

Hodnocení povrchu desek krystalizátoru s využitím znalostního systému

Evaluation of Surface of the Mould Plates with the Use of the Knowledge System

Ing. Vladislav Šťastný; doc. Ing. Jiří David, Ph.D.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálové inženýrství, katedra automatizace a počítačové techniky v metalurgii 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

Krystalizátor je nejvíce namáhanou částí zařízení plynulého odlévání. Opotřebení desek krystalizátoru je způsobeno mechanickými a chemickými procesy. Kombinací různých druhů opotřebení vznikají dolíky, prohlubeniny a rýhy v materiálu desek krystalizátoru. Příspěvek se zabývá jedním z možných dostupných způsobů identifikace a hodnocení povrchových vad krystalizátoru. V příspěvku je popsáno navržené a sestavené ruční měřicí zařízení pro povrchové vady desek krystalizátoru s laserovým snímačem optoNCDT 1401-50 s přesností statického měření $\pm 0,02$ mm. Současně s měřicím zařízením byl navrhnout a realizován expertní systém hodnocení povrchových vad využívající fuzzy množinové teorie. Hlavním cílem je posouzení míry opotřebení desek krystalizátoru s maximální eliminací chyby měření v důsledku lidského faktoru, který patří k nejvíce rizikovým faktorům při tomto hodnocení. Současně je cílem maximalizace využití potenciálu desek krystalizátoru, tzn. oddělit maximálního počtu taveb bez nutnosti renovace desek s respektováním hranice bezpečnosti a kvality produkce.

Klíčová slova: desky krystalizátoru, expertní systémy, kontinuální odlévání, laserové měřidlo, povrchové vady materiálu.

The increasing complexity of production equipment and increasing demands to productivity and production quality involve the need for high reliability of equipment and efficient control of maintenance actions with usage of the systems ensuring reliability and maintenance control. Maintenance control systems providing the necessary support for planning and controlling all the actions interconnected with maintenance of equipment from its installation till start of preventative or operative servicing. Benefits ensuing from introduction of these systems can be found in improvement of decision making processes, when the system considerably simplifies creation of the information base for planning the maintenance actions and evaluation of economical indexes. The mould is one of the most stressed parts of the continuous steel casting machine. Weariness of the mould surfaces depends on a combination of mechanical and chemical processes. Pits, hollows and scratches occur as a result of combination of various types of abrasion affecting the mould surface. The paper deals with one of the available ways of identification and evaluation of the surface defects. The paper describes the proposed and set up of the handheld measuring device for evaluation of surface defects based on laser sensor NCDT 1401-50 with measurement accuracy of ± 0.02 mm. Handheld laser measurement device ZMPV-01 with visualization of the measured data and with communication interface for PC can fully replace currently used less accurate measurement methods, eliminate human factor and it can provide precise results even on shiny mould surfaces. Realized model ZMPV-01 presented is in figure 2. "ZMPV-01" with documentation is used at the steel plant of the ArcelorMittal company in order to verify its operational effectiveness and real usability. An expert system for evaluation of surface defects was also developed and realized. Its principle is based on fuzzy theory. The main goal is to assess the level of weariness of the mould plates with maximum elimination of errors caused by human factor, which is the most risky factor of these types of evaluations. The quality of human decisions is influenced for example by their actual psychic state and their level of knowledge. In order to eliminate these faults and to simplify human decision, the process based on the so called expert systems was developed, which among others uses the experiences gained from operational process. The secondary goal was the maximization of the safety level and production quality.

Key words: mould plates, expert systems, continuous casting, laser system, surface material defects

Mezi hlavní cíle automatizace zahrnujeme nejen zefektivnění procesů, ale také maximální eliminaci člověka jako nejvíce rizikového faktoru systému řízení. Člověk jako součást řízení je ovlivněn mnohými faktory. Kvalita rozhodování člověka je ovlivněna například

momentálním psychickým stavem a množstvím jeho znalostí současně se zkušenostmi. Z důvodu eliminace chyb a usnadnění rozhodovacího procesu člověka se na podkladě získaných zkušeností vyvíjejí expertní systémy.

Expertní systémy se používají ve všech odvětvích. Zvláště vysoký přínos mají při nemožnosti stanovit přesná vstupní data pro numerický výpočet, například při kontinuálním odlévání [1].

Plynulé odlévání oceli je jedním z pilířů hutního průmyslu současnosti. Při plynulém odlévání je mnoho rizikových faktorů od vysokých licích rychlostí až po vysoké teploty spojené s tímto výrobním procesem [8, 11]. Z pohledu chlazení tekuté oceli při kontinuálním lití je nejvíce zatěžován krystalizátor. V prostoru krystalizátoru dochází na deskách k vysokému odvodu tepla z tekuté oceli, a tím k jejímu povrchovému tuhnutí. Pro výrobu desek krystalizátoru se používá měď s legujícími přísadami. Z důvodu vysokého povrchového opotřebení v průběhu kontinuálního lití, se desky vyrábějí i ve variantě s povrchovou úpravou znázorněnou na obr. 1 [2].



