

VLIV PROCESNÍCH PARAMETRŮ NA ŘEZÁNÍ NĚKTERÝCH KOVŮ PULSNÍM ND:YAG LASEREM

ŘIHÁKOVÁ Lenka – CHMELÍČKOVÁ Hana – TOMÁŠTÍK Jan, ČR

Resumé

Příspěvek popisuje pulsní laserové řezání a zaměřuje se na vliv parametrů procesu na šířku a kvalitu řezné spáry. Tyto parametry zahrnují výkon laseru, rychlost procesu a tlak pracovního plynu. K hodnocení vzorků byla použita konfokální mikroskopie.

Klíčová slova: laser, pulsní řezání, šířka spáry

INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON PULSED ND:YAG LASER CUTTING OF SOME METALS

Abstract

This article describes pulsed laser cutting and focuses on the effect of process parameters on the kerf width and its quality. These parameters include output power, cutting speed and assist gas pressure. Confocal microscopy was used for samples analyze.

Key words: laser, pulsed cutting, kerf width

Úvod

Laserové řezání kovových i nekovových materiálů nabízí značné výhody oproti řezání konvenčnímu díky vysoké přesnosti, flexibilitě, krátké době opracování a nízké ceně. Parametry laseru, zejména výstupní výkon, průměr svazku, řezná rychlost, pracovní plyn a jeho tlak ovlivňují složité fyzikální procesy probíhající v místě řezu, což se projevuje ve výsledné kvalitě řezu. Proto studium vlivu parametrů na kvalitu řezu a výběr optimálních hodnot pro daný materiál je důležitou součástí pracovního postupu [1].

Pulsní Nd:YAG laser je vhodný pro řezání tenkých kovových plechů a pro aplikace, které vyžadují úzkou šířku spáry, malou tepelně ovlivněnou oblast (HAZ) a složitý profil řezu. Pracoviště Společné laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR se laserovým řezáním zabývá několik let a provedlo řadu experimentů na laserovém systému LASAG. Na základě získaných poznatků jsou připravovány laboratorní úlohy pro studenty fyzikálních oborů.

1. Řezání pulsními lasery

Konvenční průmyslové lasery s nanosekundovými a delšími pulsy řezou materiál prostřednictvím mechanismu tepelné depozice, která vyústí v tavení a spalování materiálu. Tyto lasery jsou však ve svých aplikacích omezeny, jelikož vysoká energie v pulsu může indukovat vznik mikroprasklin v obrobku, které způsobují defekty v opracovaném materiálu. Souvislý řez je dosažen vhodnou kombinací frekvence pulsu a rychlosti, která zaručuje dostatečné procento překrytí. Průměrný výkon je dán součinem energie pulsu a frekvence a na rozdíl od režimu kontinuálního je dále potřeba nastavit vhodný výkon vrcholový jako podíl energie pulsu a jeho délky, která se pohybuje od 0,1 ms do 0,3 ms v závislosti na síle materiálu. Podmínkou pro dosažení úplného prořezu materiálu je dostatečná hustota vrcholového výkonu v rozmezí ($10^6 - 10^8$) W/cm², koncentrovaná v ohnisku laserového svazku o průměru 0,02 mm – 0,3 mm. Mezi základní charakteristiky řezání laserem patří rychlost řezání, kvalita řezu a šířka řezné spáry [1].

2. Experiment

K řezání vybraných kovů byl použit pulsní Nd:YAG laser KLS 246-102 LASAG, emitující záření o vlnové délce 1064 nm s konfigurací rezonátoru, zajišťující kvalitu svazku BPP = 4 mm/mrad a teoretický průměr svazku 0,2 mm. Rychlost posuvu v , výkon P a tlak pracovního plynu p jsou hlavními parametry, které ovlivňují kvalitu řezání. Poměr výkonu a rychlosti procesu se označuje jako teplo dodané materiálu na jednotku délky

