



LASER SHOCK PEENING MNOHONÁSOBNĚ PRODLUŽUJE ŽIVOTNOST MATERIÁLU

VYUŽÍVÁNÍ VYSOKOVÝKONOVÝCH LASERŮ VE VÝROBĚ JIŽ NENÍ ŽÁDNOU NOVINKOU. V MNOHA OBLASTECH POSTUPNĚ NAHRAZUJÍ KONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ. DÍKY VÝZKUMNÉMU CENTRU HILASE, KTERÉ JE SOUČÁSTÍ FYZIKÁLNÍHO ÚSTAVU AV ČR, SE DO ČESKÉ REPUBLIKY DOSTALY I POKROČILÉ LASEROVÉ TECHNOLOGIE. JEJICH POUŽITÍM JE MOŽNÉ VÝRAZNĚ ZLEPŠIT VLASTNOSTI VÝROBNÍCH DÍLCŮ A SOUČÁSTÍ. „NAPŘÍKLAD METODA LASER SHOCK PEENING (LSP) DOKÁŽE PRODLOUŽIT ŽIVOTNOST UPRAVENÉ SOUČÁSTI I DESETKRÁT,“ VYSVĚTLUJE NA ÚVOD JAN BRAJER, VEDOUcí ODDĚLENÍ PRŮMYSLVÝCH APLIKACÍ LASERŮ.

Technologii LSP disponuje v České republice jediná instituce, a to právě HiLASE. V čem je tato metoda převratná?

LSP nahrazuje klasické technologie vnášení tlakového zbytkového napětí do povrchu, tedy například tryskání batlínou, kuličkování, válečkování či hlazení diamantem. U všech

těchto metod platí, že se stlačením povrchu vytvoří předpětí, které brání šíření únavových trhlin. Rozdíl je ale v tom, že konvenčními metodami se zpevňuje celý povrch součásti maximálně do hloubky 0,2 mm, zatímco u LSP se zpracovává pouze předem vytipovaná oblast, kde předpokládáme, že může dojít k lomu. Laser

totiž vytvoří zpevněnou vrstvu hlubokou i přes 1 mm, a kdyby se využíval na celou plochu povrchu, docházelo by k deformaci součásti. Zpevněná vrstva je výrazně tlustší a brání tak lépe šíření mikrotrhlin. Právě to je důvodem násobného zvýšení životnosti materiálu oproti běžné uživatelským postupům.

Kuličkování i válečkování jsou metody velmi jednoduše představitelné. Ale jak konkrétně dochází ke kompresi povrchu za pomoci laseru?

V Centru HiLASE máme k dispozici speciální laserový systém Bivoj, který je již od roku 2016 považován za laser se světově nejsilnějším průměrným výkonem ve své kategorii. Nedávno na něm bylo stabilně dosaženo energie 145 J a v maximu 146,5 J v 10 ns trvajícím pulzu při opakovací frekvenci 10 Hz na vlnové délce 1 030 nm, což se rovná světovému rekordu. Bivoje zaostříme na vodou pokrytý povrch součásti a vystřelíme nanosekundový pulz. Svazek laseru projde přes vodu, narazí do povrchu a dojde k interakci laseru s materiálem a vytvoření plazmatu.

Pokračování na str. 15

Počítačová síť čtvrtiny českých firem neumožňuje plnohodnotnou práci na dálku

Firemní bezdrátové sítě v Česku a na Slovensku jsou poměrně moderní. Téměř 20 % firem už využívá nejpokročilejší Wi-Fi 6. generace a 77 % inovovalo svou Wi-Fi síť v posledních třech letech. Na druhou stranu ale síť 24 % firem neumožňuje zaměstnancům plnohodnotnou práci na dálku, která by jim v tuto chvíli pomohla lépe zvládat dopady pandemie.

