

ROČNÍK/VOL. LXVIII
ROK/YEAR 2015

4

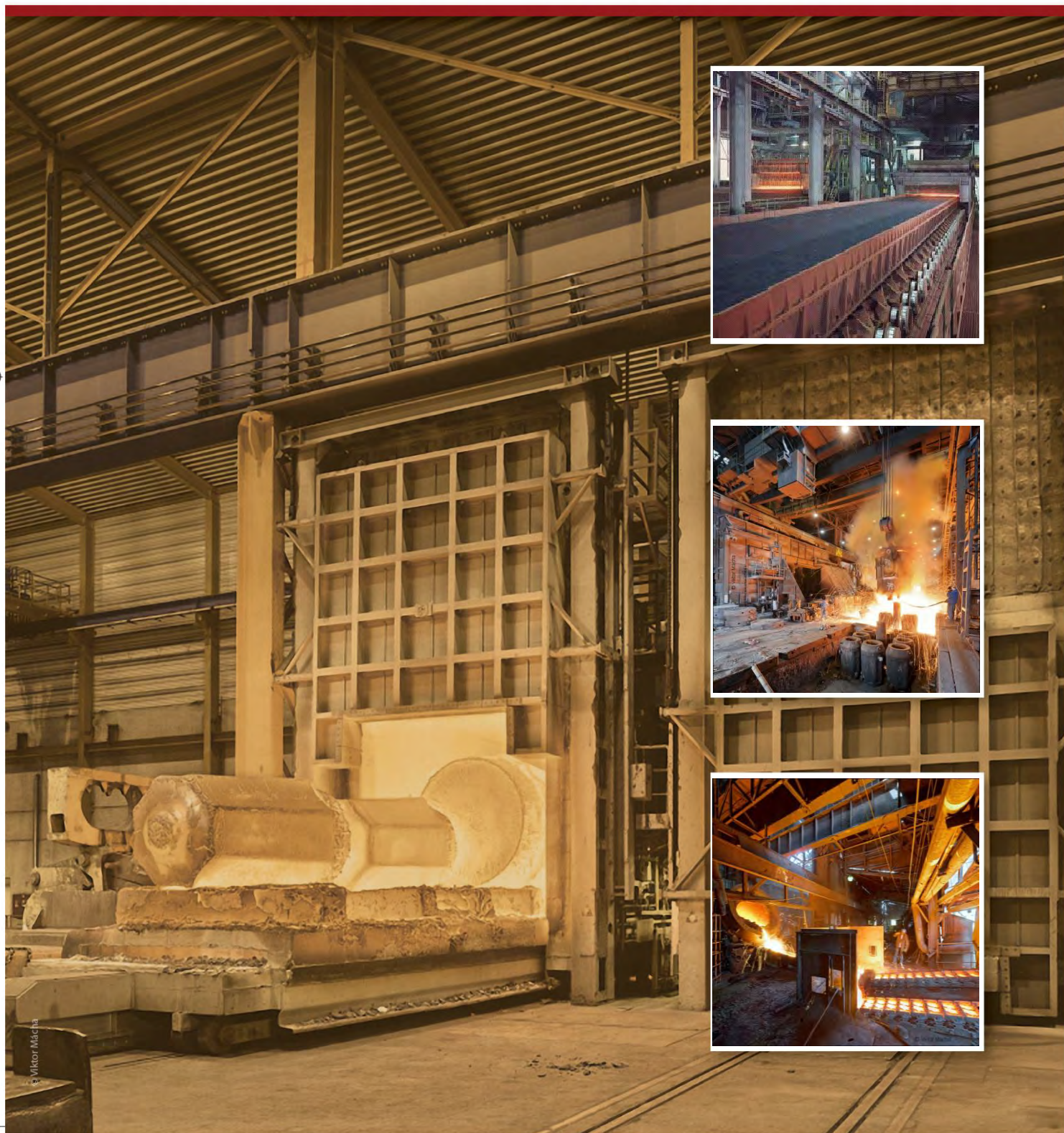


Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

ODBORNÝ ČASOPIS PRO METALURGII A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ
PROFESSIONAL PERIODICAL FOR METALLURGY AND MATERIAL ENGINEERING

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069



Registrační číslo/Registration Number
MK ČR E 18087**Mezinárodní standardní číslo**
International Standard Serial Number
ISSN 0018-8069**Vydavatel/Publisher**OCELOT s.r.o.
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
IČO 49245848, DIČ CZ 49245848
Registrace v obchodním rejstříku Krajského soudu v Ostravě,
oddíl C, vložka 30879**Vedoucí redaktor/Chief Editor**Ing. Jan Pošta, CSc., tel.: 596995156
e-mail: j.posta@seznam.cz**Redakce, kontaktní adresa/ Editorial Office, contact address**OCELOT s.r.o.
Redakce časopisu Hutnické listy
areál VŠB-TU Ostrava, A 534, 17. listopadu 15/2127
708 33 Ostrava - Poruba**Redaktorka/ Editor**Jaroslava Pindorová
e-mail: jaroslava.pindorova@seznam.cz**Redakční rada – Předseda/Editorial Board - Chairman**

prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc. Dr.h.c.

VŠB-TU Ostrava, Ostrava, Česká republika

Členové/ MembersIng. Michal Baštinský
Ing. Karel Hala
prof. dr. hab. inž. Leszek Blacha
prof. dr. hab. inž. Henryk Dyja
prof. Ing. Vojtěch Hrubý, CSc.
Ing. Henryk Huczala
prof. Ing. František Kavička, CSc.
Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.
prof. Ing. Karel Matocha, CSc.
prof. Ing. Ludovít Pařílák, CSc.
Ing. Jiří Petržela, Ph.D.
Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.
Ing. Vladimír Toman
prof. Ing. Karel Tomášek, CSc.
Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s., Ostrava, Česká republika
U.S. Steel Košice, s.r.o., Košice, Slovenská republika
Politechnika Śląska, Katowice, Polsko
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
Univerzita obrany, Brno, Česká republika
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, Česká republika
VUT v Brně, Brno, Česká republika
ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
MATERIALOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
VÍTKOVICE, a.s., Ostrava, Česká republika
MATERIALOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
Hutnictví železa, a.s., Praha, Česká republika
TU v Košiciach, Slovenská republika
ArcelorMittal Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika**Grafika titulní strany/Graphic design of the title page**Miroslav Juřica, e-mail: grafik@konstrukce.cz
a red./and Chief Editor**Podkladová fotografie/Underlying photograph**Mgr. Viktor Mácha, viktor.macha@centrum.cz
Tisk/Printing
T-print s.r.o., Průmyslová 1003, 739 65 Třinec

Abstrakty hlavních článků jsou publikovány v české, slovenské a anglické verzi na webových stránkách Hutnických listů.

Časopis vychází 6x ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné základní 1190 Kč, studentské 20 % sleva proti potvrzení o studiu. K předplatnému se připočítává poštovné vycházející z dodávek každému odběrateli. Po dohodě se zahraničními odběrateli je možno stanovit cenu v Euro (€) jako souhrnnou včetně poštovného. Předplatné se automaticky prodlužuje na další období, pokud je odběratel jeden měsíc před uplynutím abonentního období písemně nezruší prostřednictvím listinné nebo elektronické pošty. Objednávky na předplatné přijímá redakce nebo SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9-Horní Počernice (225 985225, send@send.cz). Informace o podmínkách publikace, inzerce a reklamy podává redakce.

Za původnost příspěvků, jejich věcnou a jazykovou správnost odpovídají autoři. Podklady k tisku redakce přijímá v elektronické podobě. Recenzní posudky jsou uloženy v redakci. Žádná část publikovaného čísla nesmí být reprodukována, kopírována nebo elektronicky šířena bez písemného souhlasu vydavatele.

© OCELOT s.r.o., 2015

Časopis je zařazen Radou vlády ČR pro výzkum a vývoj do seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR a do mezinárodní databáze CSA Materials Research Database with METADEX, spravované firmou ProQuest, USA.

Abstracts of the main articles are published in Czech, Slovak and English version at the web site of the Metallurgical Journal.

The journal is published 6 times a year. Price of a single issue is CZK 200 without VAT. Net price of basic annual subscription is CZK 1,190, student have 20% discount against the confirmation of study. Forwarding cost (postage) is added to the net price of subscription. Upon agreement with the foreign customers the subscription price, including postage, can be paid in Euro. Subscription is automatically renewed for the next year, unless the customer does not cancel it at the latest one month before the expiry of the subscription period in writing or by electronic mail. Orders are to be sent to the Editorial Office or SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9-Horní Počernice (+042 225985225, send@send.cz). Editorial Office provides also information on the conditions of publication of articles and on conditions of advertising.

The authors bear the responsibility for the originality of their articles and for their factual and linguistic accuracy. Editorial Office accepts the articles in electronic form. Peer reviews are archived in the Editorial Office. No part of the published issues may be reproduced or electronically distributed without written permission of the publisher.

© OCELOT s.r.o., 2015

The journal was included by the Government Council for Research and Development of the Czech Republic into the list of non-impacted peer-reviewed journals published in the Czech Republic. Abstracts of its articles make part of the international database "CSA Materials Research Database with Metadex", administered by the database centre ProQuest, USA.

O b s a h / C o n t e n t

Recenzované vědecké články/Peer-reviewed scientific papers

- Ondřej Dorazil, Ing. Miroslav Filip, prof. Ing. Karel Matocha, CSc.* 2
Faktory ovlivňující výsledky časově nezávislých penetračních testů
Factors Influencing the Outcome of the Time Independent Small Punch Tests

Recenzované výzkumné články/Peer-reviewed research papers

- Ing. Tomáš Luks, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc., Erik Bartuli* 9
Experimentální stanovení teplotních a silových poměrů ve válcovací mezeře
Experimental Determination of Thermal Flux and Contact Stresses in the Rolling Gap
- Ing. Jiří Kvapil, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc., Ing. Michal Pohanka, Ph.D.* 15
Stanovení tepelného odporu v kontaktu na základě nestacionárního teplotního měření
Determination of the Thermal Contact Resistance from Unsteady Temperature Measurements
- Ing. Michal Guzej, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.* 20
Stanovení intenzity chlazení během semikontinuálního odlévání hliníkových slitin
Determination of Cooling Intensity During the Semi-continuous Casting Process of Aluminum Alloys
- Ing. Jan Komínek, Ing. Michal Guzej, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.* 26
Metodika vyhodnocování intenzity chlazení vodního paprsku dopadajícího na svislý povrch
Methodology of Evaluation of Intensity of Cooling of Water Jet Impinging on the Vertical Surface
- Ing. Vít Michenka, Ing. Petr Podolinský* 31
Srovnání vybraných kvalitativních znaků kolejnic profilu 136 RE v závislosti na úrovni aktuální tvrdosti
Comparison of Specific Qualitative Characteristics of Rails 136 RE in Relation to the Current Level of Hardness

Informační články/Informative articles

- hutní výroba v ČR a SR/metallurgical production in Czech Republic and Slovak Republic 38
- zprávy z podniků, institucí a řešitelských pracovišť/news from companies, institutions and research working sites 41
- historie hutnictví/history of metallurgy 46
- nová literatura/New books 52
- hutnictví ve světě/metallurgy in the world 54
- historický seriál/historical serial 58

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části:

- Hutnictví železa, a.s. • TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. • pravidelní dopisovatelé • redakce

Recenzované vědecké články

Factors Influencing the Outcome of the Time Independent Small Punch Tests

Faktory ovlivňující výsledky časově nezávislých penetračních testů

Ing. Ondřej Dorazil¹, Ing. Miroslav Filip¹, prof. Ing. Karel Matocha, CSc.¹

¹MATERIAL & METALLURGICAL RESEARCH, Ltd., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Czech Republic

The underlying purpose of this paper is to evaluate the effects of thickness of the disc test specimens 8 mm in diameter, stiffness of the testing machine, punch tip diameter (2 and 2.5 mm), chamfer radius of the receiving hole and orientation of the disc test specimens on the parameters of load – displacement curves used for determination of YS, UTS and DBTT from the results of SP tests. The results obtained should contribute to the revision of CWA 15627 “Small Punch Test method for Metallic Materials” and for the transformation of this document to EU standard.

Key words: Small Punch (SP) test; load–displacement curve; stiffness of the testing machine; punch tip diameter; orientation of disc test specimen

Účelem tohoto článku je zhodnotit vliv tloušťky zkušebních vzorků tvaru disku o průměru 8 mm, tuhosti zkušebního stroje, průměru hemisférického razníku, poloměru zaoblení otvoru spodní opěrné matrice a orientace zkušebních vzorků na parametry křivek zatížení – posunutí používané pro stanovení meze kluzu, meze pevnosti a tranzitní teploty z výsledků penetračních testů. Získané výsledky by měly přispět k revizi dokumentu CWA 15627 „Small Punch Test Method for Metallic Materials“ a pro transformaci tohoto dokumentu na normu EU.

Klíčová slova: penetrační zkouška; křivka zatížení – posunutí; tuhost zkušebního stroje; průměr hemisférického razníku; orientace zkušebního vzorku tvaru disku

The need for evaluating the actual mechanical properties of structural components by means of a direct testing method has led to the development of innovative techniques based on miniaturized specimens. Among these, a technique called the Small Punch (SP) test has emerged as a promising candidate [1 – 4]. It is a mechanical testing method used at the present time to obtain tensile, fracture and creep data from very small quantities of experimental material. In 2007, the CWA 15627 “Small Punch Test Method for Metallic Materials” [5] was issued by CEN (European Committee for Standardization). Major benefits of this method are [6]:

1. It can be applied as a virtually non-destructive tool to monitor in service components in structural plants.
2. It enables determination of the tensile, fracture and creep characteristics of materials at critical locations of the components.

3. The test itself is rather simple to perform and inexpensive.
4. It gives the possibility to study locations such as interfaces, coatings, welded joints (BM, HAZ, WM) and exotic materials e.g. anisotropic, single crystals.

The use of this method was accelerated by the development of sampling devices for obtaining and retrieving a sample of material for analysis in a virtually non-destructive manner, not requiring post sampling repair [7].

The objective of the time independent SP test is to produce a load-displacement (punch displacement, crosshead displacement) record and/or load-specimen deflection record (Fig. 1), which contains information about the elastic-plastic deformation and strength properties of the material [5].

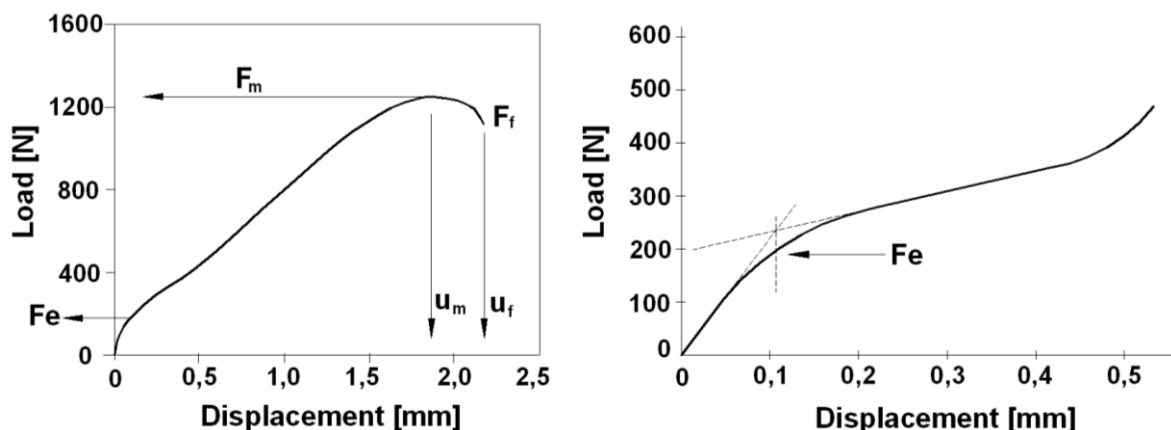


Fig. 1 Load – displacement curve recorded during a time independent Small Punch (SP) test
Obr. 1 Křivka zatížení – posunutí snímáná v průběhu časově nezávislého penetračního testu

The curve can be divided into several parts [2, 8]. The initial linear region corresponds to elastic deformation and micro-yield under the penetrator; this is followed by a deviation from linearity associated with the spread of the yield zone through the specimen thickness. The subsequent inflection point is associated with the transition from bending to membrane stretching. The following parameters are determined from the load-displacement curve during the time independent SP tests [5]:

F_m [N] - maximum load recorded during SP test,
 F_e [N] - load characterising the transition from linearity to the stage associated with the spread of a yield

zone through the specimen thickness. It is determined according to the Code by the two tangents method (Fig. 2),

u_m [mm] - displacement corresponding to the maximum load F_m ,

u_f [mm] - displacement corresponding to 20% load drop,

E^{SP} [J] - SP fracture energy obtained from the area under the curve up to the displacement u_f

The shape of the load – displacement curve can be affected by [19]:

1. thickness of the disc test specimen,
2. testing material,
3. stiffness of the testing machine,
4. testing rig (punch tip diameter, dimensions and shape of the chamfer edge, receiving die diameter (Fig.2),
5. method used for detecting the test specimen displacement,
6. test temperature,
7. orientation of test disc specimen.

The load – displacement curves obtained can be utilised to derive empirical correlations between SP and standardised test results [9 – 13] or they can be analysed in terms of elastic-plastic finite element methods [14 –

18]. The present paper describes the effect of above mentioned factors on the SP related parameters used for determination of YS, UTS and DBTT from the results of SP tests.

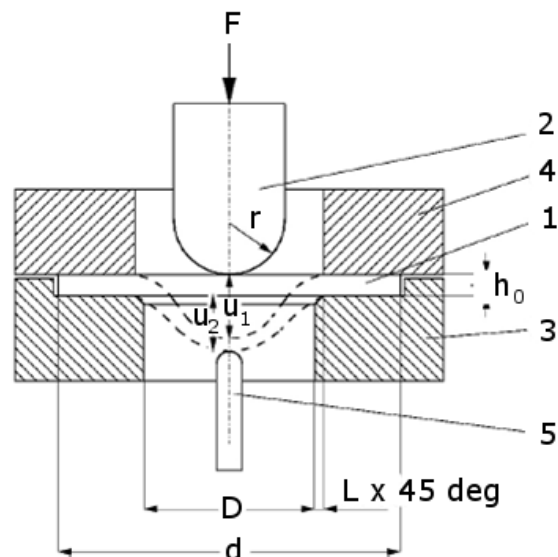


Fig. 2 Geometry of the SP test installation: 1 – specimen, 2 – punch, 3 – receiving die, 4 – clamping die, 5 – deflection measurement rod

Obr. 2 Geometrie zařízení pro penetrační testy: 1 – vzorek, 2 – razník, 3 – spodní opěrná matrice, 4 – horní přítlačná matrice, 5 – snímač posunutí

Factors affecting the shape of load – displacement curve

Effect of disc specimen thickness

Fig. 3 shows the effect of disc specimen thickness on the dependence of load F_e on yield strength, determined according to the Code [5]. The effect of the disc specimen thickness can be eliminated by normalising F_e

as $\frac{F_e}{h_0^2}$, where h_0 is the initial thickness of the disc

(Fig. 4) [6]. Fig. 5 shows the effect of disc specimen thickness on dependence of load F_m on tensile strength. The effect of disc specimen thickness can be eliminated

in this case by normalising F_m as $\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$ (Fig. 6).

However the empirical correlations for determination of tensile strength mostly show significantly lower scatter band in comparison with correlations for yield strength determination [6]. For this reason the empirical correlation for determination yield strength from the results of SP tests should be expressed as a dependence of yield strength on $F_e/(h_0)^2$ and the empirical correlation for estimation of material tensile strength from the results of SP tests should be expressed as a

dependence of tensile strength on $\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$.

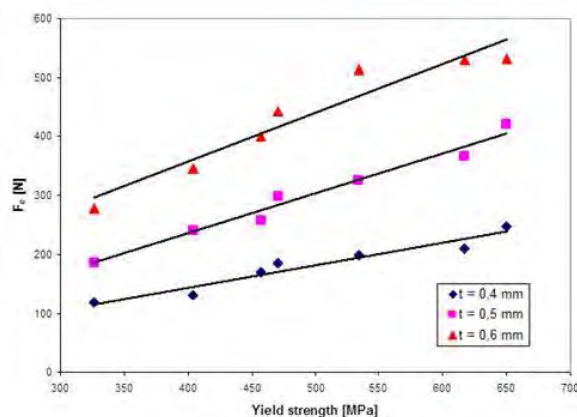


Fig. 3 Effect of the disc specimen thickness on the empirical correlation F_e vs. yield strength (14MoV6-3 low alloy steel in as received state)

Obr. 3 Vliv tloušťky disku na empirickou korelaci F_e versus mez kluzu (nízkolegovaná ocel 14MoV6-3 v dodaném stavu)

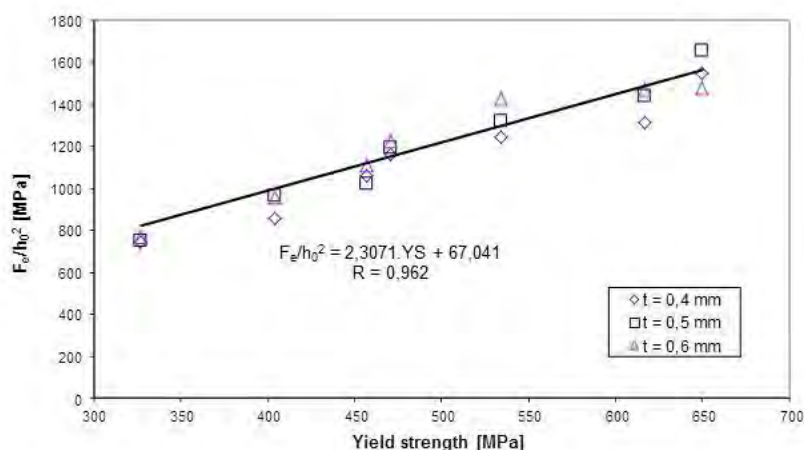


Fig. 4 Dependence of $\frac{F_e}{h_0^2}$ vs. yield strength independent on disc thickness

Obr. 4 Závislost $\frac{F_e}{h_0^2}$ versus mez kluzu nezávislá na tloušťce disku

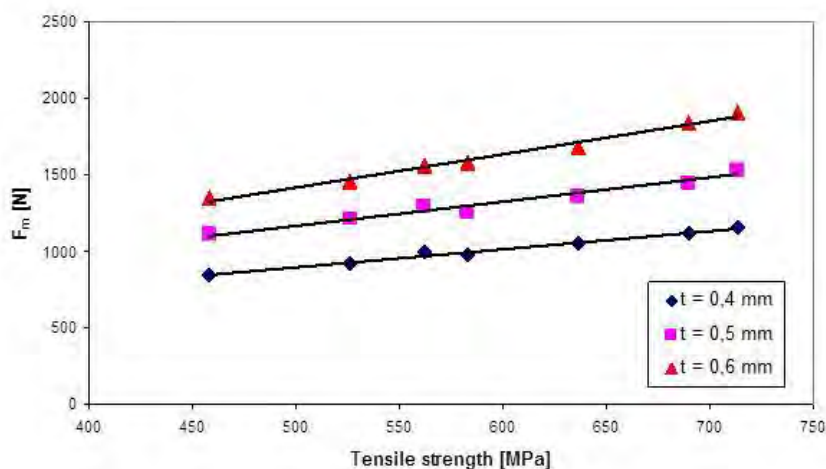


Fig. 5 Effect of the disc specimen thickness on the empirical correlation F_m vs. tensile strength. (14MoV6-3 low alloy steel in as received state)

Obr. 5 Vliv tloušťky vzorku na empirickou korelaci F_m versus pevnost v tahu (nízkolegovaná ocel 14MoV6-3 v dodaném stavu)

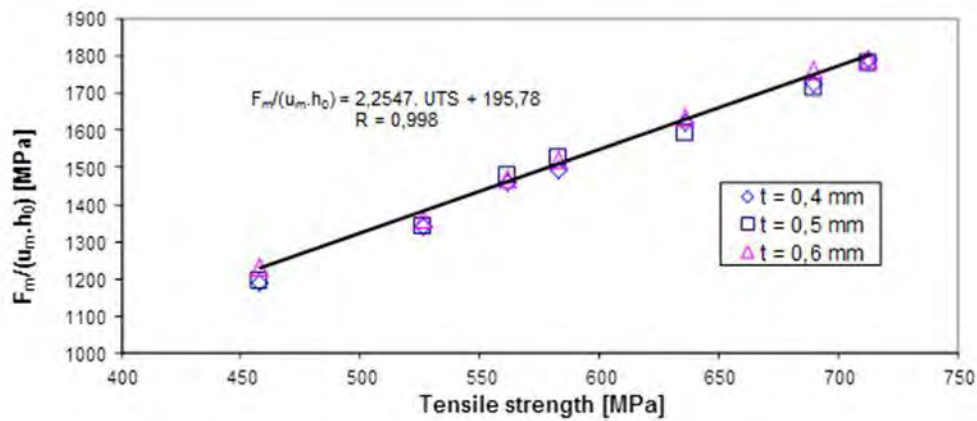


Fig. 6 Dependence of $\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$ vs. tensile strength independent on disc thickness

Obr. 6 Závislost $\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$ versus pevnost v tahu nezávislá na tloušťce disku

Effect of the stiffness of the testing machine

The effect of the stiffness of the loading system on the determination of tensile characteristics from the results

of SP tests was demonstrated in [20]. Fig. 7 shows the differences in stiffness of the servo-mechanical testing machine Lab Test 5.10 ST (capacity of 5 kN) before and after repair (bearing replacement) [19].

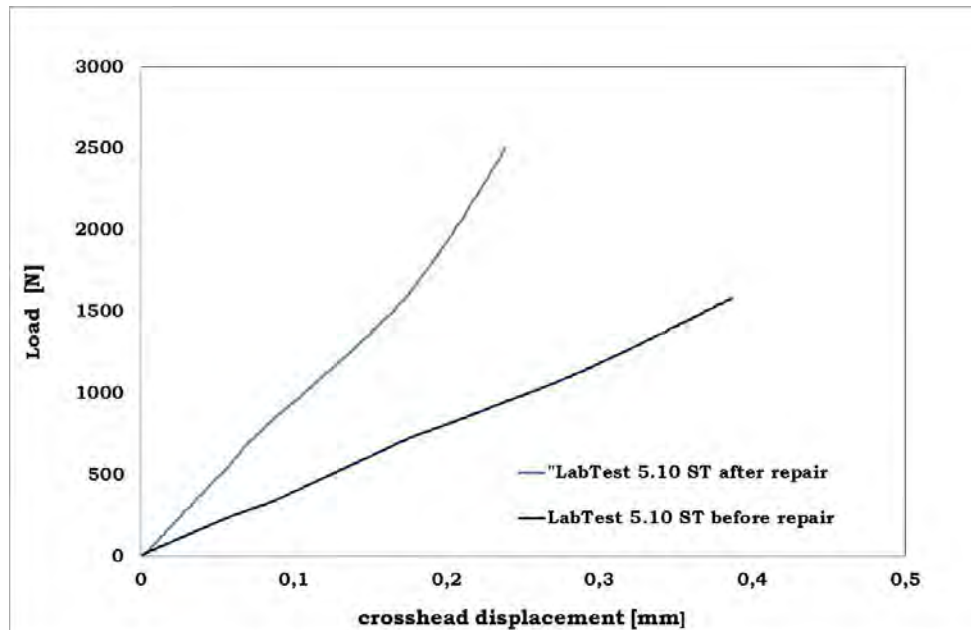


Fig. 7 Effect of the bearing replacement on the stiffness of servo-mechanical testing machine Lab Test 5.10 ST (capacity of 5 kN)

Obr. 7 Vliv výměny ložiska na tuhost servo-mechanického zkušebního zařízení Lab Test 5.10 ST (kapacita 5 kN)

Table 1 summarizes the parameters F_e , F_m and u_m of the load displacement curves monitored before and after bearing replacement. The values shown in Table 1 are

average of three punch tests. From Table 1 it is evident that the monitoring of the load-deflection curve suppresses the effect of stiffness of the testing machine.

Tab. 1 Parameters of load displacement curves before and after repair of servo-mechanical testing machine Lab Test 5.10 ST
Tab. 1 Parametry křivek zatížení – posunutí před a po opravě servo-mechanického zkušebního zařízení Lab Test 5.10 ST

Stiffness of the machine	Load – crosshead displacement curve			Load – deflection curve		
	F_e [N]	F_m [N]	u_m [mm]	F_e [N]	F_m [N]	u_m [mm]
before repair	412	1759	1,544	368	1759	1,213
after repair	450	1729	1,210	366	1729	1,206

Effect of punch diameter

Punch diameter affects mainly the membrane stretching

part of the load displacement curve and the maximum load F_m (Fig. 8 and 9).

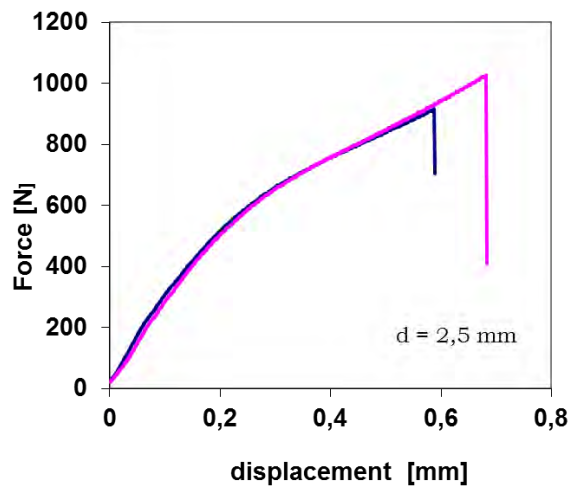


Fig. 8 P 92 steel at -180°C
Obr. 8 Ocel P 92 při teplotě -180°C

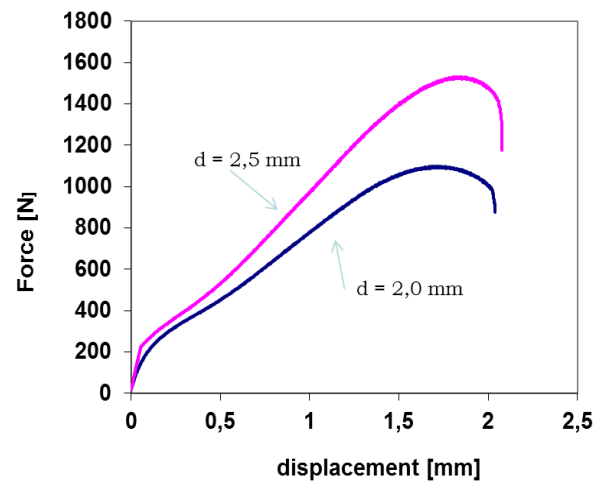


Fig. 9 P92 steel at laboratory temperature
Obr. 9 Ocel P 92 při laboratorní teplotě

For this reason, the temperature dependence of fracture energy in the transition region and transition temperature T_{SP} is not affected significantly by punch tip diameter.

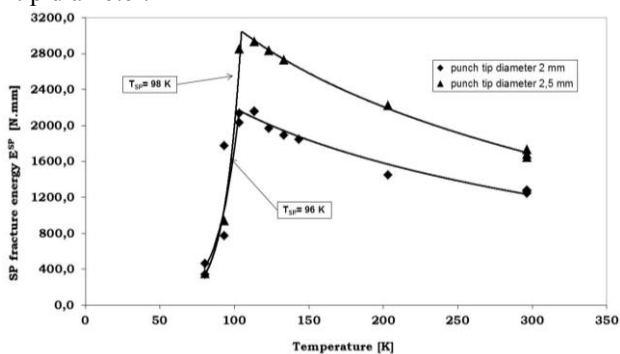


Fig. 10 Effect of punch tip diameter on temperature dependence of SP fracture energy E^{SP} , crosshead speed $1.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (14MoV-3 low alloy steel in as received state)

Obr. 10 Vliv průměru razníku na teplotní závislost lomové energie penetračního testu. Rychlost pohybu přičníku 1.5 mm/min. , (nízkolegovaná ocel 14MoV6-3 v dodaném stavu)

Effect of chamfer radius of the receiving hole

Table 2 shows some early results to study the effect of chamfer radius of receiving hole on the parameters F_e , F_m and u_m of load – crosshead displacement curve at ambient temperature. It is evident that the chamfer radius of receiving hole affects both load F_e and the displacement corresponding to the maximum load F_m .

Tab. 2 Effect of the chamfer radius of the receiving hole on the parameters of load – crosshead displacement curve at ambient temperature. Carbon steel of grade 22K, punch diameter 2.0 mm, $h_0 = 0.5 \text{ mm}$, crosshead displacement rate $1.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Tab. 2 Vliv poloměru zaoblení otvoru spodní opěrné matrice na parametry křivky zatížení - posunutí přičníku při laboratorní teplotě. Uhlíková ocel značky 22K, průměr razníku 2,0 mm, $h_0 = 0,5 \text{ mm}$, rychlost posunu přičníku $1,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Chamfer radius of receiving hole	F_e [N]	F_m [N]		u_m [mm]
448 μm	174	1215		1.828
336 μm	185	1221		1.774

Effect of orientation of the disc test specimens

Fig. 11 and table 3 show the effect of disc specimen orientation on the shape and the parameters of load – deflection curves obtained at ambient temperature. Conventional disc test specimens were cut from the centre of the wall thickness of the P91 steel tube, $\varnothing$ 272 x 32 mm in the as received state.

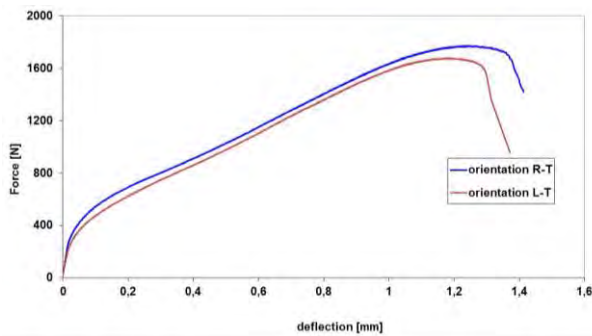


Fig. 11 Effect of the disc specimen orientation on the shape of load deflection curve. Tube $\varnothing$ 272 x 32 mm made of P91 steel. Punch tip radius 2 mm, crosshead speed 1.5 mm·min⁻¹.

Obr. 11 Vliv orientace disku na tvar křivky zatížení – posunutí. Trubka $\varnothing$ 272 x 32 mm zhotovená z oceli P91. Poloměr razníku 2 mm, rychlost pohybu příčnicku 1,5 mm·min⁻¹

Tab. 3 Effect of orientation of the disc test specimens on the parameters of load – deflection curve at ambient temperature
Tab. 3 Vliv orientace zkušebních vzorků na parametry křivky zatížení – posunutí při pokojové teplotě

Orientation of disc specimen	F_e [N]	F_m [N]	u_m [mm]	$\frac{F_e}{h_0^2}$ [MPa]	$\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$ [MPa]
R-T	327	1764	1,228	1308	2873
L-T	295	1689	1,177	1180	2870

It is evident from the table 3 that the orientation of the disc test specimen can affect significantly the empirical correlation for the determination of yield strength from the results of SP tests.

Conclusions

1. Empirical correlation for determination of material yield strength from the results of SP tests should be expressed as a dependence of yield strength on $\frac{F_e}{h_0^2}$ because this parameter $\frac{F_e}{h_0^2}$ eliminates any differences in disc specimen thicknesses on load F_e .
2. Empirical correlation for estimation of material tensile strength from the results of SP tests should be expressed as a dependence of tensile strength on

$\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$ because this parameter $\frac{F_m}{u_m \cdot h_0}$ eliminates any differences in disc specimen thicknesses on F_m and u_m .