$$H = \frac{P}{v}. \quad (1)$$

Pro experiment byly použity plechy o síle 0,1 mm z vysokouhlíkové oceli 1.1248 (CK 75), nerez oceli 1.4310 (AISI 301) a bronz CuSn6. Kvalita řezu, šířka spáry a šířka natavené oblasti podél hrany řezu byly studovány v závislosti na energii pulsu E , rychlosti procesu v a tlaku pracovního plynu (stlačeného vzduchu) p . Cílem experimentu bylo zjistit, při jakých hodnotách těchto parametrů dochází k úplnému prořezu a jaké jsou jejich optimální hodnoty pro získání kvalitního řezu, pro který jsou typické vertikální drážky po výfuku taveniny pracovním plynem a hladká spodní hrana bez okují. Parametry procesu jsou uvedeny v tab. 1. Průměr svazku v ohnisku D , délka pulsu t a frekvence pulsu f zůstaly konstantní po celou dobu experimentu. Pracovní rychlost v případě řezání v pulsním režimu je dána vztahem

$$v = fD(1 - pp), \quad (2)$$

kde pp značí procento překrytí laserových stop. Rychlost procesu 12 mm/s byla vypočtena pro zajištění 80% překrytí stop.

D (mm)	E (mJ)	t (ms)	f (Hz)	P (W)	v (mm/s)	H (J/mm)	p (MPa)
0,2	38	0,15	375	14,0	12	1,167	0,5
0,2	45	0,15	375	16,5	12	1,375	0,5
0,2	50	0,15	375	18,4	12	1,533	0,5
0,2	53	0,15	375	20,0	12	1,667	0,5
0,2	60	0,15	375	22,5	12	1,875	0,5
0,2	72	0,15	375	27,0	12	2,250	0,5

Tabulka 1: Parametry procesu

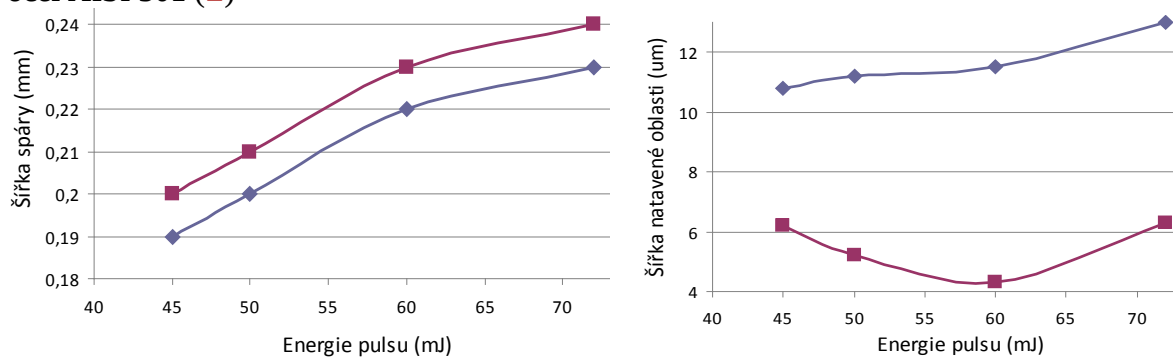
V první části experimentu byl prováděn řez v závislosti na zvyšující se energii pulsu, při konstantní rychlosti procesu 12 mm/s a tlaku plynu 0,5 MPa. V druhé části experimentu byla energie pulsu ponechána na 60 mJ po celou dobu procesu a veličina H klesala s rostoucí pracovní rychlostí, čímž se snižovalo i procento překrytí z 90 % až na 58 %. A v třetí části experimentu byl při konstantní energii pulsu 60 mJ a rychlosti procesu 12 mm/s postupně o desetinu snižován tlak plynu z hodnoty 0,7 MPa až po úplné vypnutí působení plynu.

3. Vyhodnocení experimentu

Vzorky byly zobrazovány pomocí laserového konfokálního řádkovacího mikroskopu LEXT OLS3100, který současně umožňuje měření vzdáleností, konkrétně šířku spáry a natavené oblasti. V případě bronzu nedošlo k prořezu ani při zvýšení energie pulsu na 90 mJ a snížení rychlosti na 2 mm/s z důvodu nízkého koeficientu absorpce v blízké IR oblasti. V oceli CK 75 nebyl řez vytvořen nejnižší hodnotou energie pulsu 38 mJ. S rostoucí energií pulsu se zvětšovala šířka spáry u obou typů ocelí (obr. 1) díky natavení většího množství materiálu. S rostoucí rychlostí i s klesajícím tlakem při konstantní energii se šířka spáry u oceli CK 75 neměnila. Při vysoké rychlosti procesu (25 mm/s) již nebyl řez kompletní a bez působení plynu nedošlo k prořezu materiálu vůbec. Vlivem rostoucí rychlosti procesu se šířka spáry oceli AISI 301 neměnila, ale na rozdíl od oceli CK 75 s rostoucím tlakem při konstantní

