

Časopriestor Spacetime

9 5/2020
ISSN 2730-0110

Interaktívne vedecko-popularizačné médium významných autorov a vedeckých pracovníkov
Interactive popular science medium of important authors and scientists

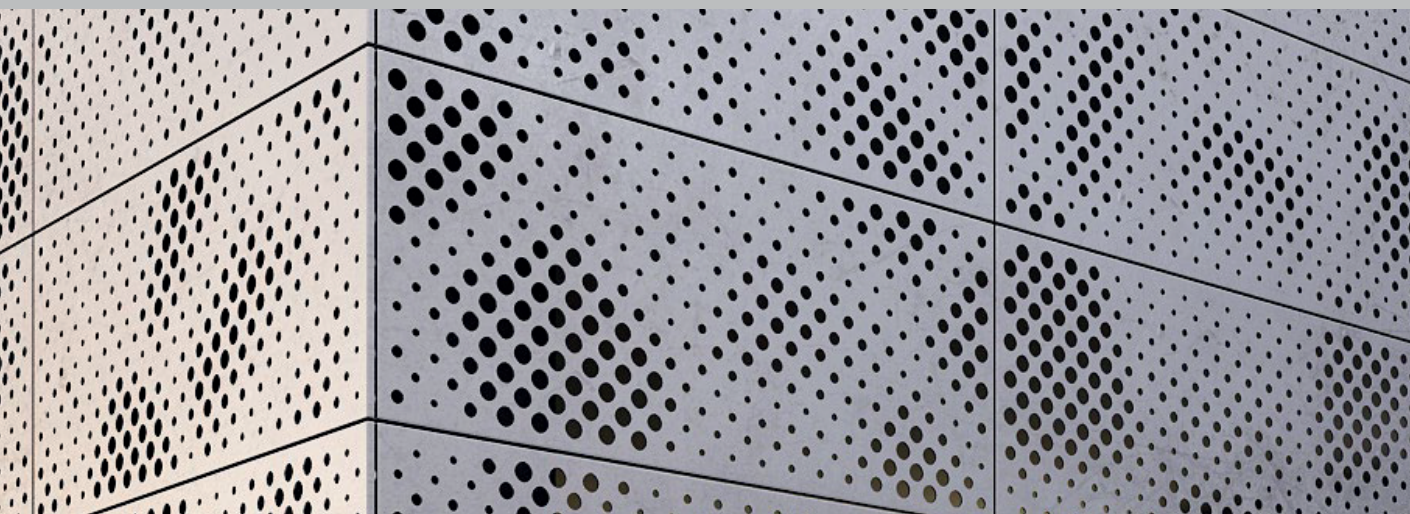
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

EBM

**průlomová technologie výroby
exponovaných součástí**

Obsah

3	Prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
4	EBM
5	Princip technologie
8	Zdravotnictví - Ortopedické implantáty
10	Kovový prášek
12	Nemá to chybu!
15	Produkty a výchozí materiály
17	Závěr



Časopriestor // Spacetime

Interaktívne vedecko-popularizačné médium významných autorov a vedeckých pracovníkov.

Šéfredaktor: Dr.h.c. mult. prof. PhDr. Ing. Štefan Kassay, DrSc.

Recenzent a editor: Dr.h.c. mult. prof. Ing. Štefan Luby, DrSc.

Grafická úprava: Dušan Ščepka.

Za odborný obsah materiálov zodpovedá autor.

Vydavateľ: INTERCEDU, a.s., Moyzesova 4/A, 902 01 Pezinok, Slovenská republika

ISSN 2730-0110

Prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

Miroslav Píška se narodil 8. července 1961 a žije v obci Brno. V roce 1984, získal titul Ing. na Fakultě strojní, specializace Strojírenská technologie, téma práce: Fyzikálně-mechanické aspekty tvorby třísek u vybraných slitin. V roce 1989 získal titul CSc., Fakulta strojní, specializace Strojírenská technologie. V roce 1996 ukončil interní doktorské studium na FS VUT v Brně a v letech 1997–2008 docent oboru Strojírenská technologie na FSI VUT v Brně. V roce 2001 doc. na FSI VUT v Brně, habilitační řízení, obor Strojírenská technologie, téma práce – Technologie implantace Kirscherových drátů zevní skeletální fixaci. 2009, prof., profesorské řízení, obor Strojírenská technologie, VUT v Brně, téma práce: Machining Today - from Theory to Applications.

Věnuje se publicistickým činnostem v oblastech CNC obrábění, technologie výroby, technologie obrábění jako i vědeckovýzkumným činnostem:

- Analýzy řezivosti nástrojů, nových PVD/CVD povlaků.
- Tribologie rozhraní tříska-nástroj.
- Design nástrojů pro obrábění.
- Mechanismus tvorby třísky.
- CNC obrábění.
- Optimalizace obrábění.

Univerzitní aktivity

- 1992–2006, člen AS FSI VUT v Brně
- 2000–2003 - člen RVŠ
- 2003–2004, ředitel ÚST, vedoucí Odboru technologie obrábění
- 2004–2005 zástupce ředitele ÚST, vedoucí Odboru technologie obrábění

- 2006–dosud - ředitel ÚST, vedoucí Odboru technologie obrábění
- 2006–dosud člen VR FSI VUT v Brně
- 2006–dosud člen OR STU MTF Trnava
- 2010–2014 člen Vědecké rady ČVUT v Praze, Fakulty strojní
- 2013–dosud člen OR ČVUT v Praze, Fakulty strojní
- 2013–dosud člen VR BIC Brno
- Člen/předseda SZZ pro BS, MS a PhD na ČVUT v Praze, STU-SF Bratislavě, STU-MtF Trnavě, VŠB-TU SF Ostravě, ENSAM ParisTech, DTU Lyngby, KTH Stockholm.