3. Monitoring of the load – deflection curve during the SP test, unlike the monitoring of load – crosshead displacement curve, suppresses the effect of stiffness of the testing machine on the parameters used for the determination of YS and UTS from the results of SP tests.
4. Punch diameter mainly affects the membrane stretching part of the load displacement curve and maximum load F_m . For this reason, the temperature dependence of fracture energy in the transition region and transition temperature T_{SP} is not affected significantly by punch tip diameter.
5. Orientation of the disc test specimen can affect significantly the empirical correlation for the determination of yield strength from the results of SP tests.

Acknowledgement

The paper has originated in the Framework of the solution of „Competence Centres“, programme of the Technology Agency of the Czech Republic TE 1020068.

Literature

- [1] LUCON, E.: Material damage evaluation and residual life assessment of primary power plant components for long-term operation using specimens of non-standard dimensions. *La revue de Métallurgie*, 2001, Décembre, p. 1079
- [2] LUCAS, G.E.: Review of Small Specimen Test Techniques for Irradiation Testing. *METALLURGICAL TRANSACTIONS A*, Vol. 21A, May 1990, pp. 1105-1119
- [3] CORWIN, W.R., Haggag, F.M., SERVER, W.L. (editors): Small Specimen Test Techniques Applied to Nuclear Reactor Vessel Thermal Annealing and Plant Life Extension. *ASTM STP 1204*, October 1993. ISBN 0-8031-1869-4
- [4] HURST, R., MATOCHA, K.: The European Code of Practice for Small Punch Testing – Where do we go from here? *Hutnické listy (Metallurgical Journal)*, Vol. LXIII, 2010. In: *The 1st International Conference SSTT „Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, August 31 to September 2, 2010, pp. 5-11. ISSN 0018-8069, ISBN 978-80-254-7994-0
- [5] CEN WORKSHOP AGREEMENT “Small Punch Test method for Metallic Materials”. *CWA 15627:2007 D/E/F*, December 2007
- [6] MATOCHA K.: Determination of Actual Tensile and Fracture Characteristics of Critical Components of Industrial Plants under Long Term Operation by SPT. In: *ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Division Conference PVP 2012*, July 15-19, 2012, Toronto, Ontario, Canada (CD-ROMM)
- [7] ROBERTS, P.R., BORRADAILE, B.J., MITCHELL, R.J.: Material Sampling from Components within the Nuclear Industry and the Extraction of Useful Materials Information.

- Hutnické listy (Metallurgical Journal)*, Vol. LXIII, 2010. In: *The 1st International Conference SSTT „Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, August 31 to September 2, 2010, pp. 19 - 24, ISSN 0018-8069, ISBN 978-80-254-7994-0
- [8] ABENDROTH M., KUNA M.: Identification of ductile damage and fracture parameters from the small punch test using neural networks. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 73, 2006, pp. 710-725
- [9] MAO, X., TAKAHASHI, H.: Development of a further-miniaturized specimen of 3 mm diameter for TEM disk (Ø 3 mm) small punch tests. *Journal of Nuclear Materials*, 1987: 150: pp. 42-52
- [10] HURST, R., MATOCHA, K.: Experiences with the European Code of Practice for Small Punch Testing for Creep, Tensile and Fracture Behaviour. In: *The 3rd International Conference SSTT 2014 „Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*. September 23 to 25, 2014, Castle Seggau near Graz, Austria, pp. 1-26. ISBN 978-80-260-6722-2
- [11] RODRIGUEZ, C., GARCIA, T.E., BELZUNCE, F.J., PEÑUELAS, I.: The Application of the Small Punch Test to the Mechanical Characterization of Different Steel Grades. In: *The 2nd International Conference SSTT „Determination of Mechanical properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, October 2 to 4, 2012, Ostrava, Czech Republic, pp. 188-195. ISBN 978-80-260-0079-2
- [12] DYMÁČEK, P., JEČMÍNKA, M.: Applicability of Small Punch Testing Methods for Material Mechanical Properties at Room and High Temperatures. In: *The 3rd International Conference SSTT 2014 „Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, September 23 to 25, 2014, Castle Seggau near Graz, Austria, pp. 65-74. ISBN 978-80-260-6722-2
- [13] MATOCHA, K., ČÍŽEK, P., FILIP, M., DORAZIL, O., GUAN, K., XU, Y.: Comparison of Empirical Correlations for Determination of Tensile and Fracture Characteristics of Low Alloy CrMoV Steel in the Frame of Czech Chinese Scientific Cooperation. In: *The 3rd International Conference SSTT 2014 „Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, September 23 to 25, 2014, Castle Seggau near Graz, Austria, pp. 142-149. ISBN 978-80-260-6722-2
- [14] DU P., LING X, ZHOU, Z.: Study on Influence Factors of Small Punch Test to Estimate the yield Strength by Energy Method. In: *The 1st Int. Conf. SSTT (Small Sample Test Techniques)*. *Hutnické listy (Metallurgical Journal)*, Vol. 63, 2010, pp. 133-137. ISSN 0018-8069, ISBN 978-80-254-7994-0
- [15] NAKATA T., KOMAZAKI S., KOHNO Y., TANIGAWA H.: Tensile Property Evaluation by Stress and Strain Analyses of Small Punch Test Specimen Using Finite Element Method. ~~Proc.~~ In: *The 1st Int. Conf. SSTT (Small Sample Test Techniques)*, *Hutnické listy (Metallurgical Journal)*, Vol. 63, 2010, pp. 146-150. ISSN 0018-8069, ISBN 978-80-254-7994-0
- [16] HŮLKA J., KUBÍK P., PETRUŠKA J., FORET R.: FEM Sensivity Analysis of Small Punch Test. In: *The 2nd Int. Conf. SSTT „Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, 2012, Ostrava, Czech Republic, pp. 329-338
- [17] PRAKASH R. V., RAMESH T.: Numerical Simulation of Shear Punch and Small Punch Tests Using Gurson-Tvergaard-Needleman Damage Model. In: *The 2nd Int. Conf. SSTT „Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“*, 2012, Ostrava, Czech Republic, pp. 355-365. ISBN 978-80-260-0079-2
- [18] MADIA M., FOLETTI S., TORSELLO, G., CAMMI A.: On the applicability of the small punch test to the characterization of the 1CrMoV aged steel: Mechanical testing and numerical analysis. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 34, 2013, December, pp. 189 – 203
- [19] MATOCHA, K.: Proposals for Improvement of the CWA 15627 Part B: A Code of Practice for Small Punch Testing for Tensile and Fracture Behaviour. „*Ad hoc Meeting „Small Punch EN standard*“, AITANA Hotel, Amsterdam, March 16-18, 2015
- [20] MATOCHA, K., KANDER, L., FILIP, M., DORAZIL, O., GUAN, K., XU, Y.: The Effect of Stiffness of The Loading System on Determination of Tensile Characteristics from the Results of Small Punch Tests. *Acta Metallurgica Slovaca*, Vol. 20, 2014, No. 4, pp. 389-396.)

Ocelářský koncern Salzgitter znovu dosahuje zisk

Die Welt

15. 5. 2015

U druhého největšího výrobce oceli v Německu, firmy Salzgitter, roste naděje na trvalejší zotavení. Základ pro návrat koncernu do ziskové zóny byl vytvořen, tvrdý úsporný program se vyplatil. Salzgitter vykázal v prvním čtvrtletí 2015 zase černá čísla. Po zdanění vydělal koncern 32,7 mil. €, po ztrátě 13,3 mil. € ve stejném období předcházejícího roku. Pro rok 2015 koncern vychází ze stabilního obratu a zisku před zdaněním ve výši několika desítek milionů €. Kromě mimořádně pozitivního vývoje výsledků v oboru ploché oceli, vč. tlustých plechů, a profilové oceli přispěly k dobrému výsledku také všechny ostatní oblasti obchodu.

Recenzované výzkumné články

Experimentální stanovení teplotních a silových poměrů ve válcovací mezeře

Experimental Determination of Thermal Flux and Contact Stresses in the Rolling Gap

Ing. Tomáš Luks¹, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.¹, Erik Bartuli¹

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Laboratoř přenosu tepla a proudění, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika

Při modelování technologického procesu válcování, pro predikci životnosti válců nebo při řízení válcovací tratě, hraje klíčovou roli určení teplotních a silových okrajových podmínek ve válcovací mezeře. Mnohdy jsou hodnoty okrajových podmínek stanoveny empiricky na základě zkušeností, případně jsou použity hodnoty přibližné a vycházející z nepřesných měření. Tento článek prezentuje výsledky měření okrajových podmínek ve válcovací mezeře pomocí dvojice nově vyvinutých senzorů.

Ke snímání mechanického napětí na rozhraní válec-provalek je využita metoda měřícího pinu, kdy vrchol měřícího elementu (pinu) je v kontaktu s válcovaným materiálem. Síly působící na pin jsou snímány třiosým piezoelektrickým snímačem sil a přepočteny na kontaktní napětí ve válcovací mezeře. Pro teplotní okrajovou podmínku při válcování zatepla je pracovní válec osazen podpovrchovým teplotním snímačem. Na základě zaznamenaných teplot a pomocí inverzní úlohy vedení tepla jsou vypočteny povrchové tepelné toky. Článek ukazuje konstrukci senzorů jejich implementaci v pracovním válci a záznamy z pilotních měření.

Klíčová slova: válcování; válcovací mezeře; tepelný tok; kontaktní napětí; koeficient tření

Boundary conditions in the roll gap play an important role in modelling of rolling processes, in prediction of the roll lifetime period, and at control of rolling mills. Estimations of thermal and mechanical conditions in the gap are not easy; the data can be approximated from indirect measuring methods or extrapolated from different processes. The complexity of rolling process requires direct measuring in the roll gap in order to obtain accurate results.

This article presents measuring of the boundaries condition in the roll gap performed by two new sensors. The contact stresses in the roll gap were measured by a pin, which was in direct contact with the rolled material. The forces on the top of the pin were measured by three axes piezoelectric force transducers and recalculated to the contact stress. Thermal boundary condition in the form of heat-flux was calculated from the subsurface temperature measured in the roll. The temperature sensor contained a thermocouple (type K) placed 0.5 mm under the roll's surface. Heat flux was computed by inverse task where Beck sequential algorithm was used.

The sensors were tested in a small mill inside a 230 mm roll. 29 strips with different rolling parameters were rolled. Thermal results show wider heat-flux curve than the real size of the roll gap. For a proper use the heat flux has to be recalculated for the real size of the roll gap. The result from the force sensor was in some cases influenced by material penetration into the gap around the pin. This was mostly in the hot rolling condition. The result for tangential direction was distorted, but normal stresses in the gap were not influenced too much and they can be used in combination with the heat flux results.

Key words: rolling; roll gap; heat flux; contact stresses; friction coefficient

Zpracování materiálu válcováním představuje nejrozšířenější technologii výroby hutních polotovarů. Tato technologie je vzhledem k velkým objemům výroby poměrně ekonomická. Velká část výrobních nákladů výroby je však soustředěna do obnovy pracovních válců. Proto je každé prodloužení životnosti

válce přínosné a rychle se projeví na snížení nákladovosti. Mezi hlavní faktory ovlivňující životnost pracovních válců patří abrazivní opotřebení povrchu válce a cyklické teplotně-mechanické zatěžování povrchové vrstvy [1].

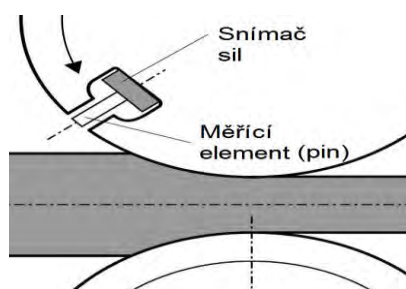
Přesné určení okrajových podmínek těchto procesů je proto rozhodující, a to jak pro modely studující životnost válců, tak pro studium zpracování nových progresivních materiálů, případně i pro řídicí systémy válcovacích stolic.

Experimentální stanovení okrajových podmínek ve válcovací mezeře vyžaduje netriviální metody měření. Použité snímače musí být schopné odolat různým provozním podmínkám. Při válcování za studena dochází ke značnému silovému zatížení. Válcové musí překonat deformační odpor vývalku při nízkých teplotách a dochází k extrémním hodnotám válcovacích sil. Teplotní vliv na povrchové vrstvy válce je minimální. Teplota provalku sice vzroste vlivem mechanického přetvoření, avšak teplotní nárůst je malý. Na druhé straně u válcování za tepla je dominantní teplotní zatížení vyvolávající teplotní gradient a v jeho důsledku i napjatost v povrchové vrstvě válce.

1. Měření sil ve válcovací mezeře

Metody měření s použitím malého měřicího elementu (pinu) patří mezi poměrně staré metody k měření lokální hodnoty mechanického napětí na rozhraní válec-polotovar při tvářecích procesech [2]. Pin představuje vetknutý nosník, který je v kontaktu s provalkem při průchodu válcovací mezerou (obr. 1). Je uložen v pracovním válci tak, aby se při měření nemohl dotýkat stěn díry, ve které je uložen. Deformace pinu, úměrné zatěžující síle, jsou změřeny a přepočteny na kontaktní napětí na rozhraní těles válec-provalek. Ke snímání sil je obvykle použito tenzometrické měření deformace.

S víceosým snímačem sil lze tímto způsobem měřit nejen normálové napětí ve válcovací mezeře, ale také smyková napětí v tangenciálním a axiálním směru.



Obr. 1 Schéma měření lokálního kontaktního napětí ve válcovací mezeře pomocí pinu

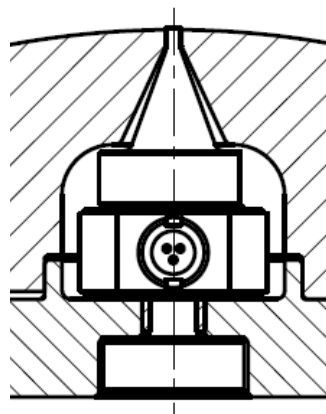
Fig. 1 Scheme of the contact stress measuring in the roll gap by pin-sensor

Použitím tenzometrického měření vznikají protichůdné požadavky na tuhost pinu. Ke zvýšení citlivosti měřicí soustavy je potřeba snížit tuhost pinu (zvýšit deformace), naproti tomu k zamezení kontaktu s okolním materiálem válce je potřeba tuhost zvýšit.

Pro zvýšení citlivosti měření a zvýšení tuhosti bylo u nové konstrukce snímače využito měření sil pomocí piezoelektrického převodníku. Piezoelektrický aktivní

materiál generuje elektrický náboj přímo úměrný mechanickému napětí v materiálu. Vhodným řezem piezoelektrického materiálu je možno docílit citlivosti také na tečné síly, a zkonstruovat tak tříosý snímač sil.

Jako základ senzoru byl zvolen tříosý piezometrický snímač sil KISTLER 9028 s citlivostí $-7,8 \text{ pC/N}$ pro tečné směry x , y a $-3,8 \text{ pC/N}$ pro normálový směr z . Velikost pinu byla na základě výpočtu a konstrukčních omezení zvolena takto: průměr kontraktní části pinu $D = 1,88 \text{ mm}$, délka měřená od snímače 22 mm .



Obr. 2 Schéma senzoru

Fig. 2 Scheme of the sensor

Měřicí část pinu je ve stejné výšce jako pracovní povrch válce a při podobné tuhosti dává měřený signál nezkrácené výsledky. Samotné umístění senzoru v umělé dutině uvnitř válce ovlivňuje tuhost válce v okolí senzoru, a tím i geometrii válcování. Této skutečnosti se nelze zcela vyhnout. Můžeme jen tento vliv zmenšit umístěním dutiny hlouběji pod povrchem.



Obr. 3 Pin s předepnutým piezoelektrickým snímačem sil

Fig. 3 Pin and preloaded piezoelectric force transducer mounted on the plate

Konstrukce piezoelektrického snímače sil vyžaduje pro svou správnou funkci předpětí. Toho je dosaženo pomocí matice a šroubu s jemným závitem. Pin, silový snímač a základová deska jsou spojeny (obr. 3) a předepnuty na hodnotu síly doporučenou výrobcem.

1.1 Výpočet sil

Osazený snímač byl před instalací do válce kalibrován. Vršek pinu byl jednotlivě zatěžován v hlavních měřicích směrech a byly současně měřeny výstupní signály pro všechny tři osy. Tímto způsobem byla sestavena matice přenosu K mezi aplikovanou silou F a výstupním signálem O definovaným rov. (1), symbolicky zapsaná rov. (2). Pomocí inverzní matice K můžeme z výstupního signálu snímače zpětně rekonstruovat sílu působící na pin a eliminovat vzájemné ovlivňování mezi jednotlivými kanály, jak vyjadřuje rov. (3). Tento postup je možný pouze za předpokladu lineárního chování snímače.



Obr. 3 Kalibrace piezoelektrického snímače sil s osazeným pinem
Fig. 3 Calibration of piezoelectric force transducers

$$\begin{bmatrix} O_x \\ O_y \\ O_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$O = K \cdot F \quad (2)$$

$$F = K^{-1} O \quad (3)$$

Průběh kontaktních mechanických napětí σ_n , τ_x , τ_z ve válcovací mezeře je poté vypočten na základě kontaktní plochy pinu o průměru D a příslušné složky síly F . Napětí σ_n představuje normálové napětí ve válcovací mezeře, τ_x je smykové napětí ve směru válcování a τ_z je smykové napětí ve směru osy válců.

$$\sigma_n = \frac{F_z}{S} = \frac{4F_z}{\pi * D^2} \quad (4a)$$

$$\tau_x = \frac{F_x}{S} = \frac{4F_x}{\pi * D^2} \quad (4b)$$

$$\tau_z = \frac{F_y}{S} = \frac{4F_y}{\pi * D^2} \quad (4c)$$

Z průběhu napětí je možné také podle rov. (5) vypočítat koeficient tření μ podél záběrného oblouku jako poměr normálového napětí σ_n a tečného napětí τ_x ve směru válcování. Průběh μ ve skutečnosti představuje nejen koeficient tření (závislost mezi normálovou a tečnou

složkou síly při pohybu dvou těles), ale také je zde zahrnuta oblast přilnutí, kde je rozdíl rychlostí provalku a pracovního válce nulová a ke tření nedochází.

$$\mu = \left| \frac{\tau_x}{\sigma_n} \right| \quad (5)$$

2. Měření tepelných toků ve válcovací mezeře

Při válcování dochází ke styku dvou materiálů s rozdílnou teplotou. Jednou z metod měření tepelných toků ve válcovací mezeře je osazení provalku sadou termočlánků. Z poklesů teplot lze následně vypočítat tepelné toky na rozhraní [3]. Hloubka umístění termočlánků je však omezena velkými deformacemi blízko povrchu. Záznam teplot z experimentu navíc poskytne data pouze z jednoho průchodu provalku stolicí. Obtížnější je umístění snímačů do válce, kdy je termočlánek umístěn v malé hloubce pod povrchem a povrchové okrajové podmínky jsou dopočítány pomocí inverzní úlohy.

Na základě předchozích zkušeností [4] byl vytvořen teplotní senzor (obr. 4) s termočlánkem typu K měřící teplotu pod povrchem v hloubce 0,5 mm. Termočlánek je umístěn v drážce paralelně s osou válce a zalit niklovou pákou. Teplotní vodivost niklové pájky je podobná teplotní vodivosti oceli a nevzniká tak velké ovlivnění teplotního pole v okolí termočlánku.



Obr. 4 Teplotní čidlo pro zabudování do pracovního válce
Fig. 4 Temperature sensor before installation into the work roll

Po zabudování snímače ve válci je povrch přebroušen speciální odvalovací bruskou k dosažení souvislého povrchu válce. Před měřením je teplotní senzor kalibrován pomocí proudu horké vody z laminární trysky. Kalibrace slouží k upřesnění pozice termočlánku a korekci výrobních nepřesností pro výpočtový model použitý v inverzní úloze.

2.1 Výpočet tepelných toků ve válcovací mezeře

Pomocí změřených podpovrchových teplot válce jsou použitím inverzní úlohy vedení tepla vypočteny časově závislé okrajové podmínky: hustota tepelného toku a povrchová teplota válce. Pro výpočet je použit Beckův

sekvenční přístup [5 – 7]. Metoda používá sekvenční odhad časově proměnných okrajových podmínek a dopředných časových kroků ke stabilizaci výpočtu.

První součet čtverců chyb je vypočítán s použitím f dopředných časových kroků, kdy změřené teploty T_i^* jsou porovnány s vypočtenými teplotami T_i v aktuálním čase m :

$$SSE = \sum_{i=m+1}^{m+f} (T_i^* - T_i)^2 \quad (6)$$

Teploty T_i jsou vypočteny přímým výpočtem metodou konečných objemů. Tepelný tok q s povrchu q v čase m je možné vypočítat minimalizací rov. (6)

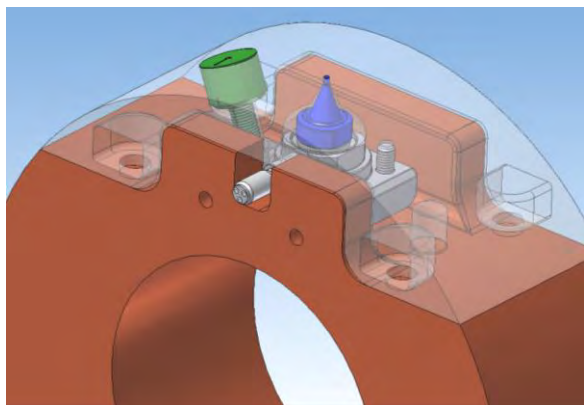
$$q^m = \frac{\sum_{i=m+1}^{m+f} (T_i^* - T_i|_{q^m=0}) \zeta_i}{\sum_{i=m+1}^{m+f} (\zeta_i)^2} \quad (7)$$

kde $T_i|_{q^m=0}$ jsou teploty v místě termočlánku, které byly vypočteny přímým výpočtem za použití dříve vypočtených tepelných toků bez q^m . Parametr ζ_i je citlivost snímače s termočlánkem v časovém indexu i na tepelný tok v čase m . Tento koeficient citlivosti představuje zvýšení teploty v termočlánku na jednotku tepelného toku na povrchu. Koeficient citlivosti snímače je definován jako:

$$\zeta_i = \frac{\partial T_i}{\partial q^m} \quad (8)$$

3. Implementace snímačů ve válci

Dvojice senzorů byla umístěna v testovacím válci zkušební stolice s průměrem válce 230 mm. Pro snazší instalaci senzorů byl válec rozříznut na tři části. Teplotní senzor a pin senzor jsou umístěny ve středové rovině válce, ale navzájem posunuty o 22°. Signály ze senzoru jsou z válce přenášeny bezdrátově pomocí indukčního přenosu dat a uloženy spolu ostatními daty z válcovací stolice v PC.



Obr. 5 Teplotní čidlo a pin senzor – umístění ve válci
Fig. 5 Temperature sensor and pin sensor in the roll

4. Výsledky měření

Na testovací stolici bylo vyválcováno celkem 29 zkušebních tyčí s obdélníkovým průřezem. Šířka tyče byla 30 mm, tloušťka se pohybovala mezi 5 – 10 mm a byla přesně změřena před válcováním. Délka tyče byla přibližně 2 m, což představuje při obvodu válce 0,72 m 2 – 3 kontakty provačku se senzory v jednom válcovacím průchodu. Zkušební tyče byl směřovány do válcovací mezery tak, aby senzory měřily v polovině šířky tyče. Podrobný rozpis pracovního postupu při experimentu je uveden v článku [4]. Základní parametry válcování pro prezentované experimenty jsou uvedeny tab. 1.

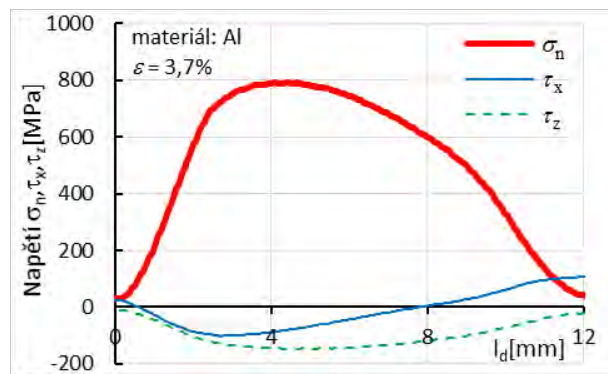
Tab. 1 Parametry válcování
Tab. 1 Rolling parameters

Exp. (mat.)	Vstup. tl. h_0 [mm]	Výstup. tl. h_1 [mm]	Def. [%]	Válc. síla [kN]	Tep. [°C]
C1 Hliník 6060-T6	8,3	8,02	3,7	89	20
C2 Hliník 6060-T6	8,3	7,91	4,7	108	20
H7 uhlíková ocel S235JR	10,3	8,65	16	79	985
H8 uhlíková ocel S235JR	10,3	7,41	28,1	139	986

Obvodová rychlost válce byla $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pro všechna měření z tab. 1. Napětí σ_n představuje průběh normálového tlaku ve válcovací mezeře. Smykové napětí τ_x je tečná složka napětí podél obvodu válce. Smykové napětí τ_z je tečná složka napětí ve směru osy válce.

Jednotlivé výsledky v grafech níže jsou vykresleny podél záběrového oblouku. Pozice $l_d = 0 \text{ mm}$ představuje vstup do válcovací mezery.

Teplotní čidlo při válcování za studena vykazovalo jen mírné nárůsty teplot, přibližně $1,5 \text{ °C}$ na otáčku pro experiment C1.



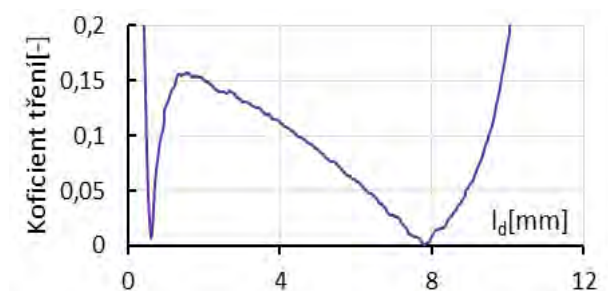
Obr. 6 Distribuce napětí ve válcovací mezeře při válcování hliníku za studena, experiment. C1

Fig. 6 Stress distribution in the roll gap during cold rolling of aluminium bar, experiment C1



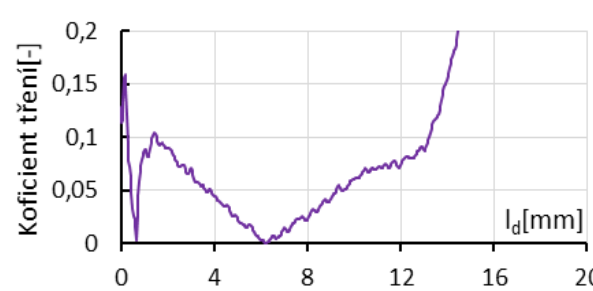
Obr. 9 Distribuce napětí ve válcovací mezeře při válcování uhlíkové oceli za tepla, exp. H7

Fig. 9 Stress distribution in the roll gap during hot rolling of steel bar, experiment H7



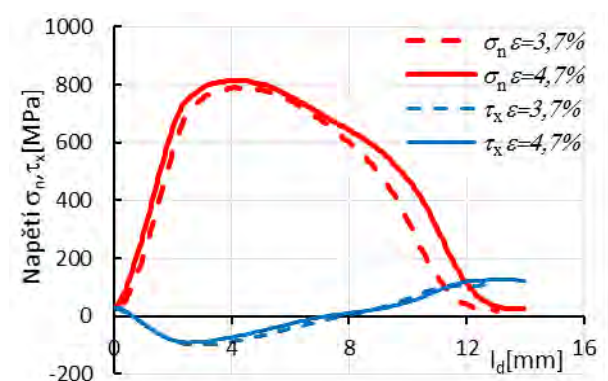
Obr. 7 Distribuce koeficientu tření ve válcovací mezeře v obvodovém směru při válcování hliníku za studena, experiment C1

Fig. 7 Distribution of the friction coefficient in the roll gap for cold rolling of aluminium, exp. C1



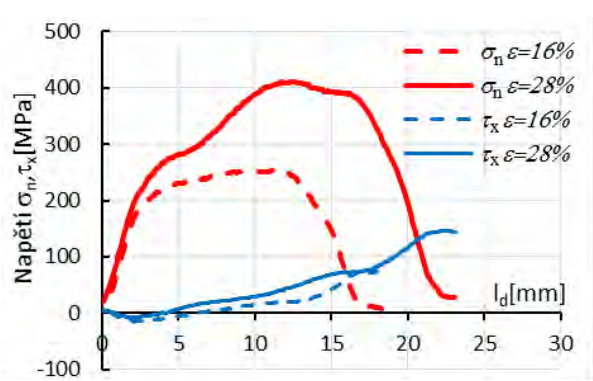
Obr. 10 Distribuce koeficientu tření ve válcovací mezeře v obvodovém směru při válcování oceli za tepla, experiment H7

Fig. 10 Distribution of the friction coefficient in the roll gap for hot rolling of carbon steel, exp. H7



Obr. 8 Distribuce napětí ve válcovací mezeře při válcování hliníku za studena pro různou velikost deformace

Fig. 8 Stress distribution in the roll gap during cold rolling of aluminium bar for different reductions



Obr. 11 Distribuce napětí ve válcovací mezeře při válcování uhlíkové oceli za tepla pro různou velikost deformace

Fig. 11 Stress distribution in the roll gap during cold rolling of aluminium bar for different reductions

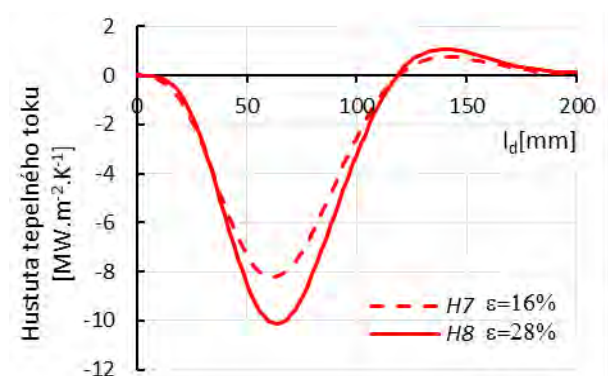
Distribuce napětí ve válcovací mezeře (obr. 6, 8, 9, 11) byla srovnána s teoretickou délkou pásma deformace ve válcovací mezeře rov. (9).

$$l_d = \sqrt{R \cdot (h_0 - h_1)} \quad (9)$$

Tab. 2 Kontaktní délka
Tab. 2 Contact length

Exp. (mat.)	Teoretická kontaktní délka l_d [mm]	Kontaktní délka z pin senzoru l_d' [mm]	Rozdíl $l_d' - l_d$ [mm]
C1 hliník	6,4	10,5	4,1
C2 hliník	7,4	11,4	4
H7 uhlíková ocel	14,0	15,6	1,6
H8 uhlíková ocel	18,6	21,0	2,4

Kontaktní délka pásma deformace odvozena z měření pomocí pinu vykazuje rozdíl asi 4 mm při válcování za studena a 2 mm při válcování za tepla oproti teoretické délce pásma deformace. Toto může být způsobeno nerovnoměrnou deformací pinu a válce vlivem přítomnosti dutiny, kdy se pin dostává do kontaktu dříve než plný válec.



Obr. 12 Válcování za tepla - Hustota tepelného toku ve válcovací mezeře z inverzní úlohy

Fig. 12 Hot rolling - Heat flux in the roll gap

Vypočtená hustota tepelného toku (obr. 12) působí přibližně na 5x větší ploše válce než je fyzická velikost válcovací mezery (obr. 11). Celkové množství tepla přeneseného přes válcovací mezeru během jedné otáčky válce je však zachováno. Pro korektní použité okrajové podmínky v modelech je proto třeba vypočítat ekvivalentní hustotu tepelného toku působícího na skutečné délce válcovací mezery.

Závěr

Při měření sil docházelo k postupnému zanášení prostoru mezi pinem okolím a k degradaci měření tečných napětí. Tento efekt je patrný zvláště u válcování za tepla, kdy přítomnost oxidů způsobuje postupné zanášení lůžka pro měřicí element (pin). U válcování za studena, které bylo provedeno nejdříve, byla mezera okolo pinu čistá.

I přes jisté komplikace u obou senzorů bylo měření úspěšné. Jednou z výjimečností tohoto měření byla schopnost simultánně měřit podmínky ve válcovací mezeře, teplotní i silové. Aplikace piezoelektrického snímače sil zjednodušilo návrh měření pomocí pinu a vykazovalo skvělou citlivost.

Poděkování

Výsledky tohoto projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) byly získány za finančního přispění MŠMT v rámci účelové podpory programu "Národní program udržitelnosti I".

Literatura

- [1] SPUZIC, S., STAFFORD, K. N., SUBRAMANIAN, C., Wear of hot rolling mill rolls: an overview. *Elsevier Science S. A.*, 1994
- [2] NYAHUMWA, C. The evolution of a cantilever sensor to measure normal and frictional forces in the roll gap during cold rolling, *Journal of Materials Processing Technology*, 1996
- [3] PIETRZYK, M., LENARD, J.G. Thermal-mechanical modelling of the flat rolling process, *Springer-Verlag*, New York 1991
- [4] KOTRBACEK, P., RAUDENSKÝ, M., HORSKÝ, J., POHANKA, M., Experimental study of heat transfer in hot rolling, *Revue de Métallurgie - Cahiers d'Informations Techniques* 2006,103(7-8),333-41.
- [5] BECK, J.V., BLACKWELL, B., CLAIR, CH. R. ST., Inverse heat conduction: ill-posed problems. *Wiley-Interscience*, New York 1985.
- [6] RAUDENSKÝ, M., Heat Transfer Coefficient Estimation by Inverse Conduction Algorithm, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, Vol. 3, 1993, No. 3, pp. 257-266
- [7] POHANKA, M., HORSKÝ, J. Inverse Algorithms for Time Dependent Boundary Reconstruction of Multidimensional Heat Conduction Model. In: *Seminar of Thermophysics 2007*, Bratislava: October, 2007, Slovakia, pp. 14-23
- [8] LUKS, T., HORSKÝ, J., NILSSON, A., JONSSON, N-G. LAGERGREN, J., Contact stress distribution and roll surface temperatures in the roll gap analyzed with different sensors, *La Metallurgia Italiana*, 2014, 01, 17-23

Stanovení tepelného odporu v kontaktu na základě nestacionárního teplotního měření

Determination of the Thermal Contact Resistance from Unsteady Temperature Measurements

Ing. Jiří Kvapil¹, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.¹, Ing. Michal Pohanka, Ph.D.¹

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Laboratoř přenosu tepla a proudění, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika

V poslední době se v průmyslu stále častěji používají numerické simulace k optimalizaci výrobních procesů. Tyto numerické simulace ale potřebují velké množství vstupních parametrů a některé z těchto parametrů nejsou dosud dostatečně popsány. Jedním z nich parametrů je tepelný odpor, který je v literatuře nedostatečně popsán pro vyšší teploty a kontaktní tlaky.

Tento článek se zabývá postupem, jak tepelný odpor experimentálně měřit a stanovit součinitel přestupu tepla v kontaktu, který je převrácenou hodnotou k tepelnému odporu a může být v numerických simulacích použit jako okrajová podmínka popisující kontakt dvou těles.

Pro účely experimentálních měření tepelného odporu bylo v Laboratoři přenosu tepla a proudění (LPTP), VUT v Brně sestaveno experimentální zařízení, které umožňuje měřit tepelný odpor mezi dvěma tělesy za různých podmínek, které vzniknou nastavením parametrů, jakými je např. kontaktní tlak, počáteční teplota těles, typ materiálu, drsnost povrchu těles, přítomnost okujů na povrchu atd. Tělesa v kontaktu se označují jako senzor a vzorek a jsou v nich zabudována teplotní čidla, která při experimentu zaznamenávají teplotu. Poté jsou teplotní průběhy použity v numerickém výpočtu, který využívá inverzní metodu vedení tepla. Výsledkem výpočtu je stanovení průběhu součinitele přestupu tepla v kontaktu během experimentu. Na závěr jsou výsledky shrnuty a je popsáno chování tepelného odporu v závislosti na parametrech, které ho ovlivňují.

