

3D TECHNOLOGIE LETEM SVĚTEM

Ing. Jan Brajer

RCMT, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Vývoj 3D technologií dnes již zasahuje téměř do všech oblastí výroby. Uplatnění nachází u kusové výroby, ale dokáže si najít své místo i v sériové a dokonce velkosériové výrobě, kde nemusí jít nutně o samotné výrobky, ale např. o výrobu nástrojů nebo přípravků.

3D technologie | www.mmspektrum.com/180455

Pro mě jako technologa je velmi zajímavé pozorování vývoje samotné technologie, ale pro určování směru je výrazně zajímavější se dívat na RM (rapid manufacturing) technologie z makroskopického pohledu. Jedním zajímavým ukazatelem jsou akvizice firem vyrábějících 3D tiskové stroje velkými společnostmi. Důkazem toho je nedávný obchod firmy General Electrics.

Trend vylepšování technologie je vidět i v běžné výrobě. Ještě nedávno bylo jednou z hlavních otázek uživatelů, jaké jsou vlastnosti výtisku v porovnání s výrobou konvenčními technologiemi. Všechny zajímalo, kolik procent pevnosti, tažnosti, tvrdosti nebo zaplněného objemu má součást proti výrobku z bloku. Uživatelé se ptají stále, ale už vchází do povědomí, že součásti lze vyrábět na míru, a není to otázka jen rozměrů, ale i možnosti rozložení napětí, povrchových vlastností nebo dokonce složení materiálu. Vracíme se tedy na začátek samotného procesu, kde konstruktér musí být dobrý technolog a uvědomovat si možnosti a limity výroby. Konstruktér tak může navrhnout součást, která může mít perfektní užité vlastnosti, musí však vzít v potaz zcela odlišnou technologičnost konstrukce než pro konvenčně vyráběné díly.

Svou vinu nesou i výrobci 3D tiskových strojů – ve snaze nabídnout stroj prezentují technologii jako téměř zázračnou. Po krátké diskuzi s uživateli technologie není obtížné pochopit, že právě technologická znalost je to, co je na celém procesu tak důležité. Při nedodržení všech zásad pro kvalitní tisk totiž dochází k obrovským deformacím, někdy dokonce i k prasknutí celého dílce, a stejně jako je tomu v obrábění, neexistuje univerzální postup pro výrobu kvalitní součásti.

Aditivní technologie nejsou všespasitelné

V Evropském parlamentu se probírá strategie podpory vývoje těchto technologií v Evropě – jak dohnat americký vývoj, nebo naopak jak si nenechat utéct vývoj v Asii. Z diskuze vyplynulo, že na 3D technologie musíme přestat pohlízet jako všespasitelné, jako by s nimi šlo vyrobit cokoli na jedno stisknutí tlačítka. K 3D technologiím se konečně musí začít přistupovat jako ke každé jiné technologii, a tedy: kolik



Filtrační trubičky o průměru 2 mm a s dírkami po obvodu o velikosti 50 µm byly vyrobeny metodou SLM na stroji DMG Mori.

to bude stát a jaké výhody takto vyrobený dílec přinese a zda se zavádění této technologie v procesu vyplatí? Vhodným příkladem je výroba forem pro vstřikování plastů. Pokud jednodušší forma na vstřikování plastů vyrobená konvenčními metodami vyjde na čtvrt milionu, stejná forma vyrobená 3D tiskem stojí přibližně 800 000 Kč. Díky důmyslnému systému chlazení, který je vyroben 3D tiskem, může dojít ke zkrácení času taktu formy ze 40 s na 20 s. Forma je tedy schopna vyrábět stejnou součást s dvojnásobnou produktivitou. Když vezmeme v úvahu velkosériovou výrobu, lze vyrábět rychleji nebo není potřeba tak velké množství strojů, jejichž cena je mnohonásobně vyšší než cena vytištěné formy. Tato data vychází z případové studie výroby víčka lahve sprchového gelu, jehož tvar je relativně složitý. Vedlejším efektem použití dokonalejšího chlazení vyrobeného 3D tiskem je zlepšení kvality přesnosti, protože se výrazně sníží deformace zapříčiněná právě nerovnoměrným chlazením.