Tvarově složité součásti přímo z výchozích materiálů. Vysoká produktivita. Kvalitní struktura. Výborné mechanické vlastnosti. Redukovaná zbytková napjatost. Žádné opotřebené nástroje, upínací prvky. Různé materiály. Přímá tvorba montážních sestav. Sjednocení více součástí do jedné. Úspora energie, času, nákladů. Bez odpadu. Energeticky efektivní a ekologické. To je EBM!

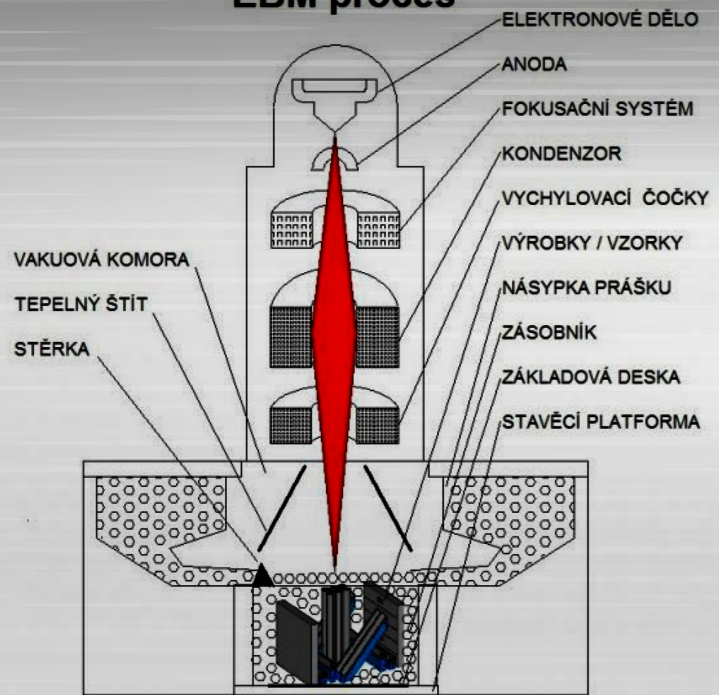
Technologie EBM byla vyvinuta švédskou společností Arcam (založenou v roce 1997), která dnes patří nadnárodní společnosti General Electric. Na českém trhu je zastupována společností Misan v Lysé nad Labem a poskytuje efektivní řešení výroby kovových součástí aditivní technologií. Tato unikátní technologie nabízí velkou tvůrčí svobodu v designu součás-

tí v kombinaci s vynikajícími materiálovými vlastnostmi, vysokou produktivitou a nachází uplatnění v řadě odvětví průmyslové praxe od leteckého, automobilového či chemického průmyslu až po chirurgii a energetiku. Technologií EBM je možné vyrábět součásti složitých tvarů a geometrií, jejichž výroba je tradičními metodami obtížná a nákladná, často i nemožná.

Arcam Q10plus



EBM proces



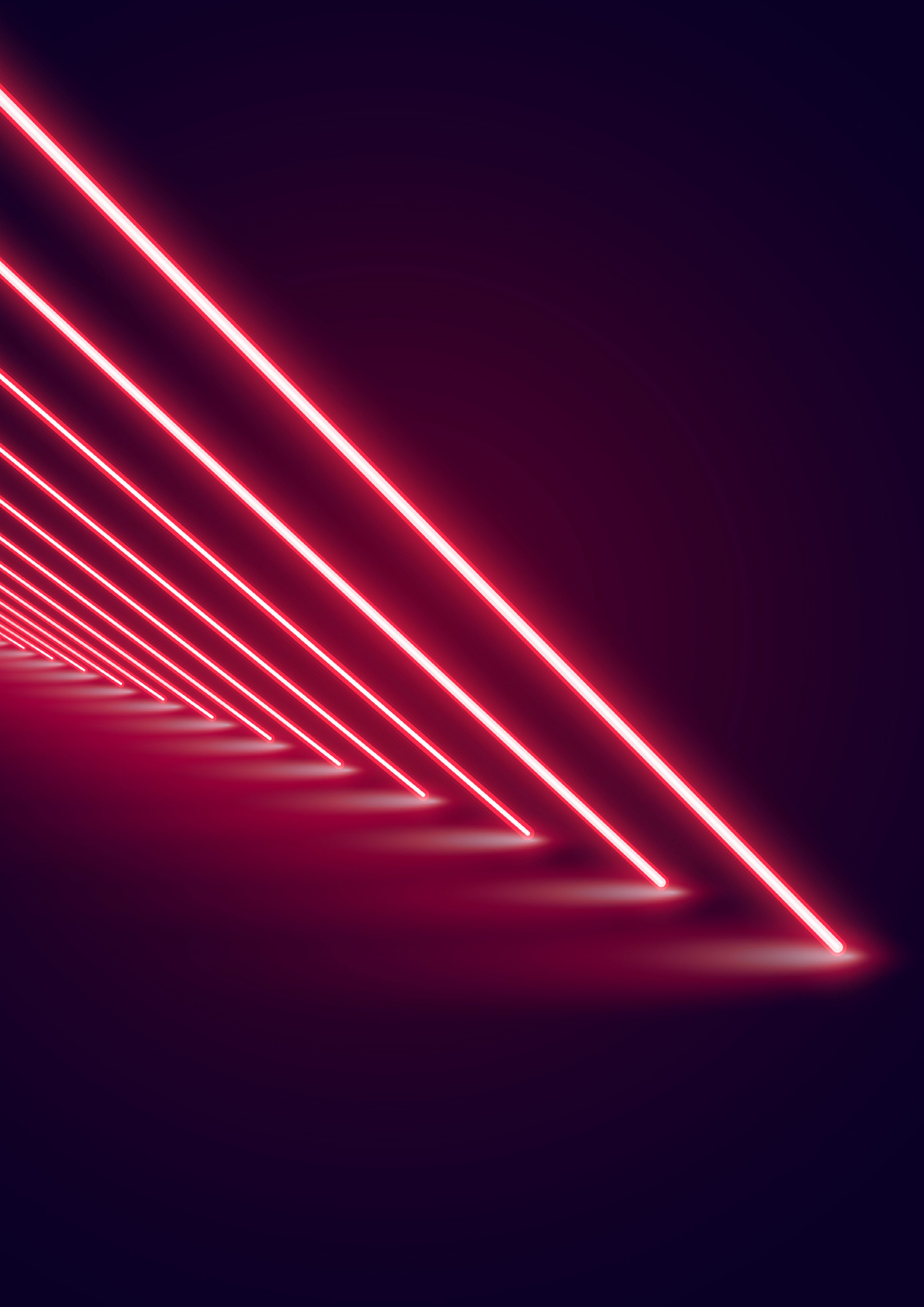
Zařízení pro EBM technologii, jeho princip. (Zdroj: archiv prof. Píšky)