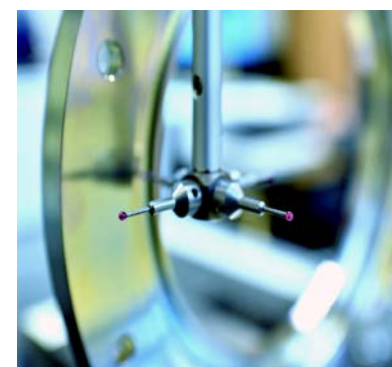
V rámci protipandemických opatření řada firem urychlila projekty digitální transformace a inovovala svou IT infrastrukturu. Ukázal to aktuální rozsáhlý průzkum společnosti Cisco,

kterého se zúčastnilo 900 manažerů a IT specialistů českých a slovenských firem. V průzkumu se k urychlení digitalizace kladně vyjádřila více než polovina dotázaných. V rámci inova-

cí 37 % podniků zavedlo nebo rozšířilo využití VPN přístupu do firemní sítě a více než čtvrtina zavedla nástroje pro spolupráci uživatelů (skupinové chaty, videohovory apod.).

Moderní způsob práce na dálku – office extend, který umožňuje pracovat z domova na firemní síti včetně všech nastavení a zabezpečení, zaváděly hlavně nejmenší a největší firmy. U těch také průzkum ukázal, že jsou, co se týká IT infrastruktury, nejnovativnější.

Pokračování na str. 2



Téma čísla:
Laserové technologie

Čtete na str. 15–18



LASER SHOCK PEENING MNOHONÁSOBNĚ PRODLUŽUJE ŽIVOTNOST MATERIÁLU

Pokračování ze str. 1

Celý proces lze v ten moment připodobit k explozi, kdy chce vzniklé plazma díky dodané energii rychle expandovat. Pak ale zafunguje voda jako bariéra, která tlak na povrchu, dosahující až 6 GPa (teoreticky i 10 GPa), po tuto velmi krátkou dobu podrží. Vznikne rázová vlna, která projde materiálem a vytvoří kompresní zbytkové napětí v povrchu.

■ Kolik takových pulzů je třeba do jednoho místa poslat, aby došlo k chtěnému zpevnění?

Používáme energii v řádech několika joulů, takže na konkrétní místo stačí jeden pulz, kterým tak zpevníme plochu o velikosti 9 mm². Velikost svazku je ve většině případů 3 × 3 mm². Pokud je třeba zpevnit větší plochu, můžeme s laserem střílet do povrchu ve frekvenci 10 Hz a klást „čtverce“ jeden vedle druhého. Hloubka plastické deformace je u každého materiálu jiná, u hliníkových slitin až 20 μm, u běžných ocelí a nerezů od 5 do 10 μm, a u nástrojových ocelí od 1 do 4 μm. Pro kvalitní zpracování ploch je navíc potřeba vytvářené čtverce překrývat, a to nejen proto, abychom měli jistotu, že je povrch zpracován celý, ale i kvůli snižování drsnosti. Když se totiž čtverce kladou těsně k sobě, vznikají mezi nimi mikrometrové výstupky, a musela by se proto používat ještě další dokončovací technologie.



Ukázka různých struktur povrchů při využití technologie LSP

■ Technologii LSP máte v HiLASE od roku 2016. Kde jste se při její aplikaci a následnému rozvoji inspirovali?

Od roku 2013 jsme navštívili několik světových univerzit. Byli jsme například ve Francii, USA či Španělsku. Univerzita v Cincinnati, ve které jsme



Foto: Jana Plavec

Jan Brajer

V roce 2018 získal titul Ph.D. v oboru strojírenská technologie na ČVUT v Praze za obhajobu disertační práce *Vliv metody laser shock processing na integritu povrchu*. V Centru HiLASE, které je součástí Fyzikálního ústavu AV ČR, pracuje od roku 2013 jako člen výzkumného programu 3 zaměřeného na aplikaci laserových technologií. Zabývá se výzkumem a vývojem laserových technologií, spolupracoval s různými průmyslovými partnery a zároveň je školitelem několika bakalářských a diplomových prací. V dnešní době je vedoucím výzkumného programu laserové aplikace pro průmysl, kde jeho hlavním cílem je přenos pokročilých laserových technologií do průmyslu.

měli možnost strávit s kolegy několik měsíců, spolupracuje s GE Aviation, kde se LSP řadu let využívá na zpracování lopatek leteckých motorů. Také jsme navázali spolupráci s japonskou Toshiba, která již v roce 2000 vyvinula zařízení na zpracování svarů v reaktoru jaderné elektrárny technologií LSP.