Část ceny tištěného dílu je tvořena cenou prášku. S tiskovým prostorem 200 x 200 x 200 mm je potřeba pro jeho celé zaplnění 36 kg titanového prášku. Při přibližné ceně 10 000 Kč za kilogram činí pouhá cena zaplnění tiskové komory 360 000 Kč. Vesmírné (pro tisk ve vesmíru, viz dále), ale i některé další aplikace na-

víc vyžadují stále nový prášek, protože ten časem degraduje, zejména postupnou ztrátou nejmenších částic. Přesto prášek tvoří přibližně čtvrtinu ceny tisku. Největším nákladem je nákup zařízení, které tvoří drtivou část ceny výsledného výrobku, a tak i určuje jeho konkurenceschopnost, protože cena běžného 3D tiskového stroje se všemi opcemi se pohybuje okolo 20 milionů korun. Nezanedbatelné jsou i náklady na manipulaci se součástmi po tisku a její následné zpracování. Již samotné hospodaření se zbylým práškem a jeho recyklace je relativně náročný proces, protože z důvodu bezpečnosti je potřeba, aby se s ním operátor nedostal vůbec do styku. Nutnou součástí je také tepelné zpracování a ořez součástí z palety. Dále většinou následuje zpracování tryskáním, obráběním nebo dalšími dokončovacími technologiemi.

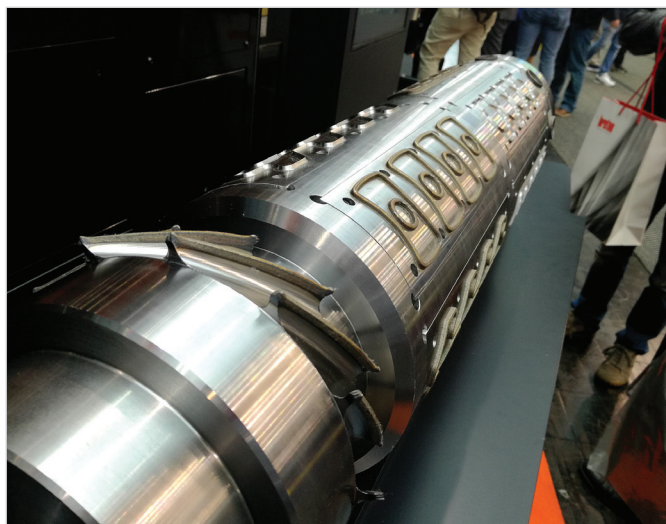
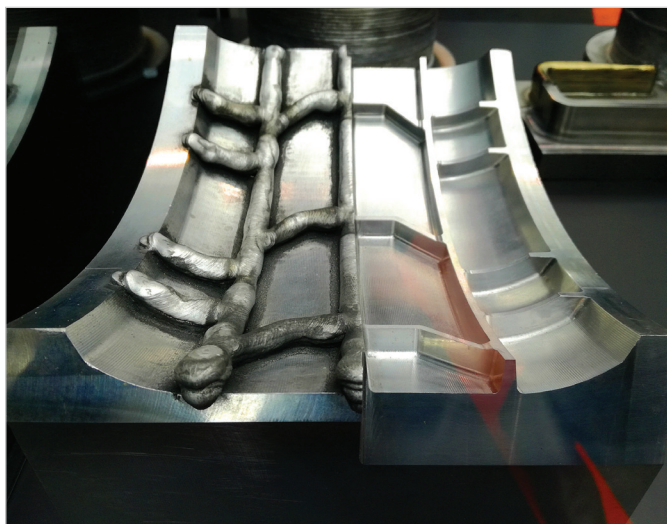
Navzdory všem nevýhodám existují součásti, které je vhodné a výhodné 3D tiskem vyrábět. Důkazem toho jsou firmy jako Siemens, Honeywell nebo právě zmíněná General Electrics.