Princip technologie

Jde o tavení a tuhnutí kového prášku vrstva po vrstvě, čímž vzniká 3D těleso. Materiál se přidává – neubírá se, jako je tomu u konvenčních technologií, např. při obrábění. Částice každé vrstvy jsou spojeny tavením i přetavováním v mikroobjemu do přesné geometrie definované CAD modelem. Výrobní proces tedy probíhá bez nástrojů, upínacích přípravků a produkce odpadu. Částice materiálu jsou obvykle kulovité, větší než částice pro laserové technologie.



Kyčelní implantát (náhrada spongiózní i kortikální kosti). (Zdroj: archiv prof. Píšky)



Zdrojem tepla je elektronový paprsek dosahující výkonu až 6 kW a posuvové rychlosti $8000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, což je několiknásobně více v porovnání s 3D tiskem pomocí laserového paprsku. Teplo se generuje ze ztráty kinetické energie elektronů při jejich dopadu na povrch materiálu. Dráhově je elektronový paprsek řízen elektromagnetickými čočkami, které poskytují extrémně rychlé a přesné řízení paprsku. Vysoká posuvová/skenovací rychlost umožňuje udržovat několik natavených míst současně, čímž se redukuje teplotní gradienty mezi jednotlivými místy součásti i následná reziduální pnutí. Celý proces probíhá ve vakuové komoře i při vysokých teplotách tavení kovových materiálů. Výsledkem jsou tvarové komponenty, téměř zbavené vnitřního pnutí, s materiálovými vlastnostmi stejnými či lepšími než mají lité a tvářené součásti. Řízená vakuová technologie poskytuje tlak 1×10^{-5} mbar a zároveň je udržován částečný tlak plynu helia 2×10^{-6} bar. Toto tzv. kontrolované stavební prostředí je důležité

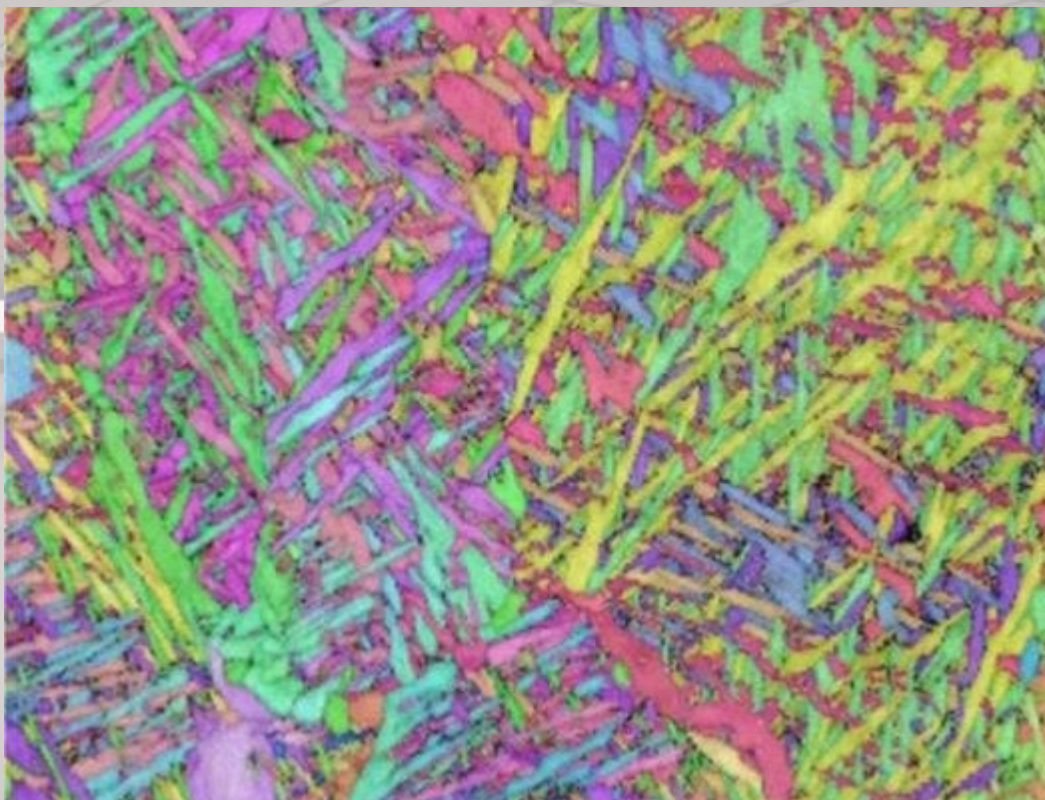
pro zachování chemické čistoty výsledného materiálu, nevznikají zde oxidy ani jiné vedlejší produkty chemických reakcí. Předpokladem úspěchu je optimalizovaný teplotní režim, který musí zaručit protavení částic materiálu i spojení větších vyráběných celků ve vakuu. Za tímto účelem Arcam poskytuje řadu efektivních algoritmů, které zaručí předehřev práškového lože, pracovní proces s homogenním protavením dílčích celků optimalizovanou strategií, spojení bloků materiálu, případně i jejich žíhání pro odstranění zbytkové napjatosti. Řada součástí se může dále vystavit tzv. HIP procesu (Hot Isostatic Pressing), který redukuje případnou pórovitost na minimum (samostatná technologie).

