

**THE INFLUENCE OF DLC SURFACE COAT ON ABRASION OF UHMWPE****R. Sedláček, J. Rosenkrancová \***

**Summary:** *This article deals with determining of mechanical properties of materials used for manufacturing of surgical joint replacements. The wear resistance is one evaluating parameter. The volume of the wear track on the disc was calculated (as a measure) for assigned combination of materials – ring from titanium alloy with DLC coat and disc from UHMWPE. The test was carried out at the Mechanical Testing Laboratory according to international standard ISO 6474:1994(E).*

**1. Úvod**

Hodnocení a testování „odolnosti proti otěru“ je jedním ze základních přístupů k posouzení biomateriálů používaných v oblasti ortopedických kloubních náhrad. Tento parametr má velký význam právě při posuzování vhodnosti materiálů k výrobě implantátů, zejména tam, kde dochází po aplikaci implantátů k jejich vzájemnému pohybu a tudíž i opotřebení povrchu.

Výzkumný úkol spočívající v hodnocení odolnosti proti otěru byl v minulosti prováděn s několika různými kombinacemi materiálů (zirkoničitá keramika, korundová keramika, UHMWPE, PEEK). Nyní byla doplněna nová kombinace materiálů – prstenec z titanové slitiny Ti6Al4V opatřen povrchovou vrstvou DLC (Diamond-Like Carbon) spolu s diskem z UHMWPE (vyroben dle ISO 5834/1).

Výzkum je prováděn v úzké spolupráci se společností WALTER, a.s., jež se zabývá výrobou a vývojem kloubních implantátů a také dodala vzorky. DLC vrstva byla vytvořena pod vedením Prof. Ing. Františka Černého, DrSc. v laboratoři na Ústavu fyziky na Fakultě strojní ČVUT v Praze.

Vlastní experiment a jeho vyhodnocení bylo realizováno v Laboratoři mechanických zkoušek při Ústavu mechaniky na Fakultě strojní ČVUT v Praze. Tato laboratoř v souladu s obecným trendem zavádění systému jakosti prošla v roce 2002 procesem akreditace dle mezinárodní normy ČSN EN ISO/IEC 17025. Úspěšným zakončením závěrečného auditu ČIA, o.p.s. získala označení „Akreditovaná zkušební laboratoř č. 1379“. Přísné požadavky jak na systémový provoz, tak i na metrologické zajištění laboratoře jsou nadále průběžně dozorovány národním akreditačním orgánem, který provádí pravidelné několikadenní audity přímo v laboratoři.

---

\* Ing. Radek Sedláček, Ing. Jana Rosenkrancová: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky, Laboratoř biomechaniky člověka; Technická 4; 166 07 Praha 6; tel.: +420 224 352 653, fax.: +420 299 922 482; e-mail: sedlacek@biomed.fsid.cvut.cz

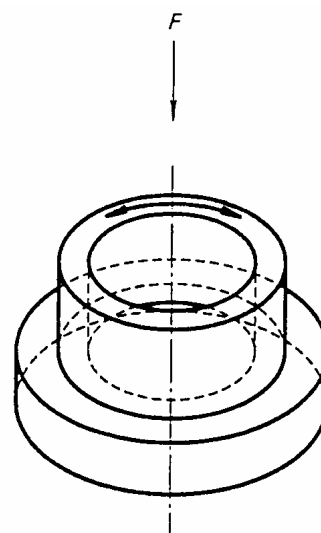
## 2. Metodika a materiál

Hodnocením biotolerantních a biostabilních materiálů se zabývá mezinárodní norma ISO 6474:1994(E) *Implants for surgery – Ceramic materials based on high purity alumina*. Materiály jsou posuzovány komplexně v několika oblastech. Jednou z nich je právě stanovení „odolnosti proti otěru“.

