

ROČNÍK/VOL. **LXIX**
ROK/YEAR **2016**

3

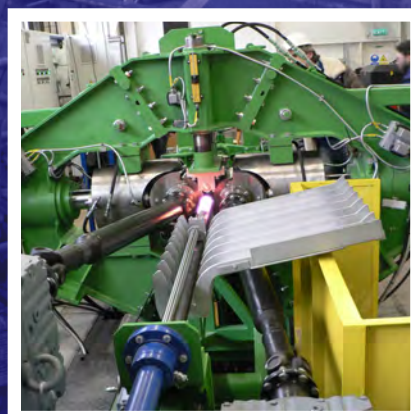


Hutnické listy

**METALLURGICAL
JOURNAL**

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

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069



**70. výročí založení společnosti
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ
VÝZKUM s.r.o.**



www.mmvyzkum.cz

Registrační číslo / Registration Number
MK ČR E 18087Mezinárodní standardní číslo
International Standard Serial Number
ISSN 0018-8069**Vydavatel / Publisher**OCELOT s.r.o.
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
IČ: 49245848, DIČ: CZ-49245848
Registrace v obchodním rejstříku Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 30879**Redakce / Editorial Office**OCELOT s.r.o.
Redakce časopisu Hutnické listy
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
Česká republika**Vedoucí redaktor / Chief Editor**Mgr. Šárka Seidlerová
tel.: +420 731 181 238
e-mail: seidlerovas@seznam.cz**Technický redaktor / Technical Editor**Ing. Jan Počta, CSc.
tel.: +420 596 995 156
e-mail: j.poceta@seznam.cz**Grafický redaktor / Graphic Editor**Ing. Dana Horáková
tel.: +420 777 047 666
e-mail: hutnicke.listy@seznam.cz**Tisk / Printing**Printo, spol. s r.o.
Gen. Sochora 1379
708 00 Ostrava-Poruba**Grafika titulní strany / Graphic design of the title page**

Miroslav Juřica, e-mail: grafik@konstrukce.cz

Podkladová fotografie / Underlying photograph

Mgr. Viktor Mácha, e-mail: viktor.macha@centrum.cz

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairman

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.

VŠB – Technická univerzita 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 Parířák, CSc.
Ing. Jiří Petřela, 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
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
ŽŽAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
VÍTKOVICE, a.s., Ostrava, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
Hutnictví železa, a.s., Praha, Česká republika
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika
ArcelorMittal Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika

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

Časopis vychází 6× ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné základní 1 190 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, Česká republika (+420 225 985 225, 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., 2016

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, Czech Republic (+420 225 985 225, 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., 2016

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.

Obsah / Content

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

- Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.* 4
Vývoj technologie výroby oceli pro energetický průmysl
Development of Technology of Steel Production for the Power Industry
- Ing. Tomáš Perna; Mgr. Marek Vindyš; Ing. Roman Noga; Ing. Miroslav Liška, CSc.* 11
Optimalizace tvářecích procesů při výrobě bezešvých trubek
Optimization of the Metal Forming Processes at the Seamless Pipe Production
- prof. Ing. Karel Matocha, CSc.; Ing. Ondřej Dorazil; Ing. Miroslav Filip* 18
Příklady použití disků s „U“ vrubem pro stanovení tranzitní teploty T_{SP} z výsledků penetračních testů
Examples of the Use of Discs with a "U" Notch for Determining the Transition Temperature T_{SP} of the Penetration Tests Results
- Ing. Daniel Omacht; Zdeněk Kubánek; Roman Doležal* 23
Vývoj a výroba zkušebních strojů a zařízení pro zkoušení miniaturizovaných vzorků, návrh úprav CWA 15627
Development of Testing Machines and Equipment for Small Punch Testing, Proposals for Improvement of CWA 15627
- Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Šárka Stejskalová; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Ing. Šárka Hermanová; Ing. Lukáš Pomikálek* 33
Hodnocení vlivu sigma fáze na pokles křehkolomových vlastností ocelí a jejich svarových spojů pro energetické komponenty pracující za superkritických podmínek
Evaluation of the Effect of Sigma Phase on Fracture Behaviour of Steels and Weld Joints of Components in Power Industry Working at Supercritical Conditions
- Dr. Ing. Zdeněk Kuboň; doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.* 41
Hodnocení vlastností žárupevných ocelí – od 24 hodinových zkoušek po SPCT zkoušky
Evaluation of the properties of heat resisting steels – from 24 hour tests to SPCT tests
- Ing. Karel Malaník, CSc.; Ing. Roman Gabor, Ph.D.* 47
Hodnocení povrchových vrstev a povlaků
Evaluation of Surface Layers and Coatings
- Ing. Jan Morávka, Ph.D.; Ing. Jan Kuřa; Ing. Radek Hermann; Ing. Bohuslav Chmiel; Ing. Jaromír Kaleta; Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.; Ing. Marek Bilko; Ing. Petr Podolinský; Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.; Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.; Ing. Zdeněk Solowski; Ing. Petr Mlčoch; Ing. Petr Klus; Ing. Rostislav Milata* 52
Aplikace vybraných statistických metod v metalurgii
Application of Specific Statistical Methods in Metallurgy

Informační články / Informative Articles

Zprávy z HŽ, a.s. / Information of HŽ, a.s.

- Ing. Vala* 68
Hutní výroba v ČR a SR. Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Professional Periodical for Metallurgy and Material Engineering

- Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.* 71
Současné postavení společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. jako výzkumné organizace

prof. Ing. Karel Matocha, CSc. 77
Výzkumně-vývojové zaměření společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.

Ing. Karel Mráček, CSc.; Ing. Libor Kraus 81
Činnost Asociace výzkumných organizací v oblasti aplikovaného výzkumu v ČR

Ze spolkového života a odborných akcí / Information on Associations and Professional Events

Výzkumníci oslavili 70. jubileum společnosti MMV konferencí 85

V červnu 2016 se v Třinci konal 1. ročník mezinárodní výstavy INVENT ARÉNA 86

Nová literatura / New Literature

Jaroslav Fiala, Ivo Kraus 87
Povrchy a rozhraní

Společenská kronika / Social Chronicle

Odešel Ing. Václav Foldyna, DrSc. 89

Historický seriál / Historical Serial

prof. Ing. Karel Tomášek, CSc. 90
Stručně o metalurgii hliníka na Slovensku – 2. díl

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části

- Hutnictví železa, a.s.
- prof. Ing. Jaroslav Purmenský, DrSc.
- doc. Ing. Rostislav Dudek, Ph.D.
- pravidelní dopisovatelé
- redakce

Inzerce

- MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.

Recenzované výzkumné články

Vývoj technologie výroby oceli pro energetický průmysl

Development of Technology of Steel Production for the Power Industry

Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Práce prezentuje ocelářský výzkum, jeho možnosti výzkumu, vývoje a následně také výroby a metalurgické agregáty, na kterých společnost MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. provádí jak experimentální tavby, tak i výrobu komerčních zakázek či komerčních výzkumů. Příspěvek prezentuje návrh technologie výroby materiálu pro energetický průmysl pomocí numerického software Magma 5 pro odlévání a tuhnutí kovových materiálů. Následně je technologie ověřována a modifikována na poloprovozním zařízení Vakuová a přetlaková indukční tavicí pec, včetně fáze odlévání oceli do kokilové sestavy.

Klíčová slova: numerická simulace; energetika; odlévání a tuhnutí; segregace; technologie výroby

The paper presents steelmaking research, its potential for research, development and, consequently, production and metallurgical units, for which the Company MATERIAL AND METALLURGICAL RESEARCH Ltd. performs experimental heats and research based on commercial contracts. The paper also presents design technology using numerical software Magma 5 for casting and solidification of materials for the power industry. Consequently, this technology is verified and modified on the metallurgical unit using vacuum and pressurized induction melting furnace with subsequent verification of the casting into an ingot-mould. On the basis of experiments it seems the best to manufacture the material by the refining process VOD - Vacuum Oxygen Decarburization at atmospheric pressure and then under the pressure of 10 kPa. This is followed by casting into ingot-mould set of the type OK075. Modification of the technology continues to reduce primarily the N content to the required level.

Key words: numerical simulation; engineering industry; casting and solidification; segregation; production technology

Práce prezentuje vývoj technologie výroby oceli pro energetický průmysl.

Útvar Ocelářský výzkum, společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o. (MMV) se zabývá výzkumem a vývojem v oblasti:

- návrhů a ověření technologií výroby vysoce jakostních materiálů,
- metalurgie tavení, rafinace a odlévání kovových materiálů v podmínkách atmosférických, ve vakuu nebo s přetlakem argonu či dusíku,
- technologie odstranění plynů (vodík, kyslík) a nadušení na vysoké obsahy u různých typů tavenin,
- metalurgických pochodů na zařízeních primární a sekundární metalurgie, zahrnujících také elektrostruskové přetavování,
- odlévání a krystalizace v numerickém software Magma 5.

Na základě navržených technologií se v poloprovozních podmínkách společnosti MMV odlévají ingoty a dle požadavků zákazníků se tyto ingoty externě zpracovávají

do podoby výkovků. Kovové taveniny se odlévají do kokil kovárenských, kruhových, bramových, dále se dolévají předlitky pro válcování a pro elektrostruskové přetavování (ESP). Kokové taveniny se také odlévají do jednoduchých pískových forem vyrobených v MMV či složitých forem dodaných zákazníkem. Tyto práce společnosti MMV se zaměřují na nízko, středně a vysoce legované oceli, nízko až vysoce legované litiny, popř. o jiné kovové materiály podle přání zákazníka.

Pro výzkum, vývoj a výrobu útvar Ocelářský výzkum využívá tyto metalurgické agregáty s uvedenou nominální hmotností vsázky:

- vakuová a přetlaková indukční tavicí pec 1 750 kg (VPIM),
- numerický software Magma 5 pro odlévání a tuhnutí,
- atmosférické indukční tavicí pece 1 750, 350, a 40 kg,
- vakuová indukční tavicí pec 1,5 kg s možností mikrovlnného ohřevu strusky,
- elektrostruskové přetavování oceli 2 000 kg.

Definice zkoumaného problému

Návrh výroby materiálů pro energetický průmysl začíná návrhem chemického složení, od něhož se po výrobě očekávají žádané mechanické, strukturní a creepové vlastnosti. Chemické složení zkoumaného materiálu (dále jen materiálu) je uvedeno v tab. 1. Z ní je patrný velmi úzký rozsah v obsahu prvků a také velmi nízký obsah dusíku a křemíku, což je požadováno u materiálů pro náročné energetické díly.

Tab. 1 Chemické složení materiálu, dle požadavku, pro výrobu a pro Magma 5 (hm. %)

Tab. 1 Chemical composition of the material as required, for the manufacture and for Magma 5 (wt.%)

		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Co	Ni	B	N	Ti	V	Nb
Požadavek	min	0,13	0,05	0,05	11,00	0,6	1,9	3	0,12	0,008	-	0,016	0,07	0,05
	max	0,15	0,07	0,15	12,00	0,8	2,1	4	0,22	0,009	0,005	0,018	0,17	0,06
Požadované hodnoty pro výrobu		0,14	0,06	0,10	11,50	0,7	2,0	3,5	0,17	0,0085	0,0045	0,019	0,12	0,055
Výpočtové hodnoty podle Magma 5		0,14	0,06	0,10	11,50	0,7	2,0	3,5	0,17	-	-	0,017	0,12	-

Numerická simulace odlévání oceli do kokily

Pro potřeby návrhu technologie výroby pomocí Magma 5, bylo provedeno generování materiálu o chemickém složení uvedeném v tab. 2, a to pomocí software JMatPro, který počítá se širokou škálou vlastností materiálů: stabilní a metastabilní fázová rovnováha, fyzikálně-metalurgické děje v materiálu při tuhnutí, mechanické vlastnosti materiálu, thermo-fyzikální a fyzikální vlastnosti, fázové přeměny a chemické vlastnosti.

Vzhledem k době odlévání 240 s pro jeden ingot v zařízení VPIM ve společnosti MMV je možno korigovat pouze teplotu liti. Z důvodu malé hmotnosti taveniny ve VPIM se tyto materiály odlévají vysoko nad teplotu likvidu. Byly provedeny čtyři varianty numerické

simulace odlévání a tuhnutí s licími teplotami d1 při teplotě 1 500 °C, d2 při teplotě 1 550 °C, d3 při teplotě 1 600 °C a d4 při teplotě 1 650 °C. Varianty byly vyhodnoceny s ohledem na vliv teploty liti na kvalitativní parametry odlitého ingotu.

V tab. 2 jsou porovnány čtyři varianty simulace s rozdílnými teplotami odlévání ve vztahu k rychlosti tuhnutí: je ukázán podíl tuhé fáze vznikající průběžným čase od počátku liti. U varianty s nižší teplotou odlévání vzniká srovnávaný podíl tuhé fáze dříve než oproti variantám s vyšší teplotou odlévání. Časy mezi jednotlivými verzemi se při vzniklém podílu tuhé fáze 10 % liší až o 99 s a při podílu tuhé fáze 95 % až o 316 s. Snížením teploty odlévání o 150 °C se zrychlí doba tuhnutí o 5,2 minut, což je zkrácení z celkové doby tuhnutí (při teplotě 1 500 °C a době liti 4 270 s) o cca 7,4 %.

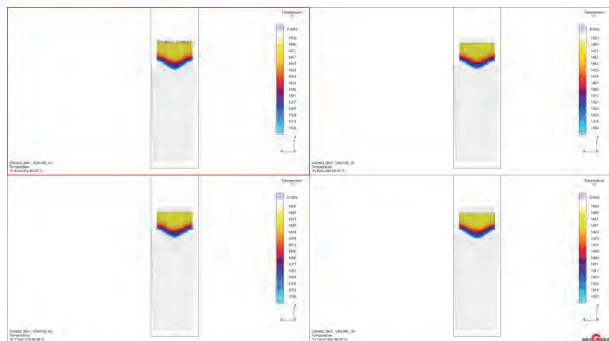
Tab. 2 Podíl tuhé fáze pro jednotlivé teploty odlévání a doby liti

Tab. 2 The proportion of the solid phase for each casting temperature and the time of casting

	Jednotky	Podíl tuhé fáze	Čas od počátku liti pro jednotlivé verze licích teplot (s)			
			d1	d2	d3	d4
Podíl tuhé fáze v jednotlivých verzích licích teplot v závislosti na čase	(%)	10	249	269	300	348
		20	288	331	362	411
		30	368	425	455	517
		40	488	550	591	658
		50	644	707	753	836
		60	839	905	963	1 051
		70	1 090	1 163	1 225	1 325
		80	1 429	1 508	1 575	1 689
		90	1 929	2 010	2 090	2 208
		95	2 298	2 385	2 468	2 614
		100	4 270	4 456	4 697	5 033
Teplota likvidu	(°C)		1 483			
Teplota liti			1 500	1 550	1 600	1 650
Doba liti celého ingotu	(s)		240			

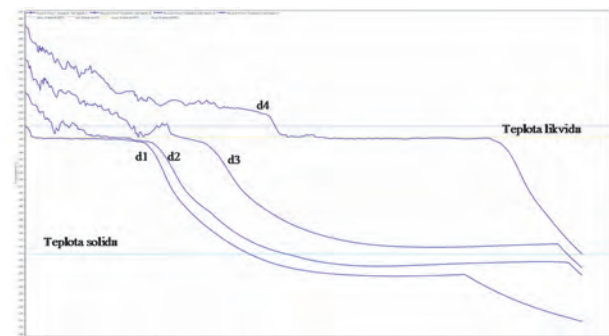
Jak je patrné z obr. 1, doby tuhnutí ingotu jsou ovlivněny tuhnutím taveniny v hlavovém nástavci. Snížení lící teploty snižuje i minimální a střední teplotu v litém materiálu (obr. 2 a 3) a s malými rozdíly také teplotu při tuhnutí (obr. 4 a 5).

Ukazuje se zákonitý trend, že se ve sníženém rozsahu Niyamova kritéria při zvolené době lití 240 s snižuje hodnota tohoto kritéria při vyšší teplotě lití (obr. 6). To dokládá i nižší výskyt mikroporezity (obr. 7) a také vyšší rychlost chladnutí (obr. 8).



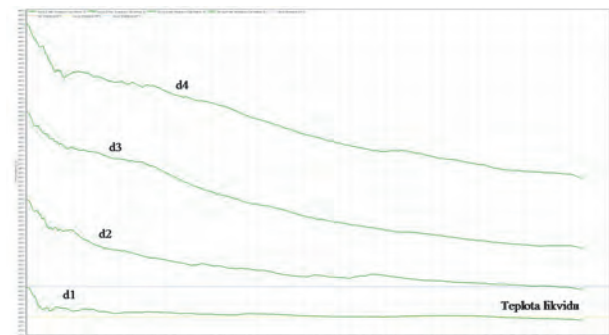
Obr. 1 Teplotní pole, oblast taveniny s teplotou nad teplotou solidu při podílu tuhé fáze 95 %

Fig. 1 Temperature field, area of the melt with the temperature above the solidus temperature at a proportion of solids of 95 %



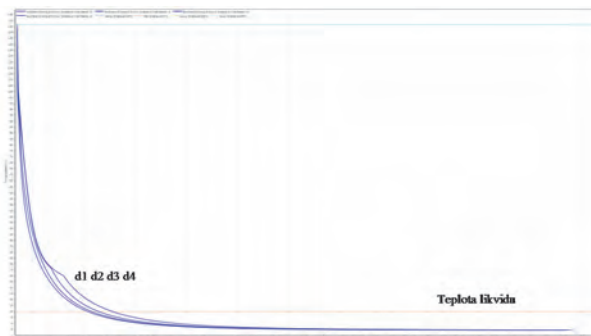
Obr. 2 Průběh minimálních teplot během odlévání u všech čtyř variant numerické simulace

Fig. 2 Evolution of the maximum temperatures during casting in all four variants of numerical simulations



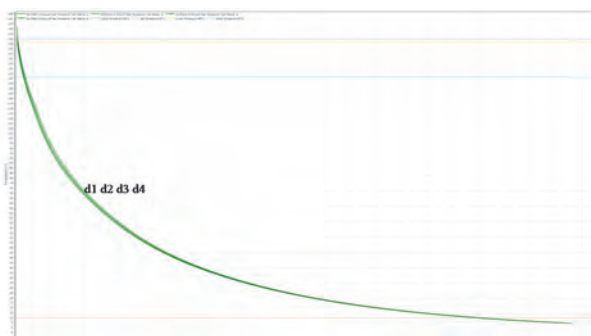
Obr. 3 Průběh středních teplot během odlévání u všech čtyř variant numerické simulace

Fig. 3 Evolution of the medium temperatures during casting in all four variants of numerical simulations



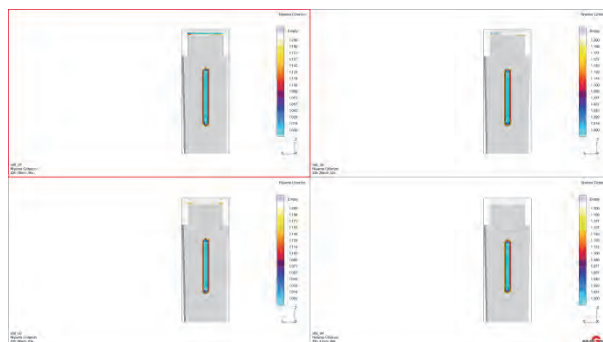
Obr. 4 Průběh minimálních teplot v ingotu během tuhnutí u všech čtyř variant numerické simulace