3D tisk rozmanitější, než si lze představit

Není překvapením, že 3D výtisky se dnes používají v letectví, v medicíně nebo pro výrobu speciálních součástí do nejrůznějších oborů. Méně známý je ale fakt, že jsou firmy specializující na tisknutí domů z betonu nebo firmy založené na tisku jídla, jejichž vizí je, že místo surovin si koupíte „cartridge“ a vesele si jídlo doma vytisknete. Oborů je opravdu mnoho, ale samostatnou oblastí je 3D tisk ve vesmíru. Vše začalo tím, že v roce 2012 byl uskutečněn první 3D tisk na oběžné dráze touto technologií a byl vyroben plastový klíč pro utažení šroubu. Od té doby NASA přemýšlí o řešení problému skladování náhradních dílů na mezinárodní vesmírné stanici ISS. Na ISS je ke dnešnímu dni patnáct tun náhradních dílů, které musely být vyneseny na orbit. Na zemi je skladováno dalších téměř třicet tun náhradních dílů, a přitom se každoročně vymění v průměru jen 450 kg dílů. Možnost výroby dílů přímo ve vesmíru by tedy znamenala velkou úsporu v množství dopravovaného materiálu. Ani evropská vesmírná agentura ESA nezůstává pozadu a plánuje 3D tisk na měsíční základně. Vážně je uvažováno o tisku ochranného krytu stanice spékáním z měsíčního prachu, který bude chránit obyvatelé před meteority a radiací. Roboty navíc mohou pomocí solární energie spékat i povrch a vytvářet tak cesty na Měsíci. A protože měsíční prach je v podstatě písek, budou měsíční cesty vyrobeny ze skla. Výzkum vesmírných aplikací spěje k vývoji univerzálního výrobního stroje, který bude schopen například při osidlování Marsu vyrábět potřebné součásti.

Hybridní technologie

Hybridní technologie oproti samotnému 3D tisku mají hned několik výhod. Součástí se vyrábí většinou na jedno upnutí, proto může být její přesnost vyšší a i celkový čas výroby součástí bývá zpravidla nižší. Hybridní meto-



Mazak spolupracuje s firmou Hybrid Manufacturing Technologies, která dodává navařovací hlavy dvou rozměrů. Jedna hlava je pro produktivní navařování s tryskou o průměru 3 mm a druhá pro přesné navařování s tryskou o průměru 1 mm.

dami je také ve větším poměru zastoupena výroba namáhaných součástí oproti klasickému 3D tisku, kde se část produkce orientuje i na designové výrobky. Největší nevýhodou je ekonomičnost samotného procesu výroby. U multifunkčních center kombinujících soustružení, mimoosé vrtání nebo frézování je totiž často výhodné přesunout například vrtání děr na stojanovou vrtačku, kde se hodinová sazba za stejnou operaci sníží z tisíců na stokoruny. Stroj by měl provádět jen operace, které jsou nezbytné. Stejně jako u multifunkčních center při sériové výrobě se vyplatí jednodušší operace nechat pro jiné stroje, tak i pro aditivní a hybridní výrobu musí být rozhodnuto, zda není výhodnější součást vyrábět odděleně. Náklady na pořízení hybridního stroje se často šplhají relativně vysoko – například náklady na pořízení jednoho z nejznámějších strojů od DMG Mori mohou přesahovat i 40 milionů korun.

Různí výrobci produkčních strojů volí různé strategie v přístupu ke stavbě součástí a od toho se pak odvíjejí technologické možnosti, přesnost a samotná cena stroje. Zmíněná společnost DMG Mori nyní nově nabízí stroj Lasertec 65 3D, který lze zakoupit bez možnosti obrábění. Je tedy zřejmý trend firmy na oddělení technologií z ekonomických důvodů, a pak také nabídka nového stroje pro technologii SLM je důkazem, že zatím neexistuje žádný univerzální stroj pro aditivní výrobu a kombinace technologií bude ještě dlouho nutností.

