

HODNOTENIE KVALITY RENOVAČNÝCH VRSTIEV V TRIBOLOGICKÝCH PODMIENKACH

prof. Ing. Janette Brezinová, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka
fakulta, Katedra technológie, materiálov a
počítačom podporovanej výroby
Masiarska 74, 04001 Kosice
e-mail: janette.brezinova@tuke.sk

Ing. Henrich Sailer

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka
fakulta, Katedra technológie, materiálov a
počítačom podporovanej výroby
Masiarska 74, 04001 Kosice
e-mail: henrich.sailer@tuke.sk

Abstract

Formy určené na vysokotlakové liatie hliníka sú pri svojej prevádzke vystavené veľmi intenzívnemu tepelnému, mechanickému, ale aj chemickému namáhaniu. Toto namáhanie vedie k synergickému efektu kombinácie vysokoteplotných korózných procesov v roztavených kovoch, v reálnych podmienkach spojených s mechanickým opotrebovaním. Vysokoteplotná korózia v prostredí tekutých kovov vzniká v zlievarenskom priemysle, pri odlievaní roztaveného kovu najčastejšie do ocelových foriem. Opravy opotrebovaných častí foriem zvaraním, ktoré je možné vykonávať aj po ich nenávratnej povrchovej degradácii, sú veľmi efektívnou, cenovo výhodnou a ekologicky prijateľnou formou ich údržby, pričom chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami sú zvarané vrstvy, ak presahujú vlastnosti pôvodného materiálu.

Key words: Tlakové liatie, poškodenie povrchu, odlievacie formy, roztavený hliník, opláštenie, vysokoteplotná korózia, laser, MIG Puls

ÚVOD

High Pressure Die Casting (HDPC), alebo vysokotlakové liatie je technologický proces široko využívaný pre odlievanie tvarovo zložitých hliníkových odliatkov, spájaný hlavne s automobilovým priemyslom. V tomto procese je roztavený kov s teplotou 670-710 °C vtláčaný do dutín foriem plniacimi rýchlosťami 30-100 m/s, pod tlakmi pohybujúcimi sa v rozmedzí 40-80 MPa [1]. Toto zaťaženie v kombinácii s korozívnymi vlastnosťami tekutého hliníka, vedie k aluminizácii alebo oxidácii povrchu foriem, pri ktorej dochádza k tepelnej únave povrchov nasledovanej ich praskaním, spájkovaním a erozívnym opotrebením. Životnosť matric foriem, vyrobených z ocelových zliatin je približne 100 000 cyklov a dá sa zvýšiť buď tepelným spracovaním, nanášaním tenkých povlakov alebo naváraním [2-4]. V súčasnej dobe

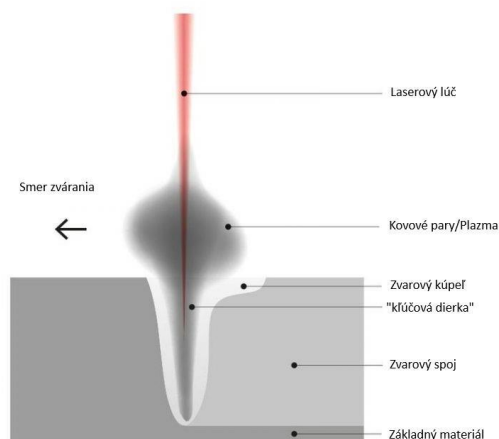
sa do popredia čoraz viac dostáva problematika povrchových úprav rôznych materiálov. Ponúka úsporu strategických materiálov a zároveň umožňuje vyrábať komponenty so špecifickými povrchovými a objemovými vlastnosťami [5-6]. Pretože sú zdroje obmedzené konvenčnými technológiami je čoraz ťažšie uspokojiť pokročilejšie potreby zákazníkov. Existuje mnoho metód pre úpravu substrátu, avšak povlaky vyvinuté napríklad pomocou techník elektrostatického, chemického, fyzikálneho nanášania majú oproti tým naváraním nižšiu pevnosť spojenia zo základným materiálom alebo veľmi malú reprodukovateľnosť. Repasovanie opotrebovaných častí strojov je veľmi efektívna a ekologicky prijateľná forma ich údržby. Táto možnosť môže znížiť vplyv na životné prostredie počas celého životného cyklu súčiastky až o 63,8% [7].