Fig. 4 Evolution of the maximum temperatures during ingot solidification for all four variants of numerical simulation



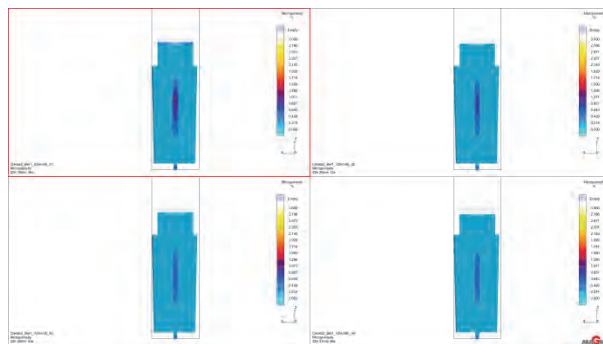
Obr. 5 Průběh středních teplot v ingotu během tuhnutí u všech čtyř variant numerické simulace

Fig. 5 Evolution of the medium temperatures in the ingot during solidification for all four variants of numerical simulation



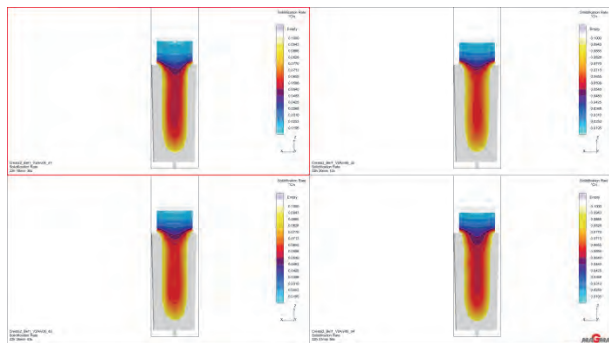
Obr. 6 Niyamovo kritérium v utuhlém ingotu s rozsahem 1,0 – 1,2

Fig. 6 Niyama criterion in the solidified ingot with a range from 1.0 to 1.2



Obr. 7 Mikroporezita v ingotu s rozsahem 0 – 3 %

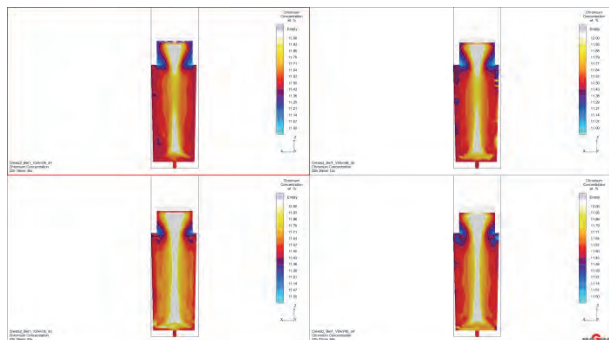
Fig. 7 Microporosity in the ingot with a range from 0 to 3 %



Obr. 8 Rychlost chlazení ingotů, rozsah prezentované rychlosti je 0,02 – 0,10 °C·s⁻¹

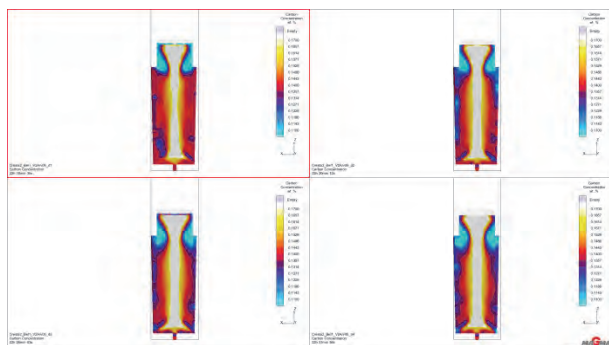
Fig. 8 The rate of cooling of ingots, with a range from 0.02 to 0.10 °C·s⁻¹

Na druhé straně z pohledu je odmítní nižší u variant s nižší teplotou odlévání, a to především u prvků náchylných k odměšování, jako je chrom (obr. 9) a uhlík (obr. 10). Menší odmítní je naopak u kobaltu (obr. 11), manganu (obr. 12), molybdenu (obr. 13), niklu (obr. 14), křemíku (obr. 15), titanu (obr. 16), wolframu (obr. 17) a vanadu (obr. 18). Z numerické simulace vyplývá, že za účelem snížení porozity je vhodnější odlévat ingot při vyšší teplotě a za účelem snížení segregací při nižší teplotě.



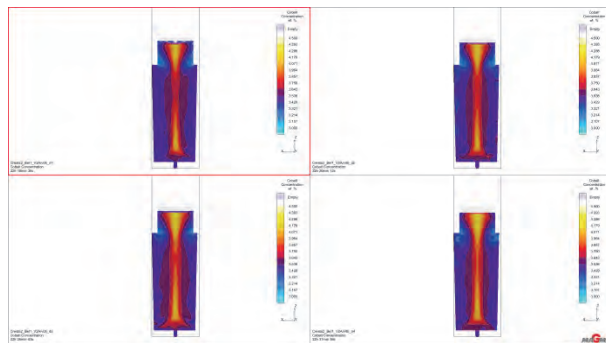
Obr. 9 Koncentrace chromu po průřezu ingotu v rozsahu 11 – 12 %

Fig. 9 Chromium concentration over the cross section of the ingot in the range from 11 to 12 %



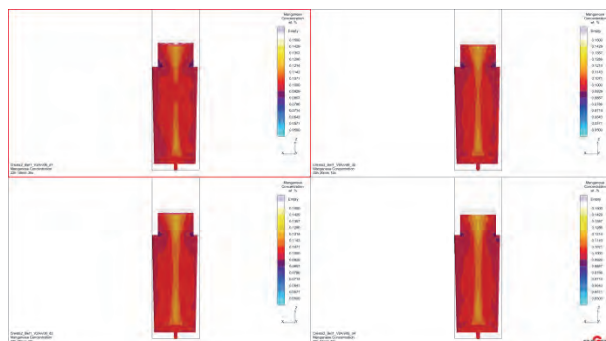
Obr. 10 Koncentrace uhlíku po průřezu ingotu v rozsahu 0,11 – 0,17 %

Fig. 10 The Carbon concentration over the cross section of the ingot in the range from 0.11 to 0.17 %



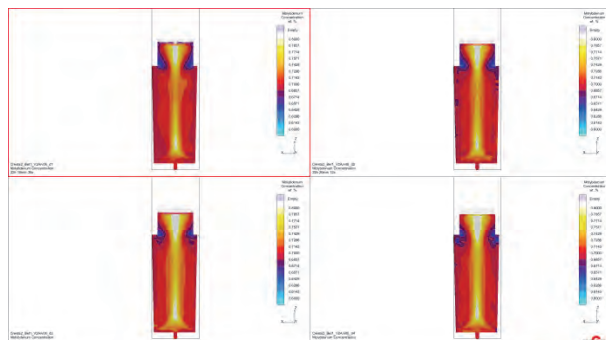
Obr. 11 Koncentrace kobaltu po průřezu ingotu v rozsahu 3,0 – 4,5 %

Fig. 11 The cobalt concentration over the cross section of the ingot in the range from 3.0 to 4.5 %



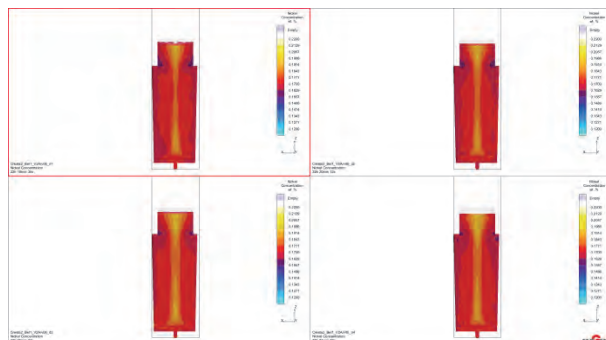
Obr. 12 Koncentrace manganu po průřezu ingotu v rozsahu 0,05 – 0,15 %

Fig. 12 The manganese concentration over the cross section of the ingot in the range from 0.05 to 0.15 %



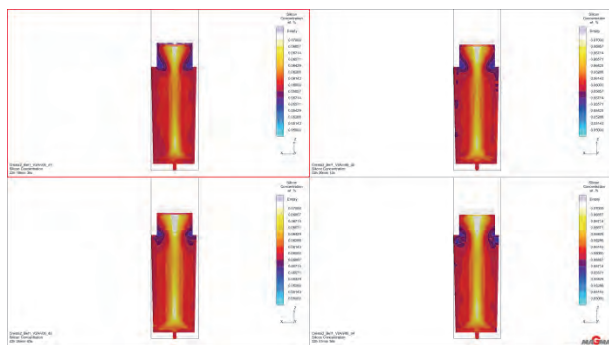
Obr. 13 Koncentrace molybdenu po průřezu ingotu v rozsahu 0,6 – 0,8 %

Fig. 13 The concentration of molybdenum over the cross section of the ingot in the range from 0.6 to 0.8 %



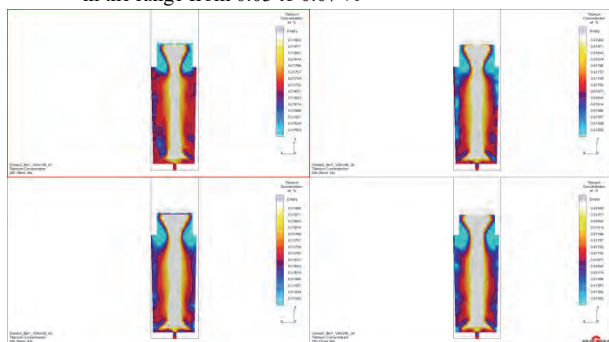
Obr. 14 Koncentrace niklu po průřezu ingotu v rozsahu 0,12 – 0,22 %

Fig. 14 The concentration of nickel over the cross section of the ingot in the range from 0.12 to 0.22 %



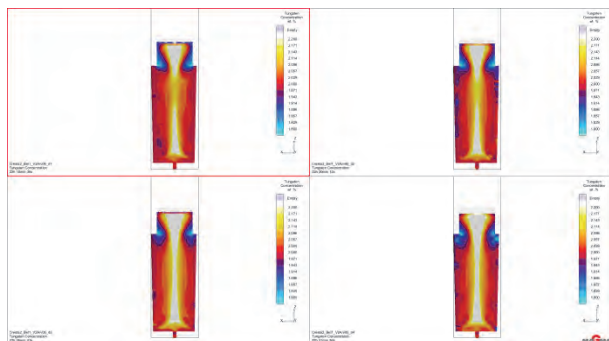
Obr. 15 Koncentrace křemíku v ingotu po průřezu ingotu v rozsahu 0,03 – 0,07 %

Fig. 15 The silicon concentration over the cross section of the ingot in the range from 0.03 to 0.07 %



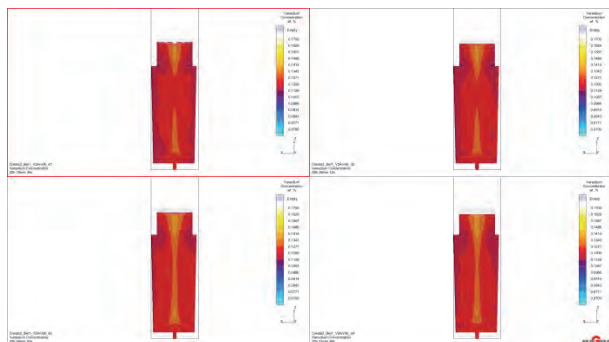
Obr. 16 Koncentrace titanu po průřezu ingotu v rozsahu 0,015 – 0,019 %

Fig. 16 The concentration of titanium over the cross section of the ingot in the range from 0.015 to 0.019 %



Obr. 17 Koncentrace wolframu v ingotu po průřezu ingotu v rozsahu 1,8 – 2,2 %

Fig. 17 The concentration of tungsten over the cross section of the ingot in the range from 1.8 to 2.2 %



Obr. 18 Koncentrace vanadu v ingotu po průřezu ingotu v rozsahu 0,07 – 0,17 %

Fig. 18 The concentration of vanadium over the cross section of the ingot in the range from 0.07 to 0.17 %

Toto jsou protichůdné vlivy, ale dosažené snížení porozity vlivem vyšší teploty odlévání s přihlédnutím k technologickým možnostem výroby ingotů v MMV dovolilo navrhnout provádění fyzikálních experimentů při výrobě ingotů při optimální lící teplotě 1 650 °C.

Návrh technologie výroby oceli

Na základě provedených numerických simulací odlévání a tuhnutí v Magma 5, byl vypracován návrh technologie výroby a odlévání materiálu specifikovaného v tab. 1. Základní parametry, technologie výroby jsou následující:

- tavit pod argonem při tlaku 20 kPa,
- po roztavení kovu provést na základě odběru vzorku na chemickou analýzu, dolegování a dosažení,
- procesem VOD snížit obsah N a Si na minimální úroveň, při hmotnosti taveniny 1 300 kg; kontrolovat proces snižování N a Si pomocí odběru a chemického rozboru vzorků kovu a průběžně stahovat strusku,
- odlévat taveninu při otevřeném kesonu z VPIM do lící pánve, a to po dosažení požadovaného obsahu dusíku, kontrole chemického složení kovu a zahřátí taveniny na teplotu 1 650 °C,
- na atmosférickém lícím poli odlít taveninu, pod ochrannou atmosférou argonu, spodem do předem připravené a vyhřáté kokilové sestavy.

Experimentální tavby

Na základě navržené technologie výroby byly provedeny experimentální tavby. Chemické složení odlévané taveniny prezentuje tab. 3. Technologie výroby byla po provedených experimentech modifikována, a to pouze v procesu odlévání, kdy:

- 1. a 2. tavba byly odlévány v kesonu VPIM, a to z indukční tavicí pece přímo do mezipánve, z níž byla spodem plněna kokilová sestava typu V2A. Kokilovou sestavu po odlévání prezentuje obr. 19 a 20.
- 3., 4. a 5. tavba byly neúspěšné experimenty, které musely být předčasně ukončeny z důvodu technicko-technologických příčin daných vysokou náročností technologie výroby. Tavby jsou v tabulce označeny (N).
- 6. experimentální tavba byla rafinována procesem VOD – Vacuum Oxygen Decarburization (obr. 21), a to jak při atmosférickém tlaku, tak při sníženém tlaku 10 kPa. Následně byla tato tavba odlévána z VPIM do lící pánve a na atmosférickém lícím poli a spodem do kokilové sestavy OK075.

Jak je patrné z provedených experimentálních taveb, je velmi problematické dosáhnout požadovaného chemic-

kého složení, a to především nízkého obsahu Si, který se ve VPIM velmi těžko snižuje, a také nízkého obsahu N. V poslední 6. experimentální tavbě bylo dosaženo

požadovaného chemického složení, vyjma obsahu N. Práce na modifikaci technologie výroby tohoto materiálu pokračují.

Tab. 3 Chemické složení materiálu dle požadavku, ve vakuové a přetlakové indukční tavicí peci (VPIM) a v lici pánvi (LP), pro jednotlivé experimentální tavby (hm. %)

Tab. 3 Chemical composition of the material as required, in vacuum and pressurized induction melting furnace (VPIM) or in a ladle (LP) for each of the individual experimental melts (wt. %)

Požadavek / místo odběru vzorku kovu na chem. an.		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Co	Ni	B	N	Ti	V	Nb
Požadavek	min	0,13	0,05	0,05	11,00	0,6	1,9	3,0	0,12	0,008	-	0,016	0,07	0,05
	max	0,15	0,07	0,15	12,00	0,8	2,1	4,0	0,22	0,009	0,0050	0,018	0,17	0,06
1. tavba / VPIM		0,15	0,09	0,12	11,65	0,66	2,0	3,4	0,17	0,0086	0,0140	0,014	0,10	0,06
2. tavba / VPIM		0,13	0,13	0,12	11,19	0,66	1,9	3,7	0,16	0,0085	0,0134	0,021	0,11	0,06
3. tavba / VPIM (N)		0,05	0,14	0,10	19,97	1,09	3,39	5,4	0,04	0,0018	0,0380	0,004	0,026	0,023
4. tavba / LP (N)		0,04	0,12	0,23	18,42	1,05	2,82	4,6	0,32	0,0025	0,0460	0,004	0,08	0,023
5. tavba / LP (N)		0,07	0,09	0,09	11,57	0,67	2,09	3,5	0,22	0,0079	0,0170	0,004	0,09	0,050
6. tavba / Ingot		0,15	0,06	0,05	11,05	0,64	1,96	3,0	0,22	-	0,0093	0,021	0,09	0,050



Obr. 19 Kokilová sestava z 1. experimentu, hodinu po odlití, vytažená z kesonu VPIM

Fig. 19 Ingot mould set from the 1st experiment, one hour after casting, pulled out from the caisson of the VPIM



Obr. 20 Odlitá kokilová sestava s mezipánví v kesonu VPIM u 2. tavby

Fig. 20 The cast ingot-mold set with tundish in the caisson of the VPIM at the 2nd heat



Obr. 21 Proces VOD při tlaku 10 kPa, u 6. experimentální tavby

Fig. 21 VOD process at the pressure of 10 kPa, at the 6th experimental heat

Závěr

Příspěvek ve svém začátku prezentuje Ocelářenský výzkum společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., jeho možnosti výzkumu, vývoje a následně také výroby. Dále specifikuje metalurgické agregáty, na kterých se provádějí jak experimentální tavby, tak i výroba komerčních zakázek či komerční výzkum.

Na příkladu materiálu pro energetický průmysl práce prezentuje návrh technologie výroby pomocí numerického software Magma 5 pro odlévání a tuhnutí. Tato technologie je ověřována a modifikována na zařízení Vakuová a přetlaková indukční tavicí pec. Na základě

provedených experimentů se jeví jako nejvýhodnější vyrábět materiál rafinací procesem VOD – Vacuum Oxygen Decarburization při atmosférickém a následně sníženém tlaku na hodnotu 10 kPa. Poté následuje odlití do kokilové sestavy OK075.

Modifikace technologie stále pokračuje s cílem snížit především obsah N na požadovanou úroveň.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Ocelářský průmysl se obává plánů EU na změny obchodu s emisemi

Energie Informationsdienst

04.04.2016

Současné předpisy pro obchod s emisemi platí ještě do roku 2020, poté by je měly nahradit nové směrnice pro roky 2021 až 2030. Ze zprůšnění mají obavy hlavně energeticky náročné obory, které doposud dostávaly emisní povolenky přidělovány zdarma. Hospodářské sdružení Ocel (WV Stahl) poukazuje v této souvislosti na prognostické šetření, které se zabývalo působením evropského obchodu s emisními právy na německý ocelářský průmysl, jakož i jeho řetězce tvorby hodnot. Zásadní výpověď zní, že investice v ocelářském průmyslu by s novými přísnějšími směrnici výrazně poklesly s následkem, že by výroba a zaměstnanost do roku 2030 oproti současné úrovni poklesly až o 60 %. Kromě toho by bylo ohroženo až 380 000 pracovních míst v souvisejících a navazujících oborech.