My jsme začali pracovat na výstavbě pracovní stanice v roce 2015, pořídili jsme robotické rameno a začali dávat dohromady i ostatní hardware, který je pro technologii potřebný. V roce 2016 jsme technologii LSP zprovoznil a začali zpracovávat velké množství vzorků z nejrůznějších materiálů. Zkoušeli jsme zpracovat hliníkové slitiny, titanové slitiny, měď, nerez, klasické oceli, kobalt-chromové materiály a podobně.

Za ty čtyři roky jsme se posunuli výrazně dále, máme automatizovaný proces, kde je implementováno řízení robotu i laseru samotného. Došlo k automatizaci spouštění vody, ofuků i provozní diagnostiky. Lze říci, že se jedná o autonomní zařízení, které co nejvíce napodobuje průmyslový přístup. Za úspěchem LSP technologie v Centru HiLASE stojí její rozvoj a neustálé zlepšování metod a procesů při jejím využívání. Firmy si u nás přibližně dva roky mohou nechat zpracovávat součásti, které potřebují.

■ Na jakých typech zakázek jste již měli možnost s LSP pracovat?

V minulosti jsme se zabývali například zpracováním dílců pro aerospace,

kdy jsme zkoušeli zpracovávat letecký hliník či titanové slitiny. Dosáhli jsme zajímavých výsledků, nicméně aplikace a všechna certifikace, která je pro oblast aerospace nutná, je natolik obtížná, že jsme tyto snahy nakonec odsunuli na vedlejší kolej.

Druhou a nezanedbatelnou oblastí je pro nás jednoznačně energetika. Po navázání spolupráce s Toshiba se k nám do týmu podařilo přizvat profesora Sana, který technologii LSP zaváděl v Japonsku. S ním jsme neustále v úzkém kontaktu a řešíme, jak technologii aplikovat pro českou energetiku. I proto jsme začali spolupracovat s Centrem výzkumu Řež a s nimi zpracovali mnoho různých vzorků, například z oceli 08Ch18NiOT. Technologie LSP byla v tomto případě úspěšná až na několikátý pokus, ale ověřili jsme si, že jsme schopni zcela zmírnit nepříznivý efekt defektu. Jinak řečeno, pokud dojde v materiálu k nějakému porušení a my toto místo zpracujeme (opravíme) laserem, dokážeme součásti vrátit téměř její původní parametry. Vneseme do materiálu tlakové zbytkové napětí a zabráníme tak šíření únavové trhliny. Defekt samozřejmě zůstává, ale nezvětšuje se. Tuto techniku jsme si dokonce v loňském roce nechali patentovat.

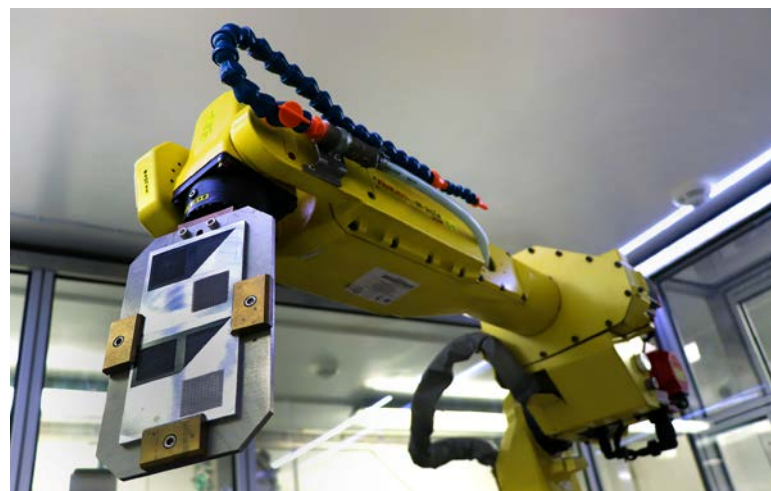
A na základě úspěchů s CV Řež jsme započali jednání s dalším subjektem – ČEZ, s nímž bychom v budoucnu velmi rádi řešili problematiku koroze za napětí svarů různorodých materiálů.