Naváranie laserom

Naváranie laserom je technológia používaná pre vytváranie povlakových vrstiev so zlepšenými vlastnosťami, alebo na obnovu chýb opotrebovaných častí povrchových aj základných vrstiev súčiastok. Vďaka vysokej hustote energie a relatívne malej tepelne ovplyvnenej oblasti, je táto metóda vhodná na spracovanie širokej škály materiálov [8]. Uplatňuje sa najmä v automobilovom, leteckom, lekárskom, jadrovom a ropnom priemysle. V leteckom priemysle má naváranie vrstiev na hliníkové zliatiny pre zlepšenie ich povrchových vlastností, čoraz väčší potenciál.

Táto technológia využíva vysoko koncentrované vlnenie svetla, sústredené do určitého bodu [9]. V oblasti zasiahnutej laserovým lúčom dochádza k rozpadu atomárnych väzieb, čo zapríčiňuje jej ohrev. Tri najbežnejšie druhy laserov používané v laserových zvaracích zariadeniach sú plynové, polovodičové a vláknové [10]. Laserový lúč je do zvaracieho zariadenia vedený jedným alebo viacerými optickými vláknami sústredených do jedného bodu. S každým pridaným vláknom, narastá aj intenzita laserového lúča. Pred tým než laserový lúč opustí zvaracie zariadenie sa často používa kombinácia kolimátorovej a zaostrovacej šošovky, ktoré toto žiarenie usmernia do veľmi malej oblasti [11]. Dôležitou súčasťou laserového zvaracieho zariadenia je aj dýza privádzajúca plyn ochrannej atmosféry, najčastejšie CO₂. tento plyn bráni v kontakte medzi zvarovým kúpeľom a atmosférou [12]. Ďalšou možnosťou je zvaranie laserom bez ochrannej atmosféry, napríklad pri zvaraní plastov. Zvaranie vo vákuu je síce možné

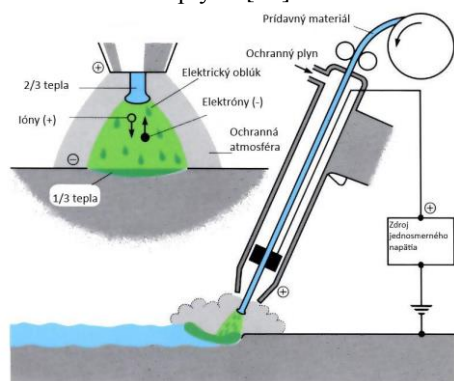
ale ťažko použiteľné, pre vysoké nároky na konštrukciu zvaracieho zariadenia [13].



obr.1 Schematické znázornenie zvarovania laserovým lúčom

Naváranie metódou MIG/MAG (GMAW)

Naváranie metódou MIG/MAG je v súčasnosti poprednou metódou vo väčšine priemyselných odvetví. Gas metal arc welding (GMAW) tiež označované ako metal inert gas (MIG) ak je ochranný plyn inertný, alebo metal active gas (MAG) s aktívnym ochranným plynom [14]. Hlavnou výhodou danej technológie je jej flexibilita. Konštrukcia zvaracieho zariadenia umožňuje zvarovanie vo všetkých polohách, zvarovať povrchovo upravené kovy ako napríklad oceľ potiahnutú zinkom, ako aj všetky bežne vyskytujúce materiály ako sú nehrdzavejúca oceľ, zliatiny hliníka, medi, niklu a podobne [15]. Nevýhodou je jej obmedzené použitie v exteriéri, kde môže dochádzať v dôsledku prúdenia vzduch k odfukovaniu ochranného plynu [16].