Boj proti kyslíčníku uhličitému

Handelsblatt

05.04.2016

Pro jedny je to kletba, pro jiné požehnání: ceny za emisní certifikáty se již roky pohybují na nízké úrovni. V současné době stojí povolenka na emisi jedné tuny CO₂ zhruba 5 €, nejvyšší hodnota se kdysi pohybovala na 30 €, Francie chce dnes nařídít pro certifikáty minimální cenu. Je to vhodná příležitost – letos je v agendě tak jako reforma práv emisního obchodu. Kritici ovšem varují před následky. Francouzská vláda navrhuje cenu 10 €, která by měla do roku 2030 stoupnout na 30 €. Pracuje s argumentem, že vzhledem k dnešním nízkým cenám se firmám nevyplatí investovat do účinnějších agregátů. Francouzi sami by tímto návrhem poškození nebyli, jejich energetické zdroje spočívají především na jaderné energii, která žádné emise CO₂ neprodukuje. V Německu nacházejí francouzské návrhy přímluvce, například Institut pro výzkum klimatu v Postupimi nebo Spolkový svaz emisního obchodu a ochrany klimatu (BVEK). Průmysl to vidí samozřejmě jinak. „Koncept obchodu s emisními právy předpokládá, že se ceny certifikátů budou tvořit na trhu. Tzv. minimální ceny by byly nepřipustným zásahem do tržních podmínek,“ říká Hans Jürgen Kerkhoff, prezident WV Stahl. Z hlediska průmyslu představují plány Evropské Unie tak jako tak explozivní směs, protože by mohly snížit konkurenceschopnost postiženého odvětví.

Dvousetmilionová zakázka pro stavitele zařízení SMS Group

Rheinische Post

08.04.2016

Ocelářské veletrhy Wire a Tube v Düsseldorfu byly i přes přetrvávající krizi odvětví úspěchem. Nejvíce návštěvníků ze 130 zemí světa přijelo z Německa, Itálie, Turecka, Francie, Polska a Nizozemí. Podíl zahraničních návštěvníků s více než 65 % byl velmi vysoký, z toho asi třetina byla ze zámorí. 75 % návštěvníků byli vedoucí pracovníci s rozhodovacími kompetencemi. Celkově připravenost investovat na některém z těchto vedoucích světových veletrhů opět stoupla. 60 % návštěvníků uvedlo, že našlo nové dodavatele. Jeden z největších vystavovatelů, skupina SMS dokázala získat ve velmi obtížném tržním prostředí velkou zakázku. Italská firma Aferpi pověřila SMS stavbou ocelárny v italském Piombinu. Zakázka má hodnotu zhruba 200 milionů €. „Tavící agregát bude neefektivnější svého druhu na trhu,“ říká jednatel SMS Guido Kleinschmidt. Zařízení bude po svém dokončení vyrábět kolejnice. Mohla by to být na dlouhou dobu jedna z posledních velkých investic v Evropě.

Optimalizace tvářecích procesů při výrobě bezešvých trubek

Optimization of the Metal Forming Processes at the Seamless Pipe Production

Ing. Tomáš Perna; Mgr. Marek Vindyš; Ing. Roman Noga; Ing. Miroslav Liška, CSc.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Článek ve stručnosti zmiňuje činnost útvaru Výzkum tváření ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. v rozsahu od výzkumu především tvařitelnosti ocelí založeném zejména na torzní plastometrii k systému modelování procesů tváření zaměřenému zejména na válcování bezešvých trubek. Systém optimalizace se docílí matematickým modelováním s následnou numerickou simulací pomocí FEM softwaru FORGE a je završen fyzikálním modelováním procesu děrování na Mannesmannově děrovací stolici. Podrobněji je dokumentováno fyzikální ověření nového optimálního tvaru opěrného válce Mannesmannovy stolice, jehož nový tvar je nedílným výsledkem matematického modelu celého procesu děrování.

Klíčová slova: tvařitelnost ocelí; matematické modelování; numerická simulace; fyzikální modelování; optimalizace; děrování vsázky při válcování trubek; Mannesmannova děrovací stolice; návrh nového opěrného válce

The paper shortly deals with the development of the section "metal forming research" of the MMR from a research mainly focused on the workability of steels on the basis of a torsion plastometry up to the actual system of the modeling of metal forming processes prevalingly focused on the seamless pipe rolling. This optimization system consists of the mathematical modeling followed by numerical simulation by means of the FEM software FORGE and completed by the physical modeling on the laboratory Mannesmann piercing mill. The physical verification of the new optimal shape of the back-up roll of the Mannesmann piercing mill is documented in a certain more details. First some of the geometric relations of the industrial and laboratory piercing mills and of charging billets for them are given. It can be seen that very good proportion exists between both facilities as for rolls diameters. On the contrary the proportions of the charging material diameter to back-up roll diameter in industrial and laboratory scale cannot be reached. The objective of the physical modeling on the laboratory piercing mill was to gain and compare some of the technological and geometric parameters resulting from experimental piercing using original and newly designed shapes of the back-up rolls installed in the mill. Two series of billets prepared of S355 and 42CrMo4 steels were pierced on the laboratory mill. The main results of the S355 set of billets were lower taper like form and better gauge stability of the hollow specimens pierced on the mill with the shape optimized back-up roll. The main result of the 42CrMo4 set of billets was the principal difference in fruitfulness of piercing with original and new designed back-up roll and with comparable other rolling conditions. While the specimens pierced with original back-up roll did not passed the rolling mill deformation zone at all the specimens pierced with new designed back-up roll was successful both from the point of view of piercing and of the good dimension stability of the hollow shape. The new shape of the back-up roll as an organic part of the whole mathematical model of the given piercing process was then tested in industrial conditions (TRM) as well. The positive effect of the new designed back-up roll was validated not only in improvement of the hollow shapes quality but furthermore also in some energy saving at the piercing process.

Key words: workability of steels; mathematical modeling; numeric simulation; physical modeling; optimization; piercing of the mill charge at pipe rolling; Mannesmann piercing mill; new back-up roll design

Problematika výzkumu tváření ocelí za tepla na pracovišti oddělení výzkumu tváření společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV) byla v minulosti vždy přednostně založena na zkoumání charakteristik tvařitelnosti za tepla na laboratorních zkušebních strojích pro zkoušky tahem a krutem. Krutové plastometry a trhací stroje umožňovaly provádět, kromě jednoduchých zkoušek pro testování vlivu hlavních termodynamických podmínek při tváření za tepla, do jisté míry i laboratorní fyzikální simulace

reálných tvářecích procesů. Ve spojení se strukturními analýzami laboratorně připravených stavů materiálu se na základě výsledků těchto zkoušek navrhovaly technologické podmínky a postupy pro reálná výrobní zařízení při zavádění výrobků z nových značek ocelí nebo nových technologických postupů, například pro termomechanické válcování plechů.

V relativně nedávném období posledních zhruba 5 let bylo v rámci projektů CZ.1.05/2.1.00/01.0040

„Regionální materiálově technologické výzkumné centrum“ a LO1203 „Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - projekt udržitelnosti“ vybudováno nové, dalšími možnostmi vybavené pracoviště pro výzkum procesů tváření, které rozšířilo dosavadní rozsah řešení úloh výzkumu a vývoje o nové směry. Pracoviště ve výchozí teoretické oblasti umožňuje vysoce sofistikovaný popis toku materiálu při tvářecích procesech za pomoci matematického modelování (dále MM) využitím speciálního algoritmického systému TP-Complex [1].

Na základě určení rozhodujících veličin získaných prostřednictvím MM (zprvu především parametry, které korelují teplotní pole tvářeného kovu s tvarem tvářecích nástrojů) lze na dalším novém vybavení pracoviště, kterým je pracovní stanice pro numerickou simulaci (dále NS) simulovat teplotní a napěťové podmínky jak ve zpracovávaném (tvářeném) materiálu, tak na rozhraní materiálu a pracovního nástroje příslušného tvářecího procesu. Stanice je vybavena programem FORGE 2011 SP1 francouzské firmy Transvalor [1] a umožňuje řešit problematiku tvářecích procesů metodou konečných prvků.

Pro řešení úloh souvisejících s operací kosého válcování, konkrétně děrování výchozí vsázky při výrobě bezešvých trubek, bylo laboratorní experimentální vybavení pracoviště doplněno o univerzální děrovací stroj Mannesmannova typu. Univerzálností se zde rozumí možnost dvojí konfigurace stroje, a to buď jako dvouválcová stolice s opěrným válcem (dále OV), nebo jako děrovací stroj se třemi pracovními válci. Příkladem úspěšného využití některých z těchto nových pracovišť výzkumu tváření na bázi MM v systému TP-Complex je nedávno ukončené řešení optimalizace tvaru opěrného válce dvouválcového děrovacího stroje.

1. Definice procesu děrování a jeho matematické modelování

Obecně lze říci, že MM se problémem děrování zabývá tak, aby bylo definováno způsobem umožňujícím zřetězení s dalšími navazujícími postupy při výrobě trubek. Ne všechna data, která lze nasbírat při procesu děrování, jsou přípustná pro tvorbu matematického modelu. Přípustná (kompatibilní) data se nazývají relevantní informace a z hlediska matematického modelování se považují za proměnné, pro které se hledá systém rovnic pole, tvořících matematický model tvářecího procesu tímto polem charakterizovatelného. Pole definuje tvářecí proces v konfiguraci pro daný proces typické, v našem případě v konfiguraci děrovacích válců a opěrného prvku ve vztahu k pozici a tvaru děrovacího trnu zprostředkovaném děrovaným polotovarem. Vyžaduje se, aby vztahy pro tuto konfiguraci významné, se v dalším navazujícím postupu tváření staly proměnnými, aniž by ztratily svou kompatibilitu.

Daný proces nelze definovat, aniž by přitom současně nevznikl jeho matematický model. Vznik každého mo-

delu se přitom kontroluje v prostředí hierarchického matematického modelu (algoritmického systému) TP-Complex. Tento komplex určuje podmínky řešitelnosti specifického modelu, tj. je vlastně souborem přípustných (kompatibilních) algoritmů, které jsou po nalezení správného řešení plně funkční, a to tak, že vytvoří konfiguraci, v jejímž kontextu je řešení také plně kompatibilní.

Například pro princip děrování na Mannesmannově dvouválcové děrovací stolici, jímž je tok kovu kolem děrovacího trnu, je nejbližším kompatibilním algoritmem postup určení vektorového pole na tomto trnu. Tento algoritmus totiž rozliší, zda je trn překážkou obtékání (jak je tomu u rovnic proudění vazkých kapalin) nebo jeho propagátorem (jak tomu musí být v procesu děrování kovového polotovaru). Druhý případ představuje tok vektorového pole na trnu, zatímco v případě rovnic proudění je vektorové pole na trnu statické.

Vizuálním kritériem snadnosti toku vektorového pole na trnu, a tedy plynulosti toku kovu, je kvalita činné plochy na pracovní části trnu, kterou každý váleč na děrovací stolici zná z praxe. Tvar pole charakterizujícího proces děrování je tak významným způsobem určen tvarem děrovacího trnu, pokud do této konexe nezasahuje nevhodný tvar opěrných elementů procesu, tedy konsekventně nevhodný tvar opěrného válce. V TP-Complexu se tvar opěrného válce podařilo vyřešit, o čemž je krátce referováno na jiných místech tohoto článku.

2. Numerická simulace tvářecích procesů

Při řešení řady úloh z oblasti tvářecích procesů navazuje na fázi MM numerická simulace pomocí FEM-programu FORGE. Problémy se řeší ve 2D nebo 3D s využitím rovin symetrie nebo bez jejich využití. Zde je vhodné zmínit známou skutečnost, že *"termín FE-modelování se vztahuje k postupu výběru elementů z FE-knihovny softwarového FEA produktu a konstrukci numerického problému z těchto prvků, o němž se předpokládá, že reprezentuje nějakou fyzikální realitu"* [3]. Relevance této reprezentace však garantována není. Navíc silně závisí na volbě hustoty FE-sítě, takže řešení vzniklého numerického problému je nutno opět zpětnově kontrolovat matematickým modelem.

3. Fyzikální modelování na laboratorní stolici

Účelem fyzikálního modelování děrovacího procesu na laboratorní děrovací stolici bylo získání a porovnání technologických a geometrických parametrů při použití původní a nové kalibrace opěrného válce. Detailnější popis nového experimentálního zařízení – univerzální děrovací stolice i stručný popis principu děrování kosým válcováním na dvouválcových válcovacích stolicích byly

již uvedeny v předchozích pracích [4, 5]. V rámci laboratorního ověření nově navržené kalibrace se provedly dva níže zmíněné experimentální programy. Cílem experimentů bylo porovnání dvou kalibrací OV, a to kalibrace příslušně zmenšeného OV, dnes používaného v provozu Válcovna trub Trineckých železáren, a.s. (dále VT), s nově navrženou kalibrací tohoto nástroje a jejího ověření při válcování v laboratorních podmínkách.

Nově navržená kalibrace je předmětem užitého vzoru [4], kdy její základní charakteristikou je poměr maximálního průměru opěrného válce k maximálnímu průměru pracovního válce. Srovnání průměrů pracovních válců, opěrných válců a vsázky v podmínkách VT a MMV je uvedeno v tab. 1. Zde je vidět celkem vyhovující shoda geometrických parametrů opěrných a pracovních válců děrovacích stolic v průmyslových a laboratorních podmínkách (VT a MMV). Výrazné rozdíly jsou ovšem u parametrů vztahujících se ke vsázce na obou zařízeních, což je dáno omezenými možnostmi pohonu laboratorní stolice [2].

Tab. 1 Srovnání průměrů válců a předválců v laboratorních a provozních podmínkách

Tab. 1 Relations of roll diameters and billet diameters in laboratory and operational conditions

Max. průměr pracovního válce VT (PV VT)	600 – 700 mm
Max. průměr pracovního válce MMV (PV MMV)	240 mm
Max. průměr opěrného válce VT (OV VT)	360 – 440 mm
Max. průměr opěrného válce MMV – původní kalibrace (OV MMV1)	163 mm
Max. průměr opěrného válce MMV – nová kalibrace (OV MMV2)	150 mm
Průměr vsázky VT (V VT)	275 – 525 mm
Průměr vsázky MMV (V MMV)	50 – 65 mm
Poměr průměrů OV MMV2/PV MMV	0,63
Poměr průměrů OV MMV1/PV MMV	0,68
Poměr průměrů OV VT/PV VT	0,51 – 0,73
Poměr průměrů PV MMV/PV VT	0,34 – 0,40
Poměr průměru OV MMV1/OV VT	0,37 – 0,45
Poměr průměru OV MMV2/OV VT	0,34 – 0,42
Poměr průměrů V MMV/V VT	0,12 – 0,18
Poměr hraničních průměrů vsázky a opěrného válce ve VT: V VT/OV VT	0,63 – 1,46
Poměr hraničních průměrů vsázky a opěrného válce v MMV: VMMV/OV MMV1	0,31 – 0,40
Poměr hraničních průměrů vsázky a opěrného válce v MMV: V MMV/OV MMV2	0,33 – 0,43

3.1 Porovnání původní a nové kalibrace opěrného válce při válcování lité vsázky

Vstupní materiál z oceli typu S355 podle EN 10210 byl odlit ve vlastním metalurgickém poloprovozu MMV do šamotových kruhových tvarovek o průměru 70 mm, poskládaných na sebe do výše odpovídající délce předlitku. Po ztuhnutí byly předlitky nařezány na délku 200 mm, osoustruženy na průměr 65 mm a tak byly získány polotovary pro děrovací stolici.

Na děrovací stolici se vyválcovaly dvě zkoušky s původní kalibrací OV a tři zkoušky s novou kalibrací OV. U vyděrovaných vývalků (kruhové duté polotovary – výděrky) se měřily tloušťky stěn a průměry ve třech místech po jejich délce (přední konec, střed a zadní konec). Na obou koncích se tyto geometrické parametry měřily ve vzdálenosti 30 mm od okraje vývalků, aby se tak eliminovaly chyby zapříčiněné deformací na koncích polotovarů. Průměr se měřil ve dvou na sebe kolmých směrech a tloušťka stěny se měřila ve čtyřech místech po obvodu vývalků, pootočených vždy o 90°. Nejčastější odchylka rozdílu mezi maximálním a minimálním průměrem při průměru vývalku 63 mm byla 0,2 mm, což představuje zhruba 0,3 % tohoto průměru.

Na obr. 1 a 2 je jako příklad dokumentován celkový vzhled a podélný řez výděrku u zkoušky 206-2. Je to výděrek válcovaný s novou kalibrací OV a je na něm vidět velmi dobrý jak vnější, tak vnitřní povrch.



Obr. 1 Povrch zkoušky 206-2
Fig. 1 Outer surface of 206-2 hollow specimen



Obr. 2 Podélný řez zkoušky 206-2 (vpravo přední konec)
Fig. 2 Lengthwise cut of 206-2 hollow specimen (right-front end)

V tab. 2 – 4 jsou uvedeny výsledky měření geometrických charakteristik výděrků. Dalšími hodnocenými údaji byly energosilové parametry, jako celková přitlačná síla na pracovní válce, spotřeba proudu a točivý moment. Tyto však údaje s ohledem na rozsah příspěvku v detailech nejsou uvedeny.

Tab. 2 Naměřené hodnoty průměru a tloušťky stěn vředků z oceli S355

Tab. 2 Measured diameters and wall thickness of pierced S355 steel hollow specimens

Parametr (mm)	Původní kalibrace - číslo zkoušky		Nová kalibrace - číslo zkoušky		
	204-2	204-4	205-1	205-2	206-2
průměr na začátku 1	65,0	65,2	63,1	62,8	63,3
průměr na začátku 2	64,8	-	-	-	-
průměr ve středu 1	63,9	64,1	61,9	61,6	62,8
průměr ve středu 2	63,8	-	-	-	-
průměr na konci 1	62,2	62,0	61,0	61,2	61,5
průměr na konci 2	61,9	-	-	-	-
tloušťka stěny na začátku 1	13,2	12,3	11,6	11,4	11,5
tloušťka stěny na začátku 2	12,9	12,4	12,1	11,7	12,1
tloušťka stěny na začátku 3	12,7	12,5	11,7	12,0	12,4
tloušťka stěny na začátku 4	12,7	12,6	12,2	12,1	12,5
tloušťka stěny ve středu 1	13,2	12,4	11,8	11,8	11,7
tloušťka stěny ve středu 2	12,7	12,9	11,7	11,7	12,2
tloušťka stěny ve středu 3	12,8	12,3	12,0	11,8	11,9
tloušťka stěny ve středu 4	12,6	12,8	12,2	12,1	12,2
tloušťka stěny na konci 1	12,8	12,4	12,2	12,1	12,2
tloušťka stěny na konci 2	12,7	12,9	12,5	12,1	12,2
tloušťka stěny na konci 3	12,7	13,2	12,3	12,0	12,7
tloušťka stěny na konci 4	12,8	12,9	12,4	12,0	12,3
koeficient prodloužení vývalku	1,615	1,555	1,735	1,730	1,710

Nastavení děrovacího procesu bylo shodné pro obě kalibrace OV, až na mírně vyšší deformaci či úběr tloušťky u vzorků děrovaných s novou kalibrací. Pokud jde o geometrii vývalků, pak tloušťka stěny byla v obou případech srovnatelná, u průměru byla zřetelně patrná rozdílná konicita vývalků. U nové kalibrace došlo k příznivému zmenšení konicity vývalků, kdy vzrostl poměr průměrů na koncích vývalků z původních hodnot 0,95 – 0,96 na 0,97, což je vzhledem ke zrovnoměnění rozměrů vředků před dalším válcováním trubek na poutnické stolici jednoznačný přínos. Z hlediska energetických podmínek děrování nebyly při laboratorním experimentu u rozdílných tvarů OV zjištěny významné rozdíly.