V leteckém a kosmickém průmyslu pomáhá EBM technologie dále snižovat hmotnosti součástí řadou odlehčení, vnitřních vzpěr, ale zachovat nosnost dílců, odolnost proti únavovému zatěžování, vytvořit konformní chlazení, zkracovat dodací lhůty prototypů a výrazně zkrátit inovační proces.

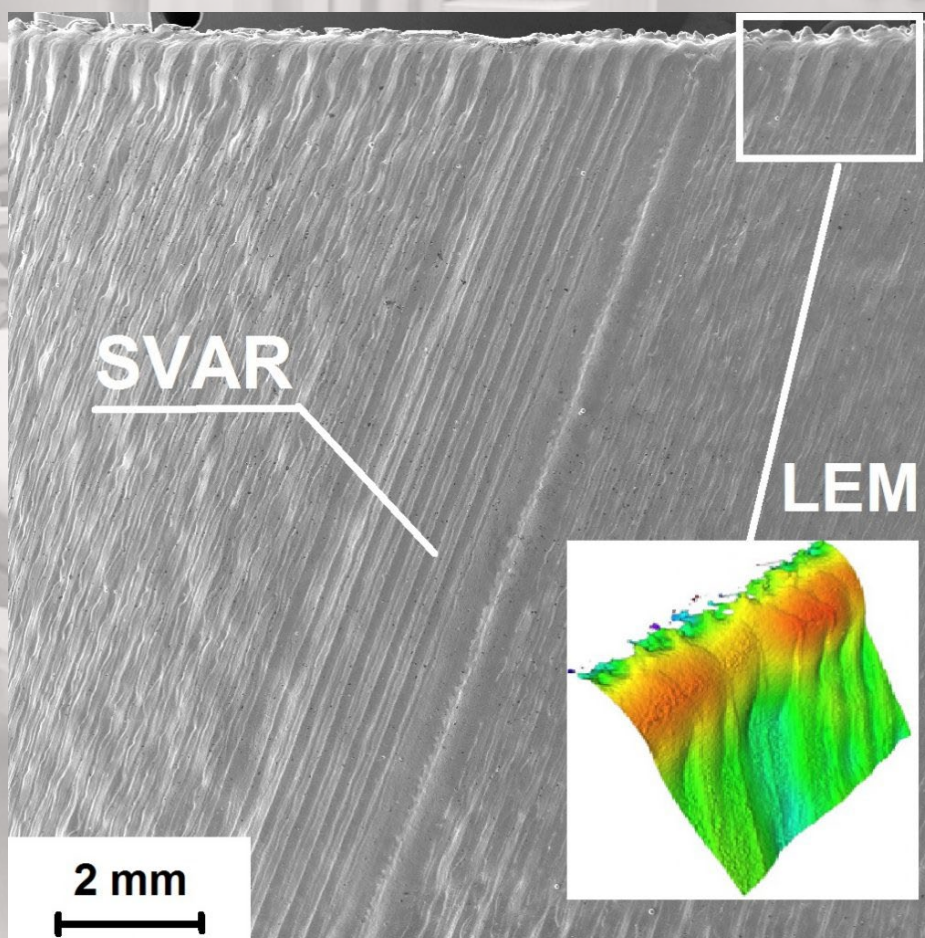
Zdravotníctví - ORTOPEDICKÉ IMPLANTÁTY

Lepší život díky EBM! Průměrná délka života se celosvětově prodlužuje, a tudíž přibývá mj. i opotřebení všech kloubů v lidském těle. K nadměrnému zatěžování kostního aparátu přispívá i sedavé zaměstnání většiny populace ve vyspělých zemích a nárůst obezity. Konečným řešením pro opotřebené či zničené klouby je tzv. kloubní náhrada. Rizikovou skupinou jsou i vrcholoví sportovci a lidé s aktivním životním stylem, u kterých dochází k opotřebení chrupavek a funkčních ploch kloubů již dříve, často v mladém věku. Neustálý vývoj nových chirurgických technik a produktů vede k trvalému růstu trhu s ortopedickými implantáty. EBM lze využít k výrobě standardních i nestandardních ortopedických implantátů vyráběných tzv. na míru. U standardních implantátů je použití technologie EBM v mnoha případech nákladově efektivnější (např. kloubní

jamka kyčelního kloubu), zejména pro sériovou výrobu implantátů s tzv. trámčitou strukturou. Technologie je schopna komfortně vytvořit hutnou i porézní strukturu během jednoho procesu, s dělením těles do jednotlivých buněk i dalším gradientním uspořádáním nebo uspořádáním pravidelným, nepravidelným i nahodilým. Prostorové struktury jsou klíčovým parametrem u ortopedických implantátů, jelikož napomáhají k odlehčení implantátu pomocí vnitřních nosníků i prorůstání kosti do povrchu implantátu a tím jeho lepší fixaci. Uživatel má možnosti ovlivnit geometrii elementárních prvků v primitivních nebo maticových plochách/strukturách, jejich relativní hustotu, velikost pórů a další vlastnosti. Implantáty jsou tištěny přímo z 3D počítačového modelu – za použití počítačové tomografie (CT) a inženýrského CAD softwaru.