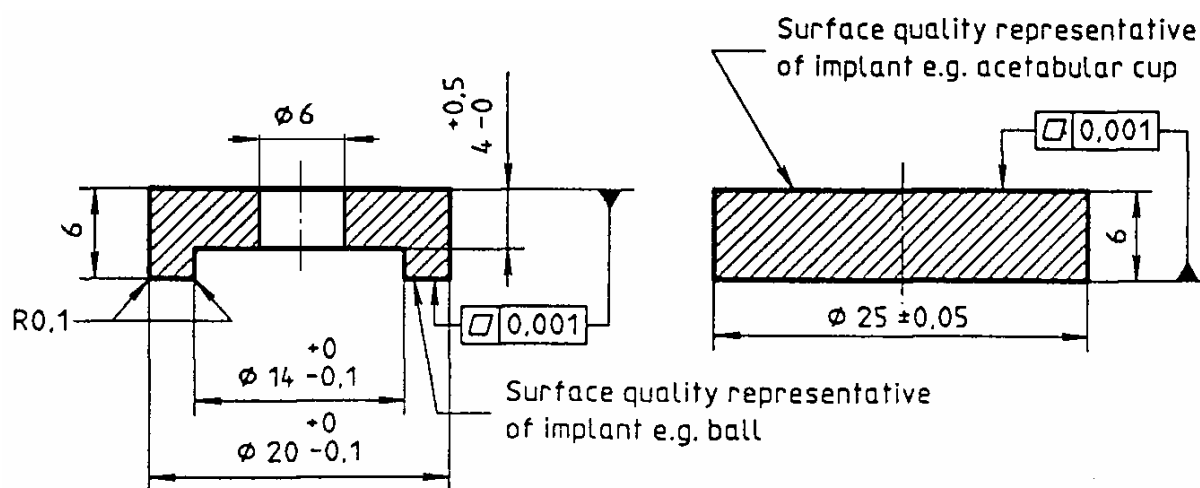
Tato normalizovaná metoda je považována za dostatečně objektivní a pro první přiblížení vlastností materiálu byla provedena pouze s jedním párem vzorků (norma standardně předepisuje použití 5 párů vzorků)

Princip zkoušky též nazývané „RING ON DISC“ spočívá v tom, že prstenek (kroužek) je osově zatížen na plochém disku (viz. obr. 1) osovou silou ( $1500 \pm 10$  N) a je podroben rotaci okolo pevné osy s úhlem rotace  $\pm 25^\circ$  a frekvencí ( $1 \pm 0,1$ ) Hz po dobu 100 hod. Změna úhlu na čase je sinusová nebo sinusovce se blížící. V průběhu zkoušky je požadován celoplošný dotyk prstence s diskem, což zajišťuje speciální úprava zkušebního přípravku. Požadované rozměry vzorků jsou patrné z obrázku 2, skutečné rozměry testovaných vzorků jsou uvedeny v tabulce 1.

Jako okolní medium se používá destilovaná voda a její teplota je zaznamenávána po celou dobu průběhu zkoušky. Dále jsou v průběhu zkoušky ukládána data sloužící k vyhodnocení zatěžování.



Obr. 1 Schematické znázornění testu Ring on Disc



Obr. 2 Geometrie kroužku a disku s definovanými základními rozměry

Pro testování byl prstenek vyroben z titanové slitiny Ti6Al4V opatřené povrchovou vrstvou DLC (Diamond-Like Carbon) spolu s diskem z UHMWPE (vyroben dle ISO 5834/1). Oba vzorky dodala společnost WALTER, a.s.

Tabulka 1: Geometrické rozměry sady vzorků

Číslo měření	Prstavec			Disk	
	Vnitřní průměr [mm]	Vnější průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Průměr [mm]	Tloušťka [mm]
1	13,94	19,982	6,052	25,005	6,028
2	13,95	19,988	6,038	25,019	6,101
3	13,93	19,980	6,044	25,019	6,045
<b>Požadavek normy</b>	$14^{+0,0}_{-0,1}$	$20^{+0,0}_{-0,1}$	6	$25 \pm 0,05$	6

Povrchovou vrstvou byl prstavec opatřen v laboratoři Ústavu fyziky. Vrstvy DLC (Diamond-Like Carbon) jsou amorfni vrstvy na bázi uhlíku s významným zastoupením vazeb  $sp^3$ . Pro vytváření DLC vrstev existuje několik metod. V tomto případě byla použita kombinovaná metoda IBM/PACVD. Princip této metody spočívá v kombinaci depozice uhlíkové vrstvy metodou PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition) a atomárního mísení deponované vrstvy svazkem vysokoenergetických iontů (IBM – Ion Beam Mixing)

Vlastní experiment byl proveden na špičkovém testovacím systému MTS 858 Mini Bionix, jenž zaručuje požadované přesnosti a je vybaven speciálně vyvinutým příslušenstvím, odpovídajícím požadavkům zkoušky.