Tab. 3 Maximální rozdíl tlouštěk stěn pro jednotlivé vředky z oceli S355

Tab. 3 Maximum differences of wall thickness of pierced S355 steel hollow specimens

Parametr (mm)	Původní kalibrace číslo zkoušky		Nová kalibrace číslo zkoušky		
	204-2	204-4	205-1	205-2	206-2
minimální tloušťka stěny	12,6	12,3	11,6	11,4	11,7
maximální tloušťka stěny	13,2	13,2	12,5	12,1	12,7
rozdíl tloušťky	0,6	0,9	0,9	0,7	1,0

Tab. 4 Poměry průměrů vředků na začátku a na konci vzorku vypočtené z průměru dvou měření; ocel S355

Tab. 4 Ratios of diameters on front and back ends of S355 steel hollow specimens calculated from two measurements

Parametr	Původní kalibrace číslo zkoušky		Nová kalibrace číslo zkoušky		
	204-2	204-4	205-1	205-2	206-2
poměr průměrů vývalku	0,96	0,95	0,97	0,97	0,97

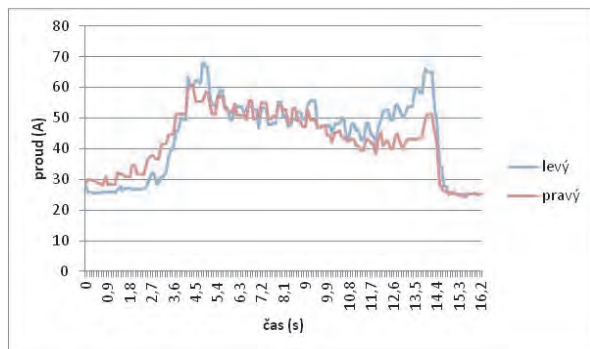
3.2 Porovnání původní a nové kalibrace opěrného válce při děrování vsázky z oceli 42CrMo4

Vsázka pro děrování oceli 42CrMo4 byla vyrobena z válcovaných kruhových tyčí průměru 63 mm. Pro zkoušky série 209 (tab. 5 – 7) byly nařezány výchozí polotovary délky 200 mm, pro zkoušky sérií 212 a 213 délky 150 mm. Chemické složení oceli odpovídalo normě EN 10297.

Série zkoušek označená 213 byla děrovaná na sestavě stroje s OV s původní kalibrací. Při všech těchto zkouškách vznikl nedovalek. V tomto případě lze hodnotit jediný rozměr, a to tloušťku stěny na předním konci vývalků (tab. 5 a 6). Odchylka tlouštěk stěn je v těchto případech v rozmezí 1,5 – 1,8 mm, což je i vzhledem k tomu, že nejsou k dispozici tloušťky v dalších místech, značný rozdíl, který by se pravděpodobně při válcování trubek na poutnické stolici dále zvětšoval.

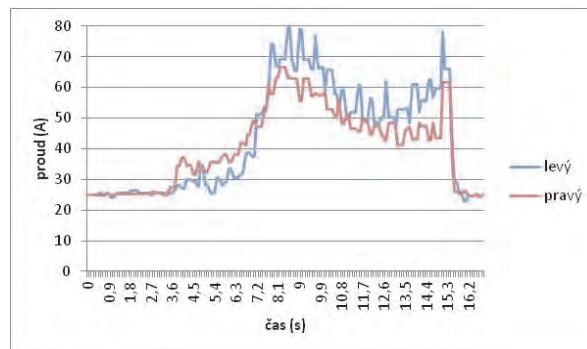
Další vzorky byly děrovány na sestavě stroje s opěrným válcem s novou kalibrací a navíc u nich byly měněny úhly mezi osami pracovních válců. Největší byl úhel 4,5° (zkouška 209-2), dále úhel 4° (zkouška 212-2, 212-3 a 212-4) a 3,5° (zkouška 209-4 a 212-1). Rozměry a jejich stabilita byly při obou nastaveních děrovací stolice podobné (tab. 5 a 6). Rozdílná byla dyna-

mika procesu, kdy při větším úhlu os mimoběžně uložených válců byl čas průchodu přibližně o 20 % kratší než při menším úhlu os. Vliv úhlu posuvu na proudovou charakteristiku je také dobře viditelný na obr. 3 a 4, kde při větším úhlu posuvu se dosahuje vyšších hodnot proudu za kratší čas.



Obr. 3 Závislost proudu na čase na obou pracovních válcích (vzorek 209-4)

Fig. 3 Electric current – piercing time dependence for both rolls (specimen 209-4)



Obr. 4 Závislost proudu na čase na obou pracovních válcích (vzorek 209-2)

Fig. 4 Electric current – piercing time dependence for both rolls (specimen 209-2)

Tab. 5 Naměřené hodnoty průměru a tloušťky stěn výděrků z oceli 42CrMo4

Tab. 5 Measured diameters and wall thickness of hollow specimens of 42CrMo4 steel

Parametr (mm)	Původní kalibrace - číslo zkoušky			Nová kalibrace - číslo zkoušky					
	213-1	213-2	213-3	209-2	212-2	212-3	212-4	209-4	212-1
průměr na začátku 1	62,3	62,8	62,7	65,0	61,4	62,1	61,8	64,2	61,3
průměr na začátku 2	62,2	63,1	62,6	65,2	61,4	61,9	61,6	63,8	61,1
průměr ve středu 1				63,2	61,0	61,7	61,1	62,1	60,8
průměr ve středu 2				63,1	61,1	61,9	60,9	62,2	60,9
průměr na konci 1				62,9	59,3	58,7	59,7	62,2	57,9
průměr na konci 2				63,0	59,2	58,3	59,7	62,2	58,3
tloušťka stěny na začátku 1	12,7	12,8	11,9	12,3	11,5	11,9	11,8	12,4	11,4
tloušťka stěny na začátku 2	11,9	11,3	11,1	12,5	11,5	11,9	11,9	12,6	11,4
tloušťka stěny na začátku 3	11,2	11,3	12,7	12,2	12,2	12,4	12,3	12,8	11,7
tloušťka stěny na začátku 4	12,4	12,3	12,9	12,1	11,4	12,3	12,2	12,3	12,0
tloušťka stěny ve středu 1				12,7	11,6	12,1	11,3	11,5	11,0
tloušťka stěny ve středu 2				12,6	11,4	11,9	11,3	11,7	11,8
tloušťka stěny ve středu 3				11,9	10,9	11,8	11,9	11,6	11,8
tloušťka stěny ve středu 4				12,5	11,2	12,3	11,3	11,8	11,0
tloušťka stěny na konci 1				14,1	13,3	11,2	11,6	13,3	
tloušťka stěny na konci 2				13,8	11,8	11,2	11,6	13,2	
tloušťka stěny na konci 3				13,5	9,6	12,5	12,4	12,8	
tloušťka stěny na konci 4				14,1	13,1	12,2	12,2	13,1	

Tab. 6 Maximální rozdíl tloušťek stěn pro jednotlivé vředky z oceli 42CrMo4

Tab. 6 Maximum differences of wall thickness of pierced 42CrMo4 steel hollow specimens

Parametr (mm)	Původní kalibrace - číslo zkoušky			Nová kalibrace - číslo zkoušky					
	213-1	213-2	213-3	209-2	212-2	212-3	212-4	209-4	212-1
minimální tloušťka stěny	11,2	11,3	11,1	11,9	9,6	11,2	11,3	11,5	11,0
maximální tloušťka stěny	12,7	12,8	12,9	14,1	13,3	12,5	12,4	13,3	12,0
rozdíl tloušťky	1,5	1,5	1,8	2,2	3,7	1,3	1,1	1,8	1,0

Tab. 7 Poměry průměrů trubek na začátku a na konci vředků vypočtené z průměru dvou měření; ocel 42CrMo4

Tab. 7 Ratios of diameters on front and back ends of 42CrMo4 steel hollow specimens calculated from two measurements

Parametr	Původní kalibrace - číslo zkoušky			Nová kalibrace - číslo zkoušky					
	213-1	213-2	213-3	209-2	209-4	212-1	212-2	212-3	212-4
poměr průměrů vývalku	trčák	trčák	trčák	0,97	0,97	0,95	0,96	0,94	0,97

3.3 Souhrnné hodnocení výsledků laboratorních zkoušek

Pro srovnání nové a původní kalibrace opěrného válce MMV bylo hodnoceno celkem 14 zkoušek, které byly vyrobeny ze dvou typů výchozí vsázky. Vizualním srovnáním vnějšího a vnitřního povrchu trubek u jakosti S355 se zjistila srovnatelná kvalita vnějšího povrchu a vyšší kvalita vnitřního povrchu. Četnost případných vad byla vyšší na předním konci vředků při použití původní kalibrace OV.

U oceli 42CrMo4 nebylo možno vizuálně srovnat povrchy dutých vývalků v závislosti na použitém OV, protože ve všech případech děrování na OV s původní kalibrací vznikl nedovalek (obr. 5), jehož vnější povrch byl navíc ovlivněn (vyhlazen) prokluzem mezi válci. U zkoušek, při nichž se použil nový OV, je možno označit děrování této legované oceli jako úspěšné, jak dokazuje příklad na obr. 6. Podobně jako u oceli S355 se v určitém rozsahu vyskytovaly vady na vnitřním povrchu ve viditelně větším rozsahu na předním konci vředků.



Obr. 5 Nedovalky 213-1, 2 a 3 z oceli 42CrMo4 (vpravo přední konec)

Fig. 5 Half-pierced specimens 213-1, 2, 3 of 42CrMo4 steel (right-front end)



Obr. 6 Vnější a vnitřní povrch zkoušky 209-2 (vlevo přední konec)

Fig. 6 Outer and inner surfaces of 209-2 specimen (left – front end)

4. Ověření optimalizačního účinku nového tvaru opěrného válce ve Válcovně trub v TŽ, a.s.

Na základě MM a laboratorních experimentů děrování oceli typu S355 a 42CrMo4 se zjistilo, že pro rozměrovou stabilitu vředku, jako meziodroduktu pro další válcování trubek na poutnické stolici, je výhodnější nově navržená kalibrace OV. Při jejím použití se také významně zlepšuje průchodnost materiálu nebo děrovatelnost v podmínkách kosého válcování, jak prokázal výskyt nedovalků při použití původní kalibrace OV ve srovnání s úspěšným děrováním legované oceli při použití OV s novou kalibrací.

OV s novou kalibrací byly rovněž průmyslově nasazeny ke zkušebnímu provozu v podmínkách VT. Zde se plně a jednoznačně projevil příznivý vliv nové kalibrace na kvalitu vředků, jak ho naznačily modelové zkoušky na laboratorní děrovací stolici. Kromě toho se při větším rozsahu ověřování v provozních podmínkách ve srovnání s laboratorními možnostmi zjistil i další pozitivní dopad nové kalibrace, a to ve snížení energetické spotřeby průmyslové děrovací stolice.

Závěr

Tento příspěvek má na příkladu optimalizace tvaru OV děrovacího stroje dokumentovat komplexní přístup při řešení úloh tváření na novém experimentálním a modelovém vybavení pracoviště výzkumu tváření MMV (od teoretického řešení problému pomocí mate-

matického modelování přes numerickou simulaci až po laboratorní fyzikální simulaci). V konkrétní oblasti procesů tváření při výrobě bezešvých trubek budou práce pokračovat řešením dalších důležitých částí systému, zejména návrhu děrovacích trnů.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] PERNA, T. HMM TP-Complex 1992-2010. Copyright.
- [2] <http://www.transvalor.com/en/>.
- [3] BARNA, S. Why Is Finite Element Modeling Not Numerical Simulation?, ESRD Technical Brief, http://www.esrd.com/%5CPortals%5C0%5CDownloads-%5Cdocs%5CTechnical%20Briefs%5CNoFEM_TechBrief.pdf [cit. 2014-01-02].
- [4] UNUCKA, P. Laboratorní zařízení pro výzkum technologických procesů válcování bezešvých trubek. *Hutnické listy*, 65 (2012) 6, 48–52.
- [5] NOGA, R., UNUCKA, P., TUROŇ, R., JURČA, R. Ověřování procesních parametrů děrování na laboratorní válcovací stolici. *Hutnické listy*, 67 (2014) 4, 36–39.
- [6] Užitiný vzor PUV 2013-27360 Opěrný válec děrovací stolice.

Druhý největší výrobce oceli v Británii říká, že průmysl zemře, pokud vláda zůstane neaktivní

The Guardian

05.04.2016

Evropský ocelářský průmysl sklouzává do stále větší krize. Přesto zpráva, že se Tata Steel chce zbavit svého ocelářského obchodu v Británii, zapůsobila jako bomba. Oceláři ve Walesu jsou v šoku, odbory jsou rozhořčeny a premiér Cameron přepnul ihned činnost do krizového módu. Bezradní jsou všichni. Celkově je ohroženo 15 000 pracovních míst, z toho akutně v Port Talbot 5 500. Výchozí situací je fakt, že Tata Steel vyrábí denně ve svých britských závodech ztrátu milion liber. Podle Indů si to již nemohou déle dovolit. Problémem je, že chtějí nyní podnik prodat, je pouhé přání. Takové závaží si nikdo nechce uvázat k noze. Ještě větší problém je, že Londýnem se šíří zpráva, že v nejlepším případě se snad najdou zájemci jen o určité části podniků, podniky tedy budou rozbity. Další obava: Indové ve skutečnosti v prodej vůbec nevěří a chtějí podniky jednoduše zavřít.

Thyssenkrupp se stává u brazilské ocelárny jediným u kormidla

Börsen-Zeitung

06.04.2016

Thyssenkrupp se stává jediným majitelem stále ještě deficitní ocelárny CSA v Brazílii. Essenský koncern se dohodl se svým brazilským partnerem Vale o převzetí 26,87 % akcií, které doposud kontroloval těžařský obr. Podle sdělení podniku, byla zaplacená jen symbolická cena. Koncern Vale se na miliardové špatné investici, která u Thyssenkrupp vyvolala existenční krizi, podílel původně 10 %. Těžařský koncern pak v roce 2009 svůj podíl za zaplacení 965 milionů € navýšil na 27 %. Thyssenkrupp se již v roce 2013 pokoušel problémového podniku zbavit, nenašel ale žádného kupce, což bylo zaviněno i komplexními smlouvami s brazilským partnerem. Jako jediný vlastník má teď německý koncern mnohem lepší šance ocelárnu prodat.

Srbsko se oddělilo od ocelárny Smederevo

Stahl Aktuell

06.04.2016

Srbská vláda podle očekávání přijala nabídku na převzetí ocelárny Smederevo od čínského koncernu Hebei iron and Steel Co (HBIS). Jak informoval státní vysílač RTS, nabídli Číňané za ocelárnu s 5 000 zaměstnanci 46 milionů €. Jak informují bělehradská média, musí Srbsko přesvědčit Brusel, že HBIS bude na evropském trhu nabízet jen výrobky ze Smedereva a ne výrobky přímo z Číny. Je nutno také vyjasnit, zda Srbsko tím, že převzalo dluhy ocelárny ve výši 470 milionů €, neporušilo stabilizační a asociační smlouvu s EU.

Příklady použití disků s „U“ vrubem pro stanovení tranzitní teploty T_{SP} z výsledků penetračních testů

Examples of the Use of Discs with a "U" Notch for Determining the Transition Temperature T_{SP} of the Penetration Tests Results

prof. Ing. Karel Matocha, CSc.; Ing. Ondřej Dorazil; Ing. Miroslav Filip

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

V příspěvku jsou shrnuty výsledky získané při studiu vlivu disku s „U“ vrubem o hloubce 0,2 mm na tranzitní teplotu penetračních testů T_{SP} pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 v dodaném stavu a po dodatečném tepelném zpracování 800 °C/2 hod./vzduch, které vyvolalo významný pokles meze kluzu, meze pevnosti i tranzitní teploty FATT. Získané výsledky ukázaly, že pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 v dodaném stavu nevede přítomnost „U“ vrubu v tranzitní oblasti penetračních testů, na rozdíl od oceli 14MoV6-3, k posunu lomové energie E^{SP} k vyšším teplotám. Poměry $T_{SP}/FATT$ získané na zkušebních tělesech s „U“ vrubem jsou pro oceli 14MoV6-3 (15 128) a P92 přibližně stejné na rozdíl od poměrů $T_{SP}/FATT$ stanovených na zkušebních tělesech bez vrubu, které se významně liší.

Klíčová slova: penetrační test; lomová energie penetračního testu E^{SP} ; tranzitní teplota penetračního testu T_{SP} ; zkušební těleso tvaru disku; tranzitní teplota FATT

The paper summarizes the results obtained when studying the influence of the disc with a "U" notch 0.2 mm in depth on transition temperature of penetration tests T_{SP} for material of pipe made of P92 steel in delivered state and after subsequent heat treatment of 800 °C/2 hours/air, which caused a significant decrease in yield strength, ultimate strength and transition temperature FATT. The results obtained showed that for the material of pipe made of P92 steel in delivered state the "U" notch does not shift the fracture energy in the transition area of the penetration tests, unlike the steel 14MoV6-3, to higher temperatures. Ratios $T_{SP}/FATT$ obtained on specimens with a "U" notch are for the steels 14MoV6-3 (15 128) and P92 approximately the same, unlike $T_{SP}/FATT$ determined on specimens without a notch, which differ significantly.

Key words: penetration test; small punch fracture energy E^{SP} ; transition temperature of penetration test T_{SP} ; disc shape test specimen; transition temperature FATT

Penetrační testy patří mezi zkušební metody umožňující stanovit aktuální mechanické vlastnosti z malého množství zkušebního materiálu odebraného z vnějšího nebo vnitřního povrchu kritických míst dlouhodobě provozovaných zařízení bez nutnosti jejich následných oprav [1]. Princip penetračního testu je detailně popsán v práci [2]. V současné době je tato zkušební metoda používána pro stanovení [3]:

- meze kluzu materiálu,
- meze pevnosti materiálu,
- tranzitní teploty DBTT (Ductile Brittle Transition Temperature) přechodu křehký-tvárný lom; tranzitní teplota může být určena buď teplotou FATT (Fracture Appearance Transition Temperature), nebo např. T_{41J} , tedy teplotou odpovídající nárazové práci 41 J,
- lomové houževnatosti,
- charakteristik tečení.

Dle doporučení CWA 15627 Part B [3] existují dva významně odlišné přístupy ke stanovení pevnostních

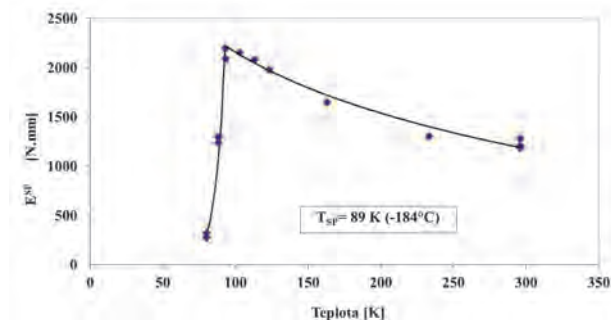
charakteristik a lomové houževnatosti z výsledků penetračních testů:

1. empirické korelace mezi výsledky penetračních testů a výsledky standardizovaných zkoušek,
2. metody využívající matematického modelování pomocí metody konečných prvků a neuronových sítí.

Tranzitní teplota (DBTT) je však doposud stanovována pouze z empirických korelací mezi tranzitní teplotou stanovenou z výsledků standardizovaných zkoušek Charpy V a tranzitní teplotou penetračních testů T_{SP} , určenou z výsledků penetračních testů v rozmezí teplot -193 až +20 °C. Tranzitní oblast penetračních testů je však posunuta k výrazně nižším teplotám vzhledem k tranzitní oblasti stanovené na standardizovaných zkušebních tělesech Charpy [4].