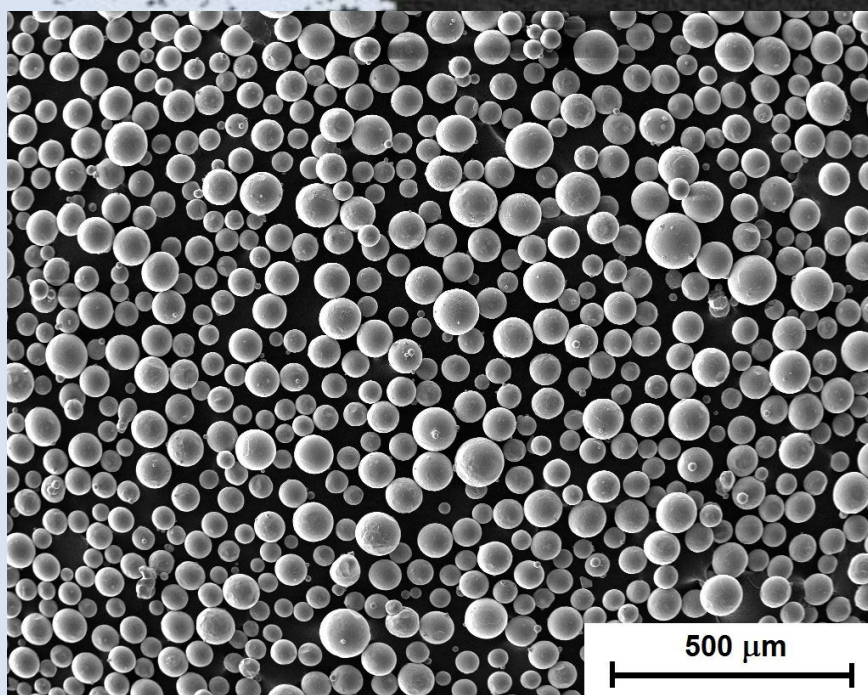
Přetavená dvoufázová titanová slitina. (Zdroj: archiv prof. Píšky)



Napojení větších tavených celků. (Zdroj: archiv prof. Píšky)

Kovový prášek

GE
nabízí
i vlastní výchozí
materiály. Slitina Ti6Al4V je
charakteristická vysokou pevností,
lomovou houževnatostí, nízkou
hustotou, výbornou odolností proti korozi
a vynikající biokompatibilitou. Jedná
se o nejpoužívanější titanovou slitinu,
zabírající téměř polovinu celkového
trhu s titanovými produkty. Hlavní
podíl patří leteckému průmyslu, dále
energetice a zdravotnictví. Výrobní
proces je náročný kvůli nízké tepelné
vodivosti, sklonu



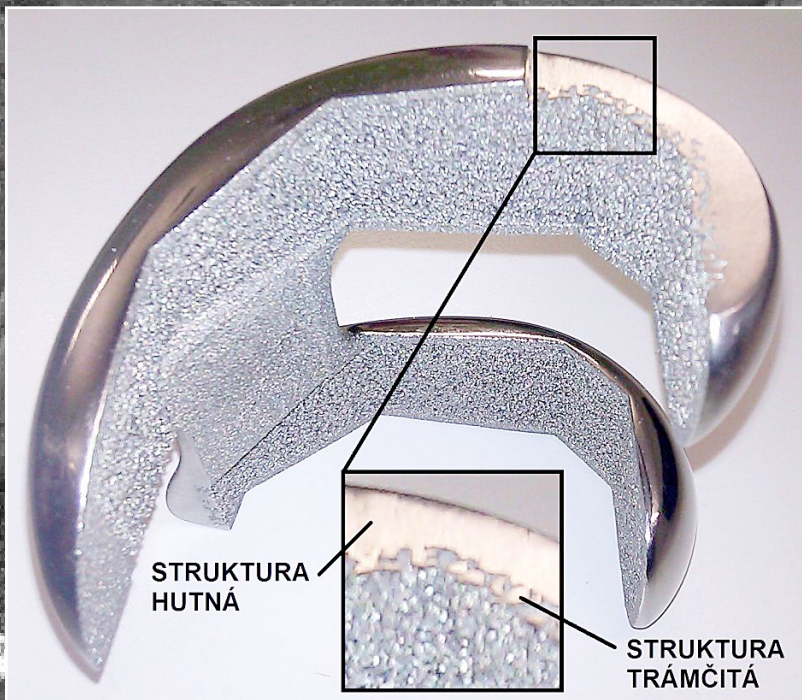
k deformačnímu zpevnění materiálu a reakci s kyslíkem za zvýšených teplot. Konvenční zpracování této slitiny spočívá v odlévání, kování a následném obrábění. Pro účely EBM a výrobu kovového prášku je využívána prášková metalurgie, konkrétně plazmová atomizace. Výchozí kov v podobě drátu je veden do horní části atomizéru, kde je taven plazmovým hořákem, padající roztavený kov tuhne a tvoří sférické částice. Hotový kovový prášek Arcam Ti6Al4V-ELI obsahuje částice převážně velikosti 50–100 mikrometrů, což je dvakrát více, než se jedná např. u technologie selektivního tavení laserem (což při vyšším výkonu elektronového paprsku umožňuje až desetinásobné zvýšení rychlosti stavby).