■ To ale zdaleka není vše, LSP se dá využívat i mimo energetiku a aerospace, že?

Ano, přesně tak to je, zabýváme se například zpracováním 3D tištěných

se touto problematikou zabývá dlouhodobě, dokázala vyvinout povlak, jenž nástroji zvýšil životnost násobně. Úpravami ale bylo dosaženo limitů technologie, samotným povlakem už není možné získat lepší výsledek z důvodu limitovaných vlastností základního materiálu. Pokusili jsme se tedy zkombinovat metodu LSP a následné povlakování, a to na první pokus hned se skvělým výsledkem.

Životnost kovací zápustky se nám podařilo ještě zdvojnásobit. Po ověření na dalších nástrojích jsme se proto se společností SHM pustili do mezinárodního projektu Delta 2, který je zaměřen právě na kombinování technologie LSP a PVD povlakování [*physical vapour deposition – technologie vytváření vrstev založená na odpaření nebo odprášení pevné látky v řízené atmosféře – pozn. red.*]. Nakonec spolupráce vyústila v založení spin-off společnosti Hi-Beams, která je z poloviny vlastněna firmou SHM a druhou polovinu vlastní Fyzikální ústav Akademie věd ČR. Nyní se těšíme na zajímavé technické výzvy, které budeme



Šestiosé robotické rameno Fanuc M-20iA / 20M využívané při aplikaci technologie LSP

dílců. Ale velmi zajímavou oblastí, kde lze technologii využít, je zpracování nástrojových materiálů pro obrábění i tváření. Naši první studii, kterou jsme v tomto segmentu provedli, bylo zpracování kovací zápustky, protože kovací zápustky mají všeobecně krátkou životnost. [*Zápustkové kování je strojní způsob tváření kovů, resp. kování, při němž se na kovací teplotu ohřátý polotovár vtlačí tlakovým rázem bucharu nebo tlakem lisu do zvláštní formy, zápustky – pozn. red.*] Společnost SHM, která

pomáhat řešit nabízenými technologiemi českým firmám.

■ V HiLASE se zabýváte i laserovým texturováním, v němž používáte unikátní laserové technologie. Čím jsou tak výjimečné?

Laser Surface Texturing (LST) je osvědčená technika zpracování povrchů za účelem dosažení určité funkce a náš přístup je jedinečný v tom, jaké laserové zdroje k ní vyvíjíme a používáme.

Dokončení na str. 16

Laser Shock Peening...

Dokončení ze str. 15

Pro texturování používáme laser, který lze zaostřit do několika desítek mikrometrů, a pikosekundové pulzy, při nichž už nedochází k tavení materiálu, nýbrž rovnou k jeho vypaření. To nám dává do rukou skutečně velmi přesný nástroj pro mikroobrábění. Naše lasery mají průměrný výkon stovky wattů, ale energie v pulzu se pohybuje v jednotkách milijoulů. Nicméně po dobu té jedné pikosekundy můžeme i s takto malou energií dosahovat špičkového výkonu v řádech gigawattů. Díky těmto parametrům jsme schopni zpracovávat materiál velice přesně bez velkého tepelného ovlivnění povrchu a s dodatečnými technikami dokážeme navíc získat detail v řádech stovek nanometrů. Díky laserovým zdrojům, které mají dostatečný výkon, dokážeme toto zpracování provádět i relativně rychle.

