



NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ACETABULAR CERAMIC CUP
 WITH POLYETHYLENE LAYER

NUMERICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA KERAMICKÉ KYČELNÍ JAMKY
 S POLYETYLENOVÝM JÁDREM

Jírová J., Junková S., Rubricius D.

The paper describes the research of a ceramic acetabulum with polyethylene layer of THR. The research consisted of two phases: numerical and experimental analysis. The numerical model was designed as rotationally symmetrical model using FEM. The experimental results have revealed that the direct load transmission takes place on a very small contact surface which must be taken into account in the construction of the mathematical model.

Keywords: biomechanics, ceramic cup, FEM, static examinations

1. Úvod

Článek se týká výzkumu keramické jamky (Al_2O_3) s polyetylenovým jádrem totální endoprotézy kyčelního kloubu. Keramika se jeví jako vhodný materiál pro použití jednotlivých částí náhrad lidských kloubů. Výhody spočívají ve výborné biokompatibilitě, vysoké odolnosti vůči opotřebení a v nízkém koeficientu tření. Problémem keramiky jsou však mechanické vlastnosti. Na rozdíl od oceli je křehká a má velký rozptyl meze pevnosti. Okamžitá její pevnost je řízena chováním "nejslabšího místa" - nejčastěji nejnebezpečnější trhlinou. Materiálové vlastnosti jsou uvedeny v tab. I.

Výzkum byl rozdělen do dvou etap: numerické a experimentální analýzy.

2. Metoda výzkumu

Cílem numerické analýzy bylo zjistit stav napjatosti keramické jamky a polyetylenového jádra při kvazistatickém zatěžování, především velikost tahových napětí, která jsou rozhodující pro posouzení životnosti keramické komponenty. Napjatost jamky byla zjišťována numericky pomocí MKP programem CONT, který byl rozšířen o kontaktní prvek. Úloha byla řešena jako rotačně symetrická. Matematický model se skládal z 578 uzlových bodů a 173 prvků. Základem je osmiuzlový izoparametrický prvek a šestiuzlový kontaktní prvek. Koeficient smykového tření keramika-polyetylen na kontaktu mezi hlavicí a jamkou byl určen hodnotou 0.05. Geometrické okrajové podmínky, způsob zatěžování a rozdělení sítě jsou zřejmé z obr. 1.

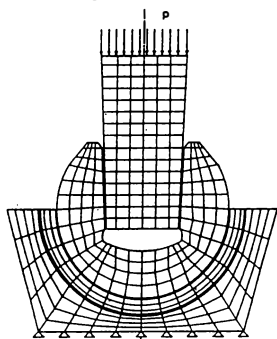
	keramika	ÚVMPE
modul pružnosti E (MPa)	390 000	550
mez pevnosti v tlaku (MPa)	4 000	16
mez pevnosti v tahu (MPa)	430	43
Poissonovo číslo ν	0.23	0.3

Tab. 1 : Materiálové vlastnosti

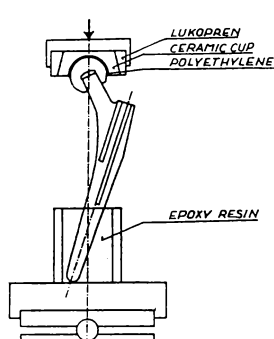
Cílem experimentálního výzkumu bylo zjistit statickou pevnost systému dřík endoprotézy-keramická hlavice-keramická jamka s polyetylenovou vložkou. Titanový dřík byl zalit do otvoru zatěžovacího přípravku pod úhlem 18° , který svírala osa dříku se svislou osou válce (obr.2) na výšku 70 mm. Na krček byla nasazena keramická hlavice, do které byla přenášena síla zatěžovacího stroje přes keramickou jamku s polyetylenovým jádrem. Keramická jamka byla zalita do otvoru horního zatěžovacího přípravku, který byl pevně uchycen do čelistí zatěžovacího stroje. Statické zkoušky proběhly na zkušebním stroji Instron při rychlosti zatěžování $1\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Abychom zjistili skutečný přenos silového toku v kontaktních plochách, byly statické zkoušky doplněny fotoelasticimetrickou experimentální metodou analýzy napětí keramické hlavice, metodou zmrazování. Byl zhotoven zjednodušený prostorový model