Ti6Al4V

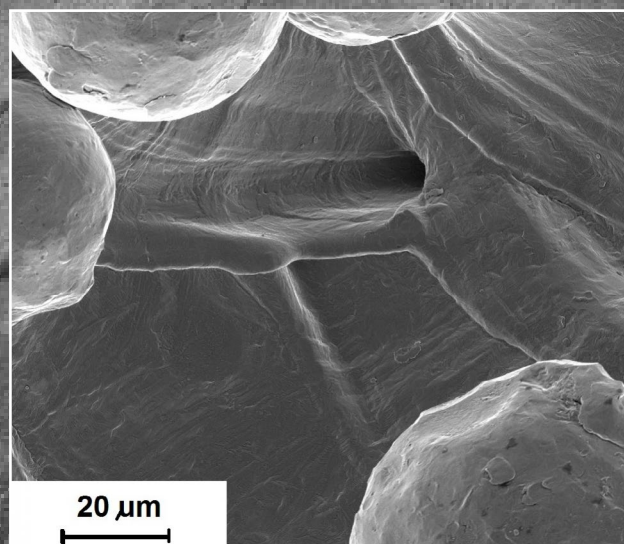
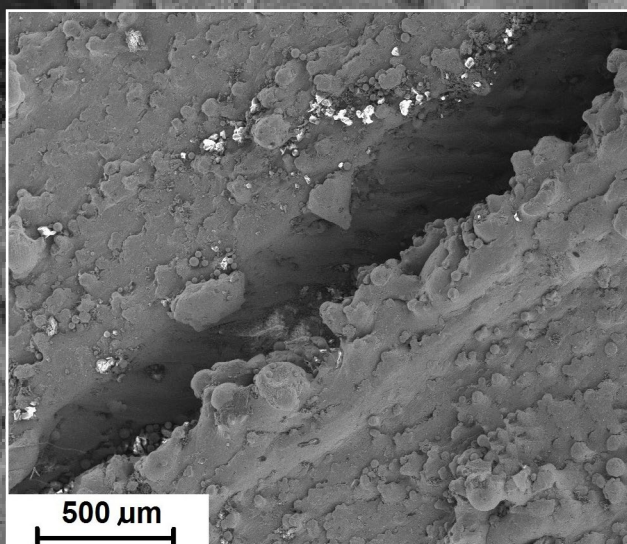
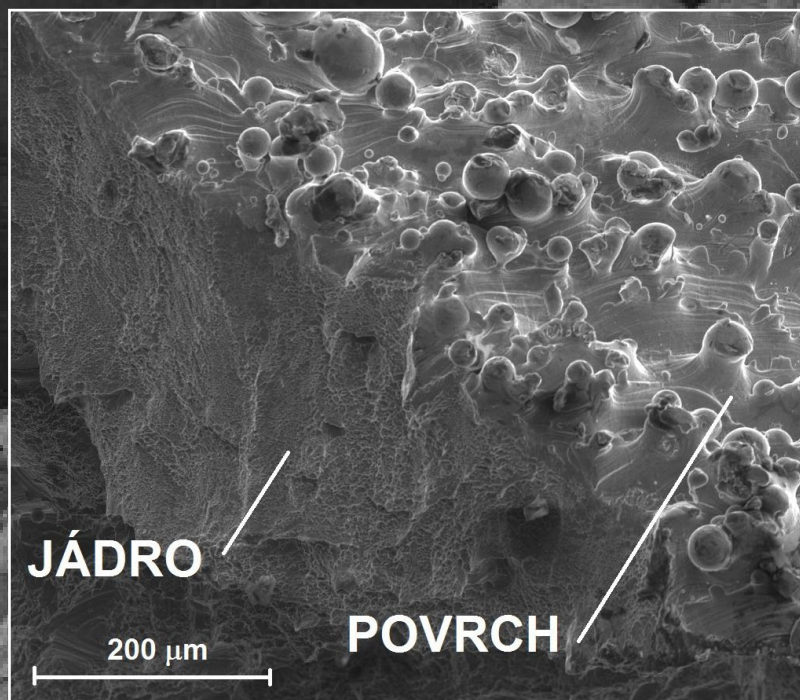
Nemá to chybu!

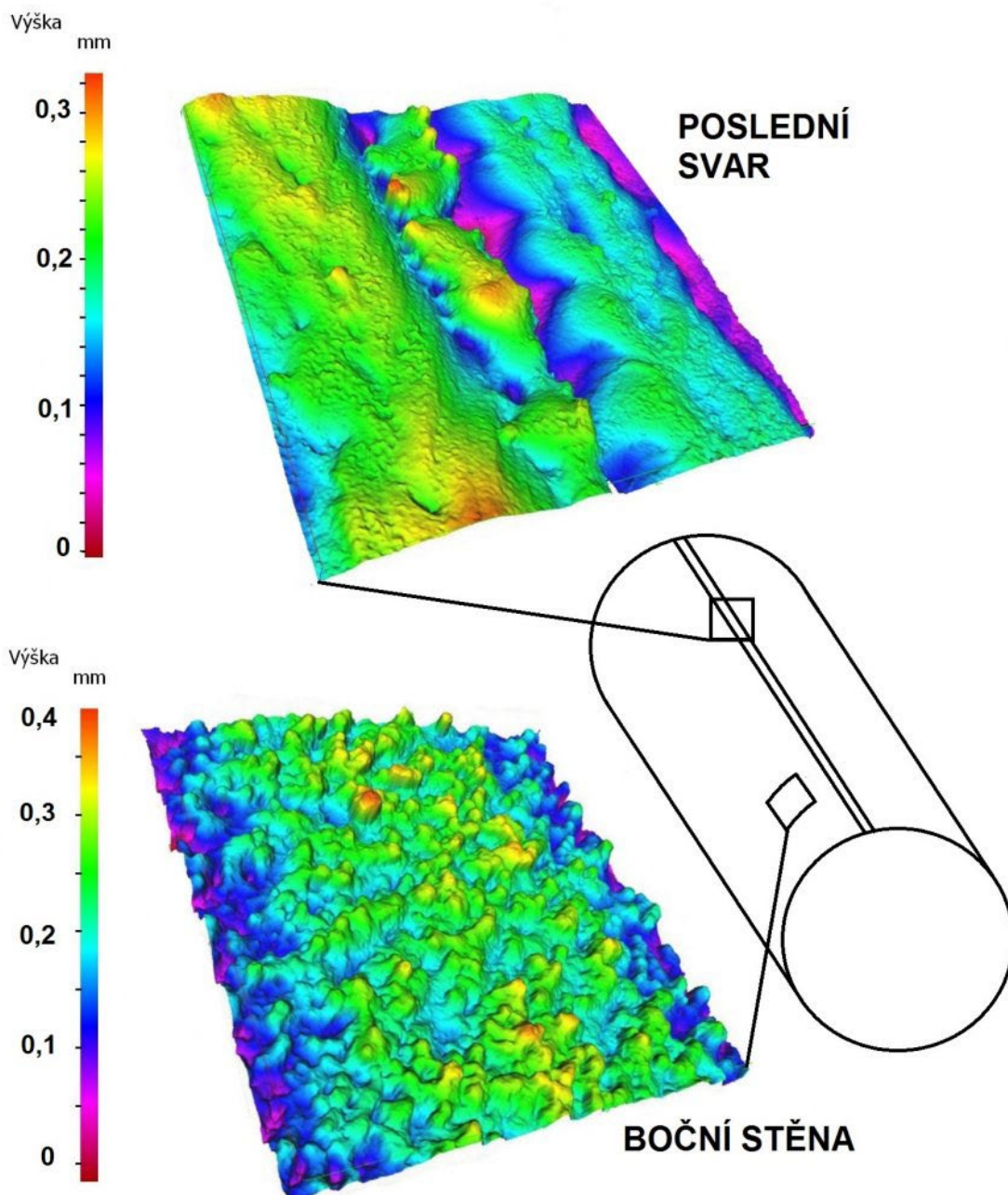
Zdaleka ne. Tento výrobní proces má řadu úskalí a podmínek pro jeho úspěšné zvládnutí, aby mohl konkurovat tradičním technologiím. Jeho problémy začínají už v metalurgii přípravy polotovarů pro atomizaci kuliček, protože se jedná o práškovou metalurgii a elektrické přetavování bez míchání tavby, což může vést například k tvorbě nehomogenního chemického složení. Dále zde platí vysoké požadavky na čistotu materiálu (používají se tzv. materiály třídy ELI – Extra Low Interstitials, tzn. velmi nízký obsah nečistot). Podobně je pokročilý celý proces tavení, kde se musí optimalizovat vzdálenost/překrytí řádků, výkon zařízení, fokusace paprsku a jeho posuvová rychlost. Na mechanické vlastnosti má vliv i směr paprsku ke spékanému povrchu. I při nejvyšší pečlivosti se tak ve strukturách mohou objevit klasické trhliny za horka, póry, oxidické pleny. Inicie únavových trhlin může probíhat