Tranzitní teplota T_{SP} je dle CWA 15627 definována jako teplota odpovídající polovině součtu maximální a minimální lomové energie vypočtené metodou nejmenších čtverců z teplotní závislosti stanovené z experimentálně naměřených dat v tranzitní oblasti.

Zásadní rozdíl mezi penetračními testy a standardizovanou zkouškou rázem v ohybu spočívá v tom, že pro penetrační testy CWA 15627 doporučuje používat zkušební tělesa tvaru disku o průměru 8 mm a tloušťce 0,5 mm bez vrubu [5]. Především u houževnatých materiálů je pak teplotní závislost lomové energie v tranzitní oblasti velmi strmá a je blízká teplotě kapalného dusíku (obr. 1).

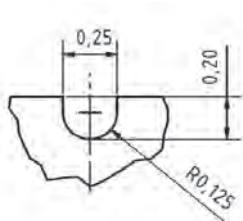


Obr. 1 Teplotní závislost lomové energie penetračního testu E^{SP} materiálu trubky $\varnothing 457 \times 28$ mm z oceli 14MoV6-3 po tepelném zpracování $940^\circ\text{C}/1$ hod./pec + $720^\circ\text{C}/2$ hod./vzduch ($FATT = -22^\circ\text{C}$)

Fig. 1 Temperature dependence of fracture energy of the penetration test E^{SP} (pipe $\varnothing 457 \times 28$ mm made of 14MoV6-3 steel after heat treatment $940^\circ\text{C}/1$ hr./furnace + $720^\circ\text{C}/2$ hr./air, ($FATT = -22^\circ\text{C}$))

Postup doporučený v CWA pro stanovení T_{SP} může tak vést k významným chybám při jejím stanovení. Snaha posunout tranzitní teplotu T_{SP} k vyšším teplotám vedla k návrhu zkušebních disků s vrubem. Avšak použití ostrého kruhového vrubu s poloměrem čela vrubu menším než $5\ \mu\text{m}$ nevedlo k posuvu tranzitní teploty T_{SP} blíže k tranzitní teplotě $FATT$ stanovené z výsledků zkoušek rázem v ohybu Charpy V [6]. Rovněž použití dvou na sebe kolmých vrubů v ose roviny disku o hloubce 0,05 mm a poloměru 0,04 mm nevedlo k významnému posuvu tranzitní teploty T_{SP} u oceli SA 508 Class 3 [7].

V rámci bilaterálního projektu v programu MŠMT KONTAKT II č. LH12199 „Porovnání zkušebních postupů pro stanovení mechanických vlastností pomocí penetračních testů mezi EU a Čínou“ bylo navrženo zkušební těleso tvaru disku s „U“ vrubem v ose roviny disku o hloubce 0,2 mm (obr. 2) [8].

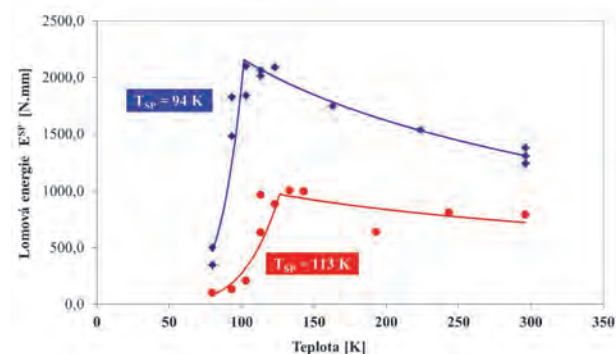


Obr. 2 Zkušební těleso tvaru disku s „U“ vrubem v ose roviny disku [1, 5]

Fig. 2 Disc test specimen with a „U“ notch in the axis of the disc plane [1, 5]

Na obr. 3 jsou uvedeny teplotní závislosti lomové energie penetračního testu T_{SP} stanovené pro materiál

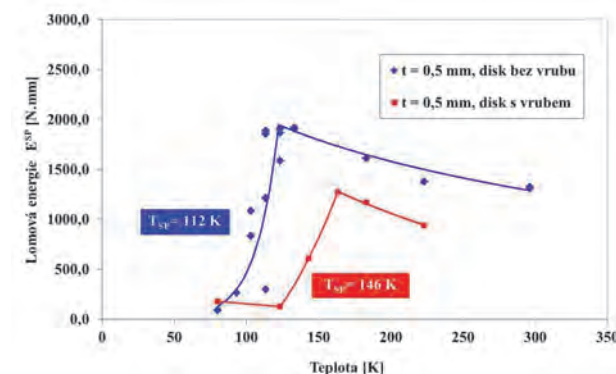
neprovozané trubky $\varnothing 457 \times 28$ mm vyrobené z oceli 14MoV6-3 (15 128) po tepelném zpracování $940^\circ\text{C}/1$ hod/vzduch + $720^\circ\text{C}/2$ hod/vzduch. Z oceli 15 128 je vyrobena většina parovodů na českých uhelných elektrárnách. Teplota $FATT$ stanovená na zkušebních tělesech Charpy V je rovna $FATT = -10^\circ\text{C}$ (263 K) [9]. Poměr teploty $T_{SP}/FATT$ uváděný v literatuře v rozmezí $T_{SP}/FATT = 0,36 - 0,43$ [2, 6, 7] se použitím zkušebních disků s vrubem zvýšil z hodnoty $T_{SP}/FATT = 0,36$ na hodnotu $T_{SP}/FATT = 0,43$.



Obr. 3 Vliv vrubu na teplotní závislost lomové energie penetračního testu. Trubka $\varnothing 457 \times 28$ mm vyrobená z oceli 14MoV6-3 po tepelném zpracování $940^\circ\text{C}/1$ hod./vzduch + $720^\circ\text{C}/2$ hod./vzduch. Rychlost pohybu příčnicku $1,5\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, razník o průměru 2 mm.

Fig. 3 The effect of the notch on the temperature dependence of fracture energy of penetration test. Pipe $\varnothing 457 \times 28$ mm made of 14MoV6-3 steel after heat treatment $940^\circ\text{C}/1$ hour/air + $720^\circ\text{C}/2$ hr/air. Crosshead speed $1.5\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, punch diameter 2.0 mm.

Na obr. 4 jsou uvedeny teplotní závislosti lomové energie penetračního testu T_{SP} stanovené pro materiál komory výstupního mezipřehříváku vyrobeného z oceli 14MoV6-3 a exponovaného po dobu 90 000 hodin na teplotě 540°C . Teplota $FATT$ stanovená na zkušebních tělesech Charpy V je rovna $FATT = +71^\circ\text{C}$ (344 K) [8]. Poměr teploty $T_{SP}/FATT$ se použitím zkušebních disků s vrubem v tomto případě zvýšil z hodnoty $T_{SP}/FATT = 0,33$ na hodnotu $T_{SP}/FATT = 0,42$.



Obr. 4 Vliv „U“ vrubu na posuv tranzitní teploty penetračního testu T_{SP} pro materiál komory výstupního mezi-přehříváku exponovaného po dobu 90 000 hodin na teplotě 540°C . Rychlost pohybu příčnicku $1,5\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, razník o průměru 2 mm.

Fig. 4 Effect of the „U“ notches on shift in transition temperature of penetration test T_{SP} for material of superheater outlet header exposed for 90,000 hours to the temperature of 540°C . Crosshead speed $1.5\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, punch diameter 2 mm.

V předloženém příspěvku jsou uvedeny teplotní závislosti lomové energie penetračního testu T_{SP} stanovené na zkušebních discích o průměru 8 mm a tloušťce 0,5 mm bez vrubu a s „U“ vrubem v rovině disku pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 v dodaném stavu a po dodatečném tepelném zpracování.

1. Zkušební materiál

Jako zkušební materiál byla použita neprovozovaná trubka $\varnothing 219,1 \times 22,2$ mm, vyrobená z oceli P92. Ocel P92 (X10CrWMoVNb9-2) je martenzitická ocel s 9 % Cr koncipovaná pro využití v energetických zařízeních s nadkritickými parametry. V tab. 1 je uvedeno kontrolní chemické složení materiálu trubky provedené v akreditované laboratoři č. 1300.

Tab. 1 Chemické složení materiálu trubky [hm. %]

Tab. 1 Chemical content of the pipe material [wt. %]

C	S	Mn	Si	P	Cu	Ni	Cr
0,12	0,009	0,53	0,24	0,012	0,050	0,13	8,56
Mo	V	Ti	Nb	W	Co	N	Al _{tot.}
0,43	0,19	<0,005	0,062	1,63	0,007	0,045	0,009

Pro posouzení vlivu „U“ vrubu na tranzitní teplotu penetračního testu T_{SP} byla teplotní závislost lomové energie penetračního testu E^{SP} stanovena pro materiál trubky v dodaném stavu a po popuštění na teplotě 800 °C/2 hod/ vzduch.

Výsledky standardizovaných zkoušek v tahu při pokojové teplotě, které byly prováděny na válcových zkušebních tělesech o průměru 8 mm orientovaných v tangenciálním směru, a teploty $FATT$ stanovené na zkušebních tělesech Charpy V orientovaných rovněž v tangenciálním směru jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti stanovené na standardizovaných zkušebních tělesech

Tab. 2 Mechanical properties determined on the standardized test specimens

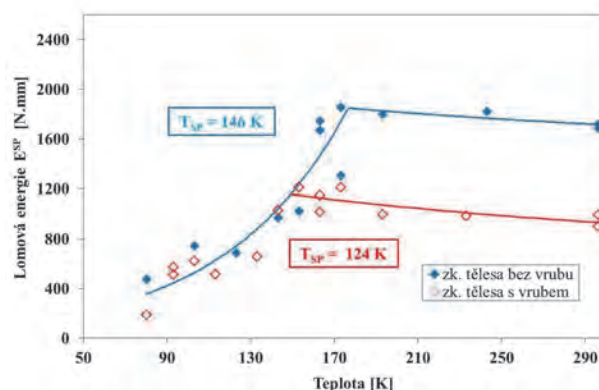
Stav	$R_{p0,2}$	R_m	A	Z	$FATT$
	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[°C]
dodaný	679	808	18,0	61	-3
popuštění 800 °C/ 2 hod/vzduch	502	675	26,8	67	-22

Popuštění na teplotě 800 °C mělo za následek významný pokles meze kluzu, meze pevnosti i tranzitní teploty $FATT$. Pro posouzení vlivu „U“ vrubu na tranzitní teplotu T_{SP} byly vyrobeny zkušební disky ve dvou provedeních, a to bez vrubu o průměru 8 mm a tloušťce 0,49 mm a s „U“ vrubem (obr. 2) o průměru 8 mm a tloušťce 0,49 mm a hloubce vrubu 0,2 mm.

2. Penetrační testy

Penetrační testy v rozmezí teplot -193 až +23 °C byly prováděny razníkem s hemisférickou plochou o průměru 2 mm na servomechanickém zkušebním zařízení LabTest 5.10ST rychlostí pohybu příčnicku 1,5 mm·min⁻¹. V průběhu každého testu byla snímána závislost síla – posunutí příčnicku. Po ukončení každého testu byla vypočtena lomová energie E^{SP} dle kap. 7.2 CWA 15627.

Na obr. 5 jsou porovnány teplotní závislosti lomové energie penetračního testu T_{SP} stanovené pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 na zkušebních tělesech bez vrubu a s „U“ vrubem.

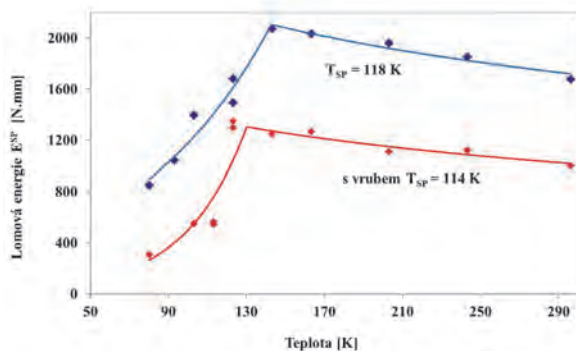


Obr. 5 Vliv „U“ vrubu na teplotní závislost lomové energie penetračního testu T_{SP} pro materiál neprovozované trubky z oceli P92. Rychlost pohybu příčnicku 1,5 mm·min⁻¹, razník o průměru 2 mm.

Fig. 5 The Influence of the „U“ notch on the temperature dependence of fracture energy of penetration test T_{SP} for material of pipe made of P92 steel. Crosshead speed 1.5 mm·min⁻¹, punch diameter 2 mm.

Z obr. 5 je zřejmé, že rozdíl trendu mezi energiemi zjištěnými z testu s a bez vrubu nebyl v tranzitní oblasti v rámci rozptylu hodnot rozpoznatelný. Lomová energie penetračního testu se skládá z energie pro iniciaci a šíření lomu. Z obr. 5 je tedy zřejmé, že energie pro iniciaci lomu je v tranzitní oblasti u této oceli nízká.

Na obr. 6 je uveden vliv „U“ vrubu na teplotní závislost lomové energie penetračního testu T_{SP} pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 po popuštění 800 °C/2hod./vzduch. Popuštění tímto režimem vedlo nejen k poklesu meze kluzu, meze pevnosti a teploty $FATT$, ale rovněž k významnému poklesu tranzitní teploty T_{SP} . V tomto případě jsou lomové energie penetračních vzorků s vrubem posunuty v tranzitní oblasti k vyšším teplotám přesto, že k posunu tranzitní teploty T_{SP} k vyšší teplotě nedošlo. Popuštění však vedlo k významnému zvýšení energie pro iniciaci lomu penetračního testu.



Obr. 6 Vliv „U“ vrubu na teplotní závislost lomové energie penetračního testu T_{SP} pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 po popuštění 800 °C/2 hod/vzduch. Rychlost pohybu příčnicku 1,5 mm·min⁻¹, razník o průměru 2 mm.

Fig. 6 The influence of the „U“ notch on the temperature dependence of fracture energy of the penetration test T_{SP} for the material of pipe made of P92 steel after tempering 800 °C/2 hr/air. Crosshead speed 1.5 mm·min⁻¹, punch diameter 2 mm.

3. Diskuse výsledků

V tab. 3 jsou pro oba sledované stavy oceli P92 uvedeny teploty T_{SP} stanovené na zkušebních tělesech s vrubem a bez vrubu a poměry $T_{SP}/FATT$.

Tab. 3 Vliv „U“ vrubu na tranzitní teplotu T_{SP} a poměr $T_{SP}/FATT$ pro oba sledované stavy oceli P92

Tab. 3 Effect of a „U“ notch on the temperature T_{SP} and the relation $T_{SP}/FATT$ for both monitored states of steel P92

Stav	(T_{SP}) bez vrubu	$T_{SP}/FATT$	(T_{SP}) s vrubem	$T_{SP}/FATT$
	[K]	[1]	[K]	[1]
dodaný	146	0,54	124	0,46
po popuštění	118	0,47	114	0,45

V tab 4 jsou pak tyto hodnoty uvedeny pro oba dříve sledované stavy oceli 14MoV6-3 (dodaný stav (DS) po TZ a ocel 14MoV6-3 po expozici 90 000 hod. na teplotě 540 °C.

Tab. 4 Vliv „U“ vrubu na tranzitní teplotu T_{SP} a poměr $T_{SP}/FATT$ pro oba sledované stavy oceli 14MoV6-3

Tab. 4 Effect of a „U“ notch on the temperature T_{SP} and the relation $T_{SP}/FATT$ for both monitored states of steel 14MoV6-3

Stav	(T_{SP}) bez vrubu	$T_{SP}/FATT$	(T_{SP}) s vrubem	$T_{SP}/FATT$
	[K]	[1]	[K]	[1]
DS+TZ	94	0,36	113	0,43
po 90000 hod.	112	0,33	146	0,42

V tab. 5 a tab. 6 jsou uvedeny tranzitní teploty T_{SP} a poměry $T_{SP}/FATT$ stanovené na discích bez vrubu a s vrubem pro oba sledované materiály.

Tab. 5 Tranzitní teploty T_{SP} a poměry $T_{SP}/FATT$ stanovené na discích bez vrubu pro oba sledované materiály

Tab. 5 Transition temperatures T_{SP} and ratio $T_{SP}/FATT$ determined using discs without notch for both material under investigation

Materiál	Stav	T_{SP}	$FATT$	$T_{SP}/FATT$
		[K]	[K]	[1]
14MoV6-3	DS po TZ	94	263	0,36
14MoV6-3	po expozici	112	344	0,33
P92	DS	146	270	0,54
P92	DS po TZ	118	251	0,47

Tab. 6 Tranzitní teploty T_{SP} a poměry $T_{SP}/FATT$ stanovené na discích s vrubem pro oba sledované materiály

Tab. 6 Transition temperatures T_{SP} and ratio $T_{SP}/FATT$ determined using discs with notch for both material under investigation

Materiál	Stav	T_{SP}	$FATT$	$T_{SP}/FATT$
		[K]	[K]	[1]
14MoV6-3	DS po TZ	113	263	0,43
14MoV6-3	po expozici	146	344	0,42
P92	DS	124	270	0,46
P92	DS po TZ	114	251	0,45

Z tab. 5 a tab. 6 je zřejmé, že poměry $T_{SP}/FATT$ stanovené na discích bez vrubu se na rozdíl od těchto poměrů stanovených na discích s vrubem významně liší pro oba sledované materiály. Pro málo odlišné teploty $FATT$ (263 K pro ocel 14MoV6-3 v DS po TZ, 270 K pro materiál P92 v DS) se teploty T_{SP} stanovené na discích bez vrubu významně liší (94 K pro ocel 14MoV6-3, 146 K pro ocel P92).

Obě oceli se liší mikrostrukturou. Zatímco mikrostruktura oceli 14MoV6-3 je tvořena směsí feritu a bainitu, mikrostruktura oceli P92 je tvořena martenzitem.

U disků bez vrubu je energie do porušení tvořena energií do iniciace lomu a energií pro šíření lomu, zatímco energie do porušení u zkoušky rázem v ohybu Charpy V je závislá především na energii pro šíření lomu. Rozdíl v poměru $T_{SP}/FATT$ u obou materiálů je tedy možno přisoudit významně odlišným energiím pro iniciaci lomu u mikrostruktury feriticko-bainitické a martenzitické. U disků s vrubem je potlačen vliv rozdílné energie pro iniciaci lomu a poměry $T_{SP}/FATT$ jsou pro oba materiály přibližně stejné.