zatěžovaného systému. Keramická jamka s polyetylenovým jádrem byla nahrazena pouze polyetylenovou jamkou. Jednotlivé komponenty byly zhotoveny z epoxidové pryskyřice s modulovou podobností modulů pružnosti ke skutečné konstrukci. Průběh izochromat (obr.3) byl sledován na destičce 4 mm silné, vyříznuté z modelu tak, že pozorovaná rovina byla totožná s rovinou symetrie.



Obr. 1



Obr. 2

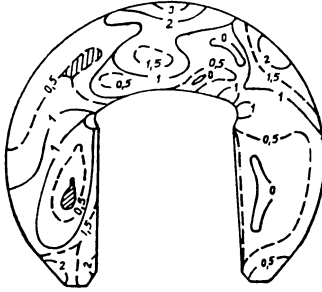
3. Vyhodnocení

Matematická analýza při uvažování kontaktu po celé délce styku hlavice s jamkou vykazovala velmi malé hodnoty hlavních napětí. K největším koncentracím tlakových napětí dochází při velikosti zatěžovací síly 5000 N v rozích jamky -12 MPa, na ose jamky je napětí zhruba poloviční. K přenosu zatížení dochází pod úhlem 40° - 45° . Maximální tahová napětí jsou opět velmi malá + 4 MPa a vyskytují se na konkávní straně ve střední části keramické jamky na styku s polyetylenem.

Úkolem experimentálního výzkumu bylo provést kvazistatické zatěžování až do destrukce některé komponenty. Byly provedeny tři experimenty a ve všech případech došlo primárně k porušení keramické jamky. Ve všech případech první trhliny se vytvořily a rozšířily ze středu dna jamky.

Z experimentálních výsledků je zřejmé, že přenos zatížení se v průběhu zatěžovacího procesu koncentruje na výrazně menší kontaktní plochu než je celková plocha jamky. Rozměr skutečné zatěžované plošky jsme zjistili z destrukovaného dna keramické jamky a z porušeného polyetylenu. Průměr oblasti zatěžované

plošky byl asi 8mm. Tuto analýzu nám potvrdily také výsledky fotoelasticimetrického výzkumu. Podle průběhu a řádu isochromat (obr.3) je patrná koncentrace napětí na malé oblasti. Tím se vysvětlily rozdíly mezi velmi malými hodnotami napětí zjištěnými při numerické analýze, kdy jsme uvažovali kontakt po celé ploše a hodnotami zjištěnými experimentálně. Vytvořený matematický model odpovídal ideálnímu stavu interakce mezi hlavicí a jamkou tj. na samém počátku zatěžování.



Obr 3.

V další fázi byl matematický model upraven zmenšením kontaktní plochy podle výsledků experimentu. Numerická analýza ukázala výrazné koncentrace tahových napětí v ose jamky.

4. Závěr

Z výsledků výzkumu vyplynulo, že přímý přenos síly je realizován v průběhu zatěžovacího procesu v malé kontaktní ploše, což musí být bráno v úvahu při odvození matematického modelu. Dosažené výsledky potvrzují, že biomechanické problémy je nutno řešit komplexně pomocí numerické analýzy a experimentálního vyšetřování. Jedině tak si můžeme být jisti, že odvozená teorie je správná.

Jitka JÍROVÁ, Ing., CSc.

tel: 29 71 03

Simona JUNKOVÁ, Ing.

tel: 29 64 51 / 278

Daniel RUBRICIUS, Ing.

tel: 29 64 51 / 278

Ústav teoretické a aplikované mechaniky ČSAV

Vyšehradská 49, 128 49 Praha 2

fax: 29 59 03