Klíčová slova: tepelný odpor; součinitel přestupu tepla v kontaktu; inverzní úloha vedení tepla

Nowadays numerical simulations are used to optimize manufacturing process. These numerical simulations need a large amount of input parameters and some of these parameters have not been sufficiently described. One of this parameter is thermal contact resistance, which is not sufficiently described for high temperatures and high contact pressure.

This article describes experimental measuring of thermal contact resistance and manner of determination of the thermal contact conductance, which can be used as a boundary condition for numerical simulations.

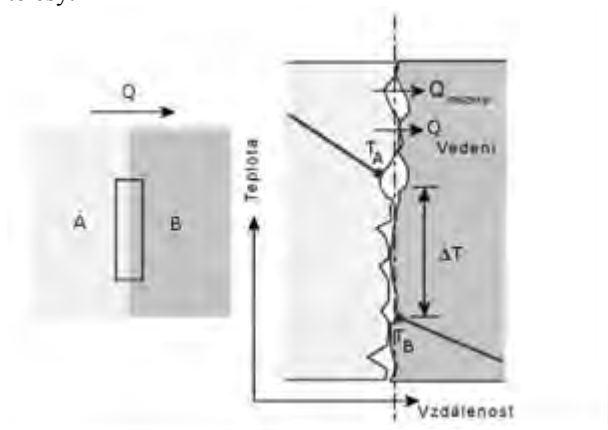
An experimental device was built in the Heat Transfer and Fluid Flow Laboratory, part of the Brno University of Technology, and it can be used for measuring the thermal contact conductance in various conditions, such as contact pressure, initial temperatures of bodies in contact, type of material, surface roughness, presence of scales on the contact surface. Bodies in contact are marked as a sensor and a sample, both of them are embedded into thermocouples. The temperature history of bodies during an experiment is measured by thermocouples and it is then used to estimate time dependent values of the thermal contact conductance by an inverse heat conduction calculation. Results are summarized and dependence of the thermal contact resistance in various conditions is described.

Key words: thermal resistance; thermal contact conductance; inverse heat conduction problem

Jestliže jsou dvě tělesa v kontaktu, vznikne mezi nimi nedokonalý spoj (obr. 1). Vznik nedokonalého spoje je způsoben hlavně drsností obou povrchů těles a jejich tvarem. V případě, že jsou obě tělesa rovinného tvaru, jejich spoj se skládá z mnoha diskretních vlastností materiálu. Dalším parametrem, který ovlivní velikost a rozložení mikrokontaktů ve spoji, je velikost

mikrokontaktů, které jsou ve spoji rozloženy náhodně. Pokud těleso nemá rovinný tvar, jsou mikrokontakty rozloženy do určité oblasti spoje. Velikost mikrokontaktů a jejich hustota ve spoji závisí na parametrech určujících drsnost povrchu a fyzikálního tlaku v kontaktu a typ deformace nerovností na povrchu obou těles. V místě, kde ve spoji nedochází k přímému

dotyku obou materiálů, vzniká mezera. V mezeře se nejčastěji nachází tekutina (např. vzduch, voda, olej atd.). Kondukce přes místa dotyku je hlavní složkou přenosu tepla, i když tento přestup tepla probíhá na velmi malých plochách. Z důvodu nedokonalého spoje vznikne rozdíl povrchových teplot ΔT mezi oběma tělesy.



Obr. 1 Kontakt dvou těles
Fig. 1 Contact of two bodies

Tepelný odpor v kontaktu R_k je matematicky definován jako

$$R_k = \frac{\Delta T}{q} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right], \quad (1)$$

kde q je tepelný tok přes rozhraní.

Reciproční k tepelnému odporu v kontaktu je součinitel přestupu tepla v kontaktu α_k , který je definován jako

$$\alpha_k = \frac{1}{R_k} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]. \quad (2)$$

Tepelný odpor v kontaktu se dá odvodit buď teoreticky, nebo experimentálním měřením.

Bylo publikováno několik teoretických korelačních vztahů, kterými se dá teoreticky určit velikost tepelného odporu za určitých podmínek při vzniku 3 typů deformací povrchu těles v kontaktu: elastická (Mikić) [1], plastická (Cooper, Mikić, Yovanovich) [2] a elastoplastická (Sridhar, Yovanovich) [3]. Tyto korelační vztahy jsou běžně používány (např. v Comsol Multiphysics). Fiedberg [4] ale ukazuje, že korelační vztahy jsou velmi nepřesné při kontaktním tlaku nad 7 MPa a rozdílu teplot těles více jako 500 °C. Jelikož se v hutním průmyslu pracuje s kontaktními tlaky v řádu stovek MPa a teplotami až 1200 °C, je tato oblast tepelného odporu v kontaktu velmi málo popsána a hutní průmysl má velký zájem o data z experimentálních měření.

Experimentální měření tepelného odporu se zpravidla dělí na statický a dynamický způsob. Při statickém způsobu se do obou těles v kontaktu zabudují

termočlánky. Poté je jedna strana soustavy konstantně zahřívána a protější ochlazována. Po ustálení tepelného toku v soustavě se pomocí termočlánků určí tepelný tok přes kontakt obou těles, z termočlánků se extrapoluje rozdíl povrchových teplot v kontaktu a vypočte se výsledný tepelný odpor.

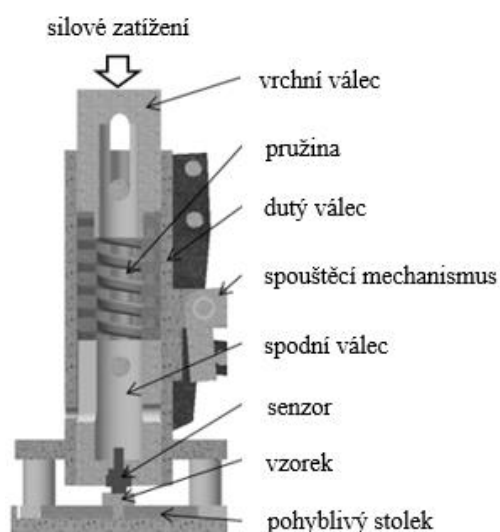
Dynamický způsob spočívá v ohřátí jednoho z těles na požadovanou teplotu a poté je vytvořen kontakt s druhým tělesem za předem stanovených podmínek. V obou tělesech jsou zabudovány termočlánky, které slouží jako vstup do inverzní úlohy vedení tepla. Výstupem je časová závislost koeficientu přestupu tepla v kontaktu.

1. Experimentální stanovení tepelného odporu

Hlavní myšlenkou stanovení tepelného odporu v kontaktu pomocí experimentálního měření spočívá ve vytvoření kontaktu mezi dvěma tělesy s rozdílnou teplotou při daném kontaktním tlaku. Pro tuto potřebu bylo vytvořeno speciální experimentální zařízení.

1.1 Experimentální zařízení

Zařízení (obr. 2) pro měření tepelných odporů bylo vyvinuto a sestrojeno v Laboratoriu přenosu tepla a proudění VUT v Brně. Zařízení umožňuje vytvořit v krátkém časovém okamžiku kontakt mezi dvěma tělesy. Tlak v kontaktu lze nastavovat pomocí silového zatížení pružiny. Dataloger umožňuje zaznamenávat průběh teploty v obou tělesech (dále označovaných jako senzor a vzorek) jak před, tak i po jejich kontaktu s maximální vzorkovací frekvencí 320 Hz, která umožní zaznamenat i velmi rychlé změny teplot.



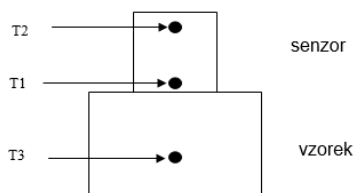
Obr. 2 Experimentální zařízení
Fig. 2 Experimental apparatus

Základem zařízení je ocelové těleso válcovitého tvaru, ve kterém je umístěna pružina. Z obou stran pružiny jsou umístěny dva válce, z nichž horní je použit ke

stlačení pružiny. Dvěma hlavními součástmi zařízení je senzor a vzorek, které jsou vyrobeny z požadovaného materiálu a jejich kontaktní plochy jsou upraveny na požadovanou drsnost.

Ke spodnímu válci je připevněn senzor, který má tvar válce s průměrem 12 mm. Pod něj je možné vložit testovací vzorek, který je rovněž ve tvaru válce a má průměr 25 mm. V senzoru jsou zabudovány dva termočlánky. První termočlánek (T1) s průměrem 0,5 mm, typu K je zabudován 1 mm od povrchu senzoru. Druhý termočlánek (T2) s průměrem 1 mm, typu K je zabudován 10 mm od povrchu senzoru.

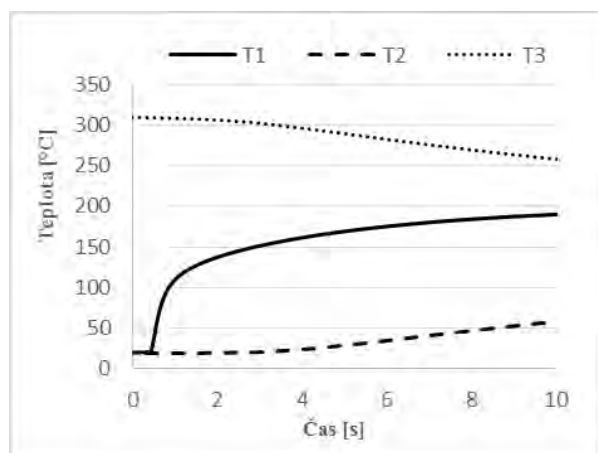
Vzorek je také vybaven termočlánkem (T3) o průměru 1 mm, typu K a je zabudován ve vzdálenosti 10 mm od povrchu vzorku.



Obr. 3 Detail zabudování termočlánků
Fig. 3 Detail of the sensor and the sample

1.2 Průběh experimentu

Nejdříve je vzorek vložen do elektrické pece k ohřevu na požadovanou teplotu. Dále je spodní válec zajištěn proti pohybu a pomocí vrchního válce je pružina stlačena silou k vytvoření požadovaného tlaku v kontaktu. Po ustálení teploty ve vzorku je vzorek vyjmut z pece a vložen na pohyblivý stolek a zasunut pod senzor. Spouštěcím mechanismem je uvolnění spodní válce a dojde k nárazu senzoru do vzorku. Vlivem rozdílné teploty nastane přestup tepla přes kontakt. Velikost silového zatížení pružiny je měřena pomocí silového senzoru. Během experimentu jsou data z termočlánku ukládána v datalogeru.



Obr. 4 Záznam teplot během experimentu
Fig. 4 Temperature history during experiment

Na obr. 4 jsou zobrazeny průběhy teplot z testovacího měření, pro něž byl senzor i vzorek vyroben z nerezové oceli AISI 304, povrchová drsnost senzoru Ra 0,8 a vzorku Ra 7,2, počáteční teplota senzoru 22 °C a vzorku 305 °C. Kontaktní tlak byl nastaven na 100 MPa.

1.2 Výpočet okrajové podmínky

Ze záznamu teplot jsou pomocí inverzní úlohy vedení tepla vypočítány povrchové teploty a součinitel přestupu tepla v kontaktu, který je převrácenou hodnotou tepelného odporu v kontaktu.

Pro výpočet je vytvořen numerický model (obr. 5), který je zleva a zprava zaizolován (tepelný tok je roven nule, shora je nastavena okrajová podmínka na teplotu termočlánku T2 a zdola na teplotu T3).

Součástí modelu je imaginární vrstva, která je umístěna mezi senzorem a vzorkem. Nastavováním její tepelné vodivosti je řízen přenos tepla mezi senzorem a vzorkem. Tloušťka imaginární vrstvy byla v modelu nastavena na 0,01 mm.

Při sekvenčním výpočtu, který je podobný Beckově algoritmu [5, 6], se optimalizuje tepelná vodivost imaginární vrstvy v každém výpočtovém kroku tak, aby se nasimulovaná teplota v místě teplotního čidla T1 co nejvíce blížila naměřené teplotě v senzoru během experimentu.



Obr. 5 Numerický model
Fig. 5 Numerical model

Pro stabilitu výpočtu se používají dopředné kroky a hledá se nejmenší součet chyb pro f dopředných kroků pomocí následujícího vzorce:

$$SSE = \sum_{i=m+1}^{m+f} (T_i^* - T_i)^2, \quad (3)$$

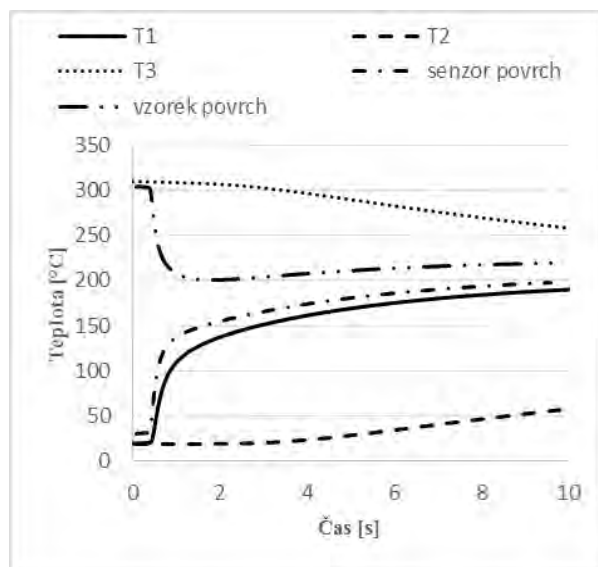
kde m značí aktuální časový krok, teploty T_i^* jsou změřené teploty v termočlánku T1, teploty T_i jsou vypočteny přímým výpočtem, např. metodou konečných diferencí, metodou konečných prvků anebo metodou konečných objemů.

Pro nalezení minima SSE při f dopředných krocích je využit Brentův algoritmus [7], který je založen na inverzní parabolické interpolaci. Při nalezení minima SSE získáme velikost tepelné vodivosti imaginární vrstvy k a vypočítáme součinitel přestupu tepla v kontaktu α_m pro časový krok m

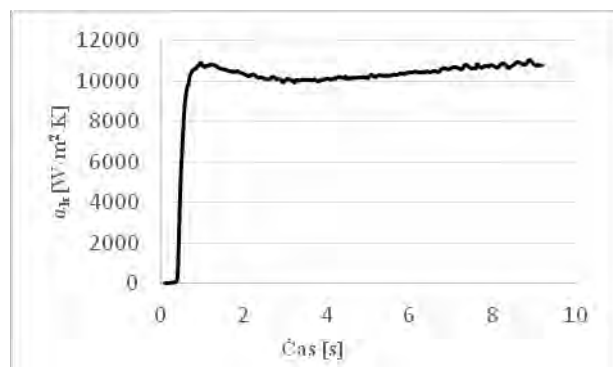
$$\alpha_m = \frac{k^m}{\Delta x} \quad (4)$$

kde Δx je šířka imaginární vrstvy (v našem případě 0,01 mm).

Vypočtené povrchové teploty jsou zobrazeny v obr. 6 a průběh součinitele přestupu tepla v kontaktu v obr. 7, z něhož vyplývá, že pro výše zmíněnou konfiguraci experimentu se hodnota součinitele přestupu tepla v kontaktu pohybuje kolem 11 000 W/m².K.



Obr. 6 Vypočtené povrchové teploty
Fig. 6 Calculated surface temperatures



Obr. 7 Vypočtený součinitel přestupu tepla v kontaktu
Fig. 7 Calculated thermal contact conductance

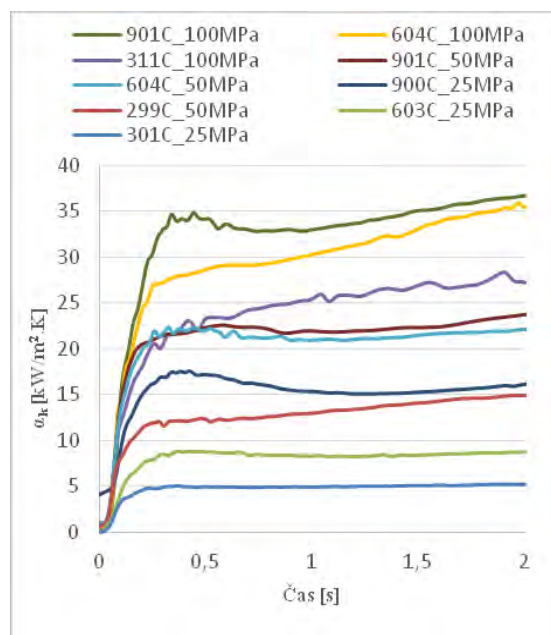
2. Vyhodnocení experimentálních výsledků

Pro další experimenty byly zvoleny dva parametry (počáteční teplota vzorku a kontaktní tlak) a byl vytvořen experimentální plán (tab. 1), který měl ukázat, do jaké míry tyto dva parametry ovlivňují tepelný odpor v kontaktu. Senzor i vzorek byly vyrobeny z nerezové oceli AISI 304 a měly stejnou drsnost povrchu Ra 0,8.

Tab. 1 Fyzikální podmínky experimentu
Tab. 1 Physical conditions of the experiment

Název	Teplota vzorku [°C]	Tlak [MPa]
301C_25MPa	301	25
299C_50MPa	299	50
311C_100MPa	311	100
603C_25MPa	603	25
604C_50MPa	604	50
604C_100MPa	604	100
900C_25MPa	900	25
901C_50MPa	901	50
901C_100MPa	901	100

Na obr. 8 jsou zobrazeny vypočtené závislosti součinitele přestupu tepla v kontaktu na čase pro různé nastavení kontaktních tlaků a počátečních teplot vzorku. Je vidět, že dominantním parametrem ovlivňujícím velikost součinitele přestupu tepla v kontaktu je kontaktní tlak, který způsobí deformaci kontaktních ploch, a dojde tak k lepšímu přenosu tepla. Nepatrný vliv má i počáteční teplota vzorku.



Obr. 8 Závislost součinitel přestupu tepla v kontaktu na tlaku a teplotě
Fig. 8 Dependence of the thermal contact conductance on the contact pressure and initial temperature

Závěr

V Laboratoři přenosu tepla a proudění VUT v Brně bylo vyvinuto zařízení a metodika pro výpočet tepelného odporu v kontaktu. Metodika je založena na měření teploty během kontaktu dvou těles a dokáže stanovit velikost tepelného odporu v kontaktu pro různé nastavení kontaktních tlaků, typu materiálu, počáteční teploty, drsnosti povrchu, přítomnosti okují atd. Numerický výpočet využívá imaginární vrstvy, která je vložena mezi tělesa, a změnou její tepelné vodivosti je nastaveno množství tepla, které přestupuje z jednoho tělesa do druhého.

Bylo provedeno několik experimentů s kontaktem těles vyrobených z nerezové oceli a drsností povrchu Ra 0,8 pro různé tlaky a počáteční teploty. Výsledky ukazují, že tepelný odpor je velmi závislý na kontaktním tlaku, méně už na počáteční teplotě vzorku.

Experimentálně vypočtené hodnoty tepelného odporu v kontaktu mají nezastupitelnou roli jako okrajové podmínky pro numerické simulace v ocelářském průmyslu, zejména simulace kontaktu opěrných válečků a bramy při plynulém odlévání oceli nebo při válcování za tepla či za studena.

Poděkování

Výsledky tohoto projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) byly získány za finančního přispění MŠMT v rámci účelové podpory programu "Národní program udržitelnosti I".

Literatura

- [1] MIKIĆ, B. B. Thermal contact conductance; theoretical considerations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 17, 1974, No. 2, pp. 205-214
- [2] COOPER, M. G., MIKIĆ, B. B., YOVANOVICH M. M. Thermal contact conductance, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 12, 1969, No. 3, pp. 279-300
- [3] SRIDHAR, M. R., YOVANOVICH M. M. Elastoplastic Contact Conductance Model for Isotropic Conforming Rough Surfaces and Comparison With Experiments, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 118, 1996, No. 1, pp. 3-9
- [4] FIEBERG C., KNEER R. Determination of thermal contact resistance from transient temperature measurements. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, 2008, No. 5-6, pp. 1017-1023
- [5] RAUDENSKÝ, M. Heat Transfer Coefficient Estimation by Inverse Conduction Algorithm. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, Vol. 3, 1993, No. 3, pp. 257-266
- [6] POHANKA, M., HORSKÝ, J. Inverse Algorithms for Time Dependent Boundary Reconstruction of Multidimensional Heat Conduction Model. In: *Seminar of Thermophysics 2007*, Bratislava: October, 2007, Slovakia, pp. 14-23
- [7] WILLIAM H. P., SAUL A. T., WILLIAM T. V., BRIAN P. F. Numerical Recipes in C. 2nd ed. 1997

ArcelorMittal dodá ocelová vlákna na stavbu metra v Kataru

Tisková zpráva AMO, Č.M.D.

15. 6. 2015

ArcelorMittal vytvořil novou mobilní aplikaci pro investory. Nová ambasáda Spojených států v Londýně bude mít základy z oceli, které dodá ArcelorMittal. Tato společnost získala od firmy Samsung ocenění „Nejlepší partner“. Společnost ArcelorMittal WireSolutions dodá okolo 21 500 t ocelových vláken, která budou použita ve třech trasách nového metra ve městě Dauhá. Pro firmu je to první dodávka ocelových vláken na Blízký Východ a zároveň největší dodávka ocelových vláken v její historii. Ocel do Dauhá doputuje z tří evropských výrobních center – z Lucemburska, Polska a Velké Británie. Metro bude otevřeno v druhé polovině roku 2019 a bude stát 35 mil. USD. Čtyři trasy s 98 stanicemi budou měřit přibližně 300 km. Ocelová vlákna budou tvořit ostění tunelů ve třech trasách metra.

Prodej CNG z VÍTKOVIC

Moravskoslezský deník, s. 10, kom.

16. 7. 2015

Skupina Vítkovice Machinery Group (VMG) prodala do poloviny letošního roku na svých plnicích stanicích pod značkou CN-Gvital už více než 1 mil. m³ CNG. Vloni byl stejný objem prodán za celý rok. Společnost VMG očekává, že do konce letošního roku překoná v prodeji hranici 3 mil. m³ CNG. V tržbách tato hodnota představuje téměř 60 mil. Kč. Ve srovnání se stejným obdobím roku 2014 je dosavadní letošní prodej o 60 % vyšší, a překonává tak plán.

Garantem prodeje CNG je dceřiná společnost Vítkovice Doprava. Společnost VMG dnes provozuje 18 plnicích stanic, z nichž 10 uvedla do provozu od loňského roku v prodejní síti společnosti Benzina. Během několika dalších měsíců se plánuje zřízení dalších 9 stanic po celé ČR.

Stanovení intenzity chlazení během semikontinuálního odlévání hliníkových slitin

Determination of Cooling Intensity During the Semi-continuous Casting Process of Aluminum Alloys

Ing. Michal Guzej¹, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.¹

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Laboratoř přenosu tepla a proudění, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika

Při odlévání ingotů z hliníkových slitin je velký důraz kladen na dosažení výrobků bez vad. Hlavní vliv na tvorbu defektů má množství tepla, které je odebráno z odlévaného kovu pomocí vodního proudu stékajícího z krystalizátoru po povrchu ingotu. Lící proces má dvě hlavní části. Počáteční fázi, kdy je tekutý kov nalitý do prostoru mezi krystalizátory, a ustálenou fázi, kdy je již vytvořena počáteční část ingotu a parametry liti jsou již neměnné (lící rychlost, průtok chladicí vody krystalizátorem, počáteční teplota atd.). Na tvorbu trhlin má zásadní vliv počáteční fáze, kde jsou podmínky liti velice proměnné, a proto zde dochází k velkému vnitřnímu pnutí v materiálu. Řešením je využit pulzní chlazení, které umožňuje vhodným nastavením délky pulzů snížit intenzitu chlazení. Zároveň umožňuje udržení průtoku krystalizátorem nad minimální doporučenou hodnotou, čímž nedojde k nehomogennímu chlazení po obvodu ingotu. Tento článek porovnává vliv dvou různých typů chlazení (pulzního a kontinuálního) na výslednou intenzitu chlazení, kterou reprezentuje součinitel přestupu tepla α v závislosti na povrchové teplotě ingotu. Pro účely těchto měření bylo zkonstruováno speciální měřicí zařízení, které bylo vybaveno vzorkem se zabudovanými termočlánky. Záznam teplot z experimentu byl za pomoci vyvinutého softwaru pracujícího na principu inverzního výpočtu přepočítán na povrchové teploty a odpovídající součinitel přestupu tepla α , které se dají použít jako okrajové podmínky do numerických simulací. Tím se dají přesně modelovat reálné procesy chlazení.

Klíčová slova: odlévání hliníkových slitin; součinitel přestupu tepla; experiment; inverzní výpočty

One of the most important considerations during the aluminum casting process is the capability of attaining defect-free ingots. A superheat extraction from the incoming liquid metal by the secondary water-cooling system has the major influence on defect generation due to direct water impingement on the ingot surface. The casting process has two distinct stages – start-up, when the liquid metal is filled between the molds, and steady state, when casting parameters do not change. Considerable attention should be paid to the initial start-up stage, where defects are most likely to be initiated. A solution is to use a pulse cooling, which reduces the cooling intensity, but keeps water flow rate above the minimum value. No available function exists, which accurately describes the cooling intensity using all of the aforementioned parameters, and so real measurement is the only way to determinate the cooling intensity. This paper deals with experimental investigation of the cooling intensity, which is described by a heat transfer coefficient dependence on the surface temperature during the casting process of ingots and which compares different cooling modes - continuous and pulse one. For measurement a special experimental device was designed and a sample with built-in thermocouples. Temperature history from the experiment is used as an input for mathematical software, which is based on inverse computation. Results of this program are surface temperature and heat transfer coefficient, which can be used as boundary conditions for a numerical model, which can simulate temperature distribution inside the ingot during the cooling process. Computed results showed that reduction of the water flow rate during continuous cooling by 62% brought approx. 45 % reduction of average heat transfer coefficient. If this is not enough, the pulse cooling is approx. 50 % less intensive than continuous cooling for the same water flow rate.

Key words: casting process of aluminium alloys; heat transfer coefficient; experiment; inverse task

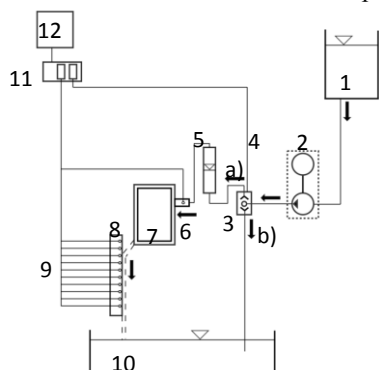
Chlazení vodním proudem se používá v mnoha průmyslových aplikacích, jednou z typických aplikací je chlazení během odlévání hliníkových slitin [1, 2]. Pro predikci tepelného pole během chlazení ingotů se dají použít komerční softwary (ANSYS, COMSOL atd.). Největší problém nastává u zjištění přesných okrajových podmínek, které jsou rozhodující pro reálnost

dosažených výsledků [3]. Zatím neexistuje funkce, kterou by se dalo přesně popsat chlazení na základě lících parametrů. Je tedy nutné využít dat naměřených z experimentů, které se co nejvíce přibližují reálným podmínkám [4]. Proto byla v Laboratoři přenosu tepla a proudění VUT v Brně vyvinuta speciální metodika, která na základě naměřených teplot v materiálu dokáže

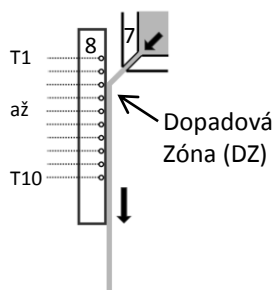
vypočítat relativní součinitel přestupu tepla na chlazeném povrchu.

1. Popis experimentů

Cílem měření bylo za pomoci experimentů přesně zreprodukovat podmínky, které nastávají v reálném provozu při lití hliníkových slitin a zjistit vliv důležitých parametrů na intenzitu chlazení (množství chladicí vody, typ chlazení a on/off čas pulzů pro pulzní chlazení). Měřicí obvod (obr. 1) se skládá z testovaného hliníkového vzorku se zabudovanými termočlánky, který je ohřát v peci na 475 °C. Následné chlazení je prováděno pomocí krystalizátoru se systémem kanálků vyúsťujících otvory na povrch vzorku. Průtok chladicí vody lze nastavit na požadovanou hodnotu v rozsahu od 5 do 15 l·min⁻¹. Pulzace jsou vyvolány za pomoci trojcestného ventilu (obr. 1, popis 3), který slouží ke střídavému přepínání mezi větvemi a) a b). Všechny pulzy mají periodu 1,5 s a změny jsou prováděny přes počítač. Data z termočlánků jsou zaznamenávána vzorkovací frekvencí 100 Hz a ukládána do počítače.



Obr. 1 Schéma měřicího obvodu
Fig. 1 Diagram of measuring circuit



Obr. 2 Pozice termočlánků vzhledem k DZ
Fig. 2 Position of the thermocouple in respect to the impact zone

V obr. 1 představuje: 1 – nádrž s chladicí vodou, 2 – čerpadlo, 3 – trojcestný ventil (zajišťuje pulzace), 4 – kabel pro ovládání a nastavování pulzací, 5 – průtokoměr, 6 – termočlánek pro měření teploty chladicí vody, 7 – krystalizátor, 8 – testovací vzorek, 9 – termočlánky pro záznam chlazení, 10 – nádrž pro použitou vodu, 11 – systém pro záznam dat, 12 – počítač.

Tab. 1 Experimenty – kontinuální chlazení
Tab. 1 Experiments setup - continuous cooling

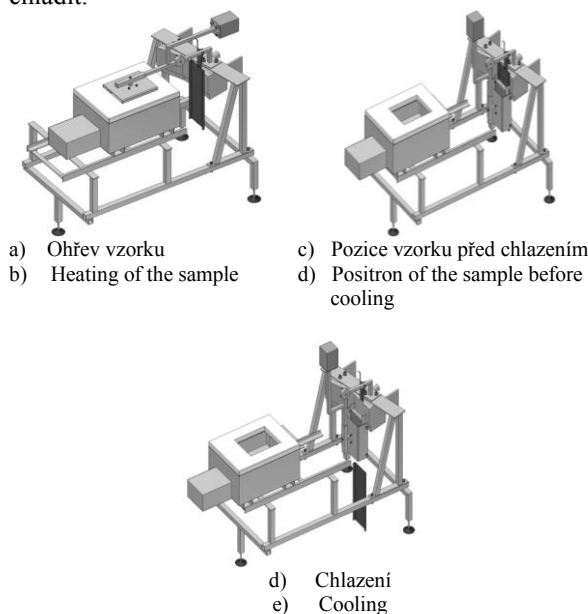
Experiment	Průtok [l·min ⁻¹]
C1	5,79
C2	6,42
C3	10,7
C4	14,98

Tab. 2 Experimenty – pulzní chlazení
Tab. 2 Experiments setup - pulse cooling

Experiment	Průtok [l·min ⁻¹]	ON čas [sek]	OFF čas [sek]
P5	5,94	0,6	0,9
P6	5,94	0,9	0,6
P7	6,42	0,9	0,6
P8	6,38	1,35	0,15

1.1 Měřicí zařízení

Hlavním úkolem měřicího zařízení je docílit, aby pozice vzorku a krystalizátoru byla stejná jako při reálném provozu. Konstrukce uchycení vzorku umožňuje měnit jeho vertikální pozici, a tím měnit místo dopadové zóny. Postup experimentu je znázorněn na obr. 3. Vzorek se umístí do pece a ohřeje na 475 °C. Následně se nastaví požadovaný průtok (pokud je experiment s pulzním chlazením, nastaví se i pulzace), zapne se nahrávání dat a vzorek se umístí do pracovní pozice. Nakonec se odstraní deflektor a vzorek se začne chladit.



Obr. 3 Měřicí zařízení se vzorkem
Fig. 3 Experimental device and testing sample

1.2 Testovací vzorek

Vzorek ze slitiny hliníku s hladkým povrchem má rozměry: výška 200 mm a šířka 20 mm. Do vzorku je z boku v horizontálním směru vyvrtáno 10 děr o průměru 1 mm ve vzdálenosti 3 mm od chlazeného povrchu. Do děr jsou umístěny neuzemněné termočlánky typu K. Vzdálenost mezi jednotlivými termočlánky je 10 mm. První dva jsou umístěny nad dopadovou zónou, osa třetího se nachází v dopadové zóně (DZ) a zbytek je pod DZ (obr. 2).

1.3 Výpočet okrajových podmínek

Naměřená data (teplota v závislosti na čase) jsou použita jako vstupní hodnoty pro kalkulaci teplotně závislé okrajové podmínky (závislost součinitele přestupu tepla α na povrchové teplotě). Inverzní výpočet je založen na modifikované 2D metodě Bekova postupného hledání řešení. Dvourozměrný model byl použit z důvodu vysoké tepelné vodivosti hliníku, což generuje velké tepelné toky po výšce vzorku během chlazení. Základní myšlenkou postupu je řešit celý úkol krok po kroku v čase [5, 6]. Nejdříve se vypočítá suma čtverců chyb za použití f dopředných časových kroků, kdy se porovnávají změřené teploty T_i^* s vypočítanými teplotami T_i pro aktuální čas m .

$$SSE = \sum_{i=m+1}^{m+f} (T_i^* - T_i)^2 \quad (1)$$

Teploty T_i jsou vypočítané přímou úlohou pro konstantní tepelný tok. Tepelný tok na povrchu q v čase m lze vypočítat minimalizací rov. (1) za použití lineárních minimalizačních metod.

$$q_m = \frac{\sum_{i=m+1}^{m+f} (T_i^* - T_i|_{q^m=0}) \zeta_i}{\sum_{i=m+1}^{m+f} (\zeta_i)^2} \quad (2)$$

kde $T_i|_{q^m=0}$ jsou teploty v místě termočlánku, které byly vypočteny přímým výpočtem za použití dříve vypočtených tepelných toků bez q_m , parametr ζ_i je citlivost koeficientu v časovém indexu i na tepelný tok v čase m . Fyzikálně tento koeficient citlivosti značí zvýšení teploty v termočlánku na jednotku tepelného toku na povrchu. Koeficient citlivosti snímače je definován podle vztahu (3).

$$\zeta_i = \frac{\partial T_i}{\partial q^m} \quad (3)$$

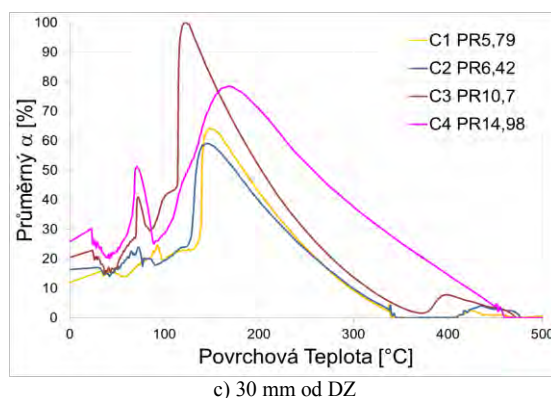
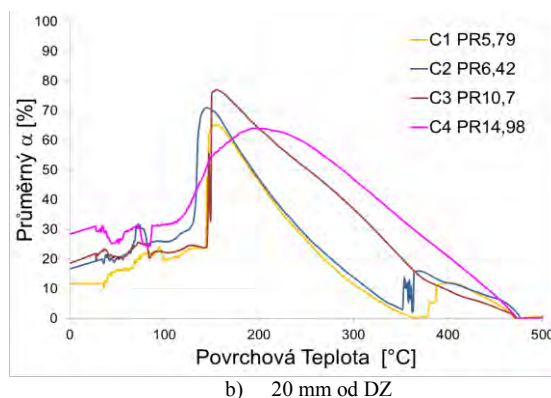
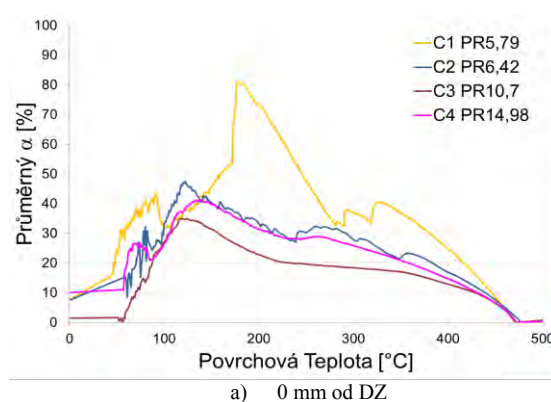
Součinitel přestupu tepla α lze vypočítat z povrchové teploty T_0^m a tepelného toku s povrchu q_m

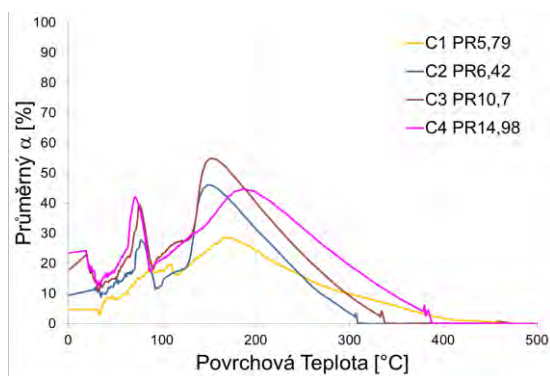
$$\alpha_m = \frac{q_m}{T_\infty^m - (T_0^m + T_0^{m-1})/2} \quad (4)$$

T_∞^m je teplota okolí.