4. Závěr

Z výsledků standardizovaných zkoušek tahem při laboratorní teplotě, zkoušek rázem v ohybu na zkušebních tělesech Charpy V a z výsledků penetračních testů na zkušebních discích bez vrubu a s „U“ vrubem pro dva stavy materiálu neprovozované trubky z oceli P92 a pro materiál 14MoV6-3 lze shrnout takto:

1. Pro materiál neprovozované trubky z oceli P92 v dodaném stavu nevede přítomnost „U“ vrubu v tranzitní oblasti penetračních testů, na rozdíl od oceli 14MoV6-3, k rozpoznatelnému posunu lomové energie E^{SP} k vyšším teplotám.
2. Popuštění na teplotu 800 °C/2 hod/vzduch materiálu neprovozované trubky z oceli P92 vede k významnému poklesu meze kluzu, meze pevnosti, tranzitní teploty $FATT$ i tranzitní teploty penetračních testů T_{SP} .
3. Pro materiál trubky z oceli P92 po popuštění na teplotu 800 °C/2 hod/vzduch vede přítomnost „U“ vrubu k posunu lomové energie E^{SP} k vyšším teplotám.
4. U oceli P92 se použitím „U“ vrubu posun tranzitní teploty T_{SP} k vyšším hodnotám nepodařilo potvrdit ani po popuštění na teplotu 800 °C/2 hod/vzduch, přestože v tranzitní oblasti teplotní závislosti lomové energie jsou lomové energie E^{SP} posunuty k vyšším teplotám.
5. Pro zkušební disky opatřené vrubem je poměr $T_{SP}/FATT$ stejný pro oba sledované stavy oceli na rozdíl od výsledků získaných na vzorcích bez vrubu.
6. Poměry $T_{SP}/FATT$ získané na zkušebních tělesech s „U“ vrubem jsou pro oceli 14MoV6-3 (15 128) a P92 přibližně stejné, na rozdíl od poměrů $T_{SP}/FATT$ stanovených na zkušebních tělesech bez vrubu, které se významně liší. Tato skutečnost je zřejmě důsledkem potlačení vlivu rozdílné energie pro iniciaci lomu pro obě sledované oceli u disků s vrubem.
7. Závěry učiněné z výsledků penetračních testů prováděných na hladkých a vrubovaných discích z oceli 14MoV6-3 a P92 budou ověřovány u dalších typů feritických ocelí.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 „Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] DORAZIL, O., MATOCHA, K., KANDER, L., GUAN, K., XU, Y. Vliv „U“ vrubu na tranzitní teplotu penetračních testů TSP. *Hutnické listy*, 67 (2014) 5, 33–36.
- [2] MATOCHA, K. *Hodnocení mechanických vlastností konstrukčních ocelí pomocí penetračních testů*. Monografie. Ostrava: VŠB-TU Ostrava & MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., 2010. ISBN 978-80-248-2223-5.
- [3] CEN WORKSHOP AGREEMENT “Small Punch Test Method for Metallic Materials” CWA 15627:2007 D/E/F, December 2007.
- [4] HURST, R.C., MATOCHA, K. Where are we now with the European Code of Practice for small punch testing? In. *2nd Int. Conf. SSTT “Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques”*, October 2nd to 4th, 2012, Ostrava, Czech Republic, pp. 4–18. ISBN 978-80-260-0079-2.
- [5] HURST, R., MATOCHA, K. Experiences with the European Code of Practice for Small Punch Testing for Creep, Tensile and Fracture Behaviour. In. *3rd Int. Conf. SSTT “Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques”*, Castle Seggau near Graz, Austria, September 23 to 25, 2014, pp. 1–26. ISBN 978-80-260-6722-1.
- [6] TURBA, K., GÜLCIMEN, B., LI, Y., BLAGOEVA, D., HÄHNER, P., HURST, R. Introduction of a New Notched Specimen Geometry to Determine Fracture Properties by Small Punch Testing. *Engineering Fracture Mechanics*, 78 (November 2011) 16, 2826–2833.
- [7] ADAMS, J., BACHE, M. R., HURST, R. C., BORRADAILE, J. B. Ductile-brittle Transition Characterization of Reactor Pressure Vessel Steels Using Notched Small Punch Specimens. In. *3rd Int. Conf. SSTT “Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques”*, Castle Seggau near Graz, Austria, September 23 to 25, 2014, pp. 81–90. ISBN 978-80-260-6722-1.
- [8] MATOCHA, K. *Výsledky penetračních testů a standardizovaných zkoušek materiálu 14MoV6-3 po dlouhodobém provozu na teplotě 540 °C*. Návrh revize dokumentu CWA 5627 “Small Punch Test Method for Metallic Materials”. Závěrečná zpráva Z-12/2014, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., prosinec 2014.
- [9] MATOCHA, K. *Porovnání korelačních závislostí pro stanovení mechanických vlastností z výsledků penetračních testů pro ocel 14MoV6-3 v dodaném stavu stanovených v laboratořích MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. a East China University of Science and Technology, Shanghai*. Dílčí zpráva D-13/2013, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., prosinec 2013.

Železnorudné cenové rallye pomalu dochází dech

Börsen-Zeitung

07.04.2016

Cena železné rudy, která byla v minulosti pokládána za indikátor pro vývoj světové konjunktury, se k překvapení mnoha účastníků trhu stala od začátku letošního roku velmi perspektivní záležitostí. Od nejnižší hodnoty v prosinci 2015 se cena železné rudy zvýšila o více než 40 %. Zotavení v lednu a únoru se dostavilo poté, co čínská vláda prohlásila, že chce novými investicemi posílit hospodářský růst. Podle agentury Bloomberg se ale ukazuje, že rallye bude pomalu končit. Zásoby rudy v čínských přístavech se zvedly opět na více než 100 milionů tun, protože někteří producenti – mezi nimi například koncerny BHP a Rio Tinto – znovu zvýšily produkci. Naproti tomu se výrazně staví na nohy ceny ropy. Termínové kontrakty na květen za barel ropy Brent kotovaly v Londýně na 39,80 dolaru a byly tak o 5,1 % vyšší než den předtím. V New Yorku stoupla cena termínového kontraktu na červen na ropu WTI o 5 % na 37,70 dolaru.

Vývoj a výroba zkušebních strojů a zařízení pro zkoušení miniaturizovaných vzorků, návrh úprav CWA 15627

Development of Testing Machines and Equipment for Small Punch Testing, Proposals for Improvement of CWA 15627

Ing. Daniel Omacht; Zdeněk Kubánek; Roman Doležal

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Potřeba stanovení mechanických vlastností materiálů strojních součástí pracujících v provozních podmínkách bez nutnosti odstavení strojního celku a dezintegrace strojní součásti v minulosti vedlo k vývoji miniaturizovaných zkušebních těles spojeným se vznikem speciálních zkušebních postupů a metod. Během mnoha let byly vyvinuté metody zpřesňovány, výsledky porovnávány s konvenčními zkušebními metodami, tvar a rozměry zkušebních těles byly modifikovány. Enormní rozvoj informačních technologií umožnil vznik nové vědní oblasti – mechatroniky – spojení a kombinace několika inženýrských oborů jako matematiky, strojírenství, teorie obvodů, elektroniky, pohonů, telekomunikace, teorie a prostředků řízení, zpracování signálu a robotiky. Mechatronika, vývoj nových materiálů, metod CNC obrábění u kovových i nekovových materiálů, miniaturizace snímačů fyzikálních veličin, možnosti rychlého, přesného snímání a znamenávání dat výrazně ovlivnily oblast vývoje zkušebních zařízení a umožnily konstruovat stroje, což v minulosti nebylo touto cestou možné.

Obsahem příspěvku je představení nejnovější konstrukce, vlastností a realizovaných výsledků zkušebního zařízení pro stanovení zbytkové životnosti strojních součástí pracujících za zvýšených teplot (SPUTT500®), zařízení pro zkoušení malých vzorků za normálních a snížených teplot (CRYOSET®) a bezvrubového odběrového zařízení (ESTIM®) sloužícího nejenom pro další výzkum, rozvoj a hodnocení technologie zkoušení malých vzorků dle CWA 15627, ale především pro stanovení mechanických vlastností provozovaných strojních zařízení. Závěrečná část příspěvku se zabývá návrhem úprav stávajícího předpisu pro provádění penetračních testů (CWA 15627).

Klíčová slova: SPT; SPCT; SPUTT 500; ESTIM; CRYOSET; penetrační testy miniaturizovaných vzorků; CWA 15627; zkoušení miniaturizovaných vzorků

The need to determine the mechanical properties of materials of machine parts working in operating conditions without shutdown of the entire unit and disintegration of machine parts in the past led to the development of miniaturized specimens associated with the generation of special test procedures and methods. During many years the developed methods were continuously enhanced, the results were compared with conventional testing methods, the shape and dimensions of specimens were modified. The enormous development of information technologies in the last decades enabled the emergence of a new field of science - mechatronics - a multidisciplinary field of engineering that includes a combination of systems engineering, mechanical engineering, electrical engineering, telecommunications engineering, control engineering and computer engineering. Progress in the field of mechatronics, together with development of new materials, new CNC machining methods for metallic and non-metallic materials, miniaturization of sensors of physical quantities, fast, accurate data sampling and recording, significantly influenced the development of the testing devices and allowed to construct machines, which were not possible in the past.

Content of this paper presents the latest design and features of a test device for determining the residual life of machine components working at elevated temperatures (SPUTT500®), equipment for tensile and fracture testing small samples under the normal and low temperatures (CRYOSET®) and the scoop sampling machine (ESTIM®) used not only for further research but also for development and evaluation of small samples testing technology. The final part of this article comprises the proposal for improvement of the Code of practise for small punch testing (CEN Workshop Agreement 15627).

Key words: SPT; SPCT; Small punch testing; Small punch creep testing; SPUTT 500; ESTIM; CRYOSET; Scoop sampling machine; CWA 15627

Odhady zbytkové životnosti strojních konstrukcí a zařízení jsou nemyslitelné bez znalostí stavu, resp. stupně degradace použitých konstrukčních materiálů způsobené vlivem jejich dlouhodobé expozice

v provozních podmínkách. Již téměř půl století se materiáloví inženýři snaží vyvinout metodu zkoušení materiálu, která by z minimálního množství odebraného materiálu nejlépe bez poškození strojní součásti

a zároveň bez zastavení provozu provozovaného celku dokázala zjistit aktuální mechanické vlastnosti.

V průběhu let bylo vyzkoušeno několik zkušebních metod s různými tvary a velikostmi zkušebních těles. Jednou z nejslibnějších metod vhodných pro zjištění mechanických vlastností se stala metoda penetračních testů, kdy zkušebním vzorkem je disk o průměru 8 mm a tloušťce 0,5 mm (obr. 1). Metoda byla původně určena pro zjištění zbytkové životnosti strojních součástí pracujících za zvýšených teplot [16]. Později bylo její použití rozšířeno i pro stanovení tahových a křehkolomových vlastností materiálu.



Obr. 1 Zkušební vzorky pro penetrační testy (small samples)
Fig. 1 Small test samples for penetration tests

1. Vývoj zkušebních strojů a zařízení

1.1 Historie vývoje penetračních testů ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV)

Dnešní MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM (MMV), který do roku 2001 existoval jako VÍTKOVICE – výzkum a vývoj), začal pracovat s penetračními testy v 90. letech 20. století, a to díky kooperaci s univerzitou College ve Swansea [1]. Na základě prvních zkušeností byly ve firmě MMV postaveny první jednoduché mechanické zkušební zařízení. Na základě získaných výsledků byly provedeny korelace mezi klasickými metodami a penetračními testy [2]. Během mnoha let MMV metodu používalo a korelace byly zpřesňovány. Výsledky výzkumu a vývoje v této oblasti byly průběžně publikovány na různých konferencích, či v odborných časopisech [2 – 14].

V roce 2004 byla zkušební metoda penetračních testů ve spolupráci s normalizačním úřadem CEN a mezinárodní skupinou materiálůvých specialistů zformulována v dokument, který byl nazván CWA 15627 a slouží dnes jako předpis k provádění penetračních testů. Dokument byl vydán v prosinci roku 2007 [15].

1.2 SPUTT 500

SPUTT 500 je zařízení určené pro stanovení zbytkové životnosti strojních součástí pracujících za zvýšených teplot pomocí zkoušení miniaturizovaných vzorků metodou penetračního testu. Na základě prováděcího předpisu CWA 15627 se první verze SPUTT 500 V1.3 (obr. 2) začala vyvíjet v roce 2010. Na konci tohoto roku byl stroj postaven a začalo jeho testování. Zařízení

bylo poloautomatické, měření teploty nebylo realizováno přímo na jeho povrchu, nýbrž v nejbližším možném místě (cca 10 mm od vzorku.)

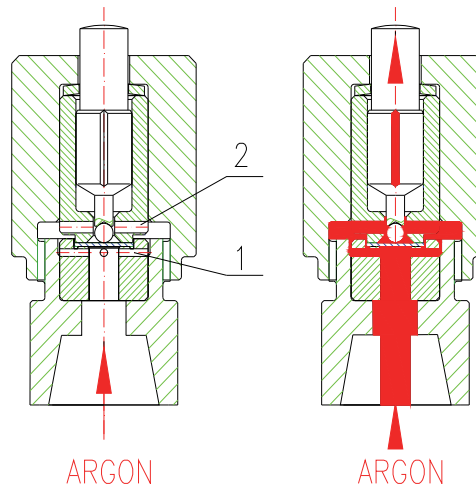
Teplota vzorku byla přepočítávána na základě křivky vzniklé automatickým kalibračním procesem. Pomocí raménka a LVDT snímače (obr. 3) byla měřena a zaznamenávána závislost posunu razníku na čase. Razník se zápustkou byly vyrobeny z creepově odolné niklové slitiny. Zatížení vzorku se provádělo pomocí keramické kuličky. Ochrana vzorku byla zajištěna pomocí argonu, který byl řízeně ($10 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$) vhnán do patrony se vzorkem (obr. 4).



Obr. 2 SPUTT 500 V1.3
Fig. 2 SPUTT 500 V1.3

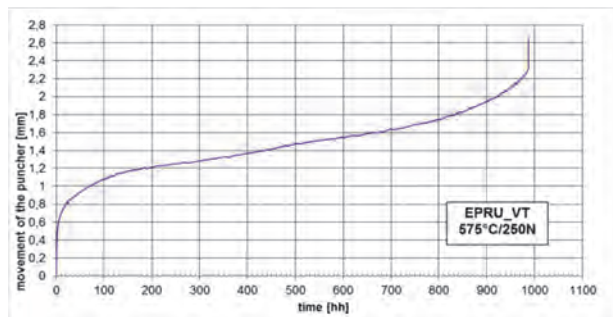


Obr. 3 Měření posunu razníku
Fig. 3 Measurement of the punch movement



Obr. 4 Ochrana vzorku argonem
Fig. 4 Argon protection of the sample

V průběhu testování stroje bylo zjištěno, že ačkoliv výsledná křivka měla správný tvar (obr. 5), u časově delších zkoušek docházelo vlivem nedostatečné vůle mezi vodící vložkou a razníkem k jeho tzv. zarůstání, které se projevovalo občasným prodloužením doby zkoušky.



Obr. 5 Grafická závislost posunu razníku v čase (SPUTT500 V1.3)
Fig. 5 Graphical dependence of the punch movement vs. time

V roce 2011 byla původní verze nahrazena verzí SPUTT V1.4 (obr. 6), přičemž bylo změněno měření zatížení včetně snímače, nahrazeno stávající měření teploty za přesnější a změněna konstrukce patrony s jejím uložením na zkušební trn pro snadnější demontáž.



Obr. 6 SPUTT 500 V1.4
Fig. 6 SPUTT 500 V1.4

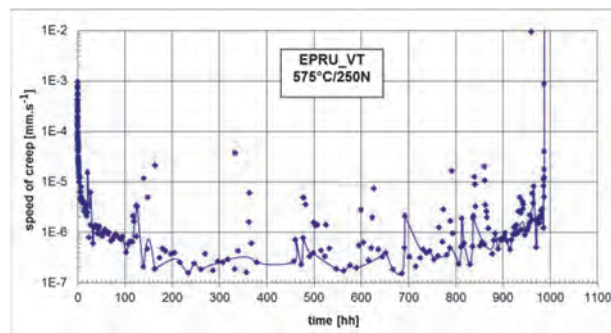
Během roku 2012 MMV postavilo tři zkušební stroje, u kterých byl přepracován řídicí SW (SPUTT V1.7). Od konce roku 2012 probíhalo důkladné testování, při kterém bylo zjištěno, že každé zařízení má svou vlastní charakteristiku. Tato skutečnost vedla tvůrce strojů k zamyšlení: hlavní příčiny spatřovali v deformaci razníku (obr. 7) během zkoušky, popř. vtlačení kuličky do razníku a v možnosti nepřesného měření teploty vzorku.

Myšlenku nového řešení konstrukce přinesla 3. mezinárodní konference SSTT v Grazu, Rakousku.

Původně idea p. Juhani H. Rantaly (VTT) měřit teplotu vzorku ve spodní části a zároveň také jeho deflexi se pokládala za technicky nemožnou. Nakonec se však podařilo najít konstrukční řešení a u stávající verze SPUTT 500 V1.7 změnit nepřímé měření teploty vzorku na přímé a přidat měření deflexe. Výsledkem bylo získání mnohem hladšího průběhu výsledné křivky deflexe vzorku vs. čas. Křivka rychlosti creepu na čase (obr. 8) však zůstala stále nepříjemně roztržena.



Obr. 7 Deformace razníku
Fig. 7 Deformation of the punch



Obr. 8 Rychlost tečení
Fig. 8 Creep rate

Hlubší analýza problému vyústila v tyto možné příčiny:

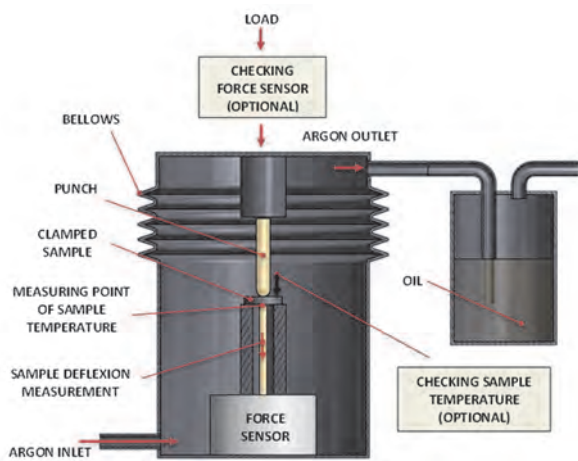
- tření vodících částí (raménko je tlačeno pružinou LVDT snímače, která při náběhu zatížení způsobuje vyosení tažné vidlice),
- nedokonalá ochrana vzorku (obtékání vzorku argonem zajistilo pouze částečnou ochranu),
- deformace úkosu zápustky vlivem zatížení (niklové slitiny nejsou dostatečně odolné proti otlacení, při určitém zatížení dochází k deformaci náběhu otvoru se zkosením $0,2 \times 45^\circ \text{C}$, do kterého je vtlačován vzorek),
- aplikace kuličky, která vlivem deformace razníku (obr. 7) způsobovala vyosení.

Jako další negativní vliv je nutno brát i předpětí vzorku dané hmotností vidlice, patrony a raménka.

Odstranění všech těchto příčin nebylo možné provést úpravou stávajícího stroje. Bylo nutné vyvinout zcela novou konstrukci. Vývoj probíhal v průběhu roku 2015 a výsledkem se stala zcela nová verze SPUTT 500 V3.1 (obr. 9).