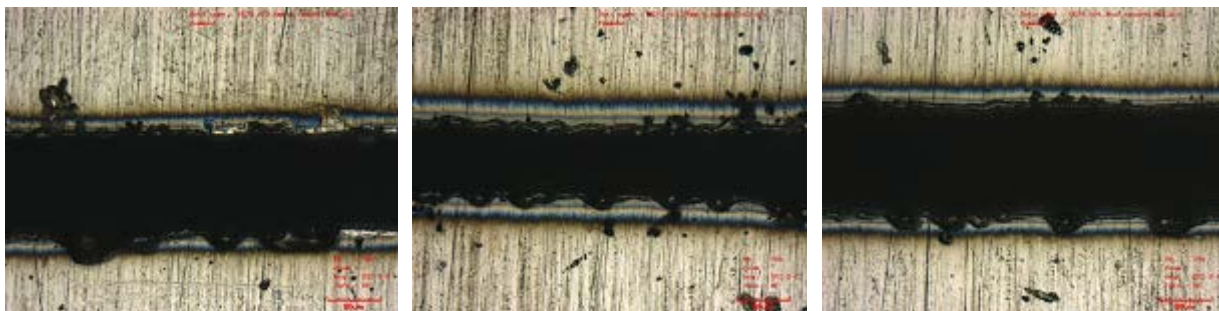
energii rostla v intervalu nízkých tlaků. Tlaku 0,1 MPa odpovídala šířka spáry 0,14 mm, tlaku 0,2 MPa 0,17 mm, od hodnoty tlaku 0,3 MPa se šířka 0,22 mm dále nezvětšovala. Šířka natavené oblasti pro ocel CK 75 rostla s rostoucí energií pulsu a byla větší než u oceli AISI 301, pro kterou naopak rostoucí tendence šířky natavené oblasti v závislosti na energii pulsu nebyla prokázána (obr. 1). Nejnižší hodnota 4,3 μm byla zjištěna pro energii 60 mJ, ostatní hodnoty nepřesáhly 7 μm . S rostoucím tlakem pracovního plynu šířka natavené oblasti u obou ocelí klesala a její hodnoty pro ocel CK 75 se pohybovaly v rozmezí 16,0 μm až 13,3 μm a pro ocel AISI 301 od 9,5 μm po 4,7 μm , závislost na rychlosti procesu pozorována nebyla.

Obr. 1: Závislost šířky spáry a šířky natavené oblasti na energii pulsu pro ocel CK 75 (♦) a ocel AISI 301 (■)



Kvalita řezu při konstantní energii velmi závisela na rychlosti procesu a tlaku plynu. Zatímco vrchní strany řezů jsou relativně hladké pro všechny hodnoty, na spodní straně se při nevhodných parametrech objevují okuje (obr. 2). Snižování rychlosti při konstantním tlaku 0,5 MPa zvyšuje vstup tepla a způsobuje depozici okujů na spodní straně řezu (vlevo). Vysoká rychlost také vedla k větší tvorbě okujů z důvodu nedostatečného interakčního času (uprostřed). Snižování tlaku pod 0,5 MPa při konstantní veličině H redukuje kvalitu řezu díky nedostatečné rychlosti toku plynu (vpravo).