2. Výsledky z experimentů

Následné grafy byly vypočítány pomocí modelu, který je popsán v předešlé kapitole. Veškeré vypočítané výsledky byly verifikovány pomocí komerčního softwaru ANSYS 15.0. Tak byly získány křivky, které byly použity jako okrajové podmínky při termálních simulacích chlazení. Rozdíly mezi naměřenými teplotami a teplotami získanými ze simulací ve stejných místech jsou v přijatelných mezích (maximální odchylka do 15 % od naměřených dat).





d) 50 mm od DZ

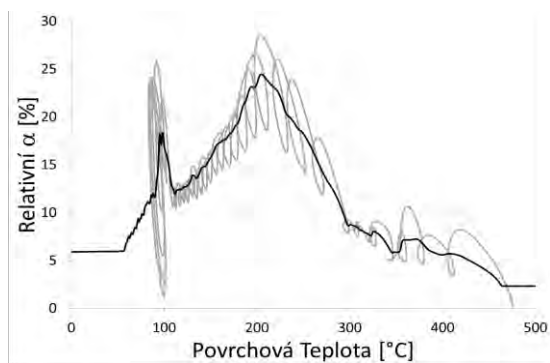
Obr. 4 Vliv vzdálenosti termočlánku od DZ na křivky α [%] – kontinuální chlazení

Fig. 4 Distance influence of the thermocouple from the impact zone on the α [%] curves - continuous cooling

Vlivem pulzního chlazení (přepínáním mezi okamžiky, kdy se chladí a kdy ne) se tvoří na křivkách smyčky. Tyto smyčky nelze popsat matematicky. Proto jsou vypočítané průběhy relativního α nahrazeny průměrnými hodnotami podle následující rov. (5). Hodnota relativního α v následujících čtyřech grafech (obr. 6) je průměrná hodnota a příklad je uveden v obr. 5.

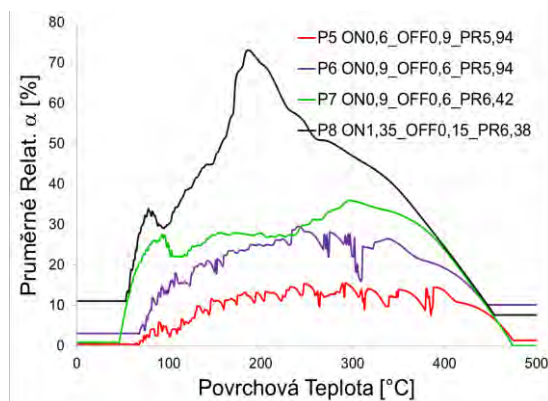
$$\alpha_{pr \bar{r}} = \frac{\sum_{i=t}^{t+n} \alpha_i}{n}, \quad (5)$$

kde t je index času pro začátek pulzu a n je počet datových vzorků během jednoho pulzu. Perioda pro každý pulz je 1,5 sek a vzorkovací frekvence je 100 Hz, jak bylo popsáno na začátku kapitoly 1.

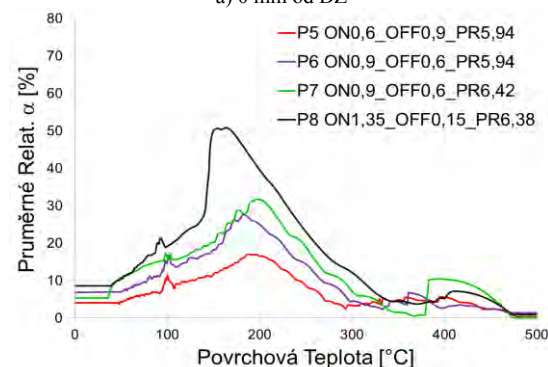


Obr. 5 Příklad zprůměrování α [%] pro pulzní chlazení

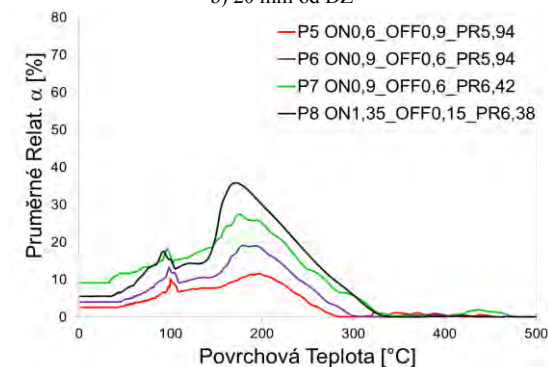
Fig. 5 Example of obtaining the average α [%] curve for pulse cooling



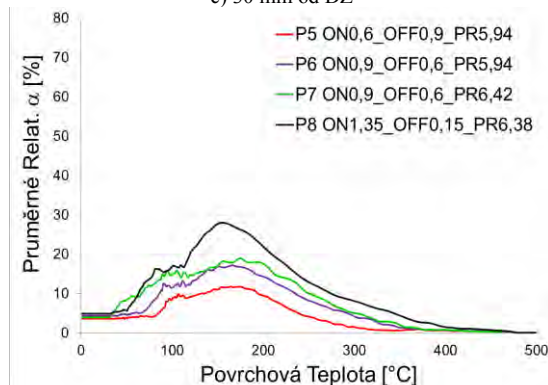
a) 0 mm od DZ



b) 20 mm od DZ



c) 30 mm od DZ



d) 50 mm od DZ

Obr. 6 Vliv vzdálenosti termočlánku od DZ na křivky α [%] – pulzní chlazení

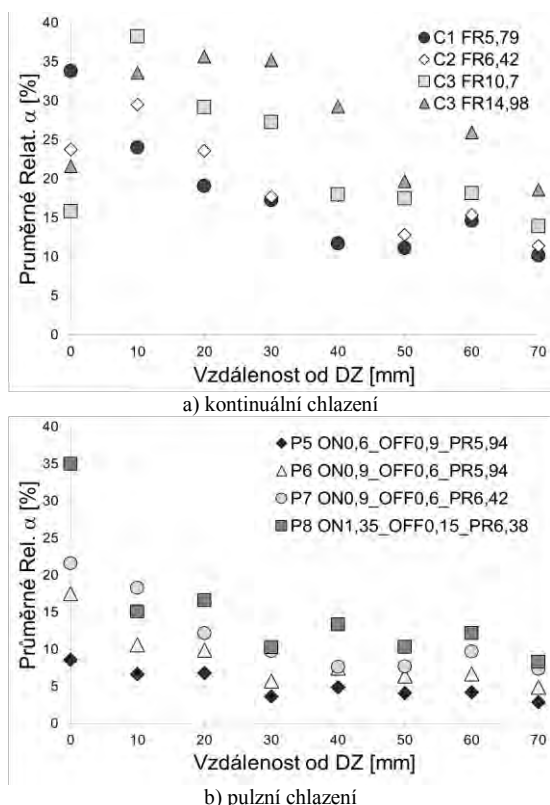
Fig. 6 Distance influence of the thermocouple from the impact zone on the α [%] curves – pulse cooling

3. Analýza výsledků

Jedna z důležitých vlastností hliníku a jeho slitin pro chlazení je vysoká tepelná vodivost. Vzhledem k tomu má schopnost dodávat do povrchové vrstvy dostatečné množství tepelné energie. Proto se může udržet parní vrstva na povrchu mnohem déle, než např. u oceli.

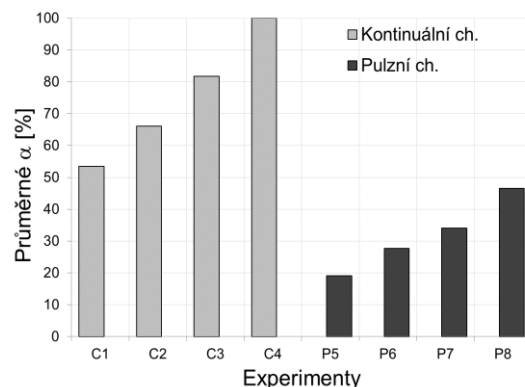
Obr. 4 a 5 ukazují, že křivky α mají dva různé režimy. V prvním režimu (vzdálenost termočlánků od dopadové zóny 20 mm, obr. 4a, 4b, 6a a 6b) – není patrný Leidenfrostův efekt ani blánový var. Kinetická energie vodního proudu je natolik vysoká, že chladicí paprsek prorazí parní vrstvu okamžitě po kontaktu s povrchem vzorku. Naproti tomu ve druhém režimu (vzdálenost termočlánků od dopadové zóny 30 mm, obr. 4c, 4d, 6c a 6d) je tekoucí voda oddělena od povrchu parní vrstvou, která se vzhledem k chlazení chová jako tepelná izolace. Nad Leidenfrostovou teplotou (cca 320 °C) má α velmi nízkou hodnotu v porovnání s maximem.

Během experimentů bylo rovněž pozorováno na začátku chlazení po velmi krátký časový okamžik nestabilní chování vodního proudu tekoucího po povrchu vzorku. Tento jev se projevoval pouze v momentě dopadu proudu vody na vzorek, což má za následek náhodné umístění maximálního průměrného α (obr 7) mezi vzdálenostmi termočlánku od dopadové zóny 0 až 20 mm. Při použití pulzního chlazení klesne intenzita chlazení o cca 50 % (obr. 8).



Obr. 7 Průměrné relativní α [%] pro různé vzdálenosti od DZ a pro různé typy chlazení

Fig. 7 Variation of average α [%] for different distances from the impact zone and for different types of cooling



Obr. 8 Průměrné relativní α [%] pro kontinuální a pulzní chlazení
Fig. 8 Variation of average α [%] for continuous and pulse cooling

Závěr

Tento článek shrnuje výsledky z experimentálního stanovení intenzity chlazení (relativní součinitel přestupu tepla α v závislosti na povrchové teplotě) pro dva způsoby chlazení (pulzní a kontinuální). Výsledky experimentálního měření prokázaly, že pokud je nutné prudce snížit intenzitu chlazení, je vhodné využít pulzní chlazení. Snižování průtoku u kontinuálního chlazení nemá tak silný vliv na snížení hodnot součinitele přestupu tepla α . Při snížení průtoku vody o 62 % je dosaženo redukce chlazení o 40 %. Pokud je nutné dále redukovat chlazení, je nutné použít pulzní chlazení, které je v porovnání s kontinuálním chlazením méně intenzivní. Detailní rozbor je uveden v tab. 3, která obsahuje dvojice experimentů se stejným průtokem, ale různým typem chlazení. Další výhodou je větší možnost regulace pomocí vhodného nastavení pulzů – časů, kdy se chladí a nechladí. V této části výzkumu byl prokázán vliv typu chlazení na hodnoty součinitele přestupu tepla α . Součástí dalšího řešení bude nalezení optimálního nastavení chladicích parametrů vhodných pro počáteční fázi semikontinuálního lití ingotů s cílem omezení tvorby

Tab. 3 Porovnání průměrného rel. α získaného z celého experimentu pro pulzní a kontinuální chlazení

Tab. 3 Comparison of average rel. α obtained from full experiment for pulse and continuous cooling

C1	P5	C2	P7
53 %	19 %	66 %	34 %

Poděkování

Výsledky tohoto projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) byly získány za finančního přispění MŠMT v rámci účelové podpory programu "Národní program udržitelnosti I".

Literatura

- [1] LAROUCHE, A., CARON, Y., KOCAEFE, D. Impact of water heat extraction and casting conditions on ingot thermal response during D.C. casting (1998) *Light Metals: Proceedings of Sessions, TMS Annual Meeting* (Warrendale, Pennsylvania), pp. 1059-1064

- [2] JENSEN, E.K.: *Light Metals 1980*, TMS, Warrendale, PA, 1980, pp. 631-42
- [3] SENGUPTA, J., THOMAS, B.G., WELLS, M.A. The use of water cooling during the continuous casting of steel and aluminum alloys (2005) *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 36 A (1), pp. 187-204
- [4] CHABIČOVSKÝ, M., RAUDENSKÝ, M.: Experimental Investigation of the Heat Transfer Coefficient. *Materiali in tehnologije*, 47 (2013), p. 395
- [5] M. RAUDENSKÝ, Heat transfer coefficient estimation by inverse conduction algorithm. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow* 3 (1993), p. 257
- [6] M. POHANKA and K. A. WOODBURY, A Downhill Simplex method for computation of interfacial heat transfer coefficients in alloy casting. *Inverse Problems in Engineering* 11 (2003), p. 409

Zotavení ocelářského průmyslu na pevnějším základu

Stahl Aktuell

21. 5. 2015

Růst investic v Evropě se bude v roce 2015 upevňovat. Z toho vychází evropský ocelářský svaz Eurofer ve svém výhledu. Výsledky za první měsíce letošního roku vypadají pozitivně. Roli hnacího kola přitom převezme soukromá spotřeba. Nízké ceny energie, nízká inflace, klesající počty nezaměstnaných a stoupající mzdová úroveň povzbuzují chuť soukromých domácností utrácet. Robustní růst předpovídají hospodářští analytici zejména pro Španělsko, Velkou Británii a Německo. Aktivita v sektorech, zpracovávajících ocel, která v roce 2014 stoupla o 2,2 %, by se měla v roce 2015 udržet na úrovni předcházejícího roku. Pro rok 2016 je prognostikován silnější růst, který by měl být hnán především investicemi. Vítr do zad by měly ocelářskému průmyslu poskytnout také stoupající exporty. Slabost eura má pro těžce vyždímaný ocelářský průmysl „starého kontinentu“ nakonec své výhody – povzbuzuje export. Jako nejvíce znejišťující faktor pro ocelářskou branži označuje Eurofer vývoj u importů ze třetích zemí. Podle Euroferu naznačují první čísla za rok 2015, že se importy oceli do EU udržují stále na vysoké úrovni.

Tvrdá cesta před koncernem Salzgitter

Börsen-Zeitung

29. 5. 2015

Druhý největší výrobce oceli v Německu Salzgitter si i přes solidní čísla netroufá být víc než opatrně optimistický. Je před ním ještě „obtížná a tvrdá cesta ve směru k uspokojivé ekonomické a výrobní efektivnosti“, řekl Heinz Jörg Fuhrmann na Valné hromadě akcionářů v Braunschweigu. Šéf dozorčí rady Rainer Thieme doplnil, že ještě dlouho nebude důvod k domýšlivosti. Fuhrmann poukázal na nadbytečné kapacity v některých výrobních segmentech ocelářského odvětví v EU a v Číně. Přesto optimisticky poznamenal, že celkově se konjunkturální situace oproti uplynulému roku trochu zlepšila. V současném roce koncern počítá se stagnujícím obrátem s výsledky před zdaněním v nízké až střední dvoumístné milionové oblasti. V roce 2014 skončil koncern v minusu 32 milionů €. V prvních třech měsících tohoto roku vykázal koncern pod čarou zisk 32,7 milionů €, po ztrátě 13,3 € ve stejném období minulého roku.

Šéf Siemensu je našťvaný na Brusel

Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung

24. 5. 2015

Obvykle si firmy Siemens a ABB nic nedarují. Nyní ale oba šéfy představenstev spojuje společný protivník, a tím je Evropská komise, která v současné době chrání ocelářský průmysl EU importními cly. To ovšem škodí těm, kteří potřebují ocel pro své výrobky. Z tohoto důvodu si Siemens i ABB společně s množstvím různých menších firem stěžují v Bruselu na neoprávněně zvýšená cla na importovanou ocel. Konkrétně se teď jedná o speciální ocel, kterou potřebují výrobci transformátorů. Na tuto ocel nyní uvalila Evropská komise zvýšená cla ve výši 35,9 procent, což ovšem masivně poškozuje podniky, vyrábějící transformátory.

Metodika vyhodnocování intenzity chlazení vodního paprsku dopadajícího na svislý povrch

Methodology of Evaluation of Intensity of Cooling of Water Jet Impinging on the Vertical Surface

Ing. Jan Komínek¹, Ing. Michal Guzej¹, prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.¹

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Laboratoř přenosu tepla a proudění, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika

Pro mnoho průmyslových aplikací je velmi podstatný vliv teplotních změn v materiálu během výroby. Zvláště pak v chladicích procesech, kde se dosahuje vysokých intenzit chlazení a tím i velkých gradientů teplot. Znalost intenzity chlazení je potřebná, jako okrajová podmínka pro numerické simulace. Okrajové podmínky se získávají experimentální cestou a následným vyhodnocením.

Tento článek se zabývá vyhodnocením intenzity chlazení pro chlazení svislé plochy s počáteční teplotou větší, než je Leidenfrostova teplota pro tento typ chlazení. Cílem je na základě experimentálně změřených teplot během chlazení stanovit okrajovou podmínku na chlazeném povrchu. Chlazení je realizováno pomocí plochého paprsku vody, který dopadá na horní okraj svislé plochy, a to poté, co se vodní paprsek dotkne povrchu, po něm volně stéká směrem dolů. Okrajovou podmínku je potřeba stanovit jako funkci teploty a vertikální polohy, protože se intenzita chlazení mění se vzdáleností od místa dopadu vodního paprsku. Změřené teploty jsou získávány z M termočlánků, které jsou rozmístěny v různých výškách blízko chlazeného povrchu. Popsaný typ chlazení odpovídá kontinuálnímu liti hliníku v provozní praxi. K jeho řešení se používají inverzní úlohy vedení tepla (například 2D sekvenční metoda specifikace funkce). Získaná řešení mohou být značně zkreslená v důsledku tzv. Leidenfrostovu jevu, který v tomto speciálním typu chlazení vytvoří ostrou hranici mezi přechodovým a blánovým varem. Tato hranice se navíc během experimentu pohybuje ve svislém směru.

Řešení problému je navrženo ve formě modifikace běžných metod o posuvné výpočetní hranice. Vliv popsané metody na výsledky je testován na reálných datech z experimentů.

Klíčová slova: 2D inverzní úloha; intenzita chlazení; Leidenfrostův jev; kontinuální liti hliníku

Influence of the temperature change in various materials during their processing is important for many industrial applications. Especially for cooling process wherein high cooling intensity are achieved, which causes large temperature gradient. Cooling intensities are needed as a boundary condition for numerical simulation. Boundary conditions are obtained by experimental investigation and subsequent evaluation.

This article deals with evaluation of cooling intensity at cooling of vertical surface with initial temperature greater than the Leidenfrost temperature for this type of cooling. The objective is determined by the boundary conditions on the cooled surface based on the temperature recordings from the experiment. Cooling is carried out by flat water jet, which hits the upper part of the cooling surface. Water flows down along the surface after the water jet touches the surface. The boundary conditions should be estimated as a function of temperature and vertical position, because the cooling intensity varies with the distance from the impingement zone. The measured temperatures are obtained from M thermocouples placed close to the cooling surface in different vertical positions. Described type of cooling corresponds to the DC casting of aluminum.

Methods for solving the inverse heat conduction problem are usually used for solving this type of task (for example 2D sequential function specification method can be used). Unfortunately the obtained results can be distorted by special cooling mode caused by the Leidenfrost effect. Sharp border between the transient and film boiling mode is created by the Leidenfrost effect and by special type of cooling. Moreover the border is shifting during the experiment.

This problem is detailed in detail in this article. Possible solution is designed in a form of modification of common computation methods by shifting computation elements borders. The effect of application of the described method is shown on real data from experiments.

Key words: 2D inverse task; cooling intensity; Leidenfrost effect; DC-casting of aluminum

V současné době je běžné simulovat různé tepelné procesy jako je chlazení, kalení nebo i operace, které vedou k teplotním změnám v materiálu, aby se tak stanovil jejich vliv na finální strukturu, zbytkové napětí a potenciální vznik defektů. Simulace pracují na základě řešení přímé úlohy vedení tepla, která je běžně řešena metodami konečných prvků [1], diferencí [2] či objemů [3]. Tyto metody jsou dobře známé a jejich řešení jsou obsažena ve všech standardních komerčních softwarech, jako je ANSYS a COMSOL.

Pro řešení každé simulace je potřebné znát:

- geometrii,
- materiálové vlastnosti – součinitel tepelné vodivosti, hustotu, měrnou tepelnou kapacitu,
- počáteční podmínku – rozložení teplot na počátku simulace,
- okrajové podmínky – hustoty tepelných toků nebo součinitele přestupu tepla na povrchu materiálu.

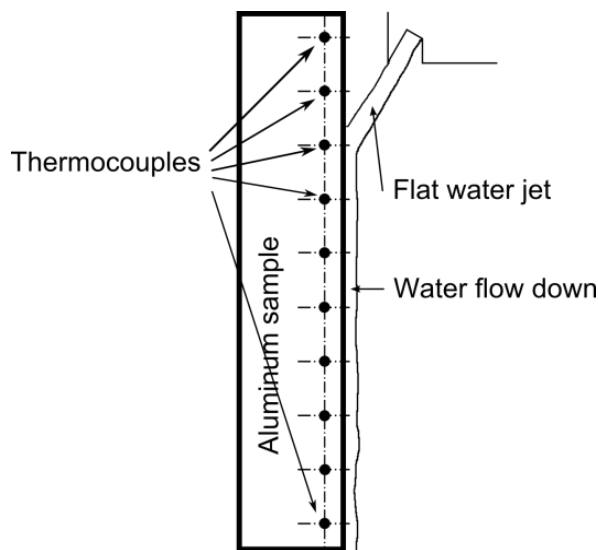
Stanovení většiny uvedených položek není problematické. Geometrie je většinou zadána, materiálové vlastnosti jsou získány z databází nebo změřeny, počáteční podmínka je většinou zjednodušena na homogenní rozložení teploty. Zbývají okrajové podmínky, které je sice možné vyjádřit empirickými vztahy [4, 5], ty jsou však přesné jen pro triviální případy geometrií, malé rozsahy teplot nebo pro různé speciální konfigurace, které v průmyslových aplikacích nejsou běžné. V praxi se okrajové podmínky získávají experimentální cestou. Běžně používaná nestacionární metoda spočívá v použití vzorku se zabudovanými teplotními snímači. Vzorek je ohřátý na počáteční teplotu a poté je vystaven podmínkám, které jsou co nejbližší reálným podmínkám v provozu. Během experimentu jsou zaznamenávány teploty, které se pak pomocí inverzní úlohy vedení tepla přepočítají na okrajové podmínky a povrchové teploty.

Tento článek se zaměřuje na řešení 2D inverzní úlohy vedení tepla na vysoce tepelně vodivém vzorku, který je vyroben z hliníku. K chlazení je použitý plochý vodní paprsek, který dopadá na svislý povrch vzorku. Poté, co dojde ke kontaktu mezi vodou a vzorkem, voda dále volně stéká po povrchu směrem dolů. Tato konfigurace je běžná pro kontinuální lití hliníku, pro které bylo navrženo měření i modifikace výpočetní metody. Klasické řešení inverzní úlohy vedení tepla je v tomto případě značně zkomplikované tzv. Leidenfrostovým jevem, v jehož důsledku je potřebné klasické přístupy modifikovat.

1. Popis experimentů

Testovací vzorek byl vyroben z malé hliníkové desky a během experimentu byl umístěn svisle. K záznamu teplot sloužily termočlánky zabudované těsně pod povrchem v různých výškách s pravidelnými rozestupy

(obr. 1). Vzorek byl chlazený plochým vodním paprskem, který dopadá na vrchní část vzorku. Voda se po kontaktu s povrchem neodráží, nýbrž volně po povrchu stéká dolů, a tak způsobuje chlazení po celé zbývající délce povrchu.



Obr. 1 Průřez hliníkového vzorku
Fig. 1 Cross section of the aluminum sample

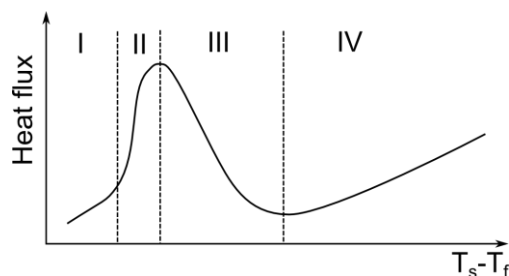
Na základě experimentů je možné rozdělit chlazený povrch do dvou oblastí s odlišným režimem chlazení: dopadovou oblast, v okolí dopadajícího paprsku vody, kde je od počátku experimentu vysoká intenzita chlazení a oblast stékání, která je chlazená stékající vodou a intenzita chlazení se zde v průběhu experimentu značně mění. Druhá oblast je od počátku experimentu chlazená jen velmi malou intenzitou, dokud její povrchová teplota neklesne pod tzv. Leidenfrostovu teplotu (LF teplotou). Poté se i v této části projeví velmi intenzivní přestup tepla do chladicí vody.

1.1 Postup měření

Každému experimentu předchází ohřev vzorku na počáteční teplotu, blízkou teplotě tání hliníku. Vzorek je ohříván v horizontální poloze v peci. Na začátku experimentu je nastaven požadovaný průtok vodního paprsku a spuštěn záznam teplot. Vzorek je otočen do vertikální pracovní pozice a experiment započne odstraněním deflektoru.

1.2 Leidenfrostův jev

Projevy Leidenfrostova jevu jsou dobře patrné na tvaru funkce hustoty tepelného toku v závislosti na rozdílu povrchové teploty a teploty okolí (obr. 2). Funkce za vyšších teplot nabývá svého lokálního minima, namísto monotónně rostoucího průběhu, který by se dal očekávat. Teplota odpovídající tomuto minimu se označuje jako Leidenfrostova teplota.



Obr. 2 Typický průběh hustoty tepelného toku pro různé typy varu za atmosférického tlaku, I – vedení, II – bublinkový var, III – přechodový var, IV – blánový var, T_s je povrchová teplota a T_f je teplota kapaliny

Fig. 2 Typical boiling curves for water cooling at 1 atm., I – convection, II – nucleate boiling, III – transient boiling, IV – film boiling, T_s is the surface temperature and T_f is the temperature of fluid

Podstata tohoto jevu spočívá v různých režimech varu. Pokud se voda dostává do kontaktu s povrchem s dostatečně vysokou teplotou, vytváří se na povrchu parní vrstva, která svojí přítomností povrch tepelně izoluje, a brání tak dalšímu kontaktu s chladicí vodou. Nejnižší teplota, při které je povrch již stabilně pokrytý parní vrstvou, je právě Leidenfrostova teplota a jak je vidět z grafu na obr. 2, leží tato teplota na hranici mezi přechodným (III) a blánovým (IV) varem. [4]

2. Inverzní úloha vedení tepla

2.1 Přímá a inverzní úloha

O přímé úloze hovoříme tehdy, pokud se ze známých (změřených) příčin snažíme stanovit důsledky. Pokud je tomu naopak, tj. ze známých důsledků stanovujeme příčiny, pak jde o inverzní úlohu [6]. V našem případě vedení tepla jsou příčiny počáteční teplota a okrajové podmínky a důsledky jsou průběhy teplotního pole.

Přímá úloha vedení tepla se nejčastěji řeší pomocí numerických metod, protože analyticky jsou řešitelné pouze speciální případy úloh vedení tepla.

Inverzní úlohy vedení tepla jsou často označovány jako špatně podmíněné. V praxi to znamená, že malá změna ve vstupních datech (změřených teplotách) může způsobit extrémní změnu ve výsledcích (spočtené okrajové podmínce). Navíc není zaručena jednoznačnost řešení, a úloha je tak z matematického hlediska ne zcela korektní.

K řešení lineární inverzní úlohy vedení tepla je možné použít například celodoménovou metodu s použitím Tikhonovy regularizace nebo sekvenční Beckovu metodu odhadu funkce.

V tomto článku byla použita modifikovaná sekvenční Beckova metoda, a to pro svoji schopnost postihnout teplotně závislé materiálové parametry, jako je hustota, měrná tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita.

2.2 Sekvenční Beckova metoda

Výpočet hustoty tepelných toků na povrchu probíhá postupně v časových krocích od začátku po konec experimentu. Každá hodnota Q_n je stanovena na základě známého rozložení teplot v materiálu z předcházejícího časového kroku $n-1$ a určitého počtu změřených teplot $t_n, t_{n+1}, \dots, t_{n+N_f}$ v budoucích časových krocích. Jejich počet N_f se označuje jako počet dopředných kroků.

Pro výpočet se předpokládá, že hledaná hodnota Q_n má konstantní průběh po dobu N_f časových kroků. Q_n se pak získá minimalizací výrazu (1).

$$\min_{Q_n} \sum_{i=1}^{N_f} \left(Y_{n+i} - T_{n+i} |_{Q_n} \right)^2, \quad (1)$$

kde Y_i jsou změřené teploty, $T_i |_{Q_n}$ jsou vypočítané teploty za předpokladu konstantní hustoty tepelného toku $Q_i = Q_n$ po dobu N_f časových kroků [7].

Pro lineární případ má úloha jednoduché řešení vyjádřené v rov. (2).

$$Q_{t_n} = \frac{\sum_{i=1}^{N_f} (Y_{n+i} - T_{n+i} |_{Q_i=0}) \Phi_i}{\sum_{i=1}^{N_f} \Phi_{n+i}^2}, \quad (2)$$

kde T_i jsou teploty vypočítané pro hustotu tepelného toku $Q_i = 0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

V jiných než lineárních případech je možné použít standardní minimalizační metody. V tomto článku byla použita Brentnova optimalizační metoda, která stanoví hodnoty účelové funkce ve třech různých bodech, které pak prokládá parabolou. V minimu paraboly se vypočte hodnota účelové funkce. Nový bod nahradí jeden z původních a opět se použije proložení paraboly. Proces se iteračně opakuje [8].

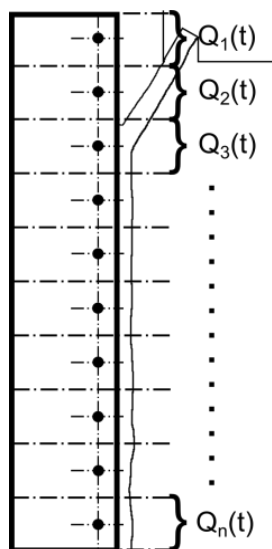
Dopředné kroky slouží ke stabilizaci a redukci šumu v řešení inverzní úlohy. Počet dopředných kroků N_f funguje jako regularizační parametr. Malá hodnota N_f vede k nestabilitě řešení. Velká hodnota způsobuje přehlcení řešení [9]. Volba počtu dopředných kroků je samostatný problém. V praxi se často postupuje metodou „pokus-omyl“, nebo se použije některé z doporučených kritérií, které však nezaručují kvalitu výsledku.

2.3 Řešení dvojrozměrného problému s termočládky v M výškových úrovních

Výpočetní metoda popsaná v předchozí kapitole se dá s mírnými modifikacemi použít na řešení 2D problému.

Okrajová podmínka na chlazeném povrchu je po výšce rozdělena do M oblastí příslušejících M termočládkům. Hustoty tepelných toků v jednotlivých oblastech jsou

reprezentovány funkcemi $Q_i(t)$ v závislosti na čase (obr. 3).



Obr. 3 Rozložení funkcí součinitelů přestupu tepla na povrchu
Fig. 3 Distribution of the heat flux function coefficients on the surface area

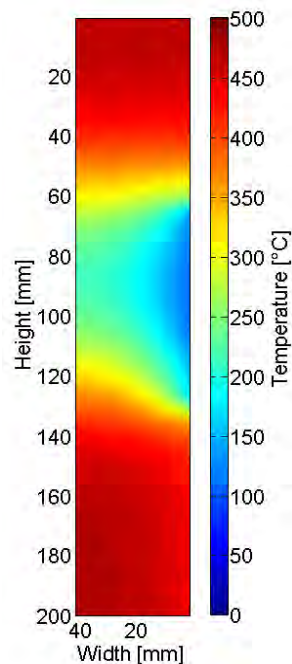
Původní minimalizační úloha v rov. (1) je pro čas t_n rozšířena na minimalizaci s M parametry $Q_1(t_n)$, $Q_2(t_n)$, ..., $Q_M(t_n)$. Tento problém může být řešen například metodou kráječícího simplexu [10].

2.4 Problematika chlazení svislého povrchu plochým vodním paprskem

V předchozí kapitole se uvažovaly okrajové podmínky Q_i , vyjádřené pouze jako funkce času $Q_i(t)$, nikoliv vertikální polohy chlazené plochy. Problémem je, že tento předpoklad může být použit pouze tehdy, pokud je reálný průběh okrajové podmínky ve vertikálním směru na každé kontrolní oblasti homogenní nebo jen mírně se měnící.

To ovšem není případ řešené úlohy. Zde je reálná situace přímo opačná, protože součinitel přestupu tepla je extrémně závislý na povrchové teplotě v blízkosti LF teploty, která se však ve vertikálním směru prudce mění (obr. 4). Důsledkem je, že ve vertikálním směru má hustota tepelného toku téměř skokovou změnu v bodě s LF teplotou.

Množinu bodů s touto teplotou můžeme nazývat LF hranicí, která odděluje oblasti málo a velmi intenzivního chlazení. Tato hranice se navíc během experimentu pohybuje. Důvodem je podchlazení povrchu v dopadové oblasti na začátku experimentu. Vlivem vedení tepla uvnitř materiálu se podchlazená oblast (s teplotou pod LF teplotou) rozšiřuje, a tím se i zvětšuje plocha intenzivně chlazeného povrchu. LF hranice se tak posouvá směrem dolů téměř konstantní rychlostí.



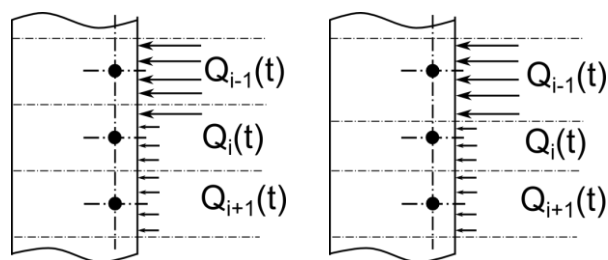
Obr. 4 Typické rozložení teplot uvnitř 6,5 s po začátku experimentu. Vzorek je chlazený vodním paprskem, který dopadá na pravou stranu přibližně 70 mm od horní hrany, ostatní strany jsou izolovány.