Obr. 1 Použitá deska krystalizátoru
Fig. 1 Used mould plate

Opotřebení desek krystalizátoru je kombinací mechanických a chemických procesů. Desky krystalizátoru jsou namáhány například abrazí, erozí, korozí, kavitací atd. Abrazivní opotřebení způsobuje opticky nejvýraznější porušení povrchové vrstvy desek krystalizátoru a projevuje se formou rýh. Kombinací různých druhů opotřebení vznikají dolíky, prohlubeniny a rýhy v materiálu desek krystalizátoru [2]. V projektu FR-TI1/319 byla řešena problematika hodnocení a identifikace povrchových vad diagnostikovaných desek krystalizátoru pro profilové předlitky čtvercového nebo obdélníkového tvaru s využitím laserového měřidla pro měření hloubky povrchových vad a s využitím expertního fuzzy systému pro bezchybné vyhodnocení vad. Eliminace chyby lidského faktoru při měření hloubky povrchových vad a následné správné vyhodnocení vad je nutné pro objektivní posouzení míry opotřebení desek krystalizátoru a může vést k zvýšení efektivity využití desek krystalizátoru, a tedy k prodloužení jejich životnosti a oddálení renovace. Pro posouzení vad bylo využito „Katalogu vad desek krystalizátoru“ vytvořeného v rámci řešení výše uvedeného projektu pro firmu ArcelorMittal Ostrava a.s., který byl základem pro navrženou metodiku vyhodnocování pomocí expertního fuzzy systému.

1. Ruční měření

Z důvodu vyřazení poškozených desek krystalizátoru při plánovaných opravách zaměstnanec pověřený a poučený provádí na demontovaných deskách krystalizátoru ruční měření. Každé měření je již ovlivněno chybou lidského faktoru. Bylo navrženo a sestaveno ruční měřicí zařízení pro povrchové vady desek krystalizátoru s laserovým snímačem optoNCDT 1401-50 s přesností statického měření $\pm 0,02$ mm [3]. Vyhodnocovací řetězec laserového snímače pracuje s operačním zesilovačem LM 358.

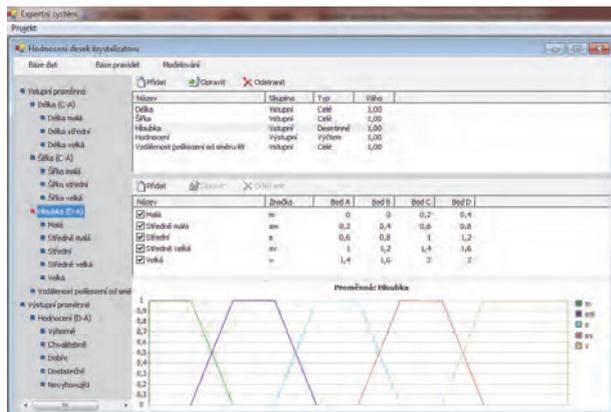


Obr. 2 Laserový ruční měřicí přístroj
Fig. 2 Laser hand-held measurement instrument

Ruční laserové měřidlo ZMPV-01 s vizualizací měřených dat a komunikačním portem pro PC plně nahrazuje současné nepřesné metody měření, eliminuje lidský chybový faktor a dosahuje přesných výsledků i na lesklých plochách desek krystalizátoru. Realizovaný model ZMPV-01 na obr. 2 s dokumentací byl předán do firmy ArcelorMittal Ostrava a.s. k provoznímu testování a využití.

2. Expertní fuzzy systém

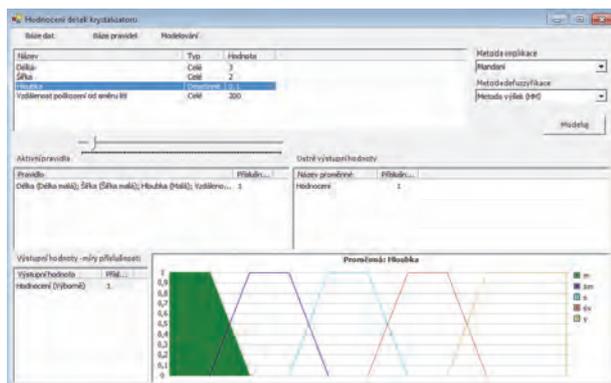
Naměřená data charakterizující poškození desek krystalizátoru jsou následně vkládána do vytvořeného expertního systému [4, 8], jehož jedna z obrazovek je znázorněna na obr. 3. Způsob hodnocení míry opotřebení desek krystalizátoru pro expertní fuzzy systém vychází z metodiky posouzení vad zavedené v „Katalogu vad desek krystalizátoru“. Oproti původně navržené verzi expertního systému pro hodnocení míry opotřebení současná verze expertního systému byla zpřesněna využitím vzdálenosti hloubky poškození od směru lití ve dvou místech největšího poškození se zohledněním sklonu povrchové úpravy vzhledem k poškození desky krystalizátoru.



