如 SiO_2 和 $\text{Si}(\text{OH})_4$. 这主要是 SiC 陶瓷与血浆中的水分子通过摩擦化学反应生成比较容易剪切的反应膜. 其反应历程如下:



5 结论

1. 在本实验条件下, UHMWPE- SiC 陶瓷摩擦副的摩擦系数为 0.05 左右; UHMWPE 的磨损系数 $< 8.45 \times 10^{-10} \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

2. 实验中 SiC 陶瓷的磨损极微, 表面轮廓仪观测不到磨损.

3. 在血浆润滑条件下, UHMWPE- SiC 陶瓷摩擦副摩擦磨损过程为: 血浆物质粘附在 SiC 陶瓷表面, UHMWPE 转移到 SiC 陶瓷表面. UHMWPE 和 SiC 陶瓷的摩擦磨损机理均为氧化磨损, SiC 陶瓷与血浆中的水分子通过摩擦化学反应生成容易剪切的反应膜.

致谢 在 UHMWPE 的加工过程中得到了四川联合大学塑料工程系曾邦禄教授、崔香福教授、董祥忠副教授的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢.

参 考 文 献

- 1 Kohn D H, Paul D. *Material Science and Technology*, 1992, **14**: 29-40
- 2 R. 惠斯克斯著, 李永年, 张建海译. 人工关节置换——假骨结构中的应力和热传导分析. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 5-10
- 3 Kelly S S, Johnston R C. *Clin. Orthop.*, 1992, **285**: 140-146

- 4 Buchanan R A, Rigney E D, Willians J M. *J. Biomed. Mater. Res.*, 1987, **21**: 355-366
5 Buchanan R A, Rigney E D, Willians J M. *J. Biomed. Mater. Res.*, 1987, **21**: 367-377

Biological Friction Properties and Mechanism of UHMWPE-SiC Ceramics Friction Pair

WANG Chang-Xiang ZHENG Chang-Qiong ZHOU Xin YIN Guang-Fu
(Dept. of Inorganic Materials, Sichuan Union University Chengdu 610065 China)

DENG Jie

(Sichuan Mechanical R & D Institute Chengdu 610041 China)

MENG Yong-Gang WEN Shi-Zhu

(National Tribology Laboratory, Tsinghua University Beijing 100084 China)

Abstract

The biological friction and wear properties of UHMWPE rubbing against SiC ceramics lubricated with fresh plasma were evaluated by using Falex at 37°C, and the surfaces of the specimen were observed with SEM and surface profile meter. The results show that the friction coefficient of UHMWPE against SiC is about 0.05, and the wear factor of UHMWPE is lower than $8.45 \times 10^{-10} \text{mm}^3/\text{N.m}$. The wear loss of SiC ceramics is very small. Based on the results of XPS analysis, the mechanism was proposed.

Key words ultrahigh molecular weight polyethylene(UHMWPE), SiC ceramics, plasma, biotribological properties and mechanism