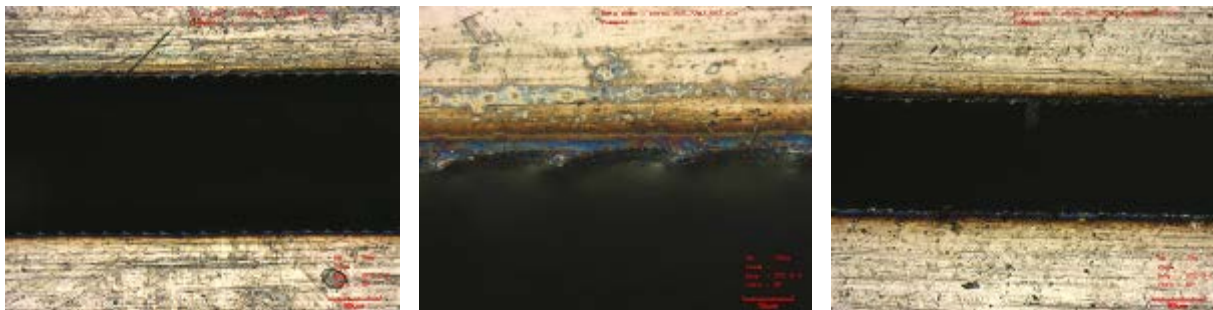
Obr. 2: Spára řezu zdola u oceli CK 75 ($E = 60$ mJ, $p = 0,5$ MPa, $v = 6$ mm/s, vlevo), ($E = 60$ mJ, $p = 0,5$ MPa, $v = 20$ mm/s, uprostřed), ($E = 60$ mJ, $p = 0,3$ MPa, $v = 12$ mm/s, vpravo).



Jako optimální parametry pro laserové řezání vybraných druhů ocelí o síle 0,1 mm byly vyhodnoceny energie pulsu 72 mJ, rychlost procesu 12 mm/s, tlak plynu 0,5 MPa a vstup tepla $H = 1,875$ J/mm, při jejichž použití na spodní straně nevznikaly okuje (obr. 3 vpravo). Na hranách řezu byla viditelná vlnění způsobená překrytím stop při pulsním řezání. Tato vlnění byla výraznější v případě oceli AISI 301. Jak hodnota pp s rostoucí rychlostí klesá, vlnění na hraně řezu se zvyšuje, a i když jsou parametry laseru optimální, může být kvalita

řezu značně snížena díky nedostatečnému překrytí. Formace vlnění je dobře viditelná na obr. 3 uprostřed, který zobrazuje vrchní spáru řezu oceli AISI 301 s 80% překrytím.

Obr. 3: Spára řezu shora při zvětšení 480x (vlevo), zvětšení 2 400x (uprostřed) a zdola při zvětšení 480x (vpravo) u oceli AISI 301 ($E = 72 \text{ mJ}$, $v = 12 \text{ mm/s}$ a $p = 0,5 \text{ MPa}$).



Závěr

Príspevek se zabývá demonstrací vlivu hlavních procesních parametrů laserového termálního řezání v pulsním režimu (energie laserového pulsu, rychlost řezání, tlak pracovního plynu) na výslednou kvalitu řezu u vybraných druhů tenkých ocelových plechů, která byla vyhodnocena konfokální mikroskopií. I při použití optimálních hodnot byla zjištěna podél hrany řezu natavená oblast. Tento jev je v praxi eliminován laserovým mikroobráběním založeným na odstranění materiálu ultra krátkými intenzivními pulsy mechanismem atermální ablace s vysokou účinností a přesností procesu bez významné tepelné degradace okolí [2].

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu AFNET - Otevřená síť partnerství na bázi aplikované fyziky CZ.1.07/2.4.00/17.0014 a projektu TA ČR Moderní multivrstvé optické systémy č. TA01010517.

Literatura

- 1 ION, J. C. *Laser Processing of Engineering materials*. Burlington: Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-6079-1
- 2 DAHOTRE, N. B., HARIMKAR, S. P. *Laser Fabrication and Machining of Materials*. New York: Springer, 2008. ISBN 978-0-387-72343-3

Lektoroval: **doc. Ing. Luděk Bartoněk, Ph.D.**

Kontaktní adresa:

Lenka Řiháková, Mgr.,
Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Přírodovědecká fakulta UP, 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc, ČR, tel. 00420 585 631 677, e-mail: lenka.rihakova@upol.cz

Hana Chmelíčková, RNDr.,
Fyzikální ústav AV ČR, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc, ČR, tel. 00420 585 631 516, e-mail: hana.chmelickova@upol.cz

Jan Tomáščík, Mgr.,
Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Přírodovědecká fakulta UP, 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc, ČR, tel. 00420 585 631 573, e-mail: jan.tomastik@upol.cz