Firma Mazak ve svém portfoliu vedle obráběcích strojů nabízí již řadu let také řezací lasery a 3D tiskové stroje. A i zde je vidět změna strategie přístupu a rozdělení nabídky hybridních strojů. Nejdéle nabízený 3D tiskový hybridní stroj pracuje na základě technologie navařování laserem. Mazak spolupracuje s firmou Hybrid Manufacturing Technologies, která dodává navařovací hlavy dvou rozměrů. Jedna hlava je určena pro produktivní navařování s tryskou o průměru 3 mm a druhá pro přesné navařování s tryskou o průměru 1 mm. Ale

největší novinkou firmy Mazak představenou na nedávném veletrhu EMO byl hybridní stroj kombinující klasický obráběcí stroj (pětiosé frézovací centrum) a svařování obloukem technologiemi MIG/MAG. Firmou byly prezentovány již první výrobky, které byly většinou vyrobeny z hliníkové slitiny. Cena stroje s možností klasického svařování může být výrazně nižší než v případě laseru.

Stejně jako před několika lety firma Sciaky, která používá elektronový svazek pro rychlé vyvážení součástí, vzbuzuje nyní řadu emocí firma Gefertech. Jejich strategie „hybridní výroby“ je postavena na postupu rychle navařit a následně obrobit. Firma Gefertech vyrábí polo-

tovary pro obrábění a dosahuje úctyhodných rychlostí. Ve stroji se provádí obloukové MIG/MAG svařování, ale není možné obrábění. Produktivita stroje pro vybrané výrobky přesahuje hodnotu 2 kg za hodinu, což ho řadí na přední příčky v rychlosti stavby součástí. Zajímavostí také je, že design stroje je převzat z klasické 3D tiskárny na plasty, jen v měřítku 10:1. Změnou procesu na kombinovanou výrobu je možné ušetřit nejen materiál obrobku, ale také snížit počet nástrojů potřebný pro samotné obrábění. Tento příklad podtrhuje výhody aditivních technologií oproti konvenčním technologiím a jejich výhodnost stoupá s poměrem obráběného materiálu k materiálu obrobku. Obzvláště vý-



Stroj od firmy Gefertech provádí obloukové MIG/MAG svařování. Produktivita stroje pro vybrané výrobky přesahuje hodnotu 2 kg za hodinu. Zajímavostí je, že design stroje byl převzat z klasické 3D tiskárny na plasty, pouze v měřítku 10:1.

hodné je tedy použít aditivní technologii pro tenkostěnné obrobky nebo obrobky s nestejněměrnými tloušťkami stěn.

Firma Hermle nabízí hybridní stroj založený na přidávání materiálu na povrch, který je urychlován horkou párou. Pára dává částicám kovu vysokou rychlost a ty jsou následně přikovány do povrchu součásti. Tímto způsobem lze přidávat různé kovové i nekovové materiály. Nejčastěji je používána kombinace nerezové oceli a mědi pro aplikace, kde je potřeba vytvořit tepelné mosty. Měď je nanášena pod povrchem a díky své velké tepelné vodivosti odvádí teplo z tepelně zatížených povrchů výrazně lépe než špatně tepelně vodivá nerezová ocel. Druhou možnou aplikací je vytvoření chladicích kanálů. Tyto kanály jsou vyplněny keramickým materiálem a následně překryty kovem. Nanášená keramika reaguje s vodou a je vypláchnuta pryč, vznikne tak dutina pro proudění chladicí kapaliny. Tato technologie není nová. Firma Hermle ji začala vyvíjet již více než před 10 lety, ale doposud nabízela pouze službu „navarování“. Od loňského roku má firma ve své nabídce i stroj pro tuto technologii.