■ Máte i v tomto případě nějaké zajímavé spolupráce se soukromým sektorem?

Když se na površích dělají takovéto mikrostruktury, trvá to běžně hodiny a je to velmi nákladná záležitost. Proto jsme navázali spolupráci s izraelskou firmou Holo/or, která vyrábí optické elementy, umožňující rozdělení svazku. V rámci společného projektu s firmou Meopta-optika jsme testovali element, který dokáže rozdělit laser do 784 svazků při perfektní distribuci intenzity. Při této spolupráci Meopta vyvinula potřebnou procesní optiku již během zpracování.

Laser je rozdělen do matice svazků, kterou „obtiskneme“ na materiál a tím celý proces zrychlujeme 784×. Před nedávnem v Holo/oru vyvinuli novinku, s níž lze svazek rozdělit dokonce na 2 601 svazků. Už jsme element testovali a vypadá opravdu perfektně. Díky takovému množství svazků dokážeme enormně zrychlit celý proces texturace, čímž se výrazně přibližujeme k reálným požadavkům průmyslu.

V této chvíli neexistuje na světě žádná jiná společnost, která by toto dokázala. Naše výsledky v této oblasti publikujeme v odborných impaktovaných časopisech, konferencích a zároveň prezentujeme krátká videa na YouTube nebo LinkedInu.

■ Lze s dělením svazků ještě nějak dále pracovat?

Samozřejmě že lze. V laboratoři máme další velmi zajímavé zařízení, procesní optickou hlavu od firmy Pulsar Photonics. Ta dokáže svazek digitálně rozdělovat a upravovat. V praxi to znamená, že laser můžeme rozdělit na mnoho dílčích svazků a zároveň si definovat, které a kde mají být aktivní.

Nebo jednotlivé svazky můžeme uskupit do určitého tvaru, čímž se boří všechny zavedené konvence. Protože když byste chtěla stávající technologií vytvořit například písmeno, je nutné ho laserem celé obkreslit. Nyní lze svazek rozdělit, namodelovat do příslušného tvaru písmene a jednoduše jej obtisknout na povrch a stejně pokračovat i s dalším písmenem. Navíc je metoda velmi rychlá, zařízení je schopné změnit matice do jiného tvaru v 50 milisekundách.

Pomocí tohoto zařízení tak dokážeme vytvářet unikátní struktury, které bychom jinak vytvářeli velice obtížně. Dále nám to umožňuje pokračovat ve výzkumu jednoúčelových statických elementů, které jsou navrženy přímo pro konkrétní aplikaci na základě testů na této chytré optice.

Kristina Kadlas Blümelová
Foto: SSČ AV ČR

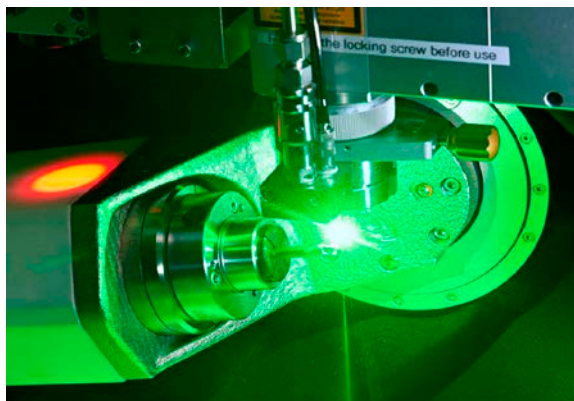
Zpracování diamantů a technické keramiky laserem

Polykrystalické diamanty a technická keramika jsou extrémně odolné proti opotřebení. Tato výhoda však může být i zásadní nevýhodou, pokud jde o zpracování těchto materiálů. Řešení nabízí laserové technologie.