Fig. 4 Typical temperature distribution inside the sample 6.5 s after the beginning of the experiment. The sample is cooled by water jet, which falls on the right side, approx. 70 mm from the top edge, other edges are isolated.

2.5 Modifikace výpočetní metody

Při použití předešlých metod dochází k velkým nepřesnostem zejména ve chvíli, kdy se LF hranice nachází blízko středu kontrolní oblasti. V takovém případě je vypočtená hodnota tepelného toku Q_i chybně aplikována na největší část kontrolní oblasti. Naopak v případě, kdy se LF hranice nachází na rozhraní oblastí dvou funkcí, je chyba minimální. Stačí tedy zaručit, aby LF hranice vždy ležela na rozhraní mezi dvěma funkcemi. Protože se však LF hranice pohybuje, je nutné toho dosáhnout posouváním hranic oblastí funkcí Q_i . Tento princip je ilustrován na obr. 5. Levá část obrázku zachycuje situaci, kdy na část povrchu působí dvě diametrálně odlišné hustoty tepelných toků. Protože rozhraní mezi nimi neleží na hranici kontrolních oblastí, dochází ke zkreslení vypočtených hodnot $Q_i(t)$, které jsou aplikovány na celou kontrolní oblast. Obrázek vpravo znázorňuje řešení této situace pomocí posunutí hranice kontrolních oblastí.

Tyto posuny jsou prováděny v každém časovém kroku. Pokud by měla být hranice mezi funkcemi Q_{i-1} a Q_i posunuta za pozici i -tého termočlásku, pak je hranice posunuta zpět na původní pozici a její úlohu zastoupí další z hranic, tj. hranice mezi funkcemi Q_i a Q_{i+1} .

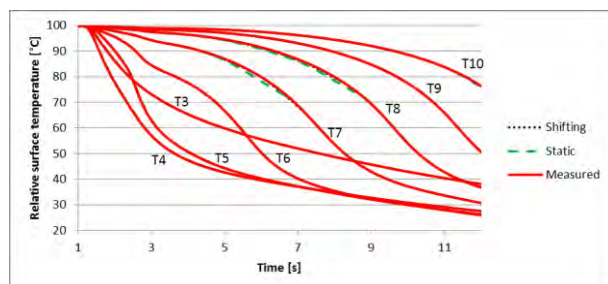


Obr. 5 Princip posouvání hranic
Fig. 5 Principle of shifting of the borders

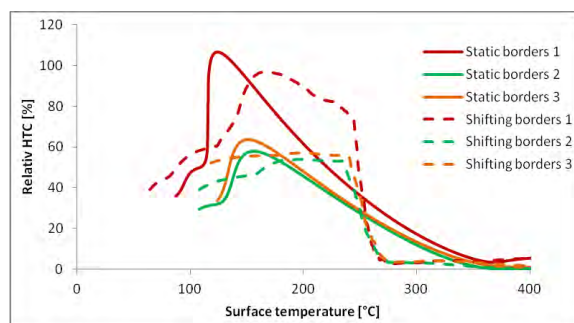
Samostatným problémem je správné určení polohy, respektive rychlosti posunu LF hranice. Záznam polohy LF v čase je možné získat obrazovou analýzou videozáznamu nebo jej stanovovat výpočetně. Výpočetní určení spočívá v řešení dvojstupňové optimalizace, kde prvním stupněm je řešení části inverzní úlohy a druhým stupněm je stanovení rychlosti pohybu LF hranice v daném úseku výpočtu.

3. Diskuse výsledků

Metoda byla testována na reálných datech z pokusného měření v Laboratoři přenosu tepla a proudění VUT v Brně. Ke srovnání byla použita běžná 2D metoda bez posouvání hranic a metoda s posuvnými hranicemi. Na grafu v obr. 6 můžeme vidět srovnání vypočtených teplot obou metod ve srovnání s měřenými teplotami. Rozdíly v teplotách jsou téměř zanedbatelně malé. Navzdory tomu rozdíly ve vypočtených funkcích součinitelů přestupu tepla (obr. 7) jsou a nelze je zanedbat.



Obr. 6 Srovnání měřených a vypočtených teplot
Fig. 6 Comparison of measured temperature with calculated temperature



Obr. 7 Srovnání relativních HTC funkcí pro případy posouvajících a pevných hranic
Fig. 7 Comparison of relative HTC function with and without shifting of borders

Závěr

Chlazení pomocí vodního proudu, který následně stéká po povrchu, je komplexní a komplikovaný proces. K jeho správnému vyhodnocení je zapotřebí řešit minimálně dvojrozměrnou inverzní úlohu. Za vysokých teplot je problematika ztížena výskytem Leidenfrostova jevu, který se navíc po chlazené ploše pohybuje. Řešení takové úlohy běžnými metodami vede ke značnému zkreslení výsledků. Problém je řešitelný pomocí prezentované modifikace výpočetní metody, tj. posunu hranic oblastí, na které jsou aplikovány hledané funkce. Funkčnost metody byla testována na reálných datech z experimentů provedených v Laboratoři přenosu tepla a proudění (VUT Brno).

Poděkování

Výsledky tohoto projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) byly získány za finančního přispění MŠMT v rámci účelové podpory programu “Národní program udržitelnosti I”.

Literatura

- [1] ZIENKIEWICZ, O.C a R.L TAYLOR. *The Finite Element Method*: Vol. 1, 4 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000, 689 s.
- [2] ČERMÁK, L. *Numerické metody*, II. vyd. 1. Brno: CERM, 2004, 179 s.
- [3] PATANKAR, S. V. *Numerical heat transfer and fluid flow*. Great Britain: Taylor, 1980, 197 s.
- [4] INCROPERA, F. P., DAVID, P. DEWITT *Fundamentals of heat and mass transfer*, 4th ed. New York: Wiley, 1996, 886 s.
- [5] HOLMAN, J. P. *Heat transfer*. McGraw-Hill, 1976
- [6] BECK, J. V, BLACKWELL, B., St. CLAIR, Charles, R.Jr.: *Inverse heat conduction: ill-posed problems*. New Yourk: Wiley, 1985
- [7] RAUDENSKY, M. *Heat transfer coefficient estimation by inverse conduction algorithm*. International Journal of Numerical Methrds for Heat and Fluid Flow, 1993, No. 3, pp. 257-266
- [8] WILLIAM, H. *Numerical recipes in C*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992, xxvI, 994 s.
- [9] WOODBURY, Keith A. *Inverse Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2003, 466 s.
- [10] POHANKA, M., WOODBURY, K. A. *Downhill Simplex method for computation of interfacial heat transfer coefficients in alloy casting*. *Inverse Problems In Engineering* [online]. TAYLOR, 2003, 11(5): 409-424 [cit. 2015-07-15]. DOI: 10.1080/1068276031000109899

Srovnání vybraných kvalitativních znaků kolejnic profilu 136 RE v závislosti na úrovni aktuální tvrdosti

Comparison of Specific Qualitative Characteristics of Rails 136 RE in Relation to the Current Level of Hardness

Ing. Vít Michenka¹, Ing. Petr Podolinský²

¹VÚHŽ a. s., Laboratoře a zkušebny – Laboratoř mechanických vlastností, 739 51 Dobrá 240, Česká republika

²TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a. s., Průmyslová 1000, 739 70 Třinec-Staré Město, Česká republika

Príspevek pojednáva o hodnotení vybraných kvalitativních znaků perlitických železničních kolejnic profilu 136 RE. Byly hodnoceny dvě zkušební série kolejnic s rozdílnou hodnotou typické tvrdosti měřené na temeni. Sledované parametry byly vybrány na základě požadavků normy EN 13674-1 a předpisu AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) definujících požadavky na kolejnice. Hodnocení mikrostruktury, vnitřního pnutí, průběhu tvrdosti a stanovení lomové houževnatosti K_{IC} bylo doplněno hodnocením odolnosti proti otěru v kluzném i valivém režimu. Cílem bylo komplexní srovnání sledovaných parametrů mezi oběma hodnocenými sériemi kolejnic.

Klíčová slova: kolejnicový profil 136 RE; kvalitativní znaky; zkouška otěruvzdornosti

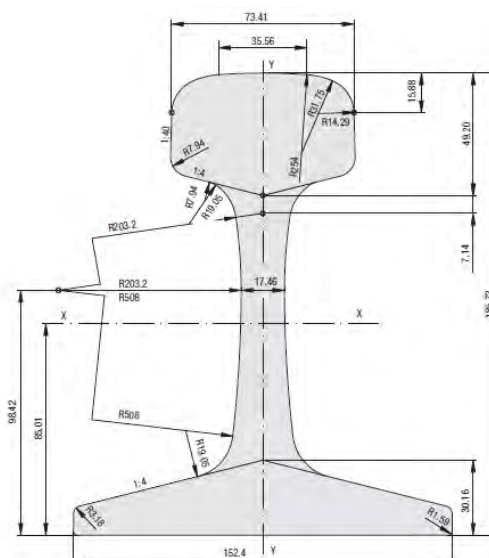
The submitted paper deals with evaluation of selected qualitative characteristics of pearlitic railway rails of profile 136 RE. Two testing batches of rails with different levels of typical running surface hardness were investigated. The observed parameters had been selected on the basis of requirements given in standard EN 13674-1 and regulation AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) which both define the demands on rails. Microstructural evaluation, measurement of internal stresses, hardness profiles and determination of fracture toughness K_{IC} were supplemented by evaluation of wear resistance in rolling friction and abrasive modes. The goal of the work was to compare in a complex way the observed parameters between the two batches of investigated rails. The observed results show that both the testing series exhibit a significant difference only in results of abrasion resistance tests when the higher hardness level testing batch shows about 35 % higher abrasion resistance in comparison to the lower hardness level testing batch. There were not any significant differences between the testing batches in the view of other used testing methods. Finally, some metallographic images also supplement the paper.

Key words: rail of profile 136 RE; qualitative characteristics; abrasion resistance test

1. Popis zkoušení, hodnocený materiál

Cílem zkoušení bylo srovnání výsledků vybraných kvalitativních zkoušek kolejnicového profilu 136 RE z perlitické oceli jakosti IH. Profil 136 RE spadá do kategorie Vignolových širokopátních kolejnic o délkové hmotnosti cca 67,6 kg/m. Tvar a rozměry profilu jsou uvedeny na obr. 1 [1].

Nominální chemické složení materiálu (tavební analýza) je uvedeno v tab. 1a; hodnoty mechanických vlastností ve stavu po rovnání za studena (expedovaný stav) jsou shrnuty v tab. 1b.



Obr. 1 Kolejnicový profil 136 RE [1]
Fig. 1 Rail of profile 136 RE[1]

Tab. 1a Chemické složení kolejnicové oceli jakosti IH
Tab. 1a Chemical composition of rail steel grade IH

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Fe	Zbytek
[Hm. %]	0,80	1,05	0,62	0,66	96,75	0,12

Tab. 1b Typické mechanické hodnoty profilu 136 RE, třída oceli IH, rovnaný stav

Tab. 1b Typical mechanical values of profile 136 RE, steel grade IH, as-straightened state

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]	HBW temeno 10/3000
755	1150	11,0	15,5	min. 325

Hodnocené kolejnice byly podle aktuální hodnoty tvrdosti na temeni kolejnicové hlavy rozděleny do dvou zkušebních sérií, a to:

- Série a) $HBW \leq 335$,
- Série b) $HBW > 335$.

Každá zkušební série zahrnovala vždy 6 vzorků kolejnic o délce cca 1 m, které byly odebrány v průběhu válcovací kampaně tak, aby nedocházelo k dublování jak taveb, tak samostatně i licích proudů, přičemž bylo dodrženo kritérium časově rovnoměrného rozdělení odběru zkušebních vzorků v průběhu celé válcovací kampaně. Zkušební tělesa byla vyrobena v souladu s požadavky prováděcích norem a postupů, které jsou uvedeny v kap. 2. Počet použitých zkušebních těles zohledňoval obecné požadavky normy EN 13674-1 a předpisu AREMA.

2. Použité zkušební metody

Použité zkušební metody byly zvoleny na základě dvou dokumentů předpisujících požadavky na Vignolovy kolejnice, a to: standard EN 13674-1 a předpis AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association). Níže je uveden seznam konkrétních použitých zkoušek s odkazem na příslušný zdroj:

- stanovení vnitřního pnutí podle EN 13674-1: v souladu s přílohou C [3],
- stanovení vnitřního pnutí podle AREMA: v souladu s kap. 2.1.13.1. [2],,
- hodnocení Baumannova otisku podle EN 13674-1: v souladu s přílohou D [3],,
- hodnocení makroleptu podle AREMA: v souladu s kap. 2.9.1. [2],,
- metalografické hodnocení, vč. hodnocení mikročistoty podle ASTM E45, metoda A,
- provedení zkoušky tahem za okolní teploty podle ISO 6892-1,
- stanovení lomové houževnatosti K_{IC} při rovinné deformaci podle EN 13674-1: v souladu s přílohou D [3],,
- provedení zkoušky odolnosti proti otěru v režimech kluzného a valivého tření.

3. Výsledky zkoušek

Zde jsou v tabulkové podobě uvedeny jednotlivé výsledky realizovaných zkoušek s krátkým popisem zkušební metody. Závěry následují v kap. 4.

Stanovení vnitřního pnutí podle EN 13674-1

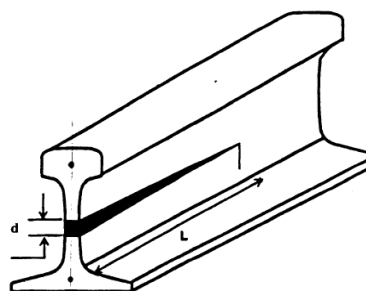
Stanovení vnitřního pnutí podle EN 13674-1 je založeno na tenzometrickém měření. Při stanovení jsou porovnány výsledky měření tenzometrického napětí na patě kolejnice v dodaném stavu a následně po provedeném řezu, kterým se přítomné vnitřní pnutí v kolejnici uvolní [3]. Ze znalosti Hookeova zákona se sledované vnitřní pnutí vypočte exaktně, a to v jednotkách [MPa]. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Stanovené hodnoty vnitřního pnutí – metodika EN 13674-1
Tab. 2 Measured values of internal stresses – procedure acc. to EN 13674-1

Série	Vzorek	Vnitřní pnutí [MPa]	
		dílčí hodnoty	porovnání
Série a) $HBW \leq 335$	1	242,1	Ø 253,5 Sm. odch. 7,4 $253,5 \pm 7,4$
	2	261,7	
	3	259,7	
	4	246,1	
	5	251,9	
	6	259,7	
Série b) $HBW > 335$	1	216,8	Ø 261,7 Sm. odch. 24,9 $261,7 \pm 24,9$
	2	242,1	
	3	275,3	
	4	291,0	
	5	267,5	
	6	277,3	

Stanovení vnitřního pnutí podle AREMA, kap. 2.1.13.1

Stanovení vnitřního pnutí podle metodiky AREMA je založeno na měření dilatační vzdálenosti d po provedeném řezu v ose kolejnice v předepsané délce L , (obr. 2) [2].



Obr. 2 Schéma řezu [2]
Fig. 2 Cutting scheme[2]

Přítomnost měřitelné dilatace d vzniká uvolněním vnitřního pnutí způsobeným řízeným řezem kolejnicí. Obecně platí, že hodnota d vzrůstá s rostoucí hodnotou přítomného/vneseného vnitřního pnutí. Metoda slouží spíše ke srovnávacím a expedičním účelům, kdy hodnota d hodnocené kolejnice nesmí překročit hodnotu 3,75 mm [2]. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Stanovené hodnoty vnitřního pnutí – metodika AREMA, kap. 2.1.13.1

Tab. 3 Measured values of internal stresses – procedure acc. to AREMA, chap. 2.1.13.1.

Série	Vzorek	Rozevření d [mm]	
		dílčí hodnoty	porovnání
Série a) HBW ≤ 335	1	3,7	$\emptyset$ 3,0
	2	3,3	
	3	3,2	Sm. odch. 0,6
	4	1,9	
	5	2,8	$3,0 \pm 0,6$
	6	3,2	
Série b) HBW > 335	1	2,8	$\emptyset$ 3,0
	2	2,9	
	3	2,8	Sm. odch. 0,1
	4	3,0	
	5	3,0	$3,0 \pm 0,1$
	6	3,2	

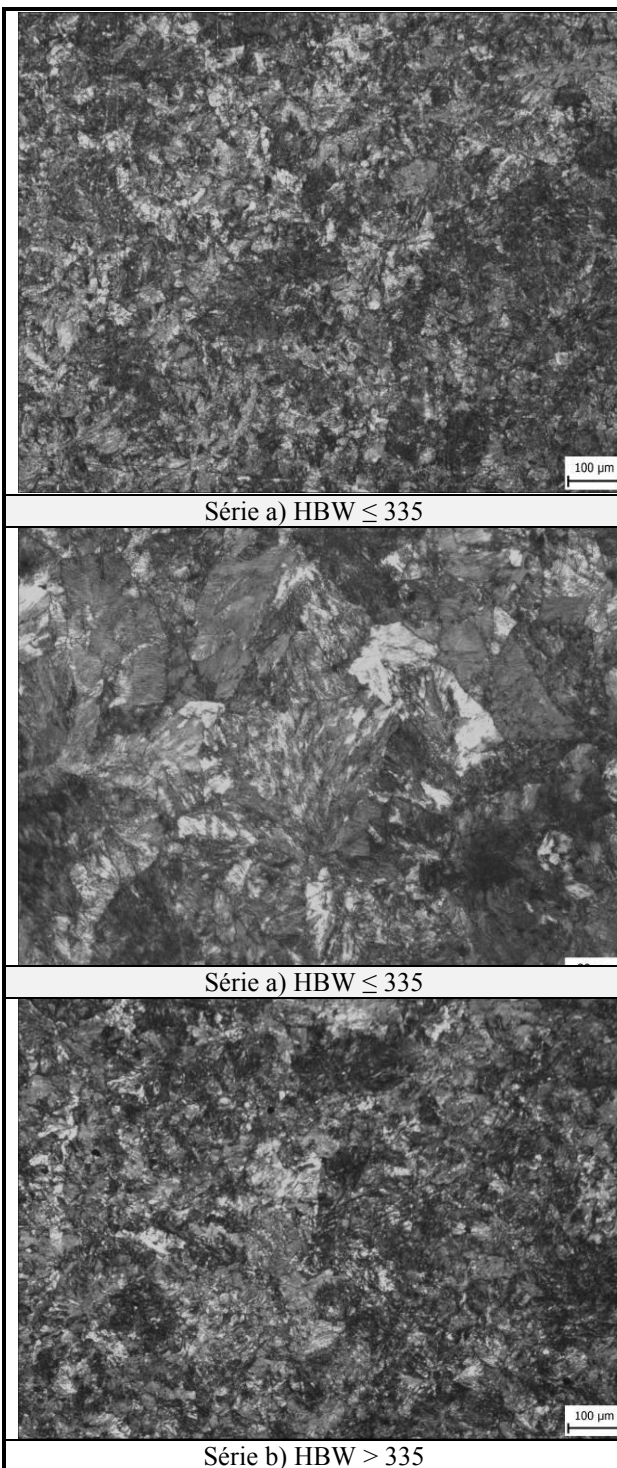
Hodnocení Baumannova otisku a hodnocení makroleptu podle AREMA

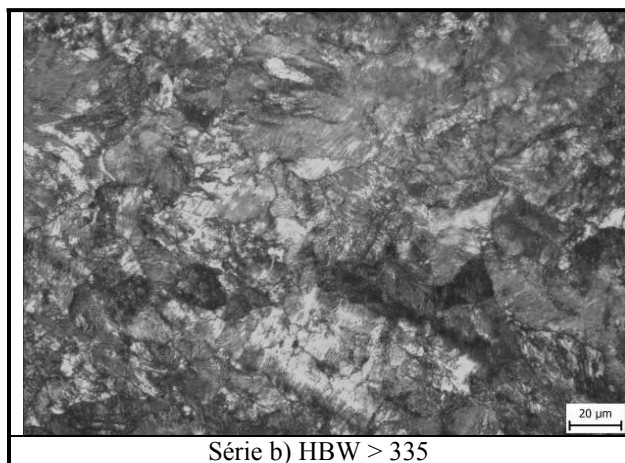
Hodnocení sulfidického odmíšení a hodnocení přítomnosti makrodefektů z makroleptu bylo provedeno podle postupů AREMA, kap. 2.9.1., resp. ISO 4968. Veškerá hodnocení potvrzují akceptovatelný výsledek. Žádný z hodnocených vzorků kolejnic – jak v sérii a), tak i v sérii b) – nevykázal nepřípustný stav z hlediska odpovídajících požadavků AREMA a EN 13674-1.

Metalografické hodnocení a hodnocení mikročistoty

Metalografické hodnocení bylo provedeno na vzorcích odebraných z hlavové části kolejnic, z hloubky cca 9,5 mm od povrchu temene. Veškeré hodnocené vzorky vykazovaly plně perlitickou, lamelární mikrostrukturu, bez přítomnosti anomálií nebo kvalitativně významných rozdílů.

Ukázka mikrostruktury je uvedena na obr. 3.





Obr. 3 Ukázka mikrostruktur – Série a) HBW ≤ 335 a b) HBW > 335
Fig. 3 Examples of typical metallographic images – series a) HBW ≤ 335 and b) HBW > 335

Hodnocení mikročistoty bylo provedeno na identických vzorcích, které byly použity pro metalografickou analýzu. Zkoušky proběhly v souladu s ASTM E45, metoda A. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Výsledky hodnocení mikročistoty podle ASTM E45
Tab. 4 Results of microcleanliness evaluation acc. to ASTM E45

Série	Vzorek	Typ A		Typ B		Typ C		Typ D	
		thin	heavy	thin	heavy	thin	heavy	thin	heavy
Série a)	1	2	0	0	0	1	0	1	0
	2	2	0	2	0	0	0	1	0
	3	1	0	0	0	0	0	1	0
Série b)	1	2	0	0	0	0	0	1	0
	2	2	1	0	0	0	0	1	0
	3	2	0	0	0	0	0	1	0

Provedení zkoušky tahem za okolní teploty podle ISO 6892-1

Z obou zkušebních sérií byla vyrobena standardizovaná zkušební tělesa kruhového průřezu o průměru $d_{\phi 0} = 10$ mm a zkoušené délce $L_c = 110$ mm pro zkoušku tahem. Všechna zkušební tělesa byla jednotně odebrána z hlav kolejnic a nebyla před zkouškou tepelně zpracována.

Zkouška tahem za okolní teploty byla provedena v souladu s ČSN EN ISO 6892-1. Zkušební podmínky byly následující: napěťová rychlost $20 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (do meze kluzu), deformační rychlost $0,0024 \text{ s}^{-1}$ (do přetržení tělesa). Při zkoušce byl použit extenzometr. Výsledky zkoušek tahem jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Výsledky zkoušek tahem

Tab. 5 Tensile test results

Série	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
Série a) HBW ≤ 335	762	1252	11,3	32,6
	790	1255	11,5	27,0
Série b) HBW > 335	776	1216	10,8	23,7
	763	1201	11,1	23,9

Stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci

Stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci K_{IC} bylo provedeno podle ASTM E399 a normy EN 13674-1, příloha D. Pro zkoušku byla použita zkušební tělesa pro tříbodový ohyb – typ A – která byla odebrána z hlavy kolejnice v hloubce cca 2 mm pod temenem [3]. Výsledky zkoušek uvádí tab. 6.

Tab. 6 Výsledky zkoušek lomové houževnatosti

Tab. 6 Fracture toughness test results

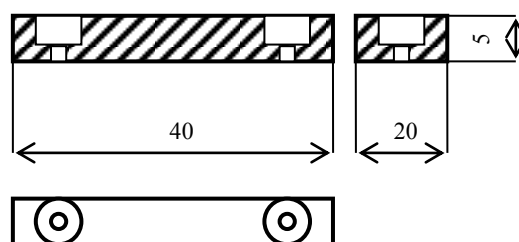
Série	K_{IC} [MPa.m ^{1/2}]	
	dílčí hodnoty	porovnání
Série a) HBW ≤ 335	34,5	Ø 34,6 Sm. odch. 1,2 34,6 ± 1,2
	33,5	
	33,8	
	36,5	
Série b) HBW ≤ 335	38,1	Ø 35,9 Sm. odch. 1,1 35,9 ± 1,1
	35,5	
	30,9	
	38,9	

Provedení zkoušky odolnosti proti otěru

Použitá metoda zkoušky odolnosti proti otěru není normována, jedná se o zkušební postup stanovený výrobcem použitého zkušebního zatížení, který umožňuje poměrné srovnání odolnosti hodnoceného materiálu proti otěru v režimu kluzného nebo valivého tření.

Režim kluzného tření

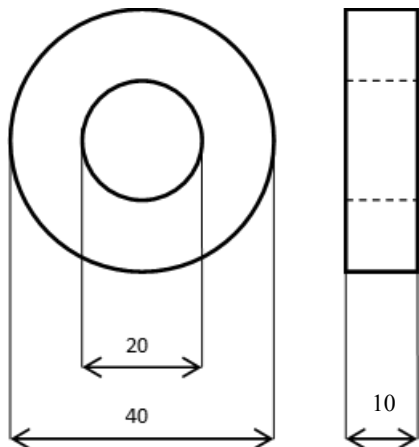
V režimu kluzného tření tvoří zkušební těleso hodnocený materiál v podobě tzv. kluzná destička podle obr. 4.



Obr. 4 Zkušební těleso – kluzná destička [5]

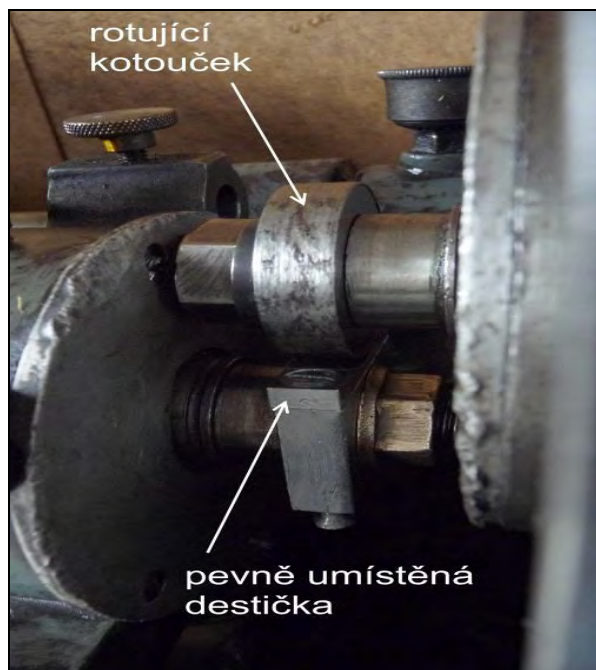
Fig. 4 Test-piece – sliding plate [5]

Tato kluzná destička je v průběhu zkoušky pevně fixována, je v tečném kontaktu s otáčejícím se otěrovým kotoučkem (obr. 5) pod konstantním zatížením 392 N a při rychlosti otáčení cca 180 min⁻¹. Ověrový kotouček je vyroben z oceli pro železniční dvojkoli jakosti R7T.



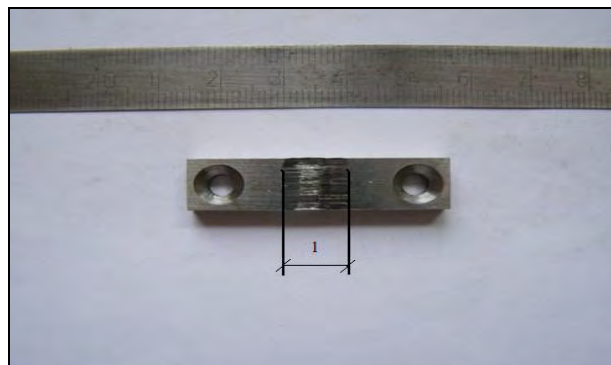
Obr. 5 Otěrový kotouček [5]
Fig. 5 Friction disc [5]

Snímek reálné zkušební sestavy otěrové zkoušky v režimu kluzného tření je uveden na obr. 6.



Obr. 6 Zkušební sestava – režim kluzného tření
Fig. 6 Testing assembly – sliding friction testing mode

Otáčení otěrového kotoučku pod zatížením způsobuje otěr, resp. ztrátu materiálu zkušební destičky, která se hodnotí délkou zábrusu l (obr. 7), a to vždy po ukončení dílčí etapy probíhající zkoušky, odpovídající dosažení 500 otáček. Zkouška je ukončena po dosažení celkového počtu 3 000 otáček, tj. po 6 provedených sériích hodnocení.



Obr. 7 Délka zábrusu, l
Fig. 7 Length of friction zone, l

Hodnoceným parametrem je tzv. faktor opotřebení K , který je stanoven následujícími vztahy:

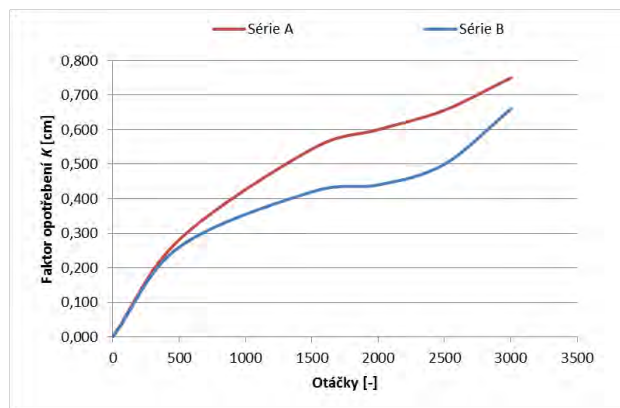
$$K = \sqrt[3]{V \cdot 24}, \quad [\text{cm}]$$

kde:

$$V = \frac{l^3}{24}, \quad [\text{cm}^3]$$

přičemž l [cm] je průměrná hodnota délky zábrusu destičky vypočtená ze tří dílčích měření.

Výsledky zkoušky kluzným třením se zpracují graficky do systému faktor opotřebení K vs. počet otáček. V případě realizovaných testů bylo pro každou jednotlivou hodnocenou sérii provedeno 5 zkoušek. Výsledky v grafické podobě jsou uvedeny na obr. 8. Tyto průběhy představují korelační křivky polynomu 3. řádu o hodnotě spolehlivosti $R^2 > 0,9$.



Obr. 8 Faktor opotřebení K [cm] vs. otáčky [-]
Fig. 8 Wear factor K [cm] versus revs [-]

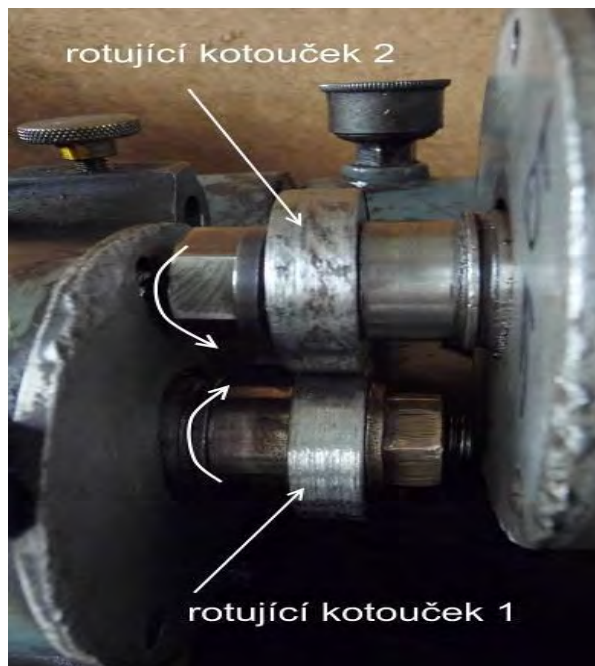
Režim valivého tření

V režimu valivého tření tvoří zkušební těleso hodnocený materiál v podobě otěrového kotoučku podle obr. 5.

Tento otěrový kotouček je v průběhu zkoušky v tečném kontaktu s druhým, měrným otáčejícím se otěrovým kotoučkem, pod konstantním zatížením 600 N při rychlosti otáčení cca 180 min⁻¹. Tento druhý, měrný otěrový kotouček je vyroben z oceli pro železniční dvojkoli jakosti R7T a rychlost jeho otáčení v průběhu

zkoušky je o cca 10 % vyšší než v případě kotoučku vyrobeného z hodnoceného materiálu. Takto se vytváří prokluz, resp. iniciace podmínek valivého tření.

Snímek reálné zkušební sestavy otěrové zkoušky v režimu valivého tření je uveden na obr. 9, kde rotující kotouček 1 představuje hodnocený materiál a kotouček 2 ocel železničního dvojkolí z jakosti R7T (pozn.: tento měrný otěrový kotouček způsobuje prokluz).



Obr. 9 Zkušební sestava – režim valivého tření
Fig. 9 Testing assembly – rolling friction testing mode

Otáčení měrného otěrového kotoučku pod zatížením způsobuje ořez, resp. ztrátu materiálu zkoušeného kotoučku, která se hodnotí gravimetricky, a to vždy po ukončení dílčí etapy probíhající zkoušky odpovídající dosažení 6 000 otáček. Zkouška je ukončena po dosažení celkového počtu 36 000 otáček, tj. po 6 provedených dílčích zkouškách. Hodnoceným parametrem je tzv. hmotnostní úbytek m , který je stanoven následujícím vztahem:

$$m = m_{i-1} - m_i, \quad [\text{g}]$$

kde

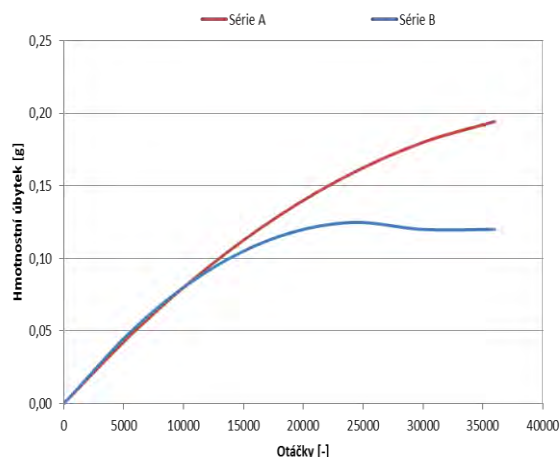
m je aktuální hmotnostní úbytek [g]

m_{i-1} je hmotnost kotoučku po (i-1). měření [g]

m_i je hmotnost kotoučku po i-tém měření [g]

Výsledky zkoušky se zpracují graficky do systému hmotnostní úbytek m vs. počet otáček.

V případě realizovaných experimentů bylo pro každou jednotlivou hodnocenou sérii provedeno 5 zkoušek. Výsledky v grafické podobě jsou uvedeny na obr. 10. Uvedený průběh představuje korelační křivky polynomu 2. řádu o hodnotě spolehlivosti $R^2 > 0,55$.



Obr. 10 Hmotnostní úbytek m [g] vs. otáčky [-]

Fig. 10 Weight loss m [g] versus revs [-]

Závěr

Cílem práce bylo praktické posouzení vlivu rozdílné úrovně tvrdosti perlitických kolejnic profilu 136 RE, jakosti IH na výsledné parametry vybraných kvalitativních zkoušek vycházejících z předpisu AREMA a standardu EN 13674-1. Tyto rozdílné úrovně tvrdosti byly získány experimentální úpravou procesu dochlazování kolejnic z doválcovací teploty.

