

Nové zuby zo Slovenska

Tím vedcov z Ústavu materiálov a mechaniky strojov SAV a Univerzity v Záhrebe vyvinul nový kompozitný materiál pre kostné implantáty na báze titánu. Použitím nového materiálu pripraveného špeciálnymi metódami práškovej metalurgie sa podarilo zredukovať hlavné nedostatky doteraz používaných implantátov.

Titán je biokompatibilný, netoxický, inertný kov, ktorý je chemicky odolný proti korózii, má vysokú špecifickú pevnosť, je dostatočne tvárny a má nízku hustotu. Vzhľadom na tieto významné vlastnosti sú titán a jeho zliatiny široko používané v biomedicíne predovšetkým na výrobu biomedicínskych implantátov. Titánové implantáty, ktoré sa vyrábajú predovšetkým z komerčne čistého titánu (tzv. trieda 4) a z TiAl6V4 zliatiny (tzv. trieda 5), sú určené na trvalú prítomnosť a funkciu v ľudskom tele.

ZNÍŽIŤ TUHOSŤ

Nevýhodou titánu a jeho zliatin je ich vysoký Youngov modul pružnosti (materiálová

tuhostná konštanta charakteristická pre daný materiál; čím je jeho hodnota vyššia, tým vyššie napätie je potrebné na dosiahnutie rovnakej deformácie), ktorý je zvyčajne nad 100 GPa, čo je hodnota niekoľkokrát vyššia ako v prípade ľudských kostí. Vzhľadom na rozdiel medzi Youngovým modulom implantátu a Youngovým modulom ľudských kostí dochádza k javu označovanému ako *stress-shielding*. V dôsledku tohto javu prenáša implantát výrazne väčšie zaťaženie v porovnaní s kosťou, kosť nie je dostatočne zaťažovaná, čo môže viesť k atrofii alebo kostnej osteoporóze v okolí osadeného implantátu a následne až k lokálnemu uvoľneniu implantátu.

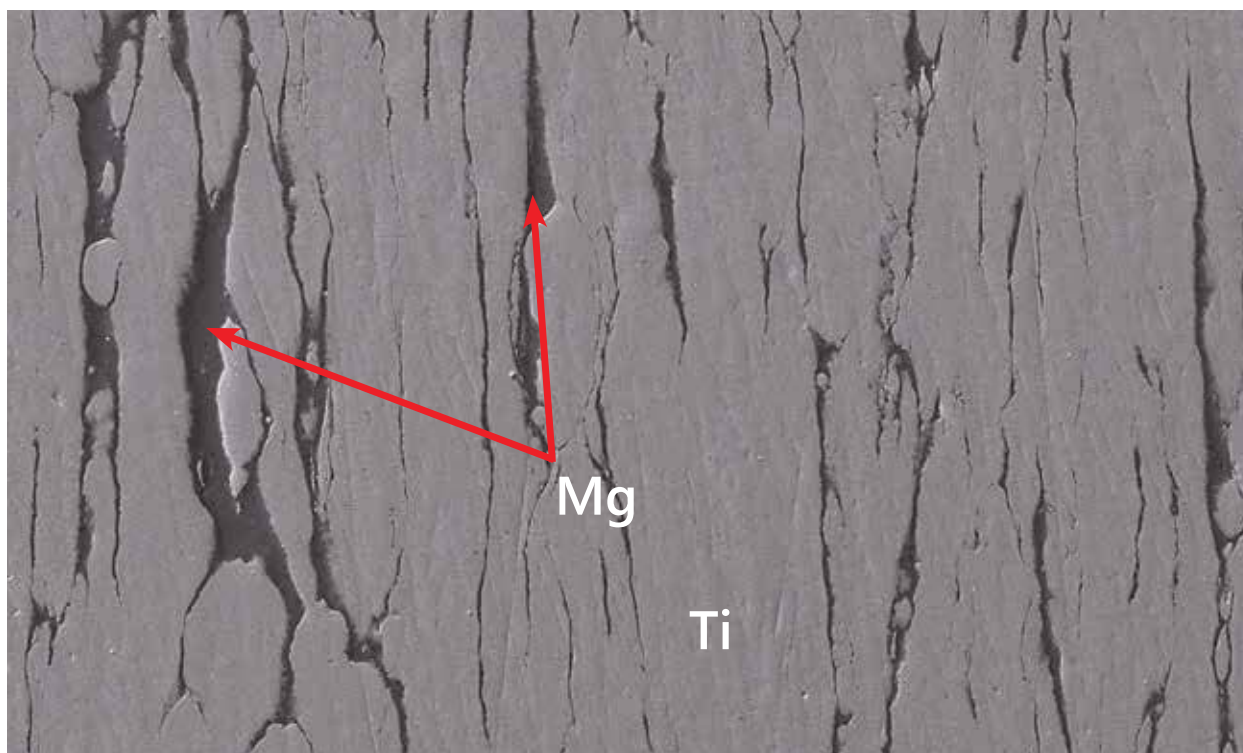


Jednotlivé časti zubného implantátu, podkladový obrázok zdroj: www.hayesdentalsurgery.co.uk