Rostoucí rozmanitost materiálů představuje pro zpracovatele materiálů určité výzvy. Řezání, vrtání a strukturování slitin hliníku a hořčíku, kompozitních materiálů, slitin tvrdých kovů a plastů obsahujících

kovové částice vyžaduje extrémně otěruvzdorné a opotřebenívzdorné nástroje. Volbou jsou často synteticky vyráběné polykrystalické diamanty (PCD) a technická keramika. Kromě maximální odolnosti proti



oděru a opotřebení mají tyto ultratvrdé materiály další výhody, jako je nízká tepelná roztažnost a odolnost proti korozi. V dnešní době tyto materiály zajišťují trvalou přesnost a spolehlivost nástrojů a zároveň

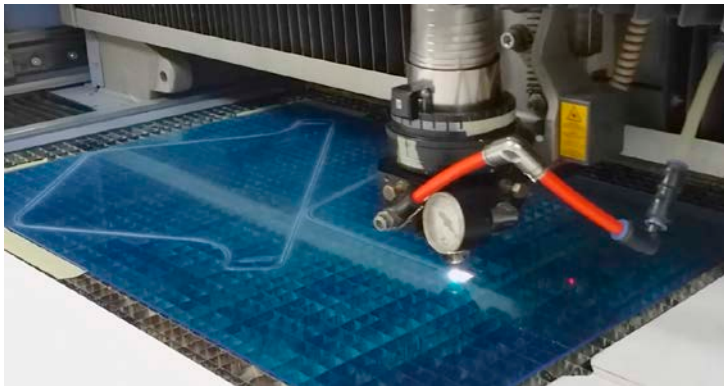
chrání vysoce namáhané povrchy ložisek, čerpadel a motorů proti opotřebení. A protože jsou tyto materiály biokompatibilní, zvyšuje se poptávka po vysoce odolné keramice také v lékařském inženýrství.

Spolu s výhodami PCD a technické keramiky pro výrobce nástrojů, čerpadel a ložisek však existuje také otázka, jak lze tyto materiály zpracovat, aniž by samy nezpůsobovaly extrémní opotřebení nástrojů potřebných k jejich tvarování. Odpovědí je laser. Například společnost II-VI nedávno představila laserový lapovací systém vyvinutý speciálně pro zpracování PCD a ultra tvrdých keramických materiálů. Podle II-VI je tato metoda přesného obrábění podporovaná laserem dvakrát účinnější a méně náchylná k chybám než stávající elektroerozivní obrábění (EDM) používané pro PCD a keramiku. Srdcem nového lapovacího systému je vzduchem chlazený 450W vláknový laser využívající vlnovou délkou 1 060 nm. ■

Lasery v neobvyklém prostředí

Průmyslové použití laserů se neomezuje pouze na kov, sklo a polovodiče. Laserová technologie se prosazuje také při zpracování textilu, kůže, papíru a dřeva.

pohovky či židle. CO₂ lasery od společnosti Luxinar se však ve skutečnosti čím dál častěji používají při šití kůže a textilií a strukturování určitých vzorů.



Laserová technologie není zrovna první věc, která vám přijde na mysl, když si vzpomenete na džíny, trička nebo kožené boty, bundy,



Ať už jde o kůži, bavlnu, polyester, hedvábí, neopren, plst, nylon, nebo rouno, na všechny materiály se k řezání používají lasery, s jejichž pomocí lze rychle a v reprodukovatelné kvalitě vytvářet vysoce složité vzory. Řezané hrany se netřepí a snížen je dopad na životní prostředí. Tyto výhody nejsou užitečné pouze v módním a nábytkářském průmyslu, ale také pro výrobu automobilů. Počítají s tím, že lasery nařezají látkové a kožené potahy sedadel, bezpečnostní pásy a textilní střešní obložení a koberce na správnou velikost. ■