Na základě provedených analýz lze stanovit závěry, které jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 Srovnání hodnocených parametrů

Tab. 7 Comparison of investigated parameters

Zkouška	Srovnání Série a) HBW ≤ 335 vs. Série b) HBW > 335
Stanovení vnitřního pnutí – metoda EN 13671-1	Zkušební Série a) vykazuje o cca 5 % nižší hodnoty vnitřního pnutí ve srovnání se zkušební sérií b)
Stanovení vnitřního pnutí – metoda AREMA	Obě zkušební série jsou srovnatelné
Baumannův otisk	Obě zkušební série srovnatelné
Hodnocení makroleptů – metoda AREMA	Obě zkušební série srovnatelné
Metalografické hodnocení, resp. mikročistota	Obě zkušební série srovnatelné
Zkouška tahem podle ISO 6892-1	Obě zkušební série srovnatelné
Lomová houževnatost K_{IC}	Obě zkušební série srovnatelné
Odolnost proti ořezu – režim valivého tření	Zkušební série a) vykazuje o cca 30 % nižší odolnost proti ořezu ve srovnání se zkušební sérií b)
Odolnost proti ořezu – režim kluzného tření	Zkušební série a) vykazuje o cca 35 % nižší odolnost proti ořezu ve srovnání se zkušební sérií b)

Z uvedeného srovnání vyplývá, že experimentální dílčí úpravy technologie výroby hodnoceného typu a jakosti kolejnic nemají, mimo výsledků otěrových zkoušek, technicky významný vliv na sledované kvalitativní parametry. V případě hodnocení odolnosti proti ořezu však vykazují kolejnice Série a) (HBW ≤ 335) – v oblasti rozdílného průběhu výsledků zkoušky – o cca

30 % příznivější hodnoty sledovaných parametrů v porovnání s výsledky Série b) ($HBW > 335$). Přestože vyšší úroveň tvrdosti kolejnic je v tomto případě dosažena řízeným dochlazováním, resp. částečným navýšením vnitřního pnutí, které je však v limitu požadovaném standardem EN 13674-1 a předpisem AREMA, jeví se, že použitá technologická úprava může mít příznivý vliv na životnost kolejnic, a to bez nutnosti chemické modifikace tavebního složení nebo aplikace specifického postupu tepelného zpracování.

Literatura

- [1] *Výkresová dokumentace výrobního portfolia Třineckých železáren, a. s. – Kolejnice 136 RE*

- [2] *American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA), Chapt. 4; Rails, [manuál], edice 2012*
- [3] *ČSN EN 13674-1 Železniční aplikace – Kolej – část 1 – Vignolovy železniční kolejnice o hmotnosti 46 kg/m a větší, [norma], edice 2011*
- [4] *ASTM E399 Standard Test Method for Linear-Elastic Plain-Strain Fracture Toughness K_{IC} of Metallic Materials, [standard], edice 2007*
- [5] MICHENKA, V., RABINSKÝ, T. KOLÁŘOVÁ, I.: Nestandardní zkoušky kolejnic [technická zpráva č. Z-560/14], VÚHŽ a. s. Laboratoře a zkušebny, prosinec 2014



Hutní keramika HK¹⁵

10. ročník konference s mezinárodní účastí

1. OZNÁMENÍ
1. - 2. října 2015
Hotel Energetic****
Rožnov p. Radhoštěm, Česká republika

TANGER, spol. s r.o.
VŠB - Technická univerzita Ostrava
Katedra tepelné techniky
SEEIF Ceramic, a.s.

hutní výroba v ČR a SR

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2014 a 2013									
	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	duben	květen	leden-květen	duben		květen		leden-květen	
	2015	2015	2015	2014	2015/14	2014	2015/14	2014	2015/14
	tis.t	tis.t	tis.t	tis.t	%	tis.t	%	tis.t	%
KOKS									
CELKEM	287,13	297,40	1 447,54	280,91	102,21	287,99	103,27	1 420,55	101,90
z toho (HŽ) ČR	151,59	157,96	765,37	149,88	101,14	156,58	100,88	766,95	99,79
(HŽ) SR	135,54	139,43	682,17	131,03	103,44	131,41	106,11	653,60	104,37
AGLOMERÁT									
CELKEM	764,92	838,47	4 089,11	787,22	97,17	868,60	96,53	4 030,24	101,46
z toho ČR	431,92	501,47	2 483,21	480,82	89,83	514,20	97,52	2 405,24	103,24
SR	333,00	337,00	1 605,90	306,40	108,68	354,40	95,09	1 625,00	98,82
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	651,38	686,91	3 390,22	686,66	94,86	713,22	96,31	3 365,89	100,72
z toho ČR	318,10	378,49	1 733,19	358,41	88,75	358,95	105,44	1 774,05	97,70
SR	333,28	308,42	1 657,03	328,25	101,53	354,27	87,06	1 591,83	104,10
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	820,76	876,10	4 322,55	864,73	94,91	894,20	97,98	4 253,54	101,62
z toho ČR	419,05	495,10	2 289,20	467,75	89,59	464,58	106,57	2 300,58	99,51
SR	401,70	381,00	2 033,35	396,99	101,19	429,62	88,68	1 952,95	104,12
KONTISLITKY									
CELKEM	780,41	833,89	4 110,89	826,34	94,44	854,33	97,61	4 058,31	101,30
z toho ČR	379,61	453,79	2 082,04	430,28	88,22	425,64	106,61	2 110,01	98,67
SR	400,80	380,10	2 028,85	396,06	101,20	428,69	88,67	1 948,30	104,13
BLOKOVNY									
CELKEM	25,06	52,01	233,53	49,49	50,64	47,68	109,08	240,19	97,23
z toho ČR	25,06	52,01	233,53	49,49	50,64	47,68	109,08	240,19	97,23
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	740,67	802,81	3 939,74	774,05	95,69	778,10	103,18	3 821,90	103,08
z toho ČR	398,62	441,03	2 093,40	404,16	98,63	418,54	105,37	2 080,02	100,64
SR	342,05	361,79	1 846,34	369,89	92,47	359,56	100,62	1 741,89	106,00
TRUBKY									
CELKEM	63,25	65,58	329,14	66,73	94,79	73,63	89,07	330,07	99,72
z toho ČR	46,62	45,68	234,32	46,05	101,23	52,31	87,33	229,92	101,91
SR	16,64	19,90	94,82	20,68	80,45	21,32	93,34	100,15	94,68
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM= (HŽ)ČR	17,52	17,51	88,46	15,69	111,65	16,01	109,38	82,48	107,24
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM= (HŽ)ČR	1,25	1,10	6,55	2,76	45,52	2,48	44,43	13,44	48,76
POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné									
Zpracoval: Hutnictví železa, a.s. - ing. Vala									

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2014 a 2013

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	květen	červen	leden-červen	květen		červen		leden-červen	
	2015	2015	2015	2014	2015/14	2014	2015/14	2014	2015/14
	tis.t	tis.t	tis.t	tis.t	%	tis.t	%	tis.t	%
KOKS									
CELKEM	297,40	287,90	1 735,44	287,99	103,27	280,40	102,67	1 700,95	102,03
z toho (HŽ) ČR	157,96	151,82	917,19	156,58	100,88	149,25	101,72	916,20	100,11
(HŽ) SR	139,43	136,08	818,25	131,41	106,11	131,15	103,76	784,75	104,27
AGLOMERÁT									
CELKEM	838,47	674,75	4 763,85	868,60	96,53	824,49	81,84	4 854,73	98,13
z toho ČR	501,47	367,65	2 850,85	514,20	97,52	510,29	72,05	2 915,53	97,78
SR	337,00	307,10	1 913,00	354,40	95,09	314,20	97,74	1 939,20	98,65
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	686,91	692,36	4 082,58	713,22	96,31	638,40	108,45	4 004,28	101,96
z toho ČR	378,49	362,68	2 095,86	358,95	105,44	340,23	106,60	2 114,28	99,13
SR	308,42	329,68	1 986,71	354,27	87,06	298,17	110,57	1 890,01	105,12
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	876,10	874,81	5 197,36	894,20	97,98	797,53	109,69	5 051,07	102,90
z toho ČR	495,10	480,31	2 769,51	464,58	106,57	425,66	112,84	2 726,25	101,59
SR	381,00	394,50	2 427,84	429,62	88,68	371,87	106,08	2 324,82	104,43
KONTISLITKY									
CELKEM	833,89	833,14	4 944,03	854,33	97,61	754,09	110,48	4 812,40	102,74
z toho ČR	453,79	439,54	2 521,59	425,64	106,61	383,15	114,72	2 493,16	101,14
SR	380,10	393,60	2 422,44	428,69	88,67	370,94	106,11	2 319,24	104,45
BLOKOVNY									
CELKEM	52,01	52,42	285,95	47,68	109,08	49,14	106,68	289,33	98,83
z toho ČR	52,01	52,42	285,95	47,68	109,08	49,14	106,68	289,33	98,83
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	802,72	771,81	4 711,46	778,10	103,17	753,93	102,37	4 575,83	102,96
z toho ČR	440,94	439,60	2 532,90	418,54	105,35	418,47	105,05	2 498,49	101,38
SR	361,79	332,21	2 178,55	359,56	100,62	335,46	99,03	2 077,34	104,87
TRUBKY									
CELKEM	65,59	65,41	393,38	73,63	89,08	66,77	97,96	396,84	99,13
z toho ČR	45,69	47,00	280,16	52,31	87,34	46,95	100,11	276,87	101,19
SR	19,90	18,40	113,23	21,32	93,34	19,82	92,87	119,97	94,38
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM=(HŽ)ČR	17,57	18,19	106,71	16,01	109,78	16,94	107,37	99,42	107,33
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM=(HŽ)ČR	1,10	1,42	7,98	2,48	44,43	2,56	55,57	16,00	49,85

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné

Zpracoval: Hutnictví železa, a.s. - ing. Vala

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2014 a 2013									
		Výroba *)		Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	červen	červenec	leden-červenec	červen		červenec		leden-červenec	
	2015	2015	2015	2014	2015/14	2014	2015/14	2014	2015/14
	tis.t			tis.t	%	tis.t	%	tis.t	%
KOKS									
CELKEM	287,90	302,96	2 038,39	280,40	102,67	290,77	104,19	1 991,72	102,34
z toho (HŽ) ČR	151,82	158,87	1 076,06	149,25	101,72	157,93	100,60	1 074,13	100,18
(HŽ) SR	136,08	144,09	962,33	131,15	103,76	132,84	108,47	917,59	104,88
AGLOMERÁT									
CELKEM	674,75	775,23	5 539,08	824,49	81,84	825,44	93,92	5 680,17	97,52
z toho ČR	367,65	465,33	3 316,18	510,29	72,05	495,54	93,90	3 411,07	97,22
SR	307,10	309,90	2 222,90	314,20	97,74	329,90	93,94	2 269,10	97,96
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	692,36	706,41	4 788,99	638,40	108,45	682,48	103,51	4 686,77	102,18
z toho ČR	362,68	357,73	2 453,59	340,23	106,60	354,03	101,04	2 468,31	99,40
SR	329,68	348,69	2 335,40	298,17	110,57	328,45	106,16	2 218,45	105,27
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	874,81	873,26	6 070,59	797,53	109,69	847,02	103,10	5 898,09	102,92
z toho ČR	480,31	465,47	3 234,95	425,66	112,84	448,74	103,73	3 174,98	101,89
SR	394,50	407,79	2 835,64	371,87	106,08	398,29	102,39	2 723,11	104,13
KONTISLITKY									
CELKEM	833,14	837,77	5 781,76	754,09	110,48	808,91	103,57	5 621,31	102,85
z toho ČR	439,54	430,87	2 952,43	383,15	114,72	411,55	104,69	2 904,71	101,64
SR	393,60	406,89	2 829,34	370,94	106,11	397,36	102,40	2 716,60	104,15
BLOKOVNY									
CELKEM	52,42	51,75	337,70	49,14	106,68	53,96	95,90	343,29	98,37
z toho ČR	52,42	51,75	337,70	49,14	106,68	53,96	95,90	343,29	98,37
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	771,96	735,79	5 447,09	753,93	102,39	724,92	101,50	5 300,75	102,76
z toho ČR	439,75	436,53	2 969,27	418,47	105,09	417,06	104,67	2 915,54	101,84
SR	332,21	299,26	2 477,82	335,46	99,03	307,86	97,21	2 385,20	103,88
TRUBKY									
CELKEM	65,57	61,27	454,83	66,77	98,21	66,84	91,67	463,67	98,09
z toho ČR	47,01	41,79	321,96	46,95	100,12	45,18	92,49	322,06	99,97
SR	18,57	19,48	132,87	19,82	93,69	21,65	89,96	141,62	93,82
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM= (HŽ)ČR	18,19	17,38	124,13	16,94	107,37	19,28	90,12	118,70	104,58
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM= (HŽ)ČR	1,42	1,27	9,21	2,56	55,57	2,75	46,10	18,74	49,15
POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné									
Zpracoval: Hutnictví železa, a.s. - ing. Vála									

zprávy z podniků, institucí a řešitelských pracovišť

Rekonstrukce odsávání na odlévacích vysoké pece č. 4 a 6 v Třineckých železárnách, a.s.

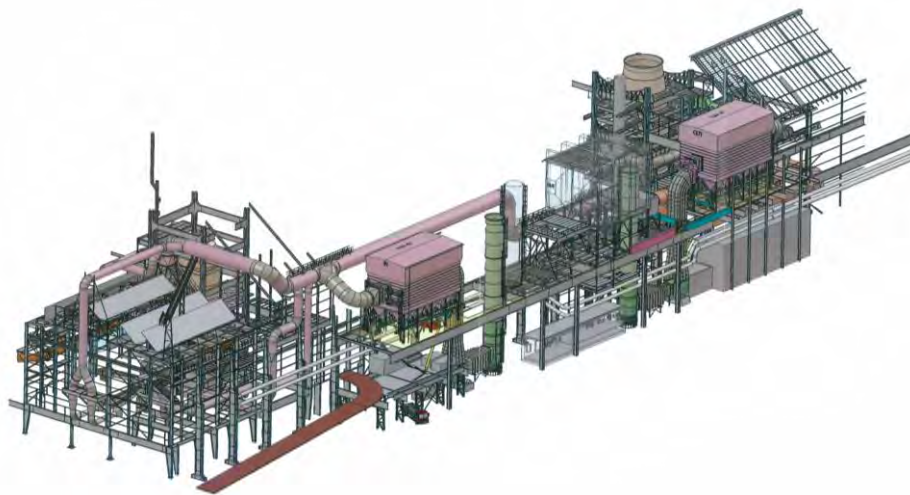
Radek Potěšil¹, Ing. Jan Lipowski¹

¹ TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Česká republika

První odsávání odlévárny vysoké pece v Třineckých železárnách, a.s. bylo zprovozněno v roce 1992 pouze pro vysokou pec (VP) č. 4. Množství odsávané vzdušiny bylo 400 tis. m³·h⁻¹. K odstraňování tuhých znečišťujících látek sloužil elektrostatický filtr od fy ZVVZ a.s., Milevsko s kapacitou 600 tis. m³·h⁻¹. Na filtr se v roce 1993 napojily i koncovky železového žlabu VP č. 6. V rámci generální opravy VP č. 6 v roce 1999 bylo díky zvýšení výkonu ventilátoru zvýšeno i odsávané množství vzdušiny na cca 530 tis. m³·h⁻¹ a rozšířeno odsávání VP č. 6 o odpichový a struskový žlab. Množství tuhých znečišťujících látek za tímto elektrostatickým filtrem bylo do 50 mg·m⁻³.

Při zpracovávání projektu injektáže práškového uhlí do výfucen vysokých pecí, což představuje potenciálně další zdroj znečištění ovzduší, byl Krajským úřadem Moravskoslezského kraje vznesen požadavek na snížení emisí z odléváren vysokých pecí pod 20 mg·m⁻³.

Z tohoto důvodu se začal připravovat projekt „Rekonstrukce odsávání odléváren vysokých pecí č. 4 a 6“. Realizace projektu započala 8. 4. 2013 a termín dokončení byl 18. 1. 2015. Cílem této investiční akce bylo snížení emisí tuhých znečišťujících látek o 108,6 t/r. Hlavním bodem rekonstrukce bylo nahrazení elektrostatického filtru dvěma látkovými filtry typu EFP-8-5,5-320-D6, kdy každý z nich má kapacitu 515 tis. m³·h⁻¹ pro každou vysokou pec. Filtry mají osm sekcí s filtrační plochou 6 939 m², kdy tato plocha je tvořena 2 560 kusy filtračních hadic v každém filtru. Garantovaná výstupní koncentrace prachu je do 10 mg·m⁻³. K pohonu ventilátorů slouží motory o výkonu 800 kW. K dosud odsávaným místům přibýlo ještě horní odsávání odpichových otvorů obou pecí. Dodavatelem celého zařízení byla firma ZVVZ-Enven Engineering, a.s., Milevsko. Celkový pohled na včlenění systému odsávání tuhých znečišťujících látek do technologie provozu VP znázorňuje obr. 1.



Obr. 1 3D schéma nového odsávání odléváren VP č. 4 a VP č. 6

V projektu se předpokládalo odstavení elektrostatického filtru po uvedení látkového filtru VP č. 4 do provozu v únoru 2014. Zjistilo se však, že kapacita nového látkového filtru není dostatečná pro odprášení obou odléváren vysokých pecí. Proto byl nejdříve dokončen filtr VP č. 6, zprovozněn na boční výdech a teprve posléze, v červnu 2014, odstaven původní elektrostatický filtr. Na jeho místě byl dostaven výdech

filtru VP č. 6. Od července 2014 jsou provozovány oba nové látkové filtry s tím, že na VP č. 4 bylo během střední opravy v září 2014 dokončeno horní odsávání odpichového otvoru. V rámci rozhodnutí Krajského úřadu Moravskoslezského kraje č. j. MSK 136914/2014 ze dne 19. 11. 2014 ve věci „15. změny integrovaného povolení pro zařízení Vysoké pece“ bylo uděleno povolení provozu tohoto nového zdroje na časově

omezenou dobu (ověřovací doba), a to do 31. 12. 2015 v rámci stavby Rekonstrukce odsávání odléváren VP č. 4 a VP č. 6.

Během této ověřovací doby došlo k jednorázovému autorizovanému měření emisí tuhých znečišťujících látek dle § 3 odst. 1 vyhlášky č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. Naměřené hodnoty tuhých emisí $0,1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ na lici hale VP č. 4 i VP č. 6 při srovnatelných provozních podmínkách zcela průkazně

dokladují, že emisní limit je podkročen s dostatečnou rezervou. Díky této skutečnosti dojde i ke splnění závazku snížení tuhých znečišťujících látek o 109 t/r. Prachový materiál zachycený na filtrech je následně plně recyklován v technologiích provozu VO – výroba železa a oceli.

Krajský úřad Moravskoslezského kraje ve svém rozhodnutí č. j. MSK 22626/2015 ze dne 13. 3. 2015 ve věci „16. změny integrovaného povolení pro zařízení Vysoké pece“ povolil uvedení zdroje „Lici hala VP č. 4“ a „Lici hala č. VP 6“ do trvalého provozu.

Predikce vývoje ocelářského průmyslu ČR v letech 2015 – 2020, s výhledem do r. 2030

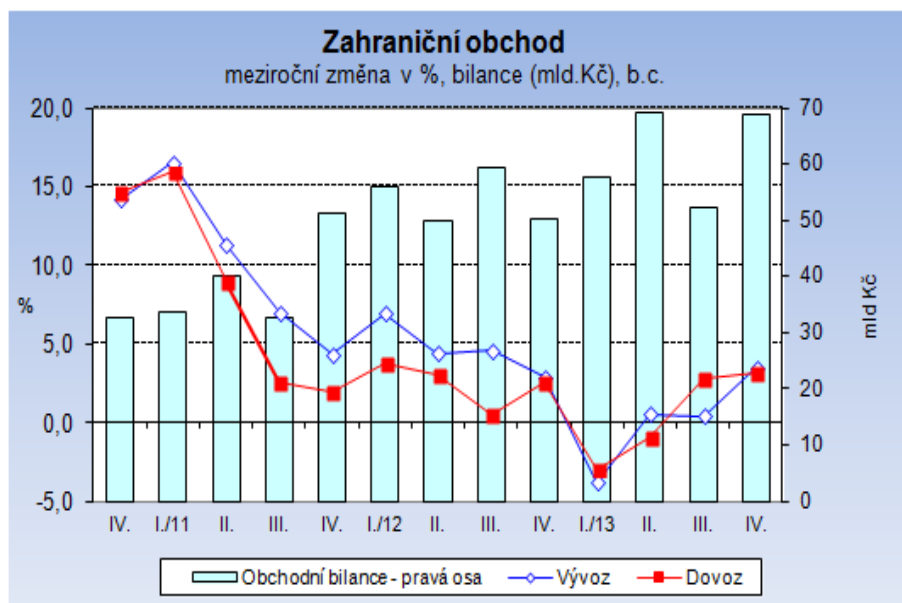
Hutnické listy, roč. LXVIII, č. 3, s. 39 – 40 uveřejnily článek „Seminář predikce vývoje ocelářského průmyslu do roku 2020“ autora Ing. Vladimíra Tomana. Obsahem článku je informace o konání a výsledcích zajímavého a důležitého semináře, který dne 20.5.2015 v Praze pořádal Osvětový svaz hutnictví železa. Článek jen stručně obsahuje diskuse a závěry v plném znění. Téma přednesených příspěvků a diskuse jsou pro hutnictví ČR natolik závažné, že již při psaní zmíněného článku bylo rozhodnuto, že některé písemné materiály předložené na semináři k projednání budou v přepracované a zkrácené podobě uveřejněny v dalších číslech Hutnických listů. Jeden ze stěžejních materiálů pro seminář, který tvořil osu projednávaných témat, je zde představen v textově upravené podobě s využitím několika drobných redakčních příspěvků:

Evropské i české hutnictví dnes prochází strukturálním vývojem, který odstartovala celosvětová krize. Od roku 2013 však nastal obrat v růstu hutní výroby a i když se produkce oceli v ČR pravděpodobně nevrátí na předkrizovou úroveň, výroba i spotřeba roste a tento

trend si i nadále podrží. K udržení konkurenční schopnosti je nezbytné snižovat náklady, měnit výrobní portfolio směrem ke kvalitě a finalizaci produkce, orientovat se na špičkové technologie a zvyšovat ekologické parametry technologií a výrobků.

Hospodářsko-obchodní ukazatele hutnictví železa

Predikce vývoje ocelářského průmyslu ČR na období let 2015 – 2020, s výhledem do r. 2030 vychází nejen z předešlých marketingových prací a z vývoje ve zpracovatelských odvětvích, ale i z cílů, které Evropská unie vytyčuje pro r. 2020 a v některých sférách (ekologie, energetika) až do r. 2030. Nezbytná konkrétní investiční opatření, zabezpečující stanovené cíle, mají pro realizaci horizont 5 – 7 let. Na druhé straně rozhodování o portfoliu kapacit a jejich zásadní modernizace (např. výroba oceli v elektropecích, recyklace a zpracování šrotu) vyžaduje pohled v perspektivě i pro období 2020 – 2030.



Obr. 1 Zahraniční obchod ČR

Výsledky zahraničního obchodu s výrobky veškerého hospodářství jsou v podmínkách ČR výrazně ovlivněny vývojem průmyslové produkce. Stále větší část tuzemské průmyslové výroby se vyváží, což je dáno i tím, že růst zahraničních zakázek v posledních dvou letech převažuje nad růstem tuzemských zakázek. Saldo zahraničního obchodu ČR dosahovalo ve valné části sledovaného období kladných hodnot (obr. 1).

Trendy obchodních bilancí z celkové hospodářské činnosti se zde zabýváme zcela po právu, protože bylo zjištěno, že 10% růst oboru hutnictví vyvolá nárůst celospolečenského HDP o 1 %. Hutnictví tedy má své významné místo v dosahování ukazatelů ekonomiky i ve strukturování průmyslu a výrobním portfoliu navazujících a souvisejících oborů. Českému průmyslu pomáhá zejména zlepšení ekonomické situace v eurozóně a postupně se bude čím dál více projevovat pozitivní vliv oslabení kurzu Kč na konkurenční schopnost domácích výrobců. Za příznivými celkovými statistikami stojí především automobilový průmysl, ale také výroba strojů a zařízení, výroba kovodělných produktů (vč. ocelářství), výroba plastů a pryže.

Z odvětvového hlediska k růstu nových zakázek nejvíce přispěla výroba motorových vozidel (+ 9,4 %), dále výroba ostatních dopravních prostředků a zařízení (+ 13,6 %) a výroba kovových konstrukcí a kovodělných výrobků (+ 7,6 %). Naopak nejvíce negativně působil úbytek zakázek v odvětví výroby počítačů (- 11,5 %) a v odvětví výroby základních kovů, hutní zpracování kovů a slévárenství (- 3 %).

Možnosti českého vývozu, jako významného prorůstového zdroje, jsou těsně svázány s oživením nebo recesí ve světě, zejména ve státech Evropské unie. V této souvislosti je důležité, že došlo k obnovení tempa růstu zahraničních zakázek pro rozhodující české průmyslové obory (automobilový průmysl, strojírenství a některé další navazující obory). Problémem je pokračující recese ve stavebnictví.

Stejně jako roste celková průmyslová výroba, pozitivně se v závěru roku 2013 vyvíjela i výroba v hlavních odběratelských odvětvích ocelářského průmyslu, charakterizovaná tzv. ukazatelem SWIP (Steel Weight Industrial Production – vážený průměr spotřeby ocelářských výrobků v hlavních odběratelských oborech). V průměru se SWIP zvýšil ve 4. čtvrtletí r. 2013 poprvé od roku 2011 meziročně o 1,6 %. Přesto v důsledku poklesu v předchozích obdobích předstihlo snížení výroby vzhledem k počátečním letům sledovaného období meziroční pokles celkové průmyslové výroby v Evropské unii. Z hlediska vnitřní struktury je situace podle jednotlivých hlavních

odvětví ocelářského průmyslu odlišná. K jeho růstu přispěl především automobilový průmysl (+0,7 %) a výroba ostatních dopravních prostředků (+2,1 %), k poklesu pak odvětví strojírenské výroby (-3,6 %) a stavební výroby (-2,9 %).

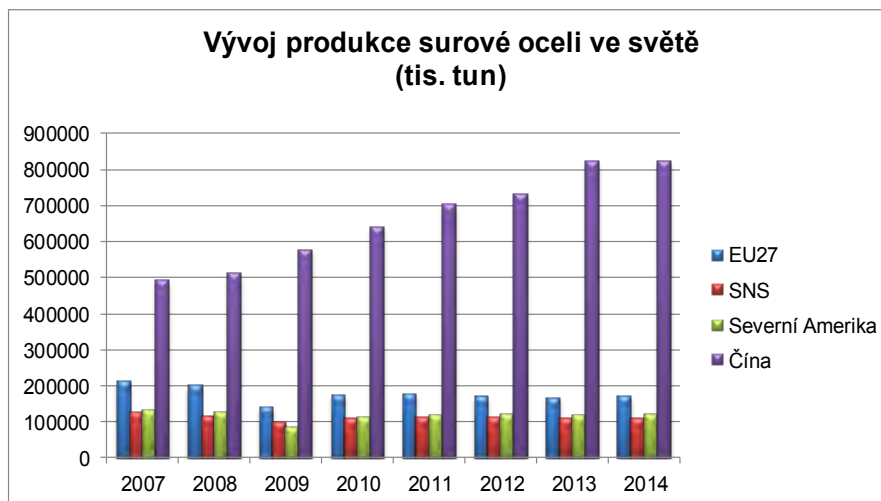
Produkční charakteristiky hutnictví železa

Produkce ocelářských výrobků meziročně rostla až do konce 1. pololetí 2008, kdy se v ČR projevil důsledek světové finanční a odbytové krize. V průběhu roku 2009 se produkce ocelářských výrobků meziročně snížila v rozmezí 27 až 35 %. V roce 2010 se objem výroby meziročně zvýšil v jednotlivých sortimentech o 13 až 24 %. Růstový trend pokračoval i v průběhu roku 2011, ale s mnohem nižší meziroční dynamikou, a to v rozmezí 1 až 6 %. Již ve 2. pololetí 2011 došlo k výraznějšímu snižování objemů produkce, a to v důsledku snížení poptávky po oceli, vyvolané finančními problémy v některých zemích eurozóny, a tím snížením dynamiky ekonomického růstu ve většině zemí Evropské unie. Pokles poptávky po oceli v tuzemsku i zahraničí pokračoval i v průběhu roku 2012. Celkově se hutní produkce v roce 2012 meziročně snížila v rozmezí 5 až 10 %. K určitému oživení poptávky došlo až v průběhu roku 2013, což se i při nižší výrobě projevilo v mírném meziročním zvýšení produkce jak v oblasti prvovýroby, tak produkce válcovaného materiálu (především dlouhých a plochých výrobků), ale také v oblasti ostatních výrobků (úzkého pásu válcovaného za studena, taženého drátu a tažené, loupáné a broušené oceli). Mírně růstový trend objemů produkce pokračoval i v průběhu roku 2014, a to především v prvovýrobě a v některých oborech finální produkce (polotovary, ploché výrobky válcované za studena, ocelové trubky, tyčová ocel, tažený drát a profily tvářené za studena). Ke snížení produkce došlo zejména u plochých výrobků válcovaných za tepla. Strukturu hutní výroby v ČR ukazují tab. 1.

Je patrné, že produkce hlavních sortimentních skupin v roce 2014 je stále o 20 až 25 % nižší než před počátkem světové odbytové krize. Pouze v produkci speciálních výrobků s vyšší přidanou hodnotou v úpravenském procesu (tažená, broušená a loupáná ocel) je tento pokles nižší. Zatímco objem výroby surové oceli v ČR v roce 2014 dosáhl ještě jen 76 % úrovně roku 2007, celosvětová výroba surové oceli přesáhla úroveň roku 2007 již v roce 2010 a v dalších letech postupně stoupala. Na tomto celosvětovém růstu má vliv především Čína a další země Asie. V minulém roce se však projevila pokles intenzity růstu ocelářské výroby v Číně, resp. jen růst o 0,1 %, a naopak růst produkce v Evropské unii poprvé ve sledovaném období o 1,8 %, jak je to patrné z obr. 2.

Tab. 1 Struktura hutní výroby v ČR v letech 2007 – 2014

Výrobek		V ý r o b a Č R / v tis.t /								změna /%/	
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2014/13	2014/07
Surové železo		5 287,2	4 737,2	3 482,6	3 986,9	4 136,9	3 935,2	4 039,5	4 152,4	2,8	-21,5
Surová ocel		7 058,9	6 387,0	4 593,6	5 179,6	5 586,3	5 088,1	5 171,3	5 360,0	3,6	-24,1
Válcovaný materiál		6 301,1	5 800,7	4 300,2	5 077,5	5 088,9	4 688,7	4 831,0	4 829,2	0,0	-23,4
v tom	polotovary distribuční	782,4	829,6	536,3	739,2	778,0	724,1	712,0	771,1	8,3	-1,4
	dlouhé výrobky	3 423,6	3 171,1	2 655,5	2 995,5	2 993,2	2 964,3	3 075,3	3 060,3	-0,5	-10,6
	ploché výrobky ZTV	1 957,7	1 676,9	1 040,3	1 273,9	1 249,8	946,9	990,1	913,1	-7,8	-53,4
	ploché výrobky ZSV	137,4	123,1	68,1	69,0	67,9	53,4	53,6	84,7	58,1	-38,4
Ocelové trubky		777,2	718,8	469,1	579,2	595,2	596,7	573,4	606,9	5,8	-21,9
v tom	bezešvé	456,6	422,0	254,8	348,9	378,0	364,7	352,7	361,9	2,6	-20,7
	svařované	320,6	296,8	214,3	230,3	217,2	232,0	220,7	245,0	11,0	-23,6
Ostatní výrobky		1 076,9	967,5	695,8	821,3	833,2	836,3	986,5	1 105,0	12,0	2,6
v tom	úzký pás ZSV	80,1	86,3	50,8	67,0	82,0	65,7	79,1	79,8	0,9	-0,4
	tyčová ocel TLB	163,8	159,1	96,1	142,9	164,1	181,8	215,1	243,7	13,3	48,8
	tažený drát	747,2	621,7	473,6	539,5	526,5	533,5	640,6	723,4	12,9	-3,2
	profily tvář. za studena	85,8	100,4	75,3	71,9	60,6	55,3	51,8	58,1	12,2	-32,3

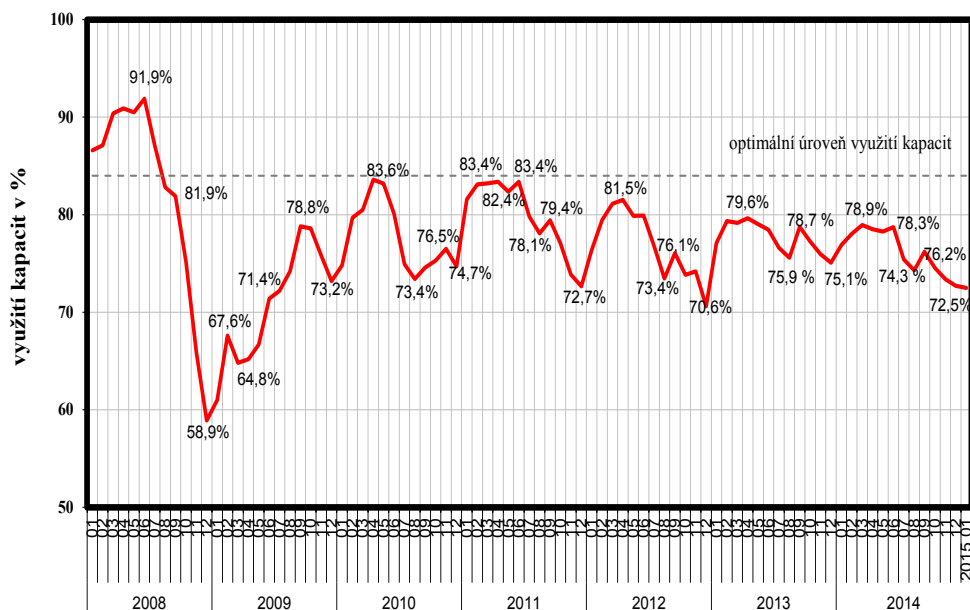


Obr. 2 Vývoj produkce surové oceli ve světě (tis. t)

V Evropské unii se odhaduje na 30 až 40 mil. t nadbytečných kapacit, se kterými se ocelářství doposud neuspokojivě vypořádává. V roce 2014 činily kapacity Evropské unie cca 230 mil. t, vyrobeno však bylo jen 169 mil. t oceli, což ukazuje na využití kapacit 73,5 %. Souběžně se ale mohou kapacity výroby ještě zvýšit, což vede k úvaze, že využití kapacit by kleslo pod 70 %.

Podle Eurofer je nevyhnutelně nutné, aby evropské ocelářské kapacity byly zredukovány nejméně o 25 %, aby umožnily obnovu průmyslu.

Ještě zřetelněji vypovídají o vývoji využití kapacit v posledním období měsíční hodnoty tohoto ukazatele (obr. 3).



Obr. 3 Měsíční hodnoty využití světových výrobních kapacit v Evropské unii

Je zde patrný strmý pokles využití kapacit světové výroby oceli v průběhu roku 2008 až na necelých 59 % na konci roku a také skutečnost, že v období 2009 až 2014 se ani v jednom měsíci nedostala hodnota využití kapacit na optimální úroveň. Navíc v průběhu roku

2012 docházelo k postupnému snižování využití kapacit až na cca 70 %. V období let 2013 a 2014 se využití kapacit pro výrobu surové oceli kolísavě pohybovalo v rozmezí 75 až 80 %. Koncem roku 2014 se však využití kapacit opět dostalo pod 73 %.