Youngov modul titánu sa dá znížiť vhodným legovaním prísadami (napríklad zirkónom, tantalom, nióbovom a molybdénom). Ich prítomnosť je však nevhodná z biomedicínskeho hľadiska, respektíve príprava takýchto špeciálnych zliatin je drahá, komplikovaná a problematická. Znížiť Youngov modul titánu je však možné aj pomocou prípravy pórovitých titánových implantátov. Okrem potlačenia *stress-shielding* efektu umožňujú porézne titánové implantáty prerastenie kostného tkaniva do implantátu, a tým vytvorenie kvalitnej mechanickej väzby na rozhraní implantát – kosť. Zvyšková pórovitosť však vedie k zásadnému poklesu aj ostatných mechanických vlastností (najmä pevnosti a ťažnosti), čo limituje použitie poréznych titánových implantátov v aplikáciách, pri ktorých dochádza k prenosu len malého zaťaženia (napríklad tzv. *scaffold* nosiče).

AKTÍVNY POVRCH

Druhým hlavným obmedzením implantátov vyrobených z titánu a jeho zliatin je skutoč-



Mikroštruktúra kompozitného materiálu, zloženie Ti + 17 objemových % horčíka

nosť, že pre nedostatočnú povrchovú aktivitu je nutné ich povrch dodatočne upravovať. Touto úpravou sa zabezpečí dobrá integrácia s kosťou a inými biologickými tkanivami za účelom dosiahnutia pevného a trvalého spojenia na rozhraní implantát – kosť. Typicky sa obrábané implantáty napríklad mechanicky otryskávajú pieskom tak, aby sa zvýšila povrchová mikrodrsnosť implantátu, prípadne sa aplikujú na implantát reaktívne vrstvy, ktoré zvyšujú povrchovú interakciu implantátu s okolitým biologickým tkanivom.

DVA KOVY V KOMPOSITE

Výskumný tím vedcov z Ústavu materiálov a mechaniky strojov SAV Martin Balog a Peter Krížik v spolupráci s Amirom Čatičom a Zdravkom Schauperlom z Univerzity v Záhrebe vyvinul jedinečný kompozitný materiál BIACOM® (*BloActive Composite Metal*), ktorý

Implantáty vyrobené z materiálu BIACOM® sú vhodné na aplikácie vystavené vysokému a cyklickému mechanickému namáhaniu, napríklad pre zubné implantáty.

výrazne redukuje už uvedené nedostatky titánových implantátov z materiálov triedy 4 a 5. BIACOM® sa vyrába použitím ekonomicky efektívneho a produktívneho prístupu práškovej metalurgie, ktorý sa realizuje pri relatívne nízkych teplotách (do ~450 °C).

Novovyvinutý kompozitný materiál sa vyznačuje spojením dvoch vzájomne nerozpuštných kovov rôznych vlastností do súro-

dého kompozitu. Do nosnej trvalej matričnej titánovej štruktúry sa pridáva biologicky odbúrateľná zložka – horčík. Tá je v štruktúre zabudovaná vo forme homogénne rozmiestnených, účelovo usmerených a navzájom spojených vlákien. Implantáty vyrobené z materiálu BIACOM® sú vhodné na aplikácie, pri ktorých je implantát vystavený vysokému a cyklickému mechanickému zaťaženiu, čo platí napríklad pre zubné implantáty.

PEVNÉ SPOJENIE S KOSŤOU

Špecifická mikroštruktúra titánovej matrice poskytuje kompozitnému implantátu mechanickú pevnosť, únavovú životnosť a chemickú odolnosť, zatiaľ čo horčíková zložka znižuje Youngov modul kompozitu. Napríklad titánový kompozit s obsahom 17 objemových % horčíka vykazuje mechanickú a únavovú pevnosť porovnateľnú s titánom triedy 4, referenčným materiálom na výrobu intenzívne namáhaných zubných implantátov.

Postupným odbúraním horčíkovej zložky najprv z povrchu a neskôr z jadra implantátu v koróznom prostredí, t. j. po implantácii, sa v implantáte vytvárajú póry, ktoré vedú k ďalšiemu poklesu Youngovho modulu. Vytvárajú tak priestor na pevnú fixáciu implantátu v kosti. Horčíková zložka urýchľuje osseointegráciu (priame štrukturálne a funkčné spojenie medzi živou kosťou a povrchom nosného umelého implantátu) do vytváraných pórov. Redukcia Youngovho modulu odbúraním horčíkovej zložky prispieva k dodatočnému zníženiu *stress-shielding* efektu. Vytvorené póry zvyšujú



Trojica BIACOM® implantátov zasadených do stehennej kosti ovce

kontaktnú plochu medzi implantátom a susednými tkanivami, čím sa zlepšuje mechanická kompatibilita a prenos zaťaženia medzi implantátom a kosťou. Rýchlosť odbúravania horčíkovej zložky je riadená tak, aby nedochádzalo k nežiaducim efektom spojeným s rýchlou koróziou horčík, ako sú napríklad extenzívna tvorba a hromadenie plynného vodíka, zvyšovanie pH, spomalenie hojenia alebo odumieranie tkaniva v okolí implantátu.