Ultrakrátké pulsy a laserové procesy vedené vodním paprskem

Na laserové zpracování vysoce odolné keramiky se zaměřuje také Fraunhoferův ústav ILT v Cáchách společně s Pulsar Photonics (spin-off ILT založený v roce 2013). Vědci z ILT a Pulsaru používají technologii ultrakrátkého pulzu (USP) k prevenci mikrotrhlin a odlupování při zpracování křehkých materiálů. Pomocí piko- a femtosekundových laserů vytvářejí drobné otvory, struktury a řezy v technické keramice, jako je nitrid křemíku, hliník a oxid zirkoničitý a oxid titaničitý. I když jsou to materiály extrémně tvrdé, probíhá jejich bezkontaktní zpracování prakticky bez opotřebení. ILT tvrdí, že pikosekundové laserové pulsy jsou velmi produktivní jak z pohledu úběru materiálu, tak z hlediska kvality keramického zpracování.

Jako alternativu k metodám USP používá švýcarská specialistka Synova pro zpracování polykrystalických a monokrystalických diamantů (PCD, MCD) vlastní metodu Laser MicroJet (LMJ). V těchto systémech (po celém světě je jich využíváno už více než 350) je laserový paprsek zaostřen do trysky při průchodu tlakovou vodní komorou, kde je spojen vodním paprskem o velikosti 50 μm. Optické vlákno a vodní paprsek udrží laserový paprsek

v přesném nasměrování na obrobek. Synova vysvětluje tento jev úplným vnitřním odrazem v přechodové zóně mezi vodou a vzduchem. Při srážce s vrstvami PCD nebo MCD 25W až 30W laserové pulsy materiál odpařují, zatímco voda ho ochla-

Vědci z Fraunhoferova ústavu ILT v Cáchách společně s Pulsar Photonics používají technologii ultrakrátkého pulzu (USP) k prevenci mikrotrhlin a odlupování při zpracování křehkých materiálů.

zuje a odplavuje veškerý odstraněný materiál z oblasti zpracování. Válcový laserový paprsek je přitom schopen do struktury drahého kamene v případě potřeby pronikat i několik centimetrů hluboko. LMJ se používá nejen pro technické diamanty, ale také ke zpracování surových diamantů, kamenů a dalších šperků. I zde bezkontaktní laserové zpracování přináší optimální výsledky s minimálním opotřebením. ■

POUŽITÍ LASERŮ V POTRAVINÁŘSKÉM, TISKAŘSKÉM A OBALOVÉM PRŮMYSLU

Laserové značení také zajišťuje sledovatelnost v potravinářském průmyslu. Jatka například používají CO₂ lasery k vybavení hovězího a vepřového masa čárovými kódy pro sledovací systémy.

Moderní laserová technologie také zvyšuje trvanlivost zboží podléhajícího rychlé zkáze. Balení v modifikované atmosféře (MAP – *modified atmosphere packaging*) mini-

malizuje rozklad a oxidaci. Obalová fólie vyžaduje specificky upravenou ventilaci v závislosti na tom, jak moc „dýchá“ balené zboží. Laserové systémy mohou tohoto úkolu dosáhnout také perforací obalu malými ventilačními otvory, které lidské oko jen stěží postřehne.

Výrobci obalů také používají laserovou technologii ke zpracování a značení papíru, lepenky, fólie

a dřeva. Například když se lasery používají pro vysoce přesné gravírování tiskových desek a tiskových válců, které na obal aplikují dekorativní a informativní tisky. Nebo když CO₂ laserové řezací nástroje od výrobců, jako je Trotec, řezou a perforují obaly se složitými vzory.

Lasery se také používají k označování štítků a produktů individuálními sériovými čísly nebo QR kódy. Moder-

ní CO₂ lasery je aplikují na materiál pomocí neviditelných infračervených paprsků s vlnovými délkami mezi 9,3 a 10,6 μm a rychlostí až 1 200 znaků za sekundu. Lidské oko takové značení často ani nepostřehne, řízení procesu je tedy ponecháno fotonice, monitorování se provádí za pomoci zobrazovacích systémů.

Stranu připravil /pk/