(Pokračování v příštím čísle)

Konkurence z Číny a Ruska zatěžuje ocelářský průmysl

Stahl Aktuell

27. 5. 2015

Ocelářský průmysl se už několik let vyznačuje nadprodukcí. V Evropě a zejména v Německu se ale nyní stále výrazněji projevují důsledky konkurence z Číny a Ruska. K tomu je plánováno celoevropské zdražení emisí CO₂. EU nyní zvažuje chránit svůj vlastní trh před zahraniční konkurencí. V dubnu tohoto roku oproti dubnu předcházejícího roku klesla celosvětová výroba surové oceli o 0,7 procenta na 135 milionů tun. Zatímco v Číně poklesla výroba oceli jen lehce, o 0,7 %, v Evropě došlo k mnohem významnějšímu poklesu. Německo například v dubnu vyrobilo jen 3,6 milionu tun, což odpovídá poklesu o 1,9 %. Se svojí roční výrobou zhruba 43 milionů tun je Německo největším výrobcem oceli v EU. Tržby z prodeje dosáhly v roce 2014 40,1 miliard €, v roce 2013 to bylo ještě 41,8 miliard €. V Itálii klesla výroba o 8,5 %, ve Francii o 9 %. Oproti tomu stoupla výroba oceli v Turecku, Rusku, Indii, Brazílii a Španělsku. V EU se měsíčně vyrobí 14,4 milionu tun oceli (170 milionů tun ročně). EU je po Číně druhým největším výrobcem oceli na světě. Slabá tuzemská poptávka a nadbytečné kapacity v Číně zvýšily exporty oceli z Číny v minulém roce o 50 % na rekordní hodnotu 98,8 milionů tun. Kromě toho slabý rubl učinil ruskou ocel konkurenceschopnější. Kromě konkurence z Číny a Ruska mohou dostat evropské výrobce oceli pod tlak také emise CO₂. Pro německé ocelářské podniky by to mohlo znamenat dodatečnou zátěž více než miliardou € do konce příštího desetiletí.

Evropská komise povolila rabaty pro dvě další německá odvětví

Stahl Aktuell

28. 5. 2015

Podniky, které v Německu kovají nebo jsou činné ve zpracování a povrstvování kovů, nemusí v budoucnu platit plnou sazbu přírůžky za ekologický proud podle zákona o obnovitelných energiích (EEG). Evropská komise povolila odpovídající změny v zákonu o EEG, se kterými je možné popsat pravidla pro rabaty v určitých energeticky náročných průmyslových provozech vztáhnout i na dvě výše uvedená odvětví. Tato odvětví se nacházejí obzvláště v mezinárodní soutěži s konkurenty ze zemí, které podobné náklady nemají. Podniky, které budou chtít profitovat z nových pravidel, však musí prokázat, že jejich náklady na elektrickou energii tvoří alespoň 20 % z celkových hrubých nákladů na výrobek.

historie hutnictví

Historie, průzkum a analýza rudnin z opuštěného důlního díla na Cumberku

History, Research and Analysis of Ores from an Abandoned Mining Works on the Cumberk

prof. Ing. Karel Stránský, DrSc.¹, Ing. Drahomíra Janová¹, doc. Ing. Libor Pantělejev, Ph.D.^{1,2}, prof. Ing. František Kavička, CSc.¹, Ing. Zdeněk Spotz, Ph.D.³, Ing. Lubomír Stránský, CSc.¹, Ing. Bohumil Sekanina, CSc.¹

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2, 616 69 Brno, Česká republika

² Vysoké učení technické v Brně, NETME Centre, Technická 2, 616 69 Brno, Česká republika

³ Vysoké učení technické v Brně, Středoevropský technologický institut, Technická 3058/10, 616 00 Brno, Česká republika

Príspevek se týká historie původního rudního bohatství Českomoravské vrchoviny těžného již od 13. století pány z Pernštejna a stručné charakteristiky těžby v minulosti, kdy bylo cílem získat kromě olova také drahé kovy stříbro a zlato.

Středověká důlní díla se na příklad nacházela v okolí Štěpánova nad Svatkou, kde leží Švařec, Koroužné a Cumberk se svými opuštěnými štolami, úklonnými šachtami, slepými a průzkumnými šachticemi i v nedaleké lokalitě místně zvané lesní Havirna.

Úklonná šachta Cumberk číslo 2068 je situována ve vrcholové části jižního svahu údolí protékajícího Zaskalským potokem. Vstup do šachty je shora chráněn ochrannou mříží, boční vstup také. Vzorky rudniny k analýze byly odebrány z volně přístupné slepé šachtice situované pod vrcholem o zaměření GPS parametry: N 49.81795 a E 16.35590. Výsledky analýz rudniny lze srovnat s dříve publikovanými výsledky analýz vzorků rudnin z jiných dvou lokalit. Většina důlních děl je již dnes zapomenuta.

Klíčová slova: Cumberk; opuštěná důlní díla; historie; původní důlní bohatství; stříbro a zlato

The contribution is aimed at history of the former ore wealth of the Bohemian-Moravian Highlands mined already from the 13th century by the lords of Pernštejn and a brief characterization of past mining aimed at gaining besides lead the precious metals, silver and gold too.

The medieval mine works were for example in the surroundings of Stepanov above the Svatka, where lies Švařec, Koroužné and Cumberk with their abandoned adits, dipping shafts, blind and exploratory well pits and in the nearby locally called forest Havirna. The dipping Cumberk shaft number 2068 is located in the top part of the southern slope of the valley flowed through by the Zaskalsky brook. The above protective grill safely protects the entrance to the dipping shaft on Cumberk and also the side entrance to the dipping adit. Ore samples for analysis were taken from the freely accessible blind well pit located below the top with the GPS location as follows: N 49.81795 and E 16.35590. The results of the analyses of the ore, can be compared with the previously published results of analyses of samples of ore from the other two sites. Most of the mine workings is already forgotten.

Key words: Cumberk; abandoned mining works; history; former ore wealth; silver and gold

Cumberská úklonná štola se šachtou je založena na vysokém a strmém svahu nad Zaskalským potokem tekoucím od Čtyř Dvorů. Sleduje do hloubky křemennou žílu uloženou v bitýšské rule. Žíla obsahuje sfalerit (ZnS) a galenit (PbS) a jen vzácně antimonit

(Sb₂S₃). Průběh žíly byl sledován na povrchu terénu řadou mělkých kutacích jam, které jsou dodnes patrné. Na protějším svahu, nad silnicí ze Švařce do Čtyř Dvorů, je možno podle práce [1] sledovat tři řady obvalů a jam založených na rudných žilách. Uvádí se,

že „*cumberské kutání na stříbrné rudy je prastaré*“. Do těchto míst je pravděpodobně možno umístit všechny staré kutací práce udávané pouze u Švařce, zvláště pak práce datované do 16. století [1]. Velký rozmach kutacích prací nastal po roce 1767, kdy byl pro Moravu ustanoven nový báňský úřad. Později, krátce po roce 1780, byly práce přerušeny a poté zcela zastaveny. Dodnes je v četných již před mnoha lety zapadlých haldách a jamách patrné, že byly převážně využívány žíly křemenné, které obsahovaly shora zmíněné

minerály. Svým rozsahem největší opuštěné štoly, šachty, haldy, jámy a slepé šachtice v této lokalitě jsou již dnes, až na výjimky, zabezpečeny Ministerstvem životního prostředí proti vstupu náhodných návštěvníků. Také do úklonné šachty Cumberk je zakázán vstup. Výstražnou tabuli lze nalézt ve vrcholové části jižního svahu údolí Záskalského potoka (obr. 1) Shora je vstup do šachty zabezpečen ochrannou mříží (obr. 2) a boční vstup je přístupný jen na povolení s doprovodem (obr. 3).



Obr. 1 Zákaz vstupu do úklonné šachty na Cumberku (foto L. Stránský, 2012)

Fig. 1 The interdiction to slope shaft on Cumberk (photo L. Stransky, 2012)



Obr. 2 Ochranná mříž na vstupu do úklonné šachty na Cumberku (foto L. Stránský, 2012)

Fig. 2 The protective grid on the entry to the slope shaft on Cumberk (photo L. Stransky, 2012)



Obr. 3 Boční zakázaný vstup do úklonné Cumberské štoly (foto L. Stránský, 2012)

Fig. 3 The side interdiction to the slope shaft on Cumberk (photo L. Stransky, 2012)

Vzorky rudniny k analýze byly odebrány z volně přístupné slepé šachtice, znázorněné na obr. 4 a situované v terénu pod stolou se zmíněnou ochrannou



Obr. 4 Slepá šachtice na Cumberku k odběru vzorků (foto L. Stránský, 2014)

Fig. 4 The blind shaft on Cumberk for the sampling (photo L. Stransky, 2014)

mříží. Zaměření centrálního místa odběru vzorků bylo provedeno pomocí GPS: N 49.81795 a E 16.3559.

Smyslem předloženého příspěvku, věnovaného bývalému rudnímu bohatství českomoravské vrchoviny, je přiblížit dnešní stav lokality téměř dokonale vytěžené již v dávné minulosti. Většina šachet, které byly již ve 13. století intenzivně těženy s cílem získat stříbro i

zlato, je dnes již zapomenuta. Stříbrná či zlatá horečka, která poznamenala jihlavské, kutnohorské a jilovské dolování a proběhla celou tehdejší středověkou Evropou, patří dnes už jen historii. To platí i pro nevelké okolí Štěpánova nad Svratkou, kde leží *Cumberk* a nedaleká *Havírna* s jejich opuštěnými důlními díly. Smyslem publikace je také přiblížit historii blízkého Švařce a Korouzné.

Analýzy vzorků rudnin vyzvednutých z terénu

Chemická analýza polymetalické rudniny ze slepé šachtice Cumberku byla provedena metodou rentgenové spektrální mikroanalýzy na analytickém komplexu tvořeném elektronovým rastrovacím mikroskopem PHILIPS XL 30 ve spojení s jednotkou EDAX na práškových vzorcích, které byly připraveny rozdrčením horniny o hmotnosti cca 500 g na zrna o přibližné velikosti 2 – 5 mm a poté jejich rozemletím ve vibračním achátovém mlýnku na prášek o zrnitosti 1 až 50 µm. Zároveň bylo tzv. plošnou analýzou stanoveno průměrné chemické složení odebraných vzorků rudniny uvedené v tab. 1 a poté cestou původní semikvantitativní poměrné analýzy (SPA) stanoveno chemické složení, jehož výsledky uvádí tab. 2. Metoda SPA byla již dříve vypracována se zřetelem k dosažení vyšší detekovatelnosti prvků [2, 3]. Rentgenová difrakční analýza rudnin je uvedena v tab. 3.

Tab. 1 Průměrné chemické složení polymetalické rudniny odebrané ze slepé šachtice na Cumberku (obr. 5)

Tab. 1 Average chemical composition of a complex ore from blind shaft in Cumberk (fig. 5)

Prvek	x	sx
O	16,27	0,54
Na	0,93	0,21
Mg	0,32	0,11
As	4,12	0,17
Al	0,89	0,22
Si	5,50	0,08
P	0,61	0,04
S	21,28	1,24
Pb	15,96	2,54
Ag	0,19	0,11

Tab. 3 Rentgenová difrakční analýza rudnin na difraktometru Smartlab-Rigaku

Tab. 3 X-ray diffraction analysis of complex ores performed on diffractometer Smartlab-Rigaku.

Chemický vzorec	Název	Krystalografický systém	Prostorová grupa	hm.%
SiO ₂	křemen	hexagonální	P3121	69
Al _{11.64} Si _{11.40} K _{3.76} O _{46.98} F _{1.02} H _{0.00}	muskovit	monoklinický	C2/c	28
Pb ₉ (PO ₄) ₆		hexagonální	P63/m	1
Pb ₂ (SO ₄)O	lanarkit	monoklinický	C2/m	1
K ₂ Pb(SO ₄) ₂	palmierit	rhomboedrální	R3m	1

Z tab. 1 obsahující výsledky průměrného složení vzorků rudniny plyne, že odebraná polymetalická rudnina obsahuje v hm. %: 27,81 Fe, 21,28 S, 15,96 Pb, 5,50

K	0,05	0,05
Ca	0,14	0,06
Ti	0,16	0,07
Cr	0,14	0,10
Mn	0,37	0,06
Fe	27,81	0,96
Cu	0,45	0,18
Zn	4,81	0,13
celkem	100,00	0,30

Tab. 2 Semikvantitativní poměrná analýza (SPA) polymetalické rudniny odebrané ze slepé šachtice na Cumberku

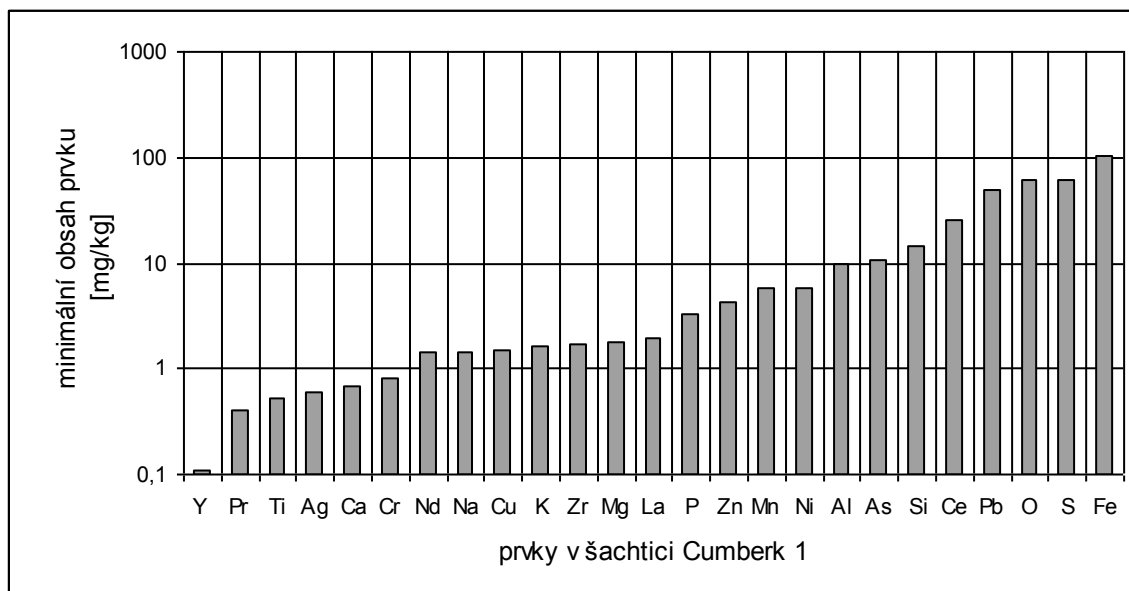
Tab. 2 Semi-quantitative proportional analysis (SPA) of the complex ore from blind shaft on Cumberk

Poř.č.	Prvek	mg/kg	hm.%
1	Y	0,107	0,029119
2	Pr	0,403	0,109673
3	Ti	0,527	0,143418
4	Ag	0,611	0,166278
5	Ca	0,679	0,184784
6	Cr	0,830	0,225877
7	Nd	1,41	0,383718
8	Na	1,46	0,397325
9	Cu	1,49	0,405490
10	K	1,61	0,438147
11	Zr	1,70	0,462639
12	Mg	1,79	0,487132
13	La	1,95	0,530674
14	P	3,32	0,903507
15	Zn	4,20	1,142991
16	Mn	5,70	1,551202
17	Ni	5,92	1,611073
18	Al	9,75	2,653372
19	As	10,5	2,857477
20	Si	14,4	3,918826
21	Ce	25,7	6,994016
22	Pb	49,5	13,47096
23	O	60,4	16,43730
24	S	61,5	16,73665
25	Fe	102	27,75835
26	celkem	367,457	1,000000
27	částic počet		25

Si, 4,81 Zn, 4,12 As. Rudnina má tedy vysoký obsah železa, olova a síry. Z prvků pod jedno hm. % obsahuje 0,93 Na, 0,89 Al, 0,61 P, 0,32 Mg, 0,45 Cu, 0,37 Mn,

0,16 Ti, 0,14, Ca, 0, 19 Ag a 16,27 O. Jedná se o oxidovou rudninu druhu Pb-Fe-Zn-As-Ag s poměrně nízkým obsahem křemíku a s dosti vysokým obsahem síry, takže ve složení rudniny lze zároveň očekávat vysoký obsah sulfidů.

Podle výsledků metody SPA (obr. 5) lze počítat s větším počtem stanovených prvků, mezi kterými je též jisté množství kovů vzácných zemin, tj. lanthanidů (jmenovitě: praseodym, neodym, lanthan, cer a yttrium, které se počítá též mezi vzácné kovy). Rudnina obsahuje nevelké množství stříbra cca 0,61 Ag [mg·kg⁻¹].



Obr. 5 25 prvků analyzovaných v šachtici Cumberk metodou SPA

Fig. 5 25 elements analyzed in the shaft Cumberk by means of SPA method

Složení prvků stanovená metodou SPA umožňuje posoudit korelační vztahy mezi dvojicemi prvků. Takto byly posouzeny korelace mezi zinkem a stříbrem, jejichž koeficient korelace má hodnotu $k_{Zn-Ag} = 0,7046$ a mezi mědí a stříbrem o hodnotě $k_{Cu-Ag} = 0,5093$. Přitom oba koeficienty jsou statisticky silně významné. Také křemík v této rudnině koreluje se stříbrem, avšak jeho koeficient korelace o hodnotě $k_{Si-Ag} = 0,2760$ není statisticky významný. Podobné je to u korelačních koeficientů dvojic prvků $k_{P-Ag} = 0,1776$, $k_{Y-Ag} = 0,1776$, $k_{As-Ag} = 0,1626$, tedy fosforu, yttria a arsenu, které se stříbrem statisticky významně nekoreluje.

Výsledky analýz rudniny ze slepé šachtice Cumberku lze srovnat s dříve publikovanými výsledky analýz vzorků rudnin z jiných dvou lokalit. Díky rozměrnému odvalu ze šachty na Zemanově poli [4] byly z odvalu odebrány vzorky rudniny a poté podrobeny analýze společně se vzorky rudniny z dolů a hutí v lokalitě Zlotty Stok v Kladsku, získanými v r. 1996 v rámci spolupráce s prof. Karbowniczem z Krakova [5].

V rudnině odebrané ze šachty na Zemanově poli a rozemleté na prášek bylo metodou SPA stanoveno [4]: stříbro v množství 0,0749 Ag [mg/kg] současně s mědí, zinkem a olovem v množstvích: 0,658 Cu, 0,448 Zn, 6,40 Pb vždy mg/kg. Rozboru bylo podrobeno 20 částic práškového vzorku rudniny.

V celistvém vzorku strusky o hmotnosti cca 200 g z dolů a hutí Zlotty Stok bylo metodou SPA v hutnické

strusce rozemleté na prášek stanoveno současně stříbro 2,86 Ag i zlato 0,649 Au [mg/kg]. Analýzy proběhly současně s mědí, olovem a železem v množstvích: 3,17 Cu, 21,2 Pb a 6,89 Fe vždy [mg·kg⁻¹]. Analýze bylo podrobeno 21 částic práškového vzorku strusky [5].

K historii spojené s okolím Cumberka

Lokalita Cumberk [6] (z němčiny *k hoře*) se nachází v blízkosti hradu Pernštejn, i když Pernštejnové měli původně blízký, téměř rodinný vztah k městečku Doubravnik, na jehož území v r. 1231 Štěpán z Pernštejna založil rodový ženský klášter při kostele sv. Kříže [6, 7]. Vilém z Pernštejna (*1437, †1521) byl významnou osobností rodu. Svou rozváznou a po celý svůj dlouhý život ekonomicky realizovanou politiku směřoval k rozmnožení vlastnictví pozemků a k posílení vlastního i rodového postavení v tehdejší české státě. Jako nejvyšší český hofmistr vlastnil a provozoval nejenom stříbrné doly na svém panství u Švařce a Horního Čepí, ale i jinde. Těžil kromě toho polymetalické rudy také v Rozseči nad Kunštátem, v lokalitě Horníči [3, 4], kde se těžba připomíná již roku 1350. Historii této těžby, ve které Vilém z Pernštejna pokračoval, je možno doložit např. v listině českého krále Václava I. V ní je uvedeno [4 - 6], že doly v lokalitě Havírna, které v roce 1253 patřily klášteru v Doubravniku, byly násilně odebrány a prodány brněnským měšťanům. Toutéž listinou český král nařizuje pod pokutou Ratiborovi, svému purkrabímu na hradě Veverí, aby ochraňoval klášter v Doubravniku a

jeho probošta Vojtěcha z Medlova před útisky Vojtěchova bratra Jimrama, klášteru zajistil navrácení veškerých užitků ze stříbrných ložisek, nalezených na jeho statcích a proti královskému regálu Jimramem a jeho tchánem Sigfridem prodaných některým brněnským měšťanům. Ke Švařci se např. vztahují dvě historické listiny brněnských měšťanů. V jedné z nich Jan Goblinův propůjčuje a převádí i jménem svého bratra Konráda a dalších svých bratrů za určitých podmínek dědičnou štolu u vsi Švařec těžařům Kunši Hoškovi, Kunši Tzobelovi a jejich společníkům. Obě listiny byly sepsány krátce po sobě, první v roce 1348 a druhá za čtyři roky poté. Zmíněné listiny jsou zároveň písemným dokladem tehdejší těžby polymetalických rudnin s minerály obsahujícími stříbro. Rok 1348 je zároveň spojen s první písemnou zmínkou o hornické kapli Nejsvětější Trojice, spojenou se jménem tehdy moravského markraběte Karla Lucemburského, pozdějšího císaře Karla IV.

Těžební práce probíhaly v okolí Švařce, Koroužné (Korouženská štola), v lokalitě Za kaplí a též na Cumberku, přičemž lokalita Za kaplí a nad obcí Koroužné patří k nejstarším těženým lokalitám se zbytky bývalých slepých šachtic, tzv. stařin. Donedávna ještě přístupná štola na Zemanově poli, která je uváděna zároveň jako šachta a štola pod hradem Zubštejnem, patří k údajně k nejstarším těženým lokalitám na Pernštejnském panství. Tato oblast, včetně lokalit po pravém břehu řeky Svratky, sloužila jako předmět hlavního průzkumu polymetalických rud v návaznosti na průzkum, který realizovali J. Doležel a J. Sadílek [8].

Syn Viléma – Jan z Pernštejna (*14. 11. 1487, †18. 9. 1548), zvaný Bohatý, pokračoval v díle svého otce, takže patřil k nejbohatším šlechticům své doby. V letech 1522 – 1534 získal postupně Jaroměřice, Velké Meziříčí, Valašské Meziříčí a v Čechách Rýzmburk. V roce 1537 díky finančním půjčkám českému králi Ferdinandovi I. obdržel od krále do zástavy hrabství Kladsko a mimo jiné těžil v tamních stříbrných a zlatých dolech Zloto Stok. Získal též právo razit stříbrné a zlaté mince. Přestože právo ražby zlatých a stříbrných mincí měl Jan z Pernštejna pouhých jedenáct let, využil jej v plné míře a dodnes jsou v Pardubickém muzeu zachovány jeho ražby zlatého dukátu z roku 1544 o průměru 22 mm, stříbrného tolaru z roku 1542 o průměru 40 mm a měděného haléře o průměru 11 mm (obr. 6). Lícni strana (avers) zlatých a stříbrných mincí má zřetelně vyražený znak perštejnského rodu, tj. zubří hlavu, jejíž nozdry jsou podle perštejnské pověsti protknyty houžvím, a rub mince (reverz) má vyražen znak českého království – lva s královskou korunou na hlavě. Po smrti svého bratra Vojtěcha (*1490, †1537) zdědil Jan také všechn jeho majetek. Ke stříbrným dolům ve Švařci, u Horního Čepí a v Rozseči nad Kunštátem připojil také doly a hutě v již zmíněné lokalitě Zloto Stok.

V dolování polymetalických rud Pb-Cu-Zn-Ag obsahujících stříbro a místně též zlato se tedy významně zapsali Vilém a Jan z Pernštejna. Smrtí Jana, posledního z významných českých magnátů, došlo k jistému poklesu prestiže i společenské moci Pernštejnů. A to i přesto, že po nástupu Maxmiliána Habsburského na český trůn v roce 1564 se stal Vratislav z Pernštejna (*9. 7. 1530, † 27. 10. 1582), jako králův důvěrník z mládí, doživotně nejvyšším kancléřem Království českého.



Obr. 6 Zlatý dukát z r. 1544 vystavený v Pardubickém muzeu
Fig. 6 The gold ducat from year 1544 exposed in the museum of Pardubice

Kutací práce probíhaly v Koroužném a na Cumberku (obr. 7) ještě v závěru 18. století a v 19. století. Po oživení zdejšího dolování koncem šedesátých let 18. století se v Korouženské štolě začalo opět pracovat na prastarém díle a to ještě sázením ohněm. Ke starým důlním dílům je počítána také šachta na Zemanově poli. Nachází se pod zříceninou hradu Zubštejn a není zakreslena do žádné ze starých důlních map. Šachta má hloubku asi 2 m a je ražena ve vápenci, který je metasomaticky zatlačován žilovinou karbonátovou a barytovou.



Obr. 7 Historická důlní díla v okolí Štěpánova nad Svratkou
Fig. 7 Historical mining workings in the surroundings of Štěpánov nad Svratkou

Podle A. Poláka v Koroužném výrazně klesla vydatnost žíly a bylo navrhováno sledovat žílu do hloubky, popřípadě hledat její pokračování na povrchu. Na

Cumberku ztěžoval těžbu silný přítok vody. Poněvadž se kvalita rud postupně snižovala a výtěžky klesaly, bylo kutání postupně zastaveno.

Závěr

Příspěvek podává krátkou informaci o opuštěných šachtách a štolách na Cumberku, které byly v minulých staletích v okolí Štěpánova nad Svratkou intenzivně těženy s cílem získat stříbro a zlato. Stříbrná a zlatá horečka proběhla celou středověkou Evropou a iniciovala dolování v jihlavské, kutnohorské a jílovské lokalitě, ale také v polské lokalitě Złoty Stok. V okolí Štěpánova byla tehdejší důlní díla kromě Cumberku také v Koroužné, Švařci a v lokalitě Havírna. Byla provedena chemická analýza a semikvantitativní poměrná analýza polymetalické rudniny odebrané ze slepé šachtice na Cumberku a předloženy jejich výsledky. Výsledky chemické analýzy rudniny z Cumberku je možno srovnat s dřívějšími výsledky rudniny odebrané na Zemanově poli u Koroužné a rudniny odebrané v polské lokalitě Złoty Stok. Většina důlních děl je již dnes zapomenuta.

Literatura

[1] POLÁK, A.: *Nerostné bohatství Bystřicka*. Brno: Krajské nakladatelství v Brně, 1960, 76 s.

[2] STRÁNSKÝ, K., JANOVÁ, D., POSPÍŠILOVÁ, S., DOBROVSKÁ, J.: Poměrná semikvantitativní mikroanalýza těžkých kovů v horninách, struskách a rudách. *Hutnické listy*, 2009, 62 (3), 84-89, ISSN 0018-8069

[3] STRÁNSKÝ, K., JANOVÁ, D., POSPÍŠILOVÁ, S., DOBROVSKÁ, J.: Možnost poměrné semikvantitativní mikroanalýzy v horninách, rudninách a struskách. *Slévárenství*, 2009, 57(7-8), 268-270, ISSN 0037-6825

[4] STRÁNSKÝ, K., JANOVÁ, D., STRÁNSKÝ, L. a kol.: *Těžba a hutnické zpracování polymetalických rud na Českomoravské vrchovině*. Praha: Vydavatel Česká slévárenská společnost, člen ČSVTS, 2012, 105 s. ISBN 978-80-02-02468-2

[5] STRÁNSKÝ, K., JANOVÁ, D., KARBOVNICEK, M., STRÁNSKÝ, L.: K těžbě a zpracování stříbrnosných rud na pernštejském panství. *Slévárenství*, 2011, 59(54-59) 268-270, ISSN 0037-6825

[6] VOREL, P.: *Páni z Pernštejna*. Praha: Rybka Publishers. 1999, 318 s. ISBN 80-86182-24-X

[7] VOREL, P.: *Česká a moravská aristokracie v polovině 16. století*. Pardubice: edice Registr listů bratří z Pernštejna z let 1550 – 1551, 1997, 320 s. ISBN 80-860046-07-09

[8] SADÍLEK, J., DOLEŽEL, J.: *Středověký důlní komplex v trati Havírna u Štěpánova nad Svratkou*. Mediaevalia Archaeologica 6. Příspěvek k dějinám těžby stříbra v oblasti severozápadní Moravy ve 13. a 14. století. Praha-Brno-Plzeň, 2004, s. 43-119. ISBN 80-86124-48-7

Býčí vyhlídky pro dlouhé výrobky

Stahl Aktuell

29. 5. 2015

Ve své prognóze vychází MBI Research z relativně vysokých cen železného šrotu a zlepšených vyhlídek v německém stavebnictví a předpovídá, že v červenci stoupnou ceny dlouhé oceli v Německu a v Itálii o zhruba 2 procenta. Ceny ploché oceli by měly naproti tomu zůstat stabilní. Od poslední prognózy ze 7. května se cena železné rudy ukazuje jako velmi nestálá. MBI vychází z toho, že v dubnu dosažené zatím nejhlubší desetileté dno pod 50 USD/t se neprokázalo jako trvalé. Aktuální cenová hladina je z fundamentálního hlediska oprávněná. Cena za koksovatelné uhlí se od začátku května zdvihla zhruba o 1 %. Cena koksovatelného uhlí druhé jakosti CFR Čína se pohybuje aktuálně kolem 83 USD/t. Obě nejdůležitější ocelářské suroviny se v uplynulých měsících od sebe plně odpoutaly. Pokud budeme pozorovat poptávkovou stranu, musí se konstatovat, že opatření Pekingu k nastartování ekonomiky zatím nepřinesla žádný výsledek.

SSAB – nový dodavatelský program pro kvartoplechky

Stahl Aktuell

28. 5. 2015

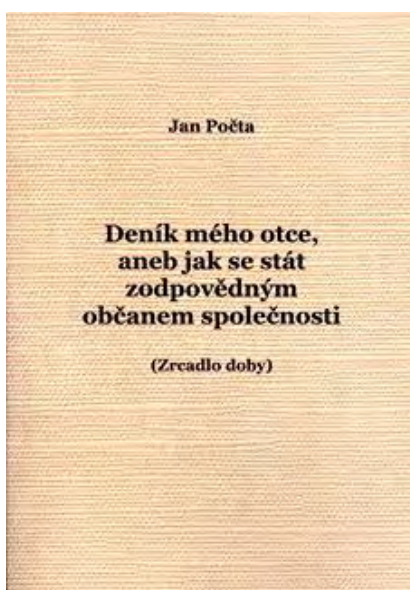
Švédský výrobce oceli SSAB rozšířil svůj dodavatelský program o tlusté kvartoplechky. Plechy jsou nyní dostupné až do váhy 18 tun, což přináší levnější zpracování pro širokou paletu použití. Že jsou tlusté kvartoplechky nyní dostupné až v dvojnásobných rozměrech, znamená pro ocelářská servisní centra výrazné úspory, protože je možné efektivní paketizace. Současně také vzniká méně šrotu a kromě toho je nyní SSAB v situaci, že může obsloužit více zákazníků. Ocelářská servisní centra mohou použitím nových tlustých kvartoplechů zvýšit mez kluzu o 6 až 7 %. U některých případů použití, například u kolejnic a ozubených tyčí, mohou větší plechy přinést také méně svařování.

nová literatura

Jan Počta

Deník mého otce, aneb jak se stát zodpovědným občanem společnosti - zrcadlo doby

(Recenze prof. Ing. Emilie Krausové, CSc., doc. Ing. Václav Kafka, CSc.)



V říjnových dnech příštího roku uplyne 20 let od úmrtí a 106 let od narození jedné z nejvýraznějších a nejuznávanějších osobností, působících v letech 1956 – 1976 na VŠB-TU Ostrava, především na současné Fakultě metalurgie a materiálového inženýrství (původně Hutnické fakultě). Prof. Dr. Ing. Bohumil Počta (1. 10. 1910 – 23. 10. 1996) je znám především jako vynikající teoretik v oboru tváření kovů, uznávaný praxí, přesvědčený o efektu synergie technického a ekonomického myšlení, a také jako vynikající vysokoškolský pedagog. Vyznačoval se vysokou odbornou, didaktickou i jazykovou úrovní včetně grafického projevu v přednáškách a v publikacích.

Teprve s odstupem času, s odstupem pohledu na celoživotní dílo profesora Počty, si jeho studenti a někdejší kolegové uvědomují, jak schopný, moudrý a mimořádně pracovitý člověk to byl. Při zastávání řady odpovědných vedoucích funkcí na univerzitě, ve své průmyslové praxi a v souběžném pedagogickém působení byl schopen publikovat systematické teoretické monografie z oboru tváření kovů i vysokoškolské učebnice (Základy teorie tváření kovů, Ocelové trubky, jejich výroba a použití, Tenkostěnné ocelové profily a řada dalších). Byl uznávaným expertem pro projekci válcoven trubek a v době svého aktivního působení v oboru udával hlavní směr rozvoje i v celosvětovém měřítku.

Jeho syn, Ing. Jan Počta, CSc., který celý svůj život zasvětil hutnické praxi v průmyslu a dnes působí ve výuce na VŠB-TU Ostrava, FMMI a dále v redakci Hutnických listů, našel v rodné chalupě profesora Počty ve Stříbřeci na Třeboňsku rukou psaný deník svého otce z jeho pražských studentských let 1930 – 1935. Jde nejen o vzácné nahlédnutí do osobnosti tehdejšího studenta Počty, ale také o cenný obraz doby.

Autor publikace, Ing. Počta, CSc., deník převedl do tištěné podoby, doplnil jej četnými rozsáhlými a zasvěcenými komentáři, dobovou fotodokumentací a vlastním nákladem svou útlou, ale pro hutnickou komunitu významnou publikaci v rozsahu 67 stran vydal pod názvem „Deník mého otce, aneb jak se stát zodpovědným občanem společnosti“ s výmluvným dovětkem „Zrcadlo doby“. Z Deníku poznáváme nadaného, pracovitého, cílevědomého a citlivého mladého muže, nesmírně vděčného svým nemajetným rodičům za možnost studovat na prestižních pražských školách. Studenta, který své úspěšné studium považuje za povinnost splatit dluh milujícího syna obětavosti svých tvrdě pracujících rodičů a současně prospět svou budoucí prací co nejvíce společnosti – republice. Seznamujeme se s širokými kulturními a společenskými

aktivitami a zájmy studenta (hudba, divadlo, Sokol), s jeho vztahem k mateřskému jazyku a znalostem cizích jazyků, s názory na společenské, politické, sociální a národnostní dění v republice (nezapomeňme, že jeho studijní léta připadla do období kdy se projevovaly významné a rychlé změny ve všech vyjmenovaných oblastech) a jejímu postavení v Evropě, s názory na budoucí společenský vývoj. Deník se tak stává zdrojem poznání skutečné osobnosti profesora Počty pro ty, kdo byli jeho studenty či kolegy.

Se zasvěcenými komentáři autora Ing. Počty, CSc. se však Deník stává také zajímavým, cenným zdrojem historického poznání sociální, národnostní a kulturní politiky státu té doby. Deník jsou tedy vlastně dvě publikace v jedné: vlastní deník studenta Počty z doby jeho vysokoškolského studia a stručný obraz doby, jak se v první republice odráží v oblasti historické, hospodářsko-sociální, národnostně-politické, kulturní i místopisné. Současní studenti pak mohou srovnat své dnešní podmínky a vztah ke studiu a studovanému oboru s postojem studenta, který si v důsledku svých nemajetných poměrů musel na studium přivydělávat kondicemi. Přitom onen student má po celou dobu

vynikající studijní výsledky a s prestiží si vypracoval co nejvyšší předpoklady pro zodpovědné působení v praxi. My, kteří jsme zažili působení profesora Počty na VŠB-TU Ostrava, budeme tak vždy s úctou vzpomínat nejen

na vynikajícího odborníka a pedagoga, ale také na moudrého a dobrého člověka. K tomuto našemu vřelému postoji přispívá i cenná publikace autora Ing. Počty, CSc.