obr. 2 Schematické znázornenie metódy MIG/MAG

Princíp metódy MIG/MAG spočíva v horení elektrického oblúka medzi kontinuálne privádzanou taviacou sa elektródou a zvaraným materiálom [17]. Navárací drôt je navinutý na cievke, z ktorej je cez systém hnacích valčekov

privádzaný do zvaracej pištole. Elektrické napätie je privádzané na elektródu cez kontaktnú hubicu, ktorá je väčšinou pripojená ku kladnému pólu zdroja, zatiaľ čo obrobok je pripojený k zápornému pólu. Ochranný plyn je privádzaný plynovou dýzou, obklopujúcou kontaktnú hubicu. Pri zvýšenom zaťažení 300 – 500 A je zvaracia pištoľ obvykle chladená vodou. Prídavný materiál vo forme drôtu sa delí na 2 základné skupiny [18]. Prvou je plný drôt určený pre zvarovanie inertnými aj aktívnymi plynmi v priemeroch 0,6 – 2,4mm. Takéto drôty sú najmä ak sa jedná o väčšie priemery potiahnuté aj tenkou vrstvou medi, kvôli zvýšenému napájaciemu výkonu. Druhou skupinou sú drôty z jadrom, ktoré pozostávajú z kovového vonkajšieho plášťa, obalujúceho tavidu, alebo kovový prášok nachádzajúci sa v jadre elektródy [19]. takéto elektródy sa používajú najmä pri zvaraní hrubších plechov, pri zaoblených a tupých zvaroch, alebo pri zvaraní s robotmi v horizontálnej polohe. Použitie týchto drôtov zvyšuje odolnosť zvarov voči praskaniu, zabezpečujú hlbší prienik do zvaraného materiálu, zvyšujú rozsah použiteľnosti zvaracieho zariadenia [20]. Nevýhodou je vyššia cena, dokončovacie operácie zvarových plôch a zvýšená produkcia škodlivých výparov.

Metodika experimentu

Na výrobu nižšie uvedených vzoriek boli použité dve rôzne technológie, pričom cieľom práce bolo zistiť vplyv jednotlivých technológií nielen na kvalitu, ale aj chemické zloženie zvarov a minimalizáciu tepelne ovplyvnenej oblasti. Každá z nižšie uvedených technológií má iný tepelný príkon, ktorý sa okrem kvality zvaru prejavuje aj v miere premiešania základného materiálu so zvarovým kovom.

Na prídavný materiál boli nanosené dve vzorky kotúčového laserového navárania (vzorka 01), MIG Pulse (vzorka 03). Vzorové zvary s označením 01, 03 boli nanosené na substrát z niklovo - chróm - molybdén - vanádievej ocele 1.2714, DIN - 56NiCrMoV7. Ako prídavný materiál bol použitý zvarací drôt Uddeholm Dievar 1.2344, DIN - X40CrMoV51 s priemerom 1,2 mm. Na vzorkách boli vykonané kolíkové testy a krivky tvrdosti.

Návary boli aplikované na vzorky dvoch základných materiálov. Na základnom materiáli nikl - chróm - molybdén vanádiová oceľ 1.2714, DIN - 56NiCrMoV7, s tvrdosťou 44 HRC Tab. 1

tab. 1 Chemické zloženie základného materiálu

Prvok	C	Mn	Si	P	Cr
hm. [%]	0,397	0,72	0,238	0,004	0,969
Prvok	Fe	Ni	Mo	V	W
hm. [%]	95,76	1,253	0,438	0,089	0,12

Ako prídavný materiál na tvorbu zvaracích vrstiev bol použitý zvarací drôt UddeholmDievar

1.2344, DIN-X40CrMoV51 s priemerom 1,2 mm a tvrdosťou 51 HRC [8].

tab. 2 Chemické zloženie prídavného materiálu

Prvok	C	Cr	Si	Mo	Mn	V
hm. [%]	0,35	5,00	0,20	2,30	0,50	0,60

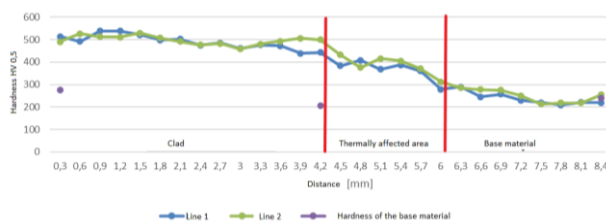
tab. 3 Parametre navárania Diskovým laserom