Obr. 3 Fuzzy množiny - rozdělení

Fig. 3 Fuzzy sets - distribution

Navržený expertní systém vychází z architektury diagnostického expertního systému [5, 7]. Po zadání naměřených hodnot do expertního systému tedy expertní systém na podkladě znalostní databáze provádí rozhodovací činnost o stupni hodnocení desek krystalizátoru, jak ukazuje obr. 4.



Obr. 4 Vyhodnocení expertního systému

Fig. 4 Evaluation by an expert system

Metodika navržená pro expertní systém plně nahrazuje specialistu nutného pro ohodnocení poškození desek krystalizátoru. Expertní systém eliminuje možnou chybu lidského faktoru při ohodnocení povrchového poškození a tímto způsobem zvyšuje efektivitu využití desek krystalizátoru [6, 10], a tedy i prodlužuje faktickou životnost desek krystalizátoru nebo zamezuje neúmyslnému podhodnocení poškození povrchu. Tím je zabráněno snížení kvality povrchu předlitéků kontinuálního lité.

Závěr

Navržený a realizovaný model laserového ručního měřidla ZMPV-01 s vizualizací měřených dat a komunikačním portem pro PC plně nahrazuje současné nepřesné metody měření, eliminuje lidský chybový faktor a dosahuje přesných výsledků i na lesklých plochách desek krystalizátoru. Realizovaný model ZMPV-01 je nyní používán v provozním testovacím režimu ve

firmě ArcelorMittal Ostrava a.s. Uplatnění metod umělé inteligence pro hodnocení a podporu řízení životnosti desek krystalizátoru je v souladu s dnešním koncepčním přístupem Industry 4.0 směřující k plně automatizaci jednotlivých dílčích procesů. I v tomto případě jsou výsledky práce podkladem pro vývoj automatického laserového skenovacího zařízení s vlastním vyhodnocovacím systémem, jehož cílem je využití lidské obsluhy pouze pro potřeby nezbytné manipulace.

Poděkování

Práce vznikla za podpory specifického univerzitního výzkumu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, projekt č. SP2017/63.

The work was supported by the specific university research funded by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic No. SP2017/63.

Literatura

- [1] KOKOT, G., BURCZYŃSKI, T., JOHN, A. Advanced numerical simulations of selected metallurgical units. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 55 (2012) 2.
- [2] WILK-KOŁODZIEJCZYK, D., ROJEK, G., REGULSKI, K., The Decision Support System in the Domain of Casting Defects Diagnosis. *Archives of Foundry Engineering*, 14 (2014) 3, 107–110.
- [3] *Senzory a snímače* [online]. MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co. KG, [cit. 6.11.2016]. Dostupné z: <<http://www.micro-epsilon.cz/index.html>>.
- [4] DAVID, J., ŠVEC, P., FRISCHER R. Modelling of crystallizer wear. *Archives of Materials Science and Engineering*. 58 (2012) 2, 193–198.
- [5] GORNY, Z., KLUSKA-NAWARECKA, S., WILK-KOŁODZIEJCZYK, D. Attribute-Based Knowledge Representation in the Process of Defect Diagnosis. *Archives of Metallurgy and Materials*. 55 (2010) 3, 819–826.
- [6] DAVID, J., ŠVEC, P., FRISCHER, R., GARZINOVÁ, R. The Computer Support of Diagnostics of Circle Crystallizers. *Metalurgija*. 53 (2014) 2, 193–196.
- [7] BHATTACHARYA, A.K., CHITHRA, K., JATLA, S.S.V.S., SRINIVAS, P.S. Fuzzy diagnostics system for breakout prevention in continuous casting of steel. *Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on Hangzhou, China, China* [cit. 6.11.2016]. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1343100/>>.
- [8] JALALI, P. N., LOPEZ, P. E. R., NILSSON, C., HIETANEN, P., JÖNSSON, P. Diagnosis and optimisation of continuous casting practices through numerical modelling. *La Metallurgia Italiana*, 2 (2016), 43–49.
- [9] PYSZKO, R., PRÍHODA, M., ČARNOGURSKÁ, M. Monitoring of solidification in the continuous casting mold by temperature sensors. *AIP Conference Proceedings*, 1745 (2016) 1.
- [10] KUMAR S. *An System to Diagnose Quality Problems in the Continuous Casting of Steel Billets*. The University of British Columbia, 1991.
- [11] HEMY, P., SMYLYE, R., SRINIVASAN, C. Analyzing Casting Problems by the On-line Monitoring of Continuous Casting Mold Temperatures. *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, [cit. 6.11.2016]. Dostupné z: <<http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0201/Hemy/Hemy-0201.html>>.