na vnějším, ale i vnitřním povrchu zatěžovaných těles, na cizorodých fázích, pórech i neprotavených částicích zpracovávaného materiálu. Ale i přesto se daří technologicky vytvářet struktury materiálů stejně pevné jako materiály tvářené. Nejcitlivějším způsobem testování, které odhalí vnitřní nedokonalosti a vady materiálu, je samozřejmě únavové testování, kde lze najít nukleaci vnějších i vnitřních trhlin i u čistých materiálů. Nicméně tato technologie potvrdila, že vhodně připravený vzorek dokáže cyklickému namáhání úspěšně odolávat. A to dokonce při symetrickém cyklu na hladinách zatížení přibližně 35 % meze kluzu, po více než 10–13 milionech cyklů, bez porušení vzorku. Pokud dojde ke vzniku lomové plochy, jsou zde patrné povrchové striace po šíření únavových trhlin, řada stop jejich odklonů od primárního směru šíření a doslova napjatostně-deformační boj o každé zrno materiálu.



Přetavená dvoufázová titanová slitina. (Zdroj: archiv prof. Píšky)





Dílčí morfologie povrchu při stavbě kruhovitého vzorku. (Zdroj: archiv prof. Píšky)

Chemické složení titanové slitiny Ti6Al4V-ELI								
	Al	V	C	Fe	O	N	H	Ti
[hm. %]	6,00	4,00	0,03	0,10	0,10	0,01	0,003	zbytek

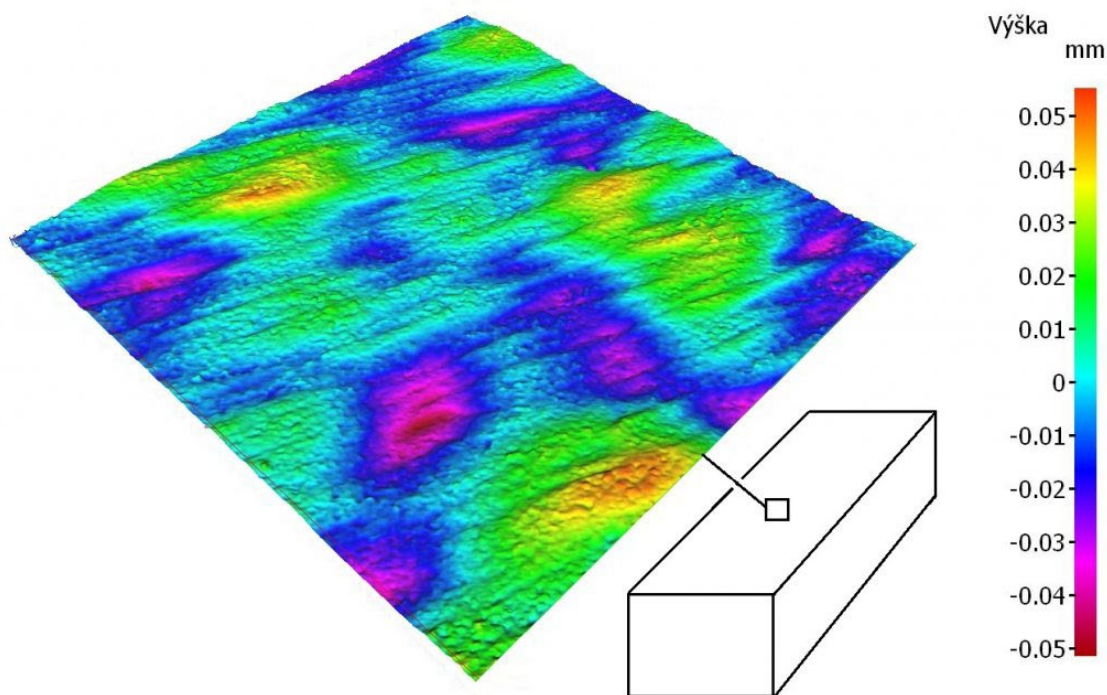
Mechanické vlastnosti testovaných vzorků				
Ti6Al4V ELI	Arcam Q10 plus			
	Arcam	$\omega=0^\circ$	$\omega=45^\circ$	$\omega=90^\circ$
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	950	892–941	967–970	849–913
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	970 (až 1200)	985–986	1006–1012	950–962
Prodloužení [%]	16	10,00–11,43	11,43–12,86	11,42–11,43
Tvrdost [HRC]	32 (až 40)	45–48	47–49	36–42
Modul pružnosti v tahu [GPa]	120	118–120	118–122	116–118

Pozn. Úhel w je úhel mezi směrem dopadajícího elektronového paprsku a povrchem vzorku. Nejvyšší pevnosti se pak dosahuje při následovném tažení „po vlákne“. 1) ÚST FSI VUT v Brně.