Technológia navárania	Diskový laser
Zváracie zariadenie	Polovodičový diskový laser TruDisk 4002 so zaoštrovaním BEO D70
Ohnisková vzdialenosť	200 mm
Výkon lasera	1.8 kW
Priemer optického vlákna	400 μm
Rýchlosť zvarovania	10 mm. s ⁻¹
Zaoštrovanie	- +6 mm
Rýchlosť podávania drôtu	70 cm. min ⁻¹
Prietok ochranného plynu	Ar 30 l. min ⁻¹

tab. 4 Parametre navárania technológiou Mig Pulse

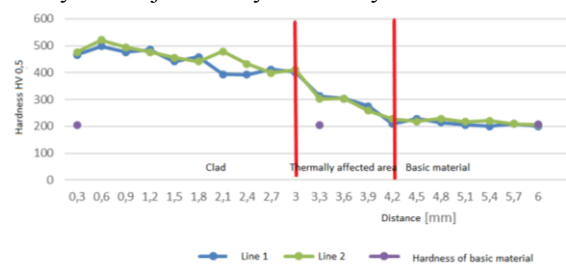
Technológia navárania	Naváranie Mig Pulse
Zváracie zariadenie	Zvárací zdroj Fronius TPS600i
Zvárací prúd	196 A
Zváracie napätie	23.8 V
Rýchlosť podávania drôtu	6.5 m. min ⁻¹
Rýchlosť zvarovania	8 mm. s ⁻¹
Korekcia dĺžky oblúka	3
Korekcia pulzu/dynamiky	0.0
Prietok ochranného plynu	Ar 30 l. min ⁻¹
Predhrievanie základného materiálu	Základný materiál bol pred naváraním predhriaty na 300 °C
Dištančný horák plechu	19 mm

VÝSLEDKY



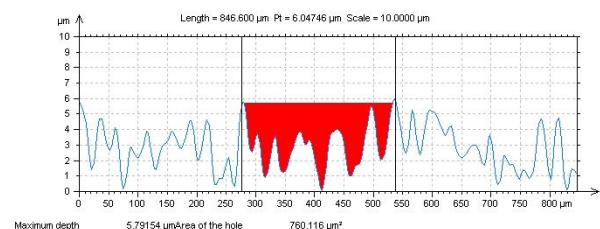
obr. 3. Graf zobrazuje jednotlivé hodnoty tvrdosti zvarov namerané v dvoch riadkoch a hodnotu

tvrdosti základného materiálu na vzorke 01, vytvorenej kotúčovým laserovým zvaraním

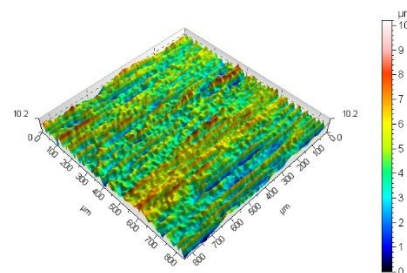


obr. 4 Graf zobrazuje jednotlivé hodnoty tvrdosti namerané v dvoch riadkoch a hodnotu tvrdosti základného materiálu na vzorke 03, vytvorenej technológiou MIG Pulse

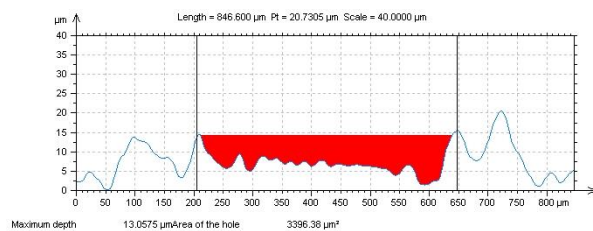
Keďže pri meraní tvrdosti bol jeden krok 0,3 mm, hrúbky zvarov sa pohybovali od 2,8 do 4,7 mm. Zvar 01 mal priemernú hodnotu tvrdosti v rozmedzí 450-500 HV_{0,5}. Vo vzorke 03, vid'. Na obrázku 5 bolo vykonaných 20 meraní, pričom priemerná hodnota tvrdosti zvarového kovu bola v rozmedzí 400-500 HV_{0,5}. Z toho, že tvrdosť všetkých vzoriek je v rozmedzí 500 HV_{0,5} je zrejmé, že odpadlo miešanie základného materiálu a zvarového kovu, preto ani pri jednom spôsobe nie je potrebné pri zvaraní nanášať ďalšiu vrstvu. Pri zvare 03 (MIG Pulse) bola šírka tepelne ovplyvnenej zóny okolo 1,2 mm. širšia tepelne ovplyvnená oblasť bola zaznamenaná kotúčovým laserovým zvaraním na vzorke označenej 01, ktorej šírka bola okolo 1,8 mm.