Jediná technologie AM plně vyvinutá v ČR

Ani v České republice nezůstáváme pozadu, minulý rok vstoupila na trh s hybridními stroji firma Kovosvit MAS. Byl představen produkční stroj umožňující vytváření kovových dílů a jejich obrábění v jednom pracovním prostoru. Stroj disponuje pěti řízeními osami pro technologii navařování kovu a také pěti osami pro obrábění tvarových ploch. Základem je nově vyvinutá unikátní technologie *hybrid manufacturing*, která byla vyvíjena a testována na prototypu v letech od roku 2013 ve spolupráci s RCMT při Fakultě strojní ČVUT v Praze. Zatím se jedná se o jedinou technologii pro vytváření kovových dílců (AM) vyvinutou plně v České republice.

Mezi základní technologické prvky patří vytváření skořepin, plných objemů, vnitřních kanálů a dutin, výztužných vnitřních struktur a podpůrných vnějších struktur. Vzhledem k výrazně levnější technologii Kovosvitu MAS a RCMT je komplexní nabídka AM v oblasti zpracování standardních konstrukčních materiálů pro běžné strojírenství (stavba strojů, výroba nástrojů, energetická zařízení, vojenské aplikace, dopravní technika, prototypová výroba, opravárenství). Technologie umožňuje zpracovávat špičkové materiály, jako jsou niklové slitiny a další, ale nabídka se nyní orientuje především na zpracování konstrukčních ocelí, nerezových ocelí, jemnozrnných ocelí a ořezavodných ocelí. Uživatelem technologie nemusí být vývojové středisko velké firmy, ale může ji rentabilně využít i běžná malá či středně velká strojírenská firma.

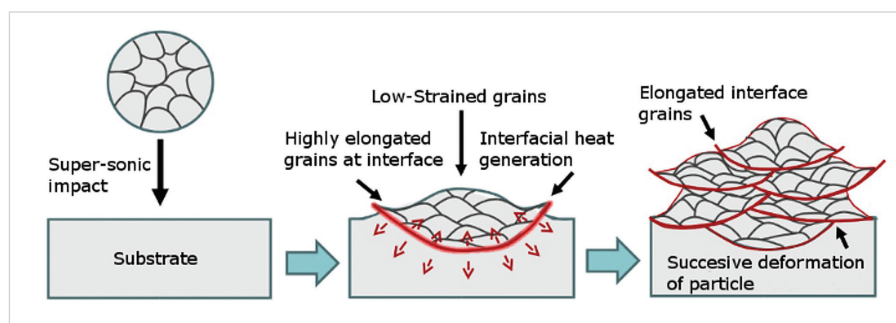
Reálné hodnoty rychlosti růstu dílců z různých druhů ocelí se pohybují v rozmezí 0,2–1,0 kg za hodinu. Celková konečná cena vytvořeného dílce (návaru při opravách) pak představuje 2 500–3 500 Kč.kg⁻¹ a obsahuje kompletní ná-

klady na stroj s odpisy na tři roky a 50% využití.

Všeobecně lze říci, že všichni velcí výrobcí obráběcích strojů mají ve své nabídce hybridní stroj pokrývající určitý segment trhu. Například firma WFL již řadu let nabízí multifunkční obráběcí centrum s možností navařování, svařování a kalení. Bezpochyby si tento stroj najde aplikace při výrobě velkých součástí. Na druhou stranu tím, že se jedná o stroj velkých rozměrů s velkou multifunkčností, budou vždy cena a hodinová sazba stroje velmi vysoké a tedy nepřístupné pro některé druhy aplikací. Navzdory tomu, že WFL bylo jedno z prvních, kdo nabízel hybridní stroje, může být klíčem k průlomu naopak zjednodušení a zlevnění nabízeného řešení. Za zmínku také stojí firma Okuma, která přišla zcela nově s možností navařování v jimi nabízených strojích. K navařování používá standardní navařovací hlavy připevněné do vřetena a podavače prášku.

zený dílec na speciálním podavači vjede do výroby, kde je oskenován a porovnán s ideálním tvarem, následně proběhne obrábění jako příprava na aditivní proces. Po očištění od obrábění dojde k navaření a tepelnému zpracování. Následuje obrábění na konečný tvar a kontrola. Celý tento proces by měl být díky senzore a inteligentnímu řízení automatický a splňuje vizi Industry 4.0.