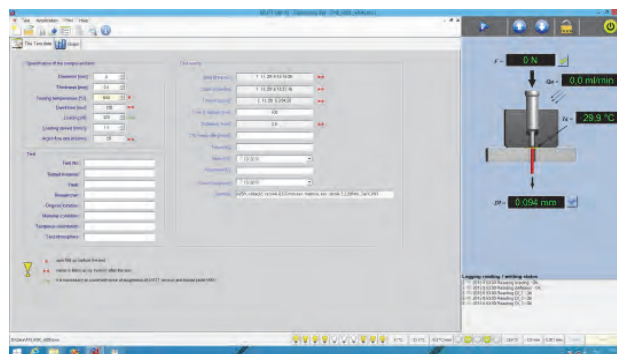


Obr. 9 SPUTT 500 V3.1
Fig. 9 SPUTT 500 V3.1

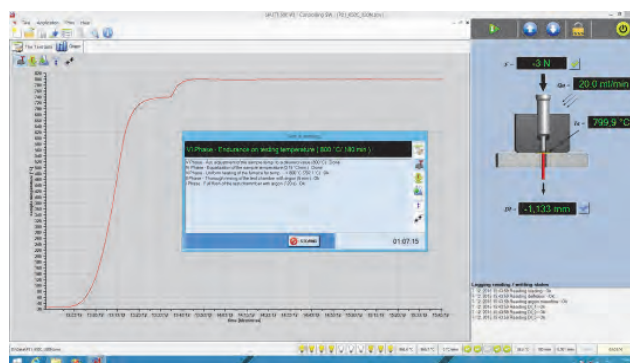


Obr. 10 Plynotěsná komora stroje SPUTT 500 V3.1
Fig. 10 Gas-tight chamber of the SPUTT 500 V3.1

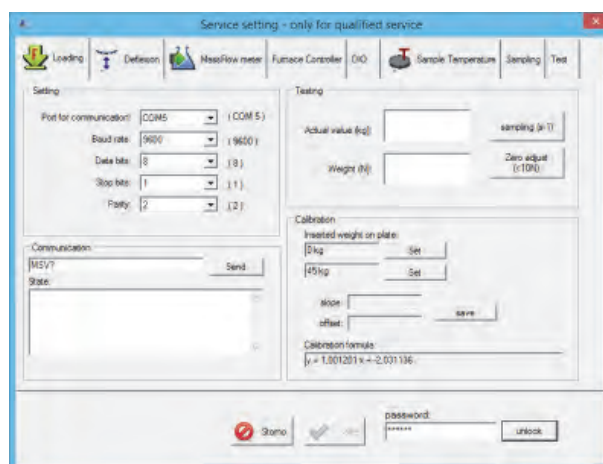
Nová verze SPUTT 500 V3.1 se liší od předcházejících koncepcí ve všech směrech: kompletní nová konstrukce 100 % zajišťuje ochranu zkušebního vzorku proti jeho oxidaci pomocí plynotěsné argonové komory (obr. 10) s vlnovcem (testováno héliovou zkouškou s hodnotou přípustné netěsnosti $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), přesné měření teploty přímo na povrchu vzorku (termočlánek typu S, třída přesnosti 1), zcela hladké vedení zatížení (kuličková ložiska), přímé měření zatížení bezprostředně na trnu, na němž je uložen vzorek (přesnost měření 0,1 % z n.h.), nová konstrukce patry s keramickým razníkem a zápusťou a nový řídicí plně automatický systém (obr. 11, 12, 13) s devíti cykly programovatelnými uživatelem. Bylo zcela odstraněno předpětí vzorku. Protože se jedná o zkušební metodu penetračních testů – tzv. bulge, byl stanoven minimální utahovací moment patry, který zaručuje zachování průměru vzorku v celém průběhu testu. Výsledná závislost deflexe vzorku na čase je zcela hladká (obr. 14, 15). Z křivky rychlosti creepu lze jednoznačně vysledovat 3 stádia creepu (obr. 16, 17).



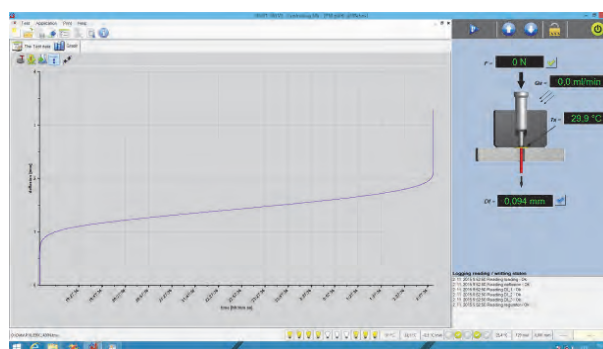
Obr. 11 Nastavení hlavních parametrů testu
Fig. 11 Setting of the main test parameters



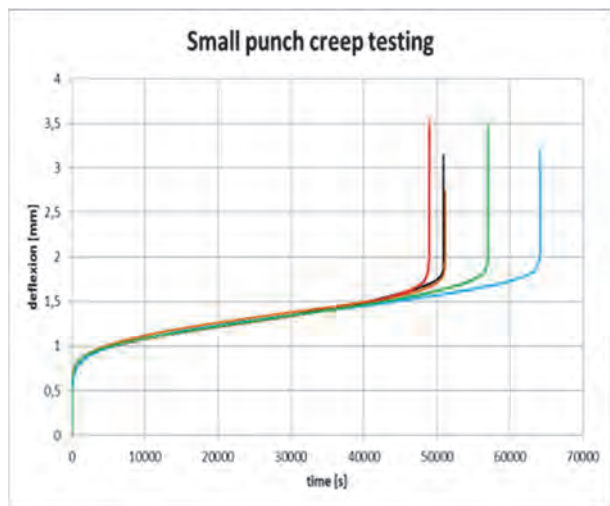
Obr. 12 Devět automatických cyklů
Fig. 12 Nine automatic phases of the test



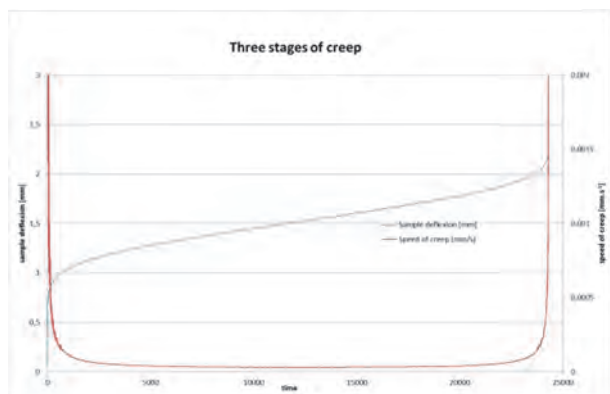
Obr. 13 Kalibrace hlavních měřených veličin
Fig. 13 Calibration of the main variables



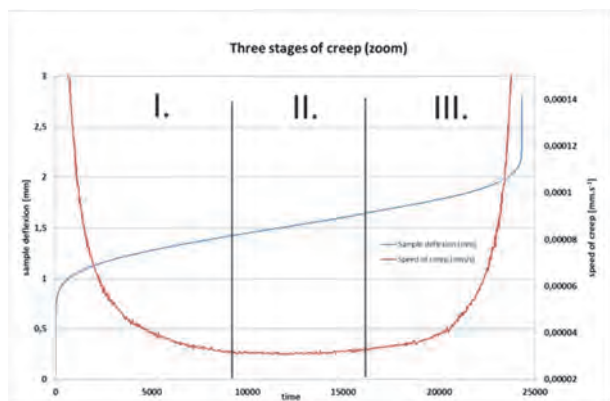
Obr. 14 Výsledná křivka tečení
Fig. 14 The resulting creep curve



Obr. 15 Porovnání výsledků
Fig. 15 Results comparison



Obr. 16 Tři stádia creepu
Fig. 16 Three creep stages



Obr. 17 Tři stádia creepu (přiblížení)
Fig. 17 Three stages of the creep-zoom

Dnes vývoj stroje stále pokračuje. Tým konstruktérů se snaží zvýšit teplotu zkoušení ze současně dosažitelných 800 na 1 000 °C, a to volbou vhodných materiálů a konstrukce chlazení snímačů. Ještě přesnější měření zatížení dané novým snímačem a novým vedením téměř bezodporové deflexní tyčinky zabezpečuje ty nejpresnější výsledky zkoušení. Díky své originální konstrukci představuje nová verze SPUTT 500 nejsložitější zařízení pro zkoušení creepu penetrační metodou malých vzorků na světě.

1.3 CRYOSET

CRYOSET je zařízení určené pro stanovení tahových a křehkolomových vlastností materiálu pomocí penetračního testu miniaturizovaných vzorků.

V roce 2011 byl dle CWA 15627, část B (tahové a křehkolomové chování) vyvinut systém pro provádění penetračních zkoušek CRYOSET. Zařízení umožňuje provádět testování za normálních a nízkých teplot. Princip ochlazení vzorku spočívá v automatickém dávkovacím systému – sondě vložené do nádoby s tekutým dusíkem (obr. 18). Regulaci tlaku v nádobě je vytlačován dusík do zkušební komory se vzorkem (obr. 19), která je napojena na zatěžovací rám. Teplota vzorku je měřena přímo na jeho povrchu a udržována řídicím systémem (obr. 22). Jakmile je dosažena požadovaná teplota, je možné provést test. Vynikající geometrie razníku a matrice společně s velmi vysokou tvrdostí a abrazovzdorností použitého materiálu zajišťuje velmi dobrou opakovatelnost naměřených výsledků. Zařízení obsahuje prvky, které zabezpečují bezpečný provoz a rychlou výměnu vzorku. Řídicí systém (obr. 20, 21) umožňuje ohřev kritických částí systému (nádoby a trnu). Vývoj probíhal více než dva roky a byly vyvinuty dvě verze. Zařízení bylo dodáno několika zkušebními laboratořím.



Obr. 18 Speciální sonda v Dewarové nádobě
Fig. 18 Special probe in Dewar container



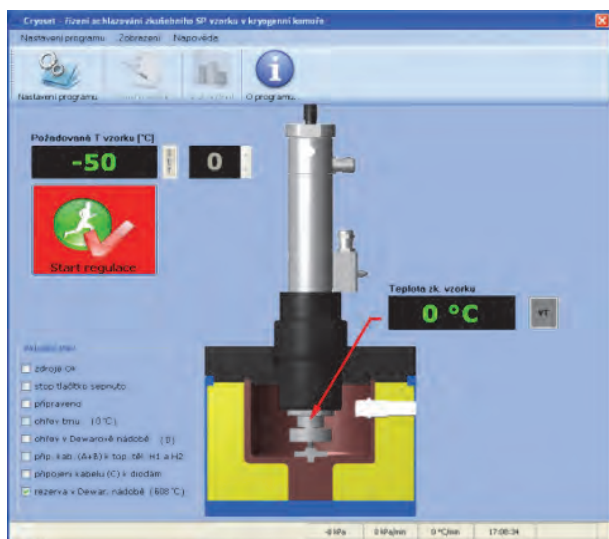
Obr. 19 Zkušební komora
Fig. 19 Test chamber



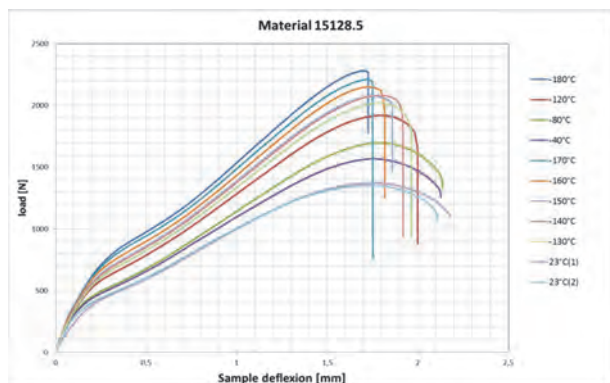
Obr. 20 Řídicí jednotka
Fig. 20 Control unit



Obr. 21 Řídicí jednotka (zadní strana)
Fig. 21 Control unit - real side

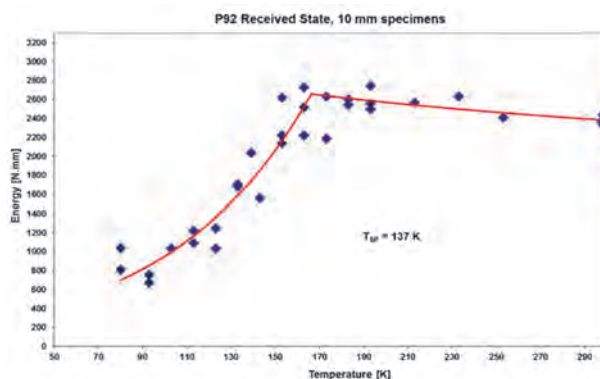


Obr. 22 Řídicí software
Fig. 22 Control SW



Obr. 23 Naměřené závislosti (síla vs. protažení vzorku za dané teploty)

Fig. 23 Measured dependencies (force versus sample deflection at the given temperature)

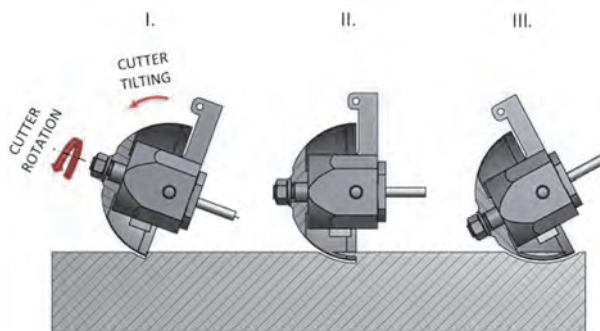


Obr. 24 Stanovení T_{sp}
Fig. 24 T_{sp} determination

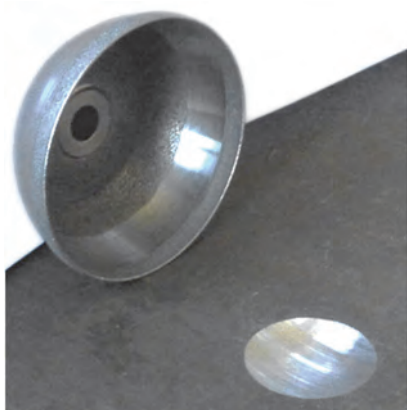
1.4 ESTIM

Tradiční odběr zkušebního materiálu u provozovaných zařízení představuje vedle nezbytných odstávek rovněž nevhodný zásah do celistvosti hodnocené součásti, ať už se jedná o odběr strojním obráběním, tepelným dělením nebo dalšími způsoby. Uvedené destruktivní metody vyžadují následující opravu odebraného místa, většinou zavařením, včetně tepelného zpracování a řady nedestruktivních kontrol. Nezřídka se toto místo, které prodělalo řadu teplotních cyklů při svařování, stává zdrojem dalších potíží včetně možnosti vzniku trhlin při dalším provozu.

Tyto zřejmé nevýhody odstraňuje tzv. lžičkový systém odběru materiálu, který bez ovlivnění testované součásti i odebraného vzorku odebírá materiál do hloubky cca 0,5 až 4 mm prakticky bez vrubového účinku [18]. Princip odběru, který je schematicky znázorněn na obr. 25, zahrnuje odbroušení mezivrstvy mezi vzorkem a součástí pomocí rotujícího nástroje tvaru kloboučku o tloušťce cca 0,5 mm a průměru okolo 50 mm (obr. 26). Pomocí jednoduchého pákového mechanismu je brusný klobouček, pokrytý na lemu diamantovou drtí, posunován velmi pomalou rychlostí do záběru.



Obr. 25 Systém odběru malých vzorků
Fig. 25 Principle of the scoop sampling



Obr. 26 Brusný kotouč a místo odběru
Fig. 26 The cutter and the place of sampling

Celý proces odběru, trvající asi 1 – 3 hodiny, umožní získání vzorku ve tvaru kulového vrchlíku o poloměru cca 25 mm a rovinné ploše asi 3 cm². Absence tepelného a deformačního ovlivnění u odebraného vzorku i testované součásti je zajištěna vysokou obvodovou rychlostí odbrušovacího nástroje a pomalým posuvem do záběru za současného intenzivního chlazení chladicí kapalinou.

Odebraný vzorek umožňuje vedle běžné chemické, metalografické, případně elektronomikroskopické analýzy provést přípravu jednoduchých zkušebních tělísek pro ověření základních mechanických vlastností i dalších speciálních modifikovaných testů, např. odolnosti proti křehkému porušení, lomové houževnatosti nebo zkoušek tečení.

MMV pro odběr malých vzorků od roku 1996 používal odběrové zařízení od firmy Rolce Royce SSAM-2. Během let používání přístroje bylo zařízení vlastními pracovníky opravováno, upravováno a vylepšováno. Na základě získaných zkušeností MMV vyvinulo vlastní odběrové zařízení nazvané ESTIM (obr. 27 – 29). Jeho konstrukce je postavena na principu lžícového odběru. Unikátní způsob uchycení otočné hlavy zajišťuje přesný a efektivní řez. Výsledkem je minimalizace rezného času a hladší povrch řezu u vzorkované součásti, tedy menší vrub. Řídicí systém (obr. 30) umožňuje rotaci nástroje až 16 000 rpm, volbu směru řezu a programování úhlu řezu. Pro snadné a rychlé upínání stroje k odebírané součásti byl vyvinut upínací přípravek SPIDER. Chlazení vzorku zajišťuje peristaltické dvouhlavé čerpadlo, které chladí místo řezu a zároveň odebírá chladicí kapalinu do zásobníku. V současné době se uvažuje o vývoji verze pro použití za vyšších teplot. Ukázky realizovaných odběrů v provozních podmínkách ukazuje obr. 31.



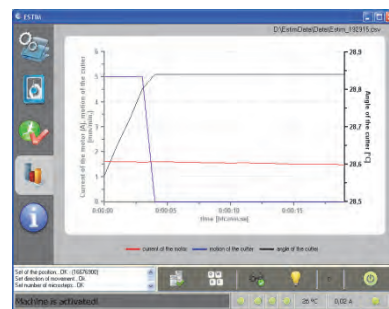
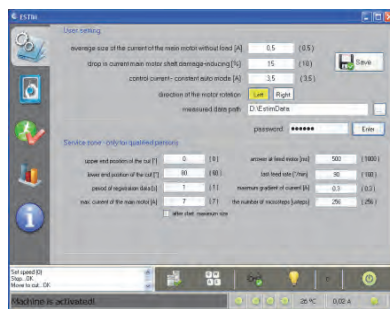
Obr. 27 Odběrné zařízení ESTIM
Fig. 27 Scoop sampling machine ESTIM



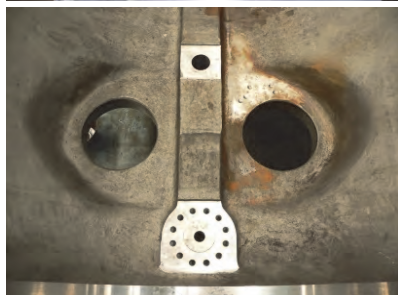
Obr. 28 ESTIM balení pro transport
Fig. 28 Packaging for transporting



Obr. 29 Kufr s příslušenstvím ESTIM
Fig. 29 Suitcase with accessories



Obr. 30 ESTIM řídicí systém
Fig. 30 ESTIM control software



Obr. 31 Příklady realizací odběrů
Fig. 31 Examples of realization of the scoop sampling

2. Návrh úprav CWA 15627

Metoda zjišťování mechanických vlastností materiálu pomocí penetračních testů miniaturizovaných vzorků je

nejen v průmyslu nepostradatelná, ale také i ekonomicky velmi výhodná. Bohužel však malý objem zkoušeného materiálu představuje extrémně přísné dodržování podmínek a metodiky zkoušení.

Kritická místa metody spočívají především v:

- dodržení přesné geometrie vzorku (tolerance tloušťky vzorku, paralelita a drsnost ploch),
- dodržení přesné geometrie razníku a matrice,
- zajištění co nejmenšího tření vznikajícího aplikací zatěžovací síly na razník,
- zajištění dokonalé ochrany vzorku proti jeho oxidaci,
- nastavení přesné teploty vzorku a její udržování v průběhu celého zkušební procesu,
- nastavení přesného zatížení vzorku (eliminace sil působících proti zatížení, jako je odpor vlnovců nebo přitlaku snímačů),
- zajištění správného a přesného měření průhybu vzorku (upnutí, sousost razníku s matricí a vzorkem).