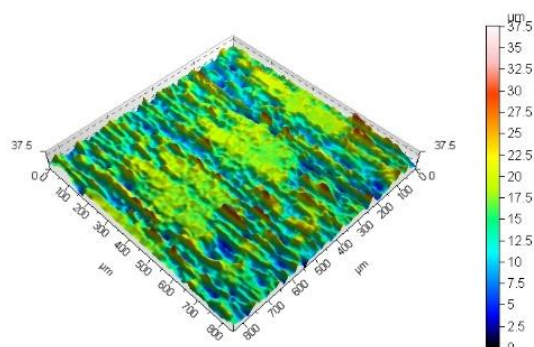
obr. 5 Schéma stopy opotrebenia tribo na vzorke 01 vytvorenej testom Pin-on-Disc



obr. 6 3D obrázok stopy opotrebenia tribo na vzorke 01 vyrobenej testom Pin-on-Disc



obr. 7 Schéma stopy opotrebenia tribo na vzorke 03 vyrobenej testom Pin-on-Disc



obr. 8 3D obrázok stopy opotrebovania tribo na vzorke 03 vytvorenej testom Pin-on-Disc

Porovnanie povrchu povlaku vzorky 01 (pozri obrázok 6) s povrchom povlaku vzorky 03 (pozri obrázok 8) ukázalo, že stopa opotrebovania tohto povlaku bola oveľa plytšia a hladšia a že sa materiál povlaku posunul od stredu do strán stopy opotrebovania bola menej výrazná.

ZÁVER

Predkladaný článok je zameraný na analýzu kvality dvoch typov návarov určených na renováciu foriem pri vysokotlakovom odlievaní hliníka. Na výrobu skúšobných telies boli použité dve rôzne technológie navárania a kotúčového laserového navárania a pulzné zváranie MIG. Vo všetkých vzorkách bol ako doplnkový materiál použitý zvärací drôt UddeholmDeivar 1.2344 z dôvodu, že tento materiál sa používa pri obnove a renovácii funkčných častí foriem, na tlakové liatie hliníka. V teoretickej časti je charakterizovaná problematika a mechanizmy opotrebovania matrice foriem pre vysokotlakové liatie hliníka spolu s prehľadom zväracích technológií používaných pri tvorbe zvarových vrstiev v rôznych priemyselných odvetviach. Experimentálna časť bola zameraná na zistenie kvality vyššie uvedených navarov. Kvalita zvarov sa posudzovala na základe tepelne ovplyvnenej zóny, ktorá sa zisťovala z priebehu grafov, pri meraní tvrdosti. Tribologické parametre zvarov boli skúmané pomocou testu Pin-on-disc. Z merania tvrdosti jednotlivých vzoriek je možné

vydedukovať, že najužšia tepelne ovplyvnená oblasť mala zvar označený 03, vytvorený metódou Mig Pulse. Najširšia tepelne ovplyvnená oblasť bola zaznamenaná na vzorke označenej 01, vytvorenej diskovým laserom. Na základe testu Pin-on-disc je možné použiť, že vzorka 03 je oveľa hladšia a posun poťahového materiálu od stredu k opotrebovaným stranám bol menej výrazný. Na základe realizovaných experimentálnych prác je možné tieto technológie odporučiť v praxi za účelom renovácie foriem. Lepšie výsledky boli dosiahnuté so vzorkou návaru 3 s označením Mig Pulse.