Za zmínku stojí také hybridní možnost dokončování. Vybraní výrobcí jsou schopni do stroje implementovat technologii, která každou vytvořenou vrstvu (nebo několik vrstev najednou) obrobí pro dosažení ideálních vlastností. Příkladem kombinace třískového obrábění a SLM metody je technologie firmy Sodick, kombinátorem DMD (*direct metal deposition*) a možností libovolného obrábění je firma Kovosvit MAS. Povrch se nemusí pouze obrábět, ale lze v něm eliminovat nebo naopak vytvářet zbytková na-



Firma Hermle nabízí hybridní stroj založený na přidávání materiálu na povrch, který je urychlován horkou párou.

Zatím úplně novým trendem je možnost upevnění samostatné 3D navařovací hlavy do stávajícího obráběcího centra. Toto řešení bylo v minulosti nabízeno například pro tisk z plastu, ale nyní již pro kovový 3D tisk je nabízeno firmou 3D-Hybrid. Tato firma navíc nabízí řešení jak pro laser, tak pro obloukové navařování nebo *cold spray deposition*.

Dokončování a automatizace výroby

Další velkou kapitolou je dokončování výrobku. Tepelné zpracování, řezání, tryskání a obrábění jsou běžné technologie aplikované po aditivní výrobě. V poslední době je vidět snaha vytváření unifikačního výrobního řetězce, který bude předurčovat postupy pro dané skupiny výrobků. Klasičtí výrobci, jako Concept Laser, Renishaw nebo FormUp, se připravují na možnost zapojení do konceptu 4.0. V praxi to znamená, že výrobní stroje jsou vzájemně propojitelné a jsou schopny spolu komunikovat. Design strojů je navržen tak, aby je bylo možné skládat do větších celků a zjednodušoval se tak i tok materiálu na hale. Zatím nejdále je v tomto směru firma Concept Laser (spolupracující s firmou Swisslog), která za prezentaci tohoto řešení získala v roce 2016 prestižní cenu International Additive Manufacturing Award. Od té doby se vytvářejí koncepty automatizovaných továren například pro renovaci dílců. Poško-

pětí. Technologie zpevňování povrchu se teprve začínají v kombinaci s 3D tiskem zavádět, ale první metodou je *ultrasonic impact treatment*. Tato metoda má výhodu ve své jednoduchosti a možnosti integrace do procesu. Další metodou je válečkování (již používané dohromady s metodou DMD). Válečkováním každé vrstvy mezi jednotlivými návary lze dosáhnout požadovaného rozdělení zbytkových napětí. Vhodným způsobem dokončování součástí vyráběných 3D tiskem se také jeví metoda *laser shock peening*. Tato metoda vyvíjená v Dolních Břežanech v laserovém výzkumném centru HiLASE je založena na vnášení zbytkových napětí za pomoci vysokoenergetických pulzů laseru a má hned několik výhod. První výhodou je velká hloubka zpevnění přesahující i 1 mm, takže součást je efektivně chráněna proti cyklickému namáhání do velké hloubky. Druhou výhodou je možnost zpracování libovolného tvaru součástí a díky přesnému zacílení laseru na povrch součástí mohou být zpevněny jen plochy náchylné k vytváření únavaových trhlin.

Hybridní metody výroby společně s možností následného pokročilého zpracování umožňují výrobu součástí s unikátními vlastnostmi. Při respektování konceptu Průmyslu 4.0 budeme schopni vyrábět i složité výrobní celky v automatickém režimu, protože práci, kterou mohou dělat stroje, by měly dělat stroje. ■