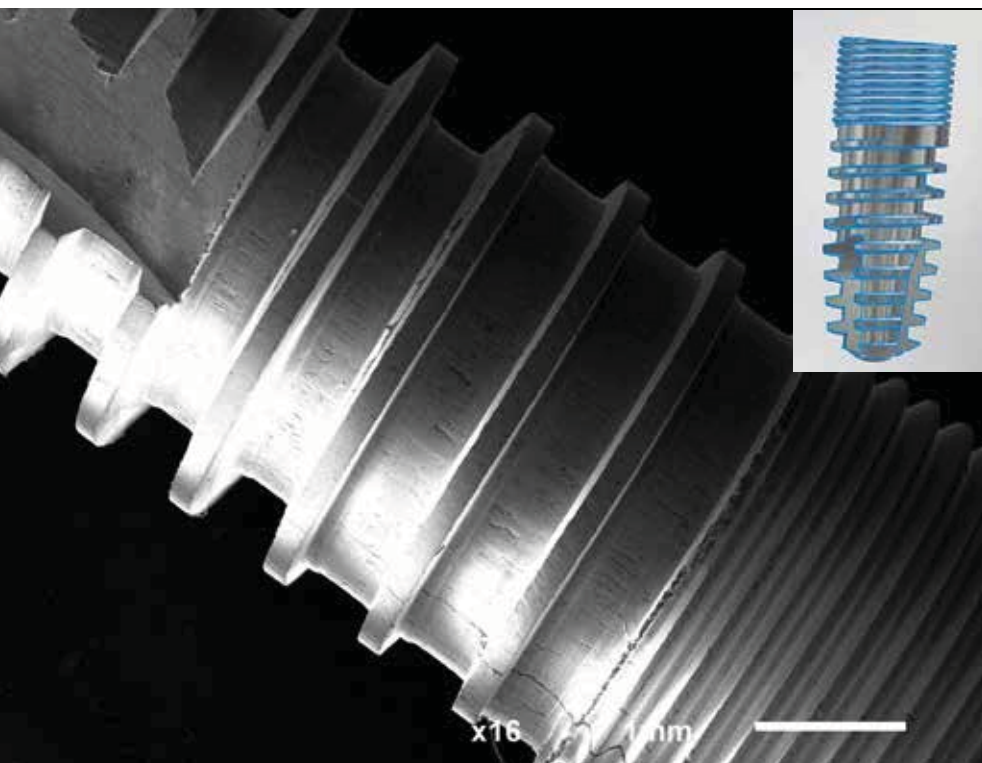
SLOVENSKÉ IMPLANTÁTY

Vhodné usporiadanie biologicky odbúrateľnej zložky v celom objeme hutného kompozitného materiálu umožňuje vyrábať implantáty takmer akéhokoľvek tvaru. Bez ohľadu na tvar implantátu vyrobeného z kompozitného materiálu má časť vlákien zakončenie na jeho povrchu a prostredníctvom týchto kontaktných oblastí sa začína odbúranie biologicky rozložiteľnej zložky, ktorou je v implantáte horčík. V spolupráci so slovenskou firmou Martikan, s. r. o., bol navrhnutý dizajn zubného implantátu a CNC trieskovým opracovaním sa vyrobili testovacie BIACOM® implantáty. Samotný hutný kompozitný materiál dodal Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, ktorý disponuje technológiami vhodnými aj pre priemyselnú výrobu hutného materiálu do budúcnosti. Implantáty sa podrobili mnohým skúškam podľa náležitých štandardov s výbornými výsledkami, pričom sa komplexne posúdili mechanické vlastnosti, korózne správanie a biokompatibilita v podmienkach *in vitro*. Odozva kostného tkaniva na BIACOM® sa predbežne vyhodnotila pomocou implantačných testov *in vivo* s použitím veľkých zvieracích modelov.

Ing. Martin Balog, PhD.
Ústav materiálov a mechaniky strojov
SAV v Bratislave
Obrázky autor

Za účelom zabezpečenia priemyselno-právnej ochrany BIACOM® implantátov bola podaná slovenská, chorvátska, medzinárodná PCT, európska a izraelská patentová prihláška. Taktiež sa intenzívne realizujú aktivity za účelom komerčného uplatnenia tohto jedinečného riešenia.

Viac informácií na www.ktt.sav.sk.



3D model a makroskopická snímka BIACOM® zubného implantátu (vyznačená mierka snímky je 1 mm)