Pod'akovanie:

Táto práca bola podporená vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR VEGA 1/0497/20 „Výskum kombinovaných technológií spájania rôznorodých materiálov pre automobilový priemysel“ a APVV-20-0303.

Literatúra

- [1] Changrong Chen et al.: Energy based approach to thermal fatigue life of tool steels for die casting dies. In: International Journal of Fatigue Volume 92, Part 1, November 2016, Pages 166-178.
- [2] J. Lin et al.: Design methodology for optimized die coatings: The case for aluminum pressure die-casting In: Surface and Coatings Technology 201 (2006) pp. 2930–2941.
- [3] K. Domkin, J.H. Hattel, J. Thorborg, Modeling of high temperature- and diffusion-controlled die soldering in aluminum high pressure die casting, J. Mater. Process. Technol. 209 (8) (2009) 4051–4061.
- [4] Sundqvist M., Hogmark S.: Effects of liquid aluminium on hot-work tool steel Tribol. Int. 26 (1993) in International Journal of Fatigue p. 129.
- [5] H. Zhu, J. Guo, J. Jia, Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting, J. Mater. Process. Technol. 123 (2) (2002) 229–235.
- [6] Z.W. Chen, M.Z. Jahedi, Die erosion and its effect on soldering formation in high pressure die casting of aluminium alloys, Mater. Des. 20 (6) (1999) 303–309.
- [7] K. Venkatesan, R. Shivpuri, Experimental and numerical investigation of the effect of process parameters on the erosive wear of die casting dies, J. Mater. Eng. Perform. 4 (2) (1995) 166–174. R. Markežič et al. Engineering Failure Analysis 95 (2019) 171–180179.
- [8] A Mohammed, M.B. Marshall, R. Lewis, Development of a method for assessing erosive wear damage on dies used in aluminium casting, Wear 332–333 (2015)1215–1224.
- [9] LF. Hou, Y.H. Wei, Y.G. Li, B.S. Liu, H.Y. Du, C.L. Guo, Erosion process analysis of die-casting inserts for magnesium alloy components, Eng. Fail. Anal. 33 (2013)457–564.

- [10] D.W.C. Baker, K.H. Jolliffe, D. Pearson, The resistance of materials to impact erosion damage, *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 260 (1110) (1966) 193–203.
- [11] A. Persson, S. Hogmark, J. Bergström, Temperature profiles and conditions for thermal fatigue cracking in brass die casting dies, *J. Mater. Process. Technol.* 152(2) (2004) 228–236.
- [12] C. Rosbrook, *Analysis of Thermal Fatigue and Heat Checking in Die-Casting Dies: A Finite Element Approach*, PhD thesis Ohio State University, 1992.
- [13] F. Medjedoub, G. Dour, S. Le Roux, P. Lamesle, M. Salem, P. Hairy, F. Rézaï-Aria, Experimental conditions and environment effects on thermal fatigue damage accumulation and life of die-casting steel X38CrMoV5 (AISI H11), *Int. J. Microstruct. Mater. Propert.* 3 (2–3) (2008).
- [14] P. Hansson, “Modern prehardened tool steels in die-casting applications,” *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 24, no. 7-8, pp. 824–827, 2009.
- [15] Uddeholm, “Dievar,” 2014, (18.10.2021) internet: <http://www.uddeholm.com>
- [16] D. Klobčar, J. Tušek, B. Taljat, Thermal fatigue of materials for die-casting tooling, *Mater. Sci. Eng. A* 472 (1) (2008) 198–207.
- [17] D. Schwam, J. F. Wallace, and S. Birceanu, “Die Materials for Critical Applications and Increased Production Rates,” Case Western Reserve University, 2002.
- [18] Methodical measurement and evaluation of adhesive cohesive behavior of thin film - substrate systems, 2005, (19.10.2021) internet: <https://www.opi.zcu.cz/adheze.html>
- [19] J. Tkáčová, E. Zdravecká, E. Evin, M. Tomáš, D. Jakubčzyová: *Koroze a ochrana materiálu* 63(4) 159-166 (2019).
- [20] D. Klobčar, et al.: Thermo fatigue cracking of die casting dies. In: *Engineering Failure Analysis* Volume 20, March 2012, pp. 43-53.