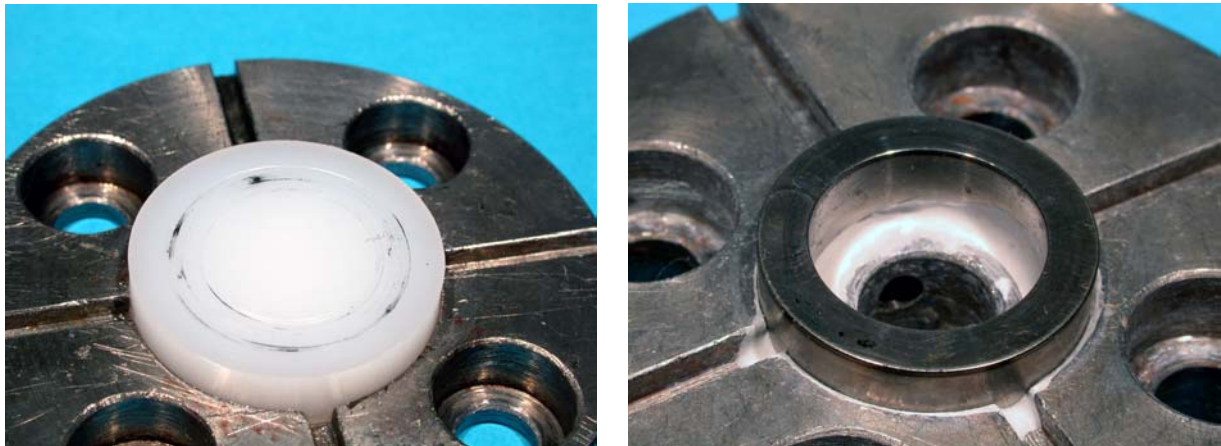
Obr. 3 Pár testovaných vzorků před zahájením experimentu

### 3. Vyhodnocení

Po dokončení mechanické části zkoušky byla ze zaznamenaných dat vyhodnocena velikost přítláčné síly (viz. tab. 2). Dále byly vzorky vyjmuty z přípravků testovacího systému (obr. 4) a disk byl podroben proměření profilu.

Tabulka 2: Vyhodnocení přítláčné síly

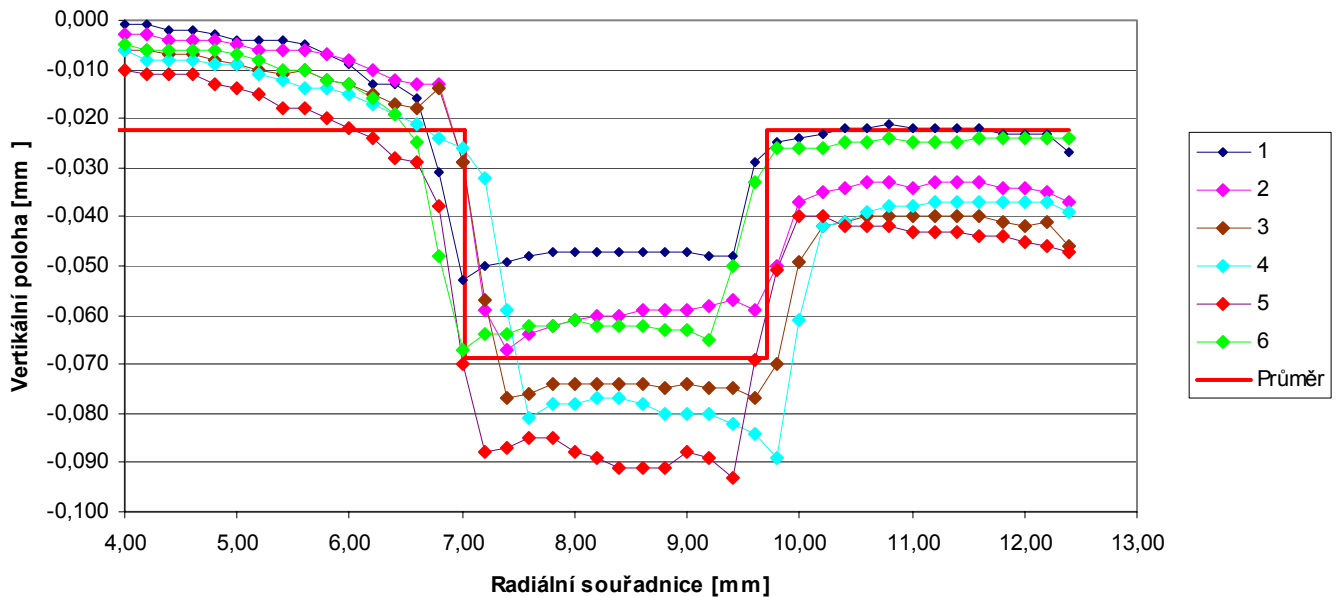
Parametr	Požadavek normy	Dosažená hodnota vč. odchylky
Axiální síla [N]	$1500 \pm 10$	$1499,95 \pm 0,05$



Obr. 4 Vzorky po dokončení testu „RING ON DISC“

Výsledkem zkoušky je vyhodnocení profilu testovaného disku UHMWPE (obr. 6). Ten byl proměřen v šesti symetrických paprscích na speciální sestavě měřidel umožňující stanovení vertikální polohy bodů povrchu disku. Grafický záznam z měření profilu disku je na obr. 5. Je z něj patrna horizontální poloha bodů umístěných na jednotlivých paprscích, které byly rovnoměrně rozloženy po povrchu disku. Červeně je vyznačena střední čára profilu.