Dovětek autorů recenze

Jako člověk náročný především sám k sobě, byl profesor Počta náročný i ke svým spolupracovníkům a studentům. Působil proto někdy dojmem člověka asketického, nepřístupného, vždy s aristokratickým vystupováním, zajímavějšího se jen o svůj obor. On však zřejmě tím jen „bránil svůj čas“ proti neplodnému „přežívání“ v plochosti.

Profesor Počta, díky svým nemajetným, ale moudrým rodičům vystudoval nejdříve Střední průmyslovou školu strojní v Praze a po jejím absolvování strojní inženýrství na ČVUT v Praze (1935), kde také v roce 1946 získal titul Dr. techn. Po konstruktérské praxi ve Škodových závodech v Plzni pracoval ve Vítkovických železárnách v Ostravě (1938 – 1952), a to ve funkci ředitele Válcoven trub a vedoucího odboru technického rozvoje železáren, následně pak ve funkci vedoucího technického úseku Třineckých železáren (1952 – 1956). V roce 1956 byl jmenován profesorem pro obor ekonomiky a plánování hutnictví. Ve stejném roce přešel na VŠB v Ostravě, kde v letech 1956 – 1961 vedl katedru ekonomiky a řízení hutnictví nejdříve na Fakultě ekonomicko-inženýrské, jejímž byl v letech 1956 – 1959 současně děkanem. Po zrušení Fakulty ekonomicko-inženýrské přešel na nově založenou katedru tváření kovů na Hutnické fakultě (dnes FMMI). V roce 1961 bylo jeho jmenování profesorem rozšířeno o obor tváření kovů. Plně se pak na VŠB věnoval tomuto oboru, i když ještě po určitou dobu souběžně zajišťoval výuku na katedře ekonomiky a řízení hutnictví, převedené z původní Fakulty ekonomicko-inženýrské.

V roce 1965 byl proděkanem fakulty, v letech 1966 – 1969 zastával funkci prorektora školy. V akademickém roce 1966/1967 přednášel v angličtině Teorii tváření kovů na Vysoké škole technické v Káhiře. Byl členem vědeckých rad VŠB v Ostravě, VŠT v Košicích, Technicko-ekonomického výzkumného ústavu hutnictví v Praze, technické sekce ČSAV pro hutnictví a členem redakční rady Hutnických listů. V oboru tváření a výroby trubek aktivně působil formou spolupráce s podniky i po svém penzionování prakticky až do konce života. Významnou měrou se zasloužil o spolupráci VŠB v Ostravě v oboru tváření s Bergakademie Freiberg i dalšími zahraničními vysokými školami.

V důsledku známých politických událostí byl po roce 1969 zbaven všech funkcí i možností pedagogického působení a převeden do kategorie vědecko-výzkumných pracovníků VŠB. Rehabilitován byl až v roce 1990, kdy mu bylo osmdesát let.

Arcelor Mittal Ostrava využívá nový mostový jeřáb

Moravskoslezský deník, s. 10, Martina Kozilová

16. 7. 2015

Společnost ArcelorMittal Ostrava uvedla do provozu nový mostový jeřáb 500 t., který bude sloužit pro přesun pánví s tekutou ocelí o hmotnosti 330 t. Most má šířku 22,13 m a délku 20,5 m. Jeho pořizovací náklady dosáhly výše 100 mil. Kč. Nahradi dva původní jeřáby z 60. let minulého století. Nový jeřáb se ve srovnání s původním zařízením vyznačuje snížením poruchovosti i nákladů na údržbu a opravy a zejména pak zlepšením bezpečnosti provozu.

Obsluha jeřábu je umístěna v klimatizované kabině pod hlavními nosníky. Kabina je po vzoru letecké techniky vybavena černou skříňkou k zaznamenávání provozních dat v případě poruchy. Konstrukci jeřábu dodala brněnská Královopolská strojírna. Převoz konstrukčních částí jeřábu byl proveden šesti nadrozměrnými kolovými návěsy. Montáž proběhla během 10 dnů a byl k ní využit speciální autojeřáb 500 t.

hutnictví ve světě

Outokumpu obkládá v New Yorku třetí mrakodrap nového Světového obchodního centra

Focus Rostfrei

11. 5. 2015

Finský výrobce ušlechtilých ocelí Outokumpu dodává materiál na fasádu pro třetí mrakodrap nového Světového obchodního centra (WTC) v New Yorku. Pro tuto budovu vybral italský stavitel fasád Permasteelisa SpA mimořádně strukturovaně válcovaný povrch- ušlechtilou ocel s optikou plátna. Jako trvanlivý materiál s dlouhou dobou životnosti a s minimálními náklady na údržbu se ušlechtilé oceli u stavitelů fasád těší velké oblibě. Volba architektů padla na tzv. „plátěný“ povrch od Outokumpu nejen kvůli estetickým důvodům. Povrchové vlastnosti se vyznačují nejvyšší odolností proti povětrnostním vlivům a životností. S výhodou se proto hodí i pro velké vnější plochy.

Sestupná dynamika cen oceli před koncem

Industriemagazin.at

18. 5. 2015

Podle aktuálního cenového zrcadla BME dosáhly ceny oceli u výrobců prahu bolesti. Kupci musí počítat se stabilizací a podle svazu BDE je příznivý vývoj cen u konce. „Poté, co kontrakty v uplynulých měsících byly uzavírány jen nepatrně nad cenovým dnem, dosaženým v roce 2009 za hospodářské krize, bylo mnoho kupujícím celkem jasné, že je dosaženo hranice bolesti na straně výrobců“, říká Volkmar Klein, vedoucí oblasti benchmarku u BME. Volný prostor směrem dolů už aktuálně téměř neexistuje. Mnoho nákupčích se nyní staralo hlavně o to, aby ceny oceli mohly od poloviny roku mírně stoupat. Jako odůvodnění pro cenovou stabilizaci na trhu s ocelí vidí Klein situaci na trhu se surovinami. V období všeobecného zotavení u materiálů jako je hliník, měď nebo železná ruda je pravděpodobné, že stabilizace začne i v ocelářském sektoru. V nejnověji zveřejněném cenovém zrcadle BME pro suroviny se předpokládá, že se faktory, jako je

ukrajinská krize nebo výkyvy na devizovém trhu, zeslabí.

ThyssenKrupp ven z krize

International New York Times

19. 5. 2015

ThyssenKrupp profituje ze svého úsporného programu a překonává očekávání expertů. To těší burziány. Akcie koncernu na frankfurtské burze směřovaly tento týden k nejvyšším hodnotám. Když ThyssenKrupp předložil tento týden nejnovější hospodářské výsledky, nebylo po „jízdě z kopce“ minulých let téměř památky. Ocelářský a technologický koncern ve druhém čtvrtletí a v prvním pololetí dosáhl svých operativních cílů v obchodním roce 2014/2015 a zvýšil svoji prognózu pro celý rok. V uváděném časovém prostoru byl obrat a očištěný Ebit (před úroky a zdaněním) zčásti i výrazně zvýšen. DAX koncern zvýšil svůj výsledek Ebit, očištěný od mimořádných efektů, v prvním pololetí o 31 % na 722 milionů €. Druhé čtvrtletí k tomu přispělo 405 milionů €. Mimořádně silně se zlepšily výsledky evropské ocelářské divize. Tato část koncernu zlepšila svůj operativní výsledek z 64 milionů € v předešlém roce na 113 milionů € letos. Důvodem byl především pokles cen. Souhrn došlých objednávek byl udržen především díky pozitivním kurzovým efektům a stoupající poptávce po nových zařízeních zvláště v USA a dosáhl v prvním pololetí vzestupu o 11 % na 3,8 miliardy € z 3,4 miliard v předcházejícím roce. Ovšem ne všechno běží, jak by mělo. V již dlouho krizí postiženém americkém obchodu s ocelí zaznamenává koncern i nadále ztráty. Netto finanční dluhy celého koncernu se ve sledovaném pololetí zvýšily o 1 miliardu € na 4,6 miliard. Přesto je koncern i nadále na konsolidačním kurzu a je na nejlepší cestě překonat nejtěžší krizi ve své 200leté historii.

Ruský trh s ocelí v krizi

Stahl und Eisen

19. 5. 2015

Vzhledem k zostřujícímu se poklesu trhu rostou exporty ruských výrobců oceli. Výroba

oceli by se proto měla dále zvyšovat. Otázkou je, zda rozšíření kapacit bude na základě finančních problémů skutečně realizováno. Konjunkturální vývoj v Rusku nabírá krizové rysy. V minulém roce nemohlo být i přes několikeré zvýšení úroků zabráněno dramatickému propadu rublu. Zavedením západních sankcí bylo navíc ztíženo financování nových projektů. V důsledku toho se zhroutila soukromá investiční činnost. Spotřeba, která předtím táhla růst, trpí vzhledem k razantně se zvyšující inflaci a snižujícím se reálným příjmům. Vzhledem k poklesu cen ropy chybí státu důležitý zdroj příjmů, aby se státní investiční činností vyrovnal pokles tuzemské spotřeby. Prognózy na rok 2015 byly revidovány směrem dolů. Centrální banka počítá s poklesem HDP o 5 %. Výroba oceli ovšem profituje ze zvyšování exportu. Produkce surové oceli se v roce 2014 zvýšila o 4 % na 71,46 milionů tun, v roce 2015 v prvních dvou měsících dokonce o 7 %. Trvale slabý rubl umožňuje ruským ocelářům (jako samozásobitelům surovin) v mezinárodní konkurenci podstatné cenové výhody. V roce 2014 bylo Rusko s vývozem oceli kolem 28 milionů tun čtvrtý největší světový exportér. Kolem 20 % exportu šlo do EU, především polotovary a ploché výrobky.

Ocelářské odvětví se obává miliardové zátěže z obchodu s emisními povolenkami

Hannoversche Allgemeine 22. 5. 2015

Celoevropské plánované zdražení emisí CO₂ by mohlo podle názoru německého ocelářského průmyslu vést k „neúnosným nákladům“ pro ocelářské odvětví. „Pokud se plány uskuteční, povedou jen pro německé ocelářské podniky až do konce příštího desetiletí k vícenásobným větším než miliarda € ročně,“ řekl prezident Hospodářského sdružení Ocel Hans Jürgen Kerkhoff na semináři, pořádaném výrobcem oceli ThyssenKrupp (TKSE). EU se usnesla od roku 2019 omezit nabídku průmyslových znečišťovacích práv, aby zvýšila cenu za klimaticky škodlivé emise. Spolková ministryně pro životní prostředí tyto plány přivítala jako dobrou zprávu pro ochranu životního prostředí. Člen představenstva TKSE Herbert Eichelkraut počítá s tím, že se s uskutečněním tohoto projektu cena oceli

zvýší zhruba o 20 %. „To by naprosto zničilo naši ziskovost“, prohlásil Kerkhoff. Odvětví je v ostré soutěži mimo jiné s Čínou a Indií. Odvětví výrobní procesy stále optimalizuje, další úspory energie však již naráží na technicko-fyzikální hranice.

Gabriel zřejmě hledá alternativu ke klimatickému poplatku

Rheinische Post

23. 5. 2015

V diskusi kolem zavedení klimatických poplatků u starších uhelných elektráren se spolkový ministr hospodářství Sigmar Gabriel (SPD) očividně s tímto projektem z větší části rozloučil. Sice i nadále stojí za tímto návrhem, ale jeho mluvčí říká: „Jsme připraveni přijmout k tomuto návrhu modifikace nebo vyzkoušet i jiné návrhy“. V prosinci 2014 velká koalice přijala usnesení ušetřit do roku 2020 v parku elektráren 22 milionů tun na emisích CO₂, jinak by Německo nedodrželo svůj závazek vypouštět o 40 % méně kyslíčnicku uhličitého než v roce 1990. O něco později přivedl Gabriel do hry klimatický poplatek. Nakonec se ozvaly protesty z koalice, zemí i odborů. Gabriel reagoval slovy: „Elektrárny sice budou muset platit poplatek, ale budou muset snížit emise jen o 16 milionů tun. Rozdílu by se mohlo dosáhnout pomocí zvýšení počtu kogeneračních jednotek.“ EU to ovšem zatím odmítla.

Nippon Steel bude vyrábět ultravysokopevné oceli v USA

Stahl Aktuell

26. 5. 2015

Největší japonský výrobce oceli bude v budoucnu vyrábět vysokopevné autoplechy v USA. Podle zprávy agentury Nikkei plánuje Nippon Steel začátek výroby v roce 2017. Ultravysokopevné ocelové plechy budou vyráběny v Alabamě, kde Nippon Steel provozuje od minulého roku společný závod s ArcelorMittal. Tímto projektem chtějí Japonci profitovat ze stoupající poptávky po lehkých konstrukčních materiálech na severoamerickém automobilním trhu. Je to vůbec poprvé, co nějaký japonský výrobce oceli bude své nejlepší výrobky vyrábět mimo Japonsko. Aby mohl speciální plechy s pevností kolem 1.180 MPa vyrábět,

investuje Nippon Steel 82 milionů USD do modernizace tepelného zpracování.

Světovému trhu s nerezovou ocelí dominují hráči z Dálného Východu

Weekly news bulletin

27. 5. 2015

Oryx Stainless, celosvětově třetímu největšímu výrobcí a obchodníkovi s ušlechtilou ocelí, se v minulém roce dařilo prosazovat v obtížném konkurenčním prostředí. Obzvláště pozitivně se projevíly nové závody Oryx Stainless v rozvojové oblasti Asie. Tak mohla být tonáž v tomto regionu oproti roku 2013 zdvojnásobena. Asie, včetně Číny, se dnes podílí 75 % na světové výrobě ušlechtilé oceli. Čína s růstem kolem 14 % zůstává i nadále hlavním tahounem konjunktury v tomto oboru. „Poté, co odvětví v roce 2013 překonalo jeden z nejobtížnějších roků a v roce 2014 se vyvíjelo celkem uspokojivě, důvěřujeme, i po slabším startu, vývoji v roce 2015. I přes obtížné tržní okolí vycházíme z toho, že Oryx Stainless se prosadí díky svému dobrému operativnímu a regionálnímu postavení a bude profitovat z rostoucího trhu“, řekl Tobias Krämer, šéf představenstva Oryx Stainless Holding. Současně označil evropský trh s ušlechtilou ocelí za „nasycený“, a proto bude dále rozšiřovat přítomnost v Asii.

ArcelorMittal chce v Indii založit Joint-Venture pro automobilní ocel

Stahl Aktuell

27. 5. 2015

Ocelářský koncern ArcelorMittal chce v rozvojové Indii dále expandovat. Se státním ocelářským úřadem Indie podepsal v Londýně předběžnou dohodu o založení Joint Venture pro automobilní ocel. Největší světový ocelářský koncern by chtěl v Indii postavit válcovnu za studena, jakož i další zařízení pro konečné zpracování. Podle prognóz by se měla Indie stát do roku 2020 čtvrtým největším výrobcem automobilů na světě. Výroba by měla z dnešních asi 3,5 milionu vozů stoupnout na více než 7 milionů vozů. Nehledě na tyto růžové vyhlídky však řada zahraničních zájemců od plánů v Indii upustila, vzhledem k velké byrokracii a dalším překážkám.

Čínští ocelářští manažeři znovu v podezření

Stahl Aktuell

29. 5. 2015

Čínská vláda předhazuje podle údajů státní zpravodajské agentury Xinhua šéfovi státní Guangxi Liuzhou Iron and Steel Group zpronevěru a korupci. Je obviněn mimo jiné z toho, že v roce 2012 ilegálně profitoval z prodeje koksovatelného uhlí z USA svému podniku. V posledních měsících bylo v Číně obviněno a zatčeno několik vysoce postavených manažerů z kovozpracujícího a důlního sektoru. Indický ocelářský koncern Steel Authority of India Ltd (SAIL) musel akceptovat snížení zisku. Pro čtvrté čtvrtletí běžícího obchodního roku (k 31.03.2015) hlásí koncern čistý zisk 3,34 miliard rupií (v předcházejícím roce 4,53 miliard rupií). Obrat klesl o 14 % na 128,85 miliard rupií. SAIL trpí, tak jako jiné indické ocelářské koncerny, klesající dynamikou čínského ocelářského trhu, což vede k pokusům čínských ocelářů hledat štěstí v exportu. Obzvláště postiženy jsou touto snahou indické koncerny. Indičtí oceláři Tata Steel a JSW Steel již při prezentaci čtvrtletních výsledků překvapili zápornými čísly. Obzvláště Tata Steel výrazně sklouzl do ztrátové zóny. JSW hlásil pokles zisku o 87 %.

Antidumpingový proces na betonářskou ocel z Číny

Stahl Aktuell

1. 6. 2015

Na základě žádosti evropského ocelářského svazu Eurofer zahájila Evropská komise antidumpingové řízení na dovozy únavě odolné tyčové betonářské oceli z Číny. Předmětem vyšetřování je vysoce únavově pevná tyčová betonářská ocel ze železa, nelegované oceli nebo legované oceli (vyjmuty jsou rychlořezné oceli, nerezové oceli a MnSi oceli). Z podkladů, předložených navrhovatelem, vyplývá, že se množství a ceny dováženého a k prošetření určeného zboží negativně projevují na prodejních množstvích, cenách a tržním podílu příslušného výrobního odvětví v EU.

ArcelorMittal Ostrava začíná vyrábět nová svodidla s revolučním povlakem Magnelis®

Ostravská huť začíná vyrábět svodidla z nového materiálu. Povlak Magnelis® oproti běžnému pozinkování ochrání ocelové svodidlo až dvakrát déle. Dokáže to díky unikátnímu chemickému složení, neboť kromě zinku obsahuje i hliník a hořčík. Tříprocentní obsah hořčíku v povlaku zajišťuje stabilní a odolnou bariéru proti korozi na celém povrchu ocelových produktů. Nejzajímavější vlastností povlaku Magnelis® je jeho schopnost samoregenerace, kdy se povlak při poškození dokáže sám opravit. Po mnoha desetiletích od prvního osazení silnic v Česku svodidla se tak v červenci objeví na prvních úsecích poprvé svodidlo s dokonalejším povlakem, než je povlak zinku.

„Zařazení nového ochranného povlaku do produktového portfolia svodidel je dalším krokem ke zvýšení naší konkurenceschopnosti. Už dnes pokrýváme přibližně 80 % českého trhu se svodidly a věřím, že Magnelis® naši pozici dále posílí,“ říká Tapas Rajderkar, generální ředitel ArcelorMittal Ostrava.

Magnelis® je možné využívat pro množství různých aplikací, ve kterých je nutná protikorozní ochrana, a Ostravská huť jej zařadí do své svodidlové řady. Magnelis® má celou řadu výhod. Oproti běžnému pozinkování je ochranná vrstva povlaku až čtyřikrát tenčí, stačí pouze vrstva o tloušťce 25 mikrometrů. Přitom stále platí, že protikorozní

ochrana vydrží až dvakrát déle než u oceli s povlakem zinku, jejíž životnost je 20 let. Díky vysoké odolnosti a přilnavosti povlaku lze ocel tvarovat různými metodami včetně ohýbání, tažení a profilování. Magnelis® je také šetrný k přírodě, snižuje únik zinku do půdního podloží z přibližně 4 g na m² za rok na 1 g na m² v důsledku menšího vymývání zinku deštěm.

„Největší přidanou hodnotou nového svodidla je samoregenerační schopnost povlaku. Ta dokonale chrání nejvíce namáhaná místa, která jsou nejsnadněji napadána korozi: řezy, svary a rýhy. Při porušení povlaku se totiž Magnelis® dokáže sám opravit, a prodloužit tak životnost celého ocelového systému,“ dodává Rajderkar. Na místě, které je poškozeno, se vytvoří ochranný film s obsahem hořčíku. Ten místo chrání před klimatickými vlivy a korozi.

ArcelorMittal Ostrava získala certifikaci pro instalaci svodidel s povlakem Magnelis® v EU včetně České republiky. První nová svodidla se budou instalovat v červenci na dálnici D1 a silnici I/11.

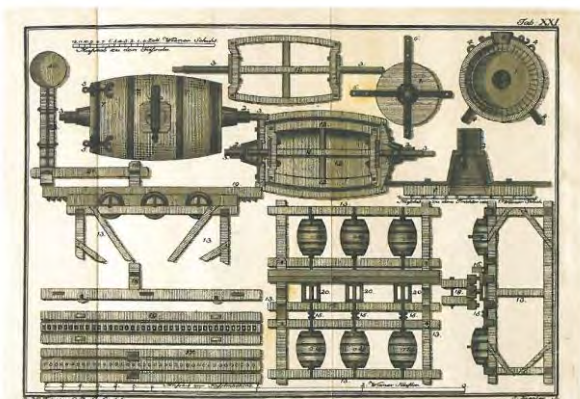
Magnelis® je výsledkem práce belgického centra výzkumu a vývoje ArcelorMittal v Ghentu. Ocel s povlakem Magnelis® se vyrábí v závodě ArcelorMittal v Brémách, odkud se bude ve svtcích dovážet do ostravské huti. Ta je jediným výrobcem svodidel v celé skupině ArcelorMittal. Výroba svodidel s povlakem zinku bude probíhat i nadále dle požadavků zákazníků ArcelorMittal Ostrava

Zdroj: tisková zpráva ArcelorMittal Ostrava
22. 6. 2015

The advertisement features a dark blue background with a world map graphic. On the left, the logo for 'iMT Taiwan' is displayed above the text '台灣國際金屬科技展' and 'International Metal Technology Taiwan'. Below this, the dates 'December 2-4, 2015' and the location 'Kaohsiung Exhibition Center' are listed. On the right, the text 'Blazing Business Opportunities' is written in large, bold, yellow and orange letters.

Slovenská metalurgia ortuti

(Zaniknuté hutnícke technológie na Slovensku, 6. časť)



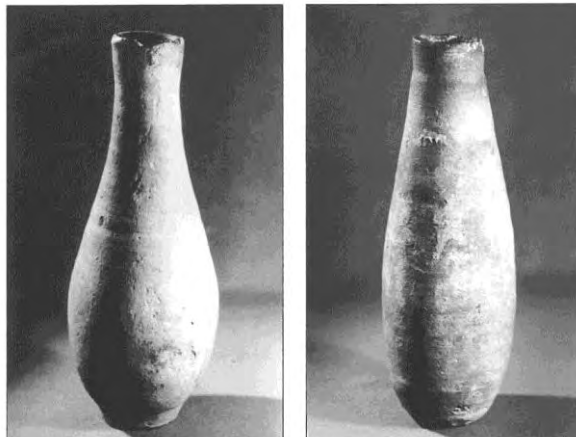
Obr. 1 Súprava amalgamačných sudov z Bornovej knihy o amalgamácií z roku 1786

Ortuť – hydrargýrum má názov odvodený od gréckeho „hydrór“ – voda a „argyros“ – striebro, čiže tekuté striebro, čomu zodpovedá aj nemecký názov „quecksilber“ – rýchle (živé) striebro. Ortuť ako jediný kvapalnú kov za normálnych fyzikálnych podmienok bola známa v Grécku asi 400 rokov pr.n.l. V 5. storočí n.l. v Alexandrii vzniklo alchymistické učenie o dvoch elementoch: síre a ortuti. Veľa poznatkov o ortuti priniesol Marco Polo z Tibetu a Indie [1]. V tom čase bola v Číne ortuť ako luxusný tovar vysoko zdaňovaná. Spoľahlivé poznatky o ortuti poskytol Gaius Plinius Secundus (23 – 79 n.l.) a na prelome stredoveku a novoveku Georgius Agricola (1556) a Michael Etmüller (1696). Agricola v 8. knihe svojho spisu *De re metallica* XII, ktorá učí ako drviť, plaviť a pražiť rudu, vychádza z hornouhorskej, teda slovenskej praxe, najmä v prípade amalgamačného získavania zlata [2].

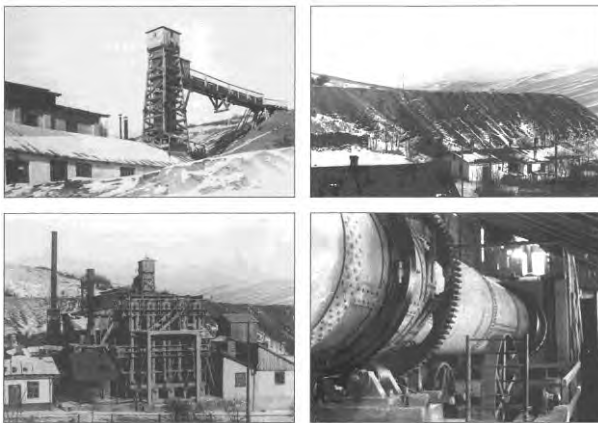
Výroba ortuti je od staroveku založená na spracovaní cinabaritu – rumelky (HgS) alebo ortuťonosného tetraedritu – schwartzitu $4\text{Cu}_2(\text{Hg})\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$, resp. s morfológicky primiešanými ďalšími kovmi ($\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Ag}, \text{Zn}$) $_{12}(\text{Hg}, \text{Sb}, \text{As})_4\text{S}_{13}$. Historicky sa ortuť používala vo farmácii, kozmetike, farbiarstve a zubnom lekárstve. Fulminát ortuťnatý (traskavá ortuť) sa používal ako iniciálny zapalovač výbušnín, vysokotoxický chlorid ortuťnatý HgCl_2 pri balzamovaní mŕtvol. Od 16. storočia sa na výrobu benátskych zrkadiel používal sulfid ortuťnatý. Na Slovensku má svetové prvenstvo nepriama amalgamácia zlata a striebra z chudobných Ag-Au rúd, ktorú v roku 1786 vynášiel a v Sklených Tepliciach aplikoval Ignác von Born [3] (obr. 1). Jedna z mála netoxických zlúčenín ortuti – kalomel, chlorid ortuťný Hg_2Cl_2 , sa používa ako prehľadadlo a do kalomelových elektród. Od roku 1778 sa čistá kovová ortuť používala v teplomeroch a neskôr v ďalšej prístrojovej, meracej a regulačnej technike. Pre svoju mimoriadnu toxicitu sa v súčasnej dobe hľadajú cesty obmedzovania jej spotreby, čo vyvoláva trvalý pokles dopytu a výroby. Avšak znižovanie používania metalickej ortuti z evinonmentálnych a toxických dôvodov je často sporné. Celková svetová produkcia dnes dosahuje necelých 150 000 t ročne.

Ortuť sa vyrábala prchavým pražením rumelky alebo tetraedritu s následnou kondenzáciou ortuťových pár. Súčasťou technológie je rafinácia ortuti, vytesňovanie lisovaním šupy atď., čo sa týka aj technológií, ktoré boli používané na Slovensku. Prvé záznamy o výrobe a ťažbe ortuti na Slovensku pochádzajú zo 14. storočia a z renesančných lekárskeho spisov zo 16. storočia sa dozvedáme o použití hornouhorskej ortuti v lekárstve, kozmetike a balzamovaní. Skutočný rozvoj výroby ortuti nastal koncom 18. storočia po aplikácii Bornovho vynálezu, ako aj pôsobením absolventov Banskej akadémie založenej v Banskej Štiavnici v roku 1762.

V Dubníku v Slánskych vrchoch sa ortuť vyrábala od roku 1568 do roku 1809 v keramických a neskôr železných retortách (obr. 2). Ortuť sa vyrábala v obci Ortuty, ktorá sa nachádza medzi Banskou Bystricou a Kremnicou a ktorej názov nezaprie tu prevádzanú výrobu. Prvé záznamy o výrobe sú z roku 1390. Od roku 1535 sa vyrobená ortuť exportovala. Produkcia v Ortutách dosiahla vrchol v rokoch 1789 – 1792, kedy ortuť vyrábala spoločnosť KK Gewerkschaftlicher Ortuder Quecksilberbau. Pražilo sa v železných retortách s prídavkom vápna a železných pilín na viazanie síry. Podnik zanikol v roku 1802 a pokusy o obnovu produkcie z rokov 1913 – 1925 firmou Odenhall Wien boli neúspešné. Zánik výroby v Dubníku (1809) a v Ortutách (1802) súvisel s importom lacnej španielskej ortuti súvisiacim s napoleónskymi výbojmi do Strednej Európy. V Nižnej Slanej sa ortuť vyrábala od roku 1701 využívaním ťažby v bani Svätá Trojica, kde sa nachádzali aj partie rýdzej ortuti o hmotnosti až 15 kg. Bane aj hutu vlastnili Andrášiovci, ktorí v roku 1895 podnik predali chýrnej Rimamuránsko-Šalgotárjanskej spoločnosti. Gróf Gejza Andráš ziskal ortuťovú baňu aj hutu späť v roku 1917, avšak v roku 1918 bola produkcia ortuti zastavená. Celý majetok odovzdal G. Andráš čsl. štátu v roku 1933, čo bola súčasť aktivít v rámci pozemkovej reformy v období prvej Československej republiky.



Obr. 2 Keramické nádoby – retorty na výrobu ortuti z Dubníka zo začiatku 18. storočia

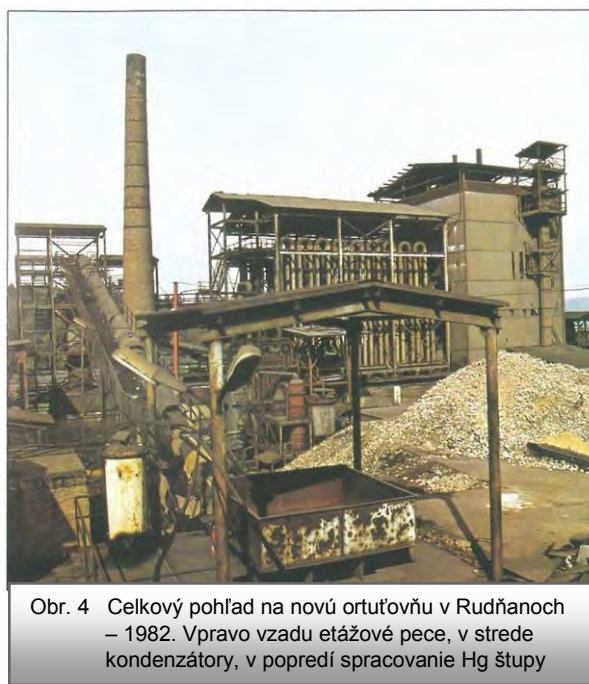


Obr. 3 Ortuťová baňa a huta v Merníku na východnom Slovensku – 1936. Z ľava hore: banský závod, haldy výpražkov, Hg kondenzátory, rotačná pražiacia pec

Topľou. Podnik prevzala v roku 1928 francúzska spoločnosť Société Mini  re Le Cinabre SA, ktorej ortuťov   huta prevádzkovala až do roku 1937 (obr. 3). Technológia bola vysoko modernizovaná, keď p  vodn   šachtov   pece Kroupa-  p  rek nahradila v  konn   rota  n   pec.

Neobvykle bohat   históriu výroby ortuť na Slovensku zav  rila najv  znamnej   lokalita, ktorou bol Koterbach (Rud  ňany). Produkciu ortuť v Rud  ňanoch je mo  n   rozdeliť na obdobie starého závodu (1895 – 1948) a obdobie nového závodu (1968 – 1993). V roku 1895 začala v Rud  ňanoch podnikať V  tkovick   bansk   a hutn   spoločnosť zameran   na ťažbu a úpravu sideritu. Rud  ňansk   siderit bol prerasten   rumelkou a tetraedritom s obsahom 2 – 17 % Hg. Star   ortu  ovn   vznikla na Jozefskej jame a neskôr štôlni Sv  t   Duch. P  vodn     p  rkove   achtov   pece nahradili pancierové pra  iace pece   erm  k. V roku 1905 sa vyrobilo 5,5 t ortuť a v roku 1933 už to bolo 37 t ortuť balenej do o  elov  ch fliaš s hmotnosťou obsahu 34,5 kg. Po ústupe nemeckých vojsk v r. 1945 bola výroba ortuť zastaven   a rud  ňansk   bane a úpravne boli orientovan   na produkciu sideritu a barytu.

Avšak v roku 1968 – 1970 bola uveden   do prevádzky nov   ortu  ovn     eleznorudn   bane Rud  ňany, zameran   na spracovanie tetraedritových koncentrátov z Rudnianskej a z Rožňavy s obsahom 0,8 – 4,0 % Hg. Na praženie boli pou  it   dve desa  et  a  ov   pece typu Mannesmann, D  sseldorf s pra  iacou technológiou spoločnosti Del Monego, Milano. Odplyny s ortuťou kondenzovali v l  rov  ch kondenzátoroch a ortu  ov   kondenzát –   tupa sa d  alej spracovával v malej   t  a  ovej peci a d  al  ch rafinačných zariadeniach (obr.4). Vo vrcholnom období po roku 1975 sa tu vyrobilo 200 t ortuť ročne. Vlastn   huta špecificky orientovan   na spracovanie tetraedritových koncentrátov s vysok  m obsahom medi, antimónu, bizmutu a arzénu dok  azala vyrábať ortuť vysokej čistoty a autor tohto príspevku m   e osvedčiť osobne [4], že aj dnes by bola výroba aj výroba vysokou   kro  il  . Problémom bola nízka úroveň riešenia environmentálních podmienok, ako je vn  torn   recyklácia alebo hlbok   čistenie konečných odpadov a odpadových vôd. Preto bola prevádzka v tejto v tom čase jedinej Hg hute na Slovensku zastaven   v roku 1993 v súlade s novou imisno-emisnou legislatívou, často však prísnejšou, ako sú európske a severoamerick   normy.



Obr. 4 Celkov   pohľad na nov   ortu  ovn   v Rud  ňanoch – 1982. Vpravo vzadu   t  a  ov   pece, v strede kondenzátory, v popredí spracovanie Hg   tupy

Literatúra

- [1] WEIGNER, L.: *Dejiny hutníctva na Slovensku*, kap. Ortuť, ZH  PG Bratislava, Bansk   agentúra Košice, 2006
- [2] AGRICOLA, G.: *De re metallica libri XII*. Ostrava: Montanex, 2006
- [3] TOMÁŠEK, K.: Stru  n   história kovohutn  ctva na Slovensku. *Hutnické listy*, roč. LXVII, 2014,   .5, s.102, ISSN 0018-8069
- [4] HOL  CZY, J., BODNÁR, L., TOMÁŠEK, K.: *  t  dia na spracovanie úletov z Ortu  ovne Rud  ňany* [z  vere  n   v  skumn   správa], Košice: HF V  T v Košiciach, 1969.

prof. Ing. Karel Tomášek, CSc.

Katedra pecí a teplototechniky Hutníckej fakulty TU v Košiciach

Vás srdečne pozýva na

14.ročník medzinárodnej vedeckej konferencie

ENERGETICKÉ PREMENY V PRIEMYSLE

Garant odborného programu:

Prof.Ing. Augustín Varga, CSc. – Katedra pecí a teplototechniky, TU v Košiciach, HF

Prof.Ing. Dušan Holoubek, CSc. – Katedra pecí a teplototechniky, TU v Košiciach, HF

Informácie : www.luke.sk/hf-kpat/

23. - 25. 09. 2015 Hotel** SOREA Ľubovňa
Ľubovnianske kúpele – Stará Ľubovňa

Technická Univerzita v Košiciach
Hutnícka Fakulta
Katedra pecí a teplototechniky



Energetické premeny v priemysle 14. medzinárodná konferencia

Pod patronátom Ministerstva hospodárstva SR

a

Dekana Hutníckej fakulty

doc. Ing. Ivety Vaskovej, PhD.

*23. - 25. 09. 2015 Hotel** SOREA Ľubovňa
Ľubovnianske kúpele – Stará Ľubovňa*