Produkty a výchozí materiály

Na trhu je hned několik zařízení, lišících se výkonem paprsku, velikostí a tvarem stavební komory a zpracovávaným materiálem. Arcam Spectra umožňuje tisk velkých dílů a stavění více dílů najednou. Díky schopnosti udržovat vysoké teploty jsou aplikace vhodné i pro materiály náchylné k trhlinám, jako například intermetalika titan či žárupevné i antikoroziční materiály. K dispozici jsou dvě velikosti komor (Spectra L a Spectra H). Arcam Q20 plus je speciálně navržen pro výrobu leteckých součástí, jako jsou lopatky turbín, konstrukční části a mnoho dalšího. Stavěcí komora umožňuje jak výrobu velkých součástí, tak stohování menších. Arcam A2X je určen pro letecký průmysl, výzkum a vývoj

materiálů i všeobecný průmysl díky široké škále výchozích materiálů – proto je oblíben i univerzitami a často pořizován na výzkumné účely. Arcam Q10 plus je stroj nové generace určený pro výrobu ortopedických implantátů. Stavěcí platforma umožňuje stohování nejběžnějších typů implantátů, interiér je sestaven pro snadnou a rychlou manipulaci s práškem. Pro bezpečnou manipulaci s práškem je dodávána sada pomocných zařízení, což zahrnuje vysavače, vozíky a speciální systém recyklace prášků. V závislosti na aplikaci je potřeba respektovat speciální požadavky, jako například při výrobě implantátů po použití jednoho druhu výchozího materiálu již není možný přechod na jiný materiál.



Dílčí morfologie povrchu při stavbě plochého vzorku. (Zdroj: archiv prof. Příšky)

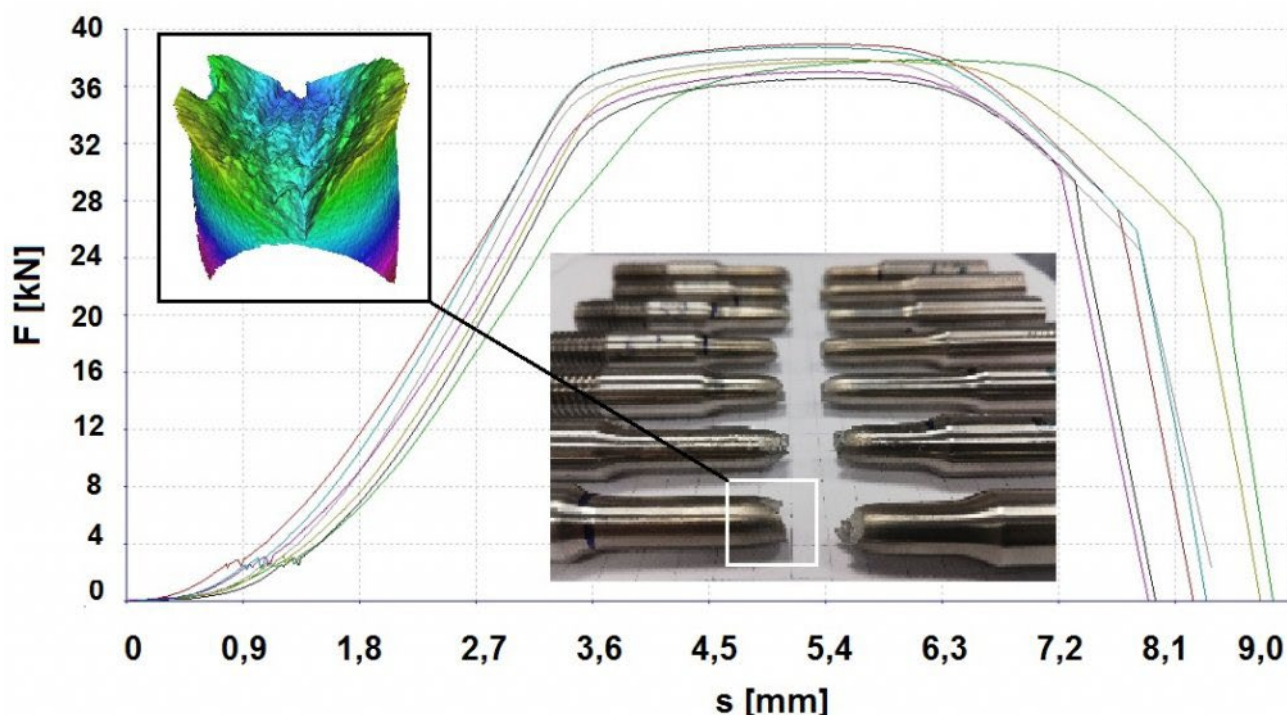


Je libo drátěnou košili z mithrilu...? (Zdroj: archiv prof. Pišky)

Závěr

EBM představuje v dnešní době mezi aditivními výrobními metodami patrně nejdokonalejší technologii, schopnou úspěšně konkurovat konvenčním technologiím. I přes drobná úskalí nabízí zcela unikátní struktury a vlastnosti, jinými tech-

nologiemi nedosažitelné a aplikovatelné v technice a lékařství všude tam, kde zatím matka příroda jednoznačně vládla. Jejich aplikace se časem znásobí a zlevní, což povede k dalšímu rozšíření této perspektivní technologie.



Tahové zkoušky prokázaly vysoké pevnostní vlastnosti i dostatečnou plasticitu vzorků. (Zdroj: archiv prof. Píšky)



Nosná tělesa dentálních náhrad. (Zdroj: archiv prof. Píšky)

ŠTEFAN KASSAY



RIADENIE

TEÓRIA • ZNALOSTI • REALIZÁCIA

**SPOLOČNÁ EURÓPSKA
PRODUKČNÁ PLATFORMA**



To, čo dokázal jeden podnik, môže dokázať aj rad iných podnikov, ak si osvoja podstatu prieniku vedy do praxe.

www.kassaybooks.com/members