Měření profilu disku - zkouška č. 018/2/2003 - vzorek č. 1



Obr. 5 Záznam bodů z měření profilu disku

Z naměřených dat byly vyhodnoceny vnitřní a vnější poloměr drážky, výška bodů mimo drážku a v drážce, výška drážky a plocha stopy drážky (viz tabulka 3).

Tabulka 3: Parametry hodnotící profil disku

Číslo měřicí dráhy	1	2	3	4	5	6
Vnitřní poloměr drážky [mm]	6,8	7,0	7,1	7,4	7,0	6,8
Vnější poloměr drážky [mm]	9,6	9,8	9,9	10,0	9,6	9,4
Výška bodů mimo drážku [mm]	-0,014	-0,020	-0,025	-0,025	-0,031	-0,018
Výška bodů v drážce [mm]	-0,048	-0,060	-0,073	-0,080	-0,089	-0,063
Výška drážky [mm]	0,034	0,041	0,048	0,056	0,058	0,045
Plocha stopy drážky [mm <sup>2</sup> ]	0,094	0,114	0,134	0,145	0,151	0,117

Tabulka 4: Parametry hodnotící drážku

Číslo vzorku	Průměrný vnitřní poloměr [mm]	Průměrný vnější poloměr [mm]	Průměrná plocha stopy drážky [mm <sup>2</sup> ]
1	7,0	9,7	0,126

Dále byly stanoveny veličiny potřebné pro vyhodnocení celkového opotřebeného objemu materiálu (viz. tabulka 4).

Jakožto měřítko „odolnosti proti otěru“ byl stanoven objem opotřebeného materiálu - vynásobením průměrné hodnoty velikosti plochy stopy drážky (ze 6 měření) průměrnou hodnotou délky prstence.

$$V = 6,61 \text{ mm}^3$$



Obr. 6 Detail zaměření profilu disku úchylkoměrem MAHR EXTRAMESS 2001

#### 4. Závěr

Cílem výzkumné práce je hodnocení jednotlivých druhů a kombinací materiálů a tedy získání uceleného přehledu parametrů, které umožní výběr správného materiálu pro danou aplikaci. V závislosti na získaných parametrech je možné následně také ovlivnit složení a vývoj nových materiálů určených pro výrobu ortopedických kloubních náhrad.

Dlouhodobá zkouška zaměřená na hodnocení odolnosti proti otěru byla úspěšně dokončena a soubor experimentálně získaných parametrů je nyní rozšířen o další kombinaci biomateriálů. V dalších etapách výzkumu by měly být tyto parametry stanoveny i pro ostatní vhodné biomateriály.

Z porovnání s dříve zjištěnými výsledky lze konstatovat, že použití titanové slitiny  $Ti_6Al_4V$  s DLC povrchem způsobilo větší opotřebení disku z UHMWPE než při testu s prstencem ze zirkoničité keramiky (Y-TZP). Nemalou měrou k tomuto výsledku pravděpodobně přispělo setření vrstvy DLC, přičemž částice otěru mohli působit jako brusivo.

#### 5. Poděkování

Tento výzkumný úkol byl prováděn za podpory výzkumného záměru „Transdisciplinární výzkum v oblasti biomedicínského inženýrství“ MSM 210000012.

#### 6. Literatura

Sedláček, R., Rosenkrancová, J. (2003) The Wear Resistance Testing of Biomaterials Used for Implants. In *Bioceramics - 16*, International Society for Ceramics in Medicine (ISCM), Porto, Portugal, 2003, p. 703 – 706

Sedláček, R., Rosenkrancová, J. (2003) Experimental Evaluation of Biomaterials – PolyEtherEtherKetone. In *20<sup>th</sup> DANUBIA-ADRIA SYMPOSIUM on Experimental Methods in Solid Mechanics*, Scientific Society of Mechanical Engineering, Győr, Hungary, p. 164 – 165