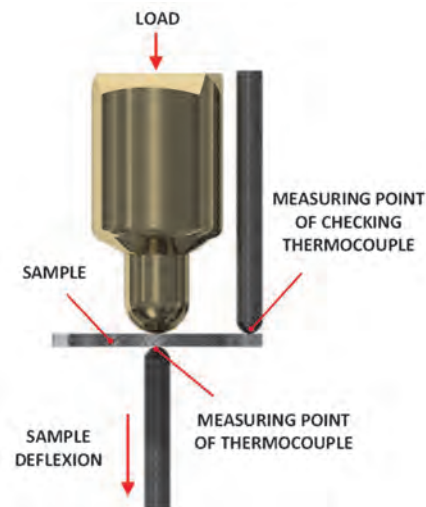
Přestože zkušební metodu dnes používají laboratoře po celém světě, zkušební norma byla přijata zatím jen v Japonsku [17] (pouze pro SPC). V Evropě či USA byl přijat pouze prováděcí předpis CWA 15627. Je více než žádoucí vytvořit z tohoto předpisu zkušební normu, aby se metoda stala dostatečně věrohodná pro širší nasazení a využití v průmyslu. Výsledky dosavadních porovnávacích testů ukázaly, že stávající předpis CWA 15627 je nedostatečný a je ho nutno revidovat.

Na základě poznatků získaných stavbou zařízení pro penetrační testy a jejich mnohaletým testováním MMV navrhuje upřesnit CWA 15627 následovně:

Část A (creep):

1. používat pouze keramický razník (ne kuličku z důvodu možnosti vyosení středu) – materiál razníku Al_2O_3 , popř. ZrO_2 , přesnost kulové části razníku v toleranci $\varnothing 2,5 \pm 0,003$ mm, razník by měl být označen;
2. matici provést z materiálu Al_2O_3 , popř. ZrO_2 , otvor s přesností $\varnothing 4\text{H}6$, místo úkosu $0,2 \times 45^\circ$, použít rádius $R0,2 \pm 0,05$ (změna úkosu na rádius je dána skutečností, že u niklových slitin je hrana v průběhu testu deformována, u keramiky občas uštípnuta a to vede k rozdílným výsledkům; navíc při výrobě sražení se nedá definovat ostrost přechodové hrany, matici označit;
3. teplotu měřit přímo na vzorku a zařízení musí umožňovat i občasnou kontrolu této teploty druhým nezávislým termočlánkem na druhé straně povrchu vzorku (obr. 32);
4. zatížení je nutno měřit přímo pod vzorkem, aby se eliminovalo tření mezi razníkem a vedením, přitlačná síla deflexní tyčinky a tuhost vlnovce zajišťující přenos zatížení na razník v plynotěsné komoře; je doporučena možnost občasné kontroly druhým nezávislým tenzometrem, a to v celém průběhu testu;
5. používat pouze měření deflexe vzorku z důvodu rozdílné tuhosti zatěžovacího mechanismu, popř. creepu razníku a tlačného trnu;

6. pro správné stanovení výsledného napětí zapsat před zkouškou do protokolu přesný rozměr vzorku, průměr díry záпустky a průměr razníku.

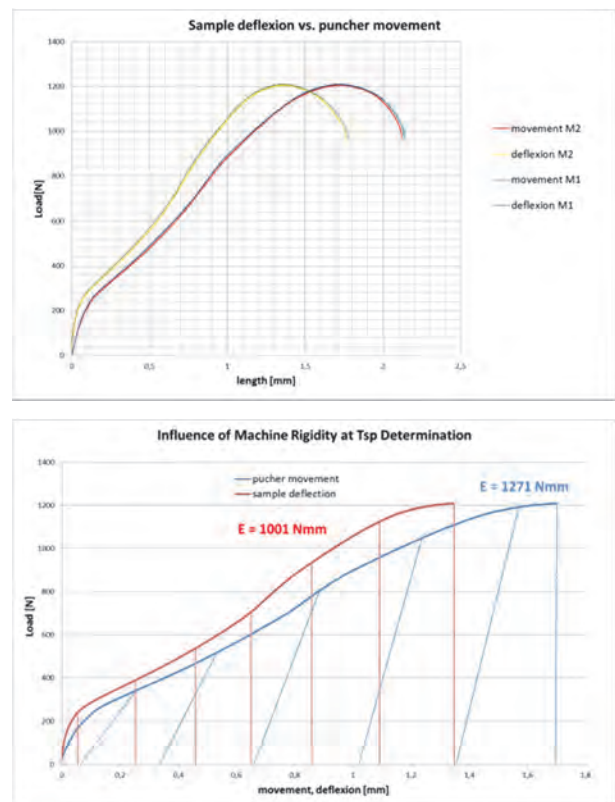


Obr. 32 Kontrola měření teploty vzorku

Fig. 32 Checking of the temperature measurement of the sample

Část B (tahové a křehkolomové zkoušení):

1. měřit deflexi vzorku, ne posun razníku z důvodu rozdílné tuhosti každého stroje (obr. 33);
2. používat razník $\varnothing 2 \pm 0,005$ mm, tvrdost >55 HRC;
3. používat matici s otvorem $\varnothing 4\text{H}6$, tvrdost >55 HRC, rádius 0,2 místo úkosu;
4. měření teploty je nutné provádět přímo na vzorku.



Obr. 33 Vliv tuhosti stroje na velikost energie

Fig. 33 Influence of machine rigidity on the amount of energy

3. Závěr

I malé nepřesnosti ve výše uvedených jednotlivých kritických místech vlivem jejich potenciálně velkého množství mohou mít za následek diametrálně rozdílné výsledky zkoušení. Tato skutečnost vede k myšlence zavést několik tříd etalonů, kterými by bylo možné celý měřicí systém jednoduše a rychle validovat.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] PURMENSÝ, J. Review of Small Punch Techniques (Bend Test, Bulge Test and Shear Punch Test). Studie Materials Dept. of University College, Swansea, May 1991.
- [2] PURMENSÝ, J., MATOCHA, K. Zkoušení malých vzorků ve fyzikální metalurgii. In *Metal 2001-10th International Metallurgical and Materials Conference*, 15.-17.5.2001, Ostrava, Czech Republic.
- [3] PARKER, J.D., PURMENSÝ, J. Assessment of Performance by Monitoring in Service Changes in Material Properties. In *Reliability and Structural Integrity of Advanced Materials – 9th European Conference on Fracture*, Varna, Sept. 1992.
- [4] PURMENSÝ, J., KUPKA, V. *Hutnické listy*, 48 (1993) 7-8, 65
- [5] PURMENSÝ, J., WOZNIAK, J. Small Samples Method Application for the Evaluation of Mechanical Properties at Elevated Temperatures. In *IX. Int. Symposium CREEP 1996*, p. 142, Hradec nad Moravicí, Belaria, Czech Republic, Sept. 1996.
- [6] PURMENSÝ, J., FOLDYNA, V., SOJKA, J., KARÁSEK, J. Small Sample Testing Methods for Conditional Assessment of High Energy Equipments. In *Int. Conf. Compass 1999*, p. 227, Editors: W.J. Evans, A.W. Evans, M.R. Bache, Swansea U.K., March-April 1999.
- [7] MATOCHA, K., PURMENSÝ, J., MIŠČICKI, M., MARSZALEK, P. Determination of Actual Tensile and Fracture Properties of Steam Turbine Rotor by Small Punch Tests. *Advances in Materials Science*, 7, (June 2007) 2(12), 32, ISSN 1730-2439.
- [8] PURMENSÝ, J., MATOCHA, K. Determination of Long Term Material Properties Degradation Using Small Specimen Testing Pressure Vessels and Piping, *Inspection and Life Management*, Vol. IV, pp 213-220, Editors: B. Raj, B. K. Choudhary, A. Kumar. Published by N. K. Mehra for Narosa Publishing House Pvt. Ltd., 2009, New Delhi India, ISBN 978-81-8487-003-9.
- [9] MATOCHA, K., KUBOŇ, Z., PURMENSÝ, J. Ductile – brittle Transition Behaviour of Circumferential Weld of Reheater Header Determined by Small Punch Tests. In *1st Int. Conf. SSTT (Small Sample Test Techniques)*, 63 (2010), 103–107, 2010.
- [10] HURST, R.C., MATOCHA, K. Where Are We Now with the European Code of Practice for Small Punch Testing? In *2nd Int. Conf. SSTT, (Small Sample Test Techniques)*, 63 (2010), 103–107; 2010, *Metallurgical Journal*.
- [11] LI, Y., HURST, R., MATOCHA, K., ČÍŽEK, P., BLA-GOEVA, D. New Approach to Determine Fracture Toughness from the Small Punch Test. In *2nd Int. Conf. SSTT, Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques*, pp. 94–102, Ostrava 2012.
- [12] MATOCHA, K. Determination of Actual Tensile and Fracture Characteristics of Critical Components of Industrial Plants under Long Term Operation by SPT. In *The ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Division Conference PVP 2012*, July 15-19, 2012, Toronto, Ontario, Canada (CD-ROMM).
- [13] MATOCHA, K., FILIP, M., KARTHIK, V., KUMAR, V., LACALLER, R., TONTI, A. Results of the Round Robin Test for Determination 26 of T_{SP} of P22 Steel Small Punch Tests. In *2nd Int. Conf. SSTT, Determination of Mechanical Properties by Small Punch and other Miniature Testing Techniques*, pp. 227–232, Ostrava 2012.
- [14] MATOCHA, K. Small Punch Testing for Tensile and Fracture Behaviour – Experiences and Way Forward. Application of Miniature Small Punch Test Specimen in Determination of Tensile Properties, Small Specimen Test Techniques. In *6th International Symposium, ASTM STP1576*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, 2014.
- [15] CEN WORKSHOP AGREEMENT “Small Punch Test method for Metallic Materials” CWA 15627:2007 D/E/F, December 2007.
- [16] HURST, R. Experiences with the European Code of Practice for Small Punch Testing for Creep, Tensile and Fracture Behaviour. In *3rd Conference SSTT*, Graz, Austria, 2014.
- [17] *Standard for Small Punch Creep Test*. Edited by The Committee on High Temperature Strength of Materials, the Society of Materials Science, Japan, September 2012.
- [18] BISBEE, L.H., MERCALDI, D.W., PARKER, J.D. SSam – a System for Nondestructive Materials Sampling. In *COMADEM 91*, Edited by Raj B.K.N., Rao and A.D. Hope, IOP Publishing, U.K. 1991.

Německý trh se širokým pásem, válcovaným za tepla – je zvýšení cen skutečně trvalé ?

Stahl Aktuell

11.04.2016

Výrobci oceli využili vedoucích odborných veletrhů „Tube“, „Wire“ a „Bauma“ jako vítané platformy, aby mohli vyjít na trh s požadavky na výrazné zvýšení cen. Stoupající ceny surovin tento požadavek podporují. Oceláři, především vůdce trhu, přitom agituji jen s malou ochotou ke kompromisům. „Když budou všichni jednotní, tak se svými požadavky projdou“ říká jeden ze šéfů nákupu. Dotázaní nákupci mají ale o trvalosti takového vývoje pochybnosti. Někteří věří, že se bude opakovat trend z minulých let: silnější první pololetí pro výrobce, kterým ovšem v létě dojde dech. Jiní varují před tím, že se fáze nízkých cen blíží ke konci. Tržní spekulace o tom, zda se Thyssenkrupp a Tata Steel v evropském obchodu s plochou ocelí spojí, se přičiňují o neklid na trhu. „Je docela dobře možné, že se evropský svět oceli do dvou let úplně změní,“ předpovídá jeden ze šéfů nákupu. Jiní jsou toho názoru, že přebytečné kapacity na evropském trhu s plochou ocelí jsou stále ještě tak velké, že ani spojení Thyssenkrupp a Tata Steel žádnou zásadní změnu situace nezpůsobí.

Hodnocení vlivu sigma fáze na pokles křehkolomových vlastností ocelí a jejich svarových spojů pro energetické komponenty pracující za superkritických podmínek

Evaluation of the Effect of Sigma Phase on Fracture Behaviour of Steels and Weld Joints of Components in Power Industry Working at Supercritical Conditions

Ing. Ladislav Kander, Ph.D.¹; Ing. Šárka Stejskalová¹; Ing. Petr Čížek, Ph.D.¹; Ing. Šárka Hermanová²; Ing. Lukáš Pomikálek²

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a.s., Ruská 1142/30, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

V souvislosti se zvyšováním účinnosti nově budovaných tepelných elektráren, která je vyvolána jak tlakem na redukci cen elektrické energie, tak současně požadavky na snižování množství škodlivých emisí CO₂, bylo věnováno značné úsilí při vývoji nových značek ocelí se zvýšenou úrovní užitečných vlastností. Intenzivní vývoj těchto značek je v hlavní míře motivován zejména nízkou cenou materiálů na bázi železa ve srovnání s jinými materiály pro vysoké teploty, zejména slitinami Ni. Příspěvek se zabývá změnami struktury, vlastností a náchylností k tvorbě sigma fáze tří vybraných ocelí pro superkritické aplikace (USC) po základních technologických operacích používaných při výrobě přehříváků kotlů a následné teplotní expozici při pracovních teplotách. Práce byly zaměřeny na oceli jakosti SUPER 304H, HR3C a Tp347HFG a jejich svarové spoje a ohyby, provedené ohýbáním za studena s několika poloměry. Studium struktury a hodnocení mechanických vlastností bylo provedeno ve stavu po deformaci i ve stavu po rozpouštěcím žihání jak na rovné části ohybů, tak v ohybu samotném, dále ve stavu po svaření bez následného tepelného zpracování a ve stavu po svaření a následném rozpouštěcím žihání. Pro hodnocení změn mechanických vlastností byla použita miniaturizovaná zkušební tělesa a penetrační testy (SPT). Z výsledků je patrný velmi pozitivní vliv rozpouštěcího žihání na strukturu, vlastnosti a zejména na tvorbu sigma fáze u ohybů. Naopak u svarů byl zaznamenán negativní vliv rozpouštěcího žihání související s významným růstem zrna, a tím snížení korozní odolnosti i snížení creepu oproti stavu bez tepelného zpracování. Z výsledků je rovněž patrné, že po roční tepelné expozici pouze při pracovních teplotách (bez aplikovaného zatížení) byl zaznamenán výskyt sigma fáze v tažených částech ohybů. Ve svarech ani na rovných trubkách nebyla sigma fáze pozorována. Křehkolomové charakteristiky studovaných ocelí při laboratorní teplotě byly výskytem i malého množství sigma fáze významně sníženy.

Klíčová slova: sigma fáze; oceli pro superkritické parametry; penetrační test; lomové chování; svarové spoje

The paper deals with the change of the structure and mechanical properties of the austenitic steels after the exposure at ultra super critical parameters (USC). The effect of the bent radius of tubes on the mechanical properties and the structure was studied. The effect of solution annealing was studied, too. The grades TP347 HFG, Super 304H and HR3C were chosen in the study, as well as their welded joints. Several bent radii correspond to various amounts of plastic deformation were investigated in order to understand the relation between cold plastic deformation and generation of the sigma phase. The mechanical properties were studied using small punch test (SPT) and miniaturized tensile tests taken both from the straight part and extrados of bends under investigation. From the results it can be concluded that the mechanical properties and the structure have been significantly influenced due to one year exposure at the working temperature. Various amounts of σ -phase were found in the pulled part of the bent side of the tubes even after only thermal exposure without any loading. On the contrary, no sigma phase was identified both in the welds and in the straight parts of tubes. Very positive effect of solution annealing was found in the case of the extrados, however, the same heat treatment caused an increase of the grain size in the welds. Even small amount of sigma phase causes drop in fracture properties of all investigated steels.

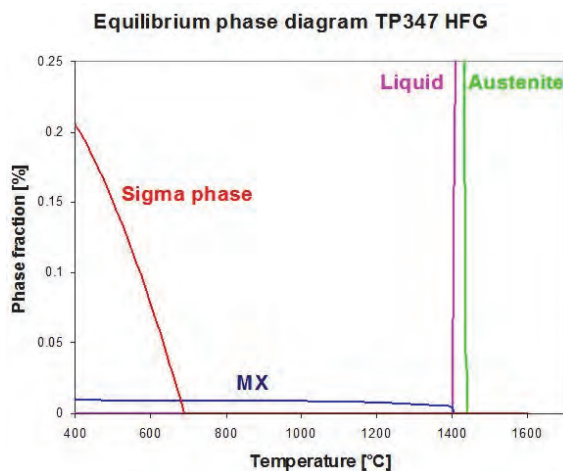
Key words: sigma phase; USC steels; small punch test; fracture behaviour; welded joints

V souvislosti se zvyšováním účinnosti nově budovaných tepelných elektráren, která je vyvolána jak tlakem na redukci cen elektrické energie, tak současně požadavky

na snižování množství škodlivých emisí CO₂, bylo věnováno značné úsilí při vývoji nových značek ocelí se zvýšenou úrovní užitečných vlastností. Intenzivní vývoj těchto

značek je v hlavní míře motivován zejména nízkou cenou materiálů na bázi železa ve srovnání s jinými materiály pro vysoké teploty, zejména slitinami Ni.

Dlouhodobá teplotní expozice těchto materiálů s vysokým obsahem Cr je spojena s precipitací. Obecně se jedná o intermetalickou fázi Cr-Fe σ -fáze (σ -fáze), která se vytváří v austenitických ocelích při jejich dlouhodobé expozici za zvýšených teplot. Fáze precipituje v rozsahu teplot 400 – 500 °C a je stabilní až do teploty 700 °C. Přítomnost σ -fáze v oceli vede k výraznému poklesu plastických a křehkolomových vlastností, materiál se při okolní teplotě stává křehkým. Tvorbu této fáze rovněž ovlivňuje obsah uhlíku a niobu. Obr. 1 ukazuje rovnovážný diagram σ -fáze v oceli TP347 HFG [1].



Obr. 1 Rovnovážný diagram pro ocel TP347 HFG [1]

Fig. 1 Equilibrium phase diagram of the steel TP347 HFG calculated with MatCalc software [1]

Sigma fáze je chromem bohatá intermetalická fáze, která výrazně zvyšuje pravděpodobnost křehkého porušení při okolní teplotě. Chemické složení sigma fáze může být různé. Např. v práci [2, 3], kde byla indikována v exponované oceli TP 347HFG, měla tato fáze následující průměrné chemické složení: 38 % Cr, 1 % Si, 2 % Mn a 4 % Ni a převážně byla pozorována na hranicích zrn.

Přítomnost sigma fáze na hranicích zrn významně ovlivňuje jak mechanické, tak i korozní vlastnosti. Tvorba σ -fáze závisí na obsahu C, Nb a Cr v materiálu [4]. Termodynamické výpočty vlivu uhlíku na tvorbu σ -fáze provedené v práci [5] ukazují velmi rychlý pokles jejího obsahu, pokud obsah uhlíku vzroste na 0,1 hm. %.

Podle práce [4] se σ -fáze bude tvořit, pokud je obsah uhlíku pod kritickou mezí a obsah Cr ekvivalentu je vyšší než 18 hm. %. Kritický obsah uhlíku zvyšuje precipitace karbidů Nb, takže poměr Nb/C je pro tvorbu σ -fáze velmi důležitý.

Příspěvek se zabývá změnami struktury, vlastností a náchylností k tvorbě sigma fáze tří vybraných ocelí pro superkritické aplikace (USC) po základních technologických operacích používaných při výrobě přehříváků kotlů a následné teplotní expozici při

pracovních teplotách. Práce byly zaměřeny na typy oceli SUPER 304H, HR3C, TP347 HFG a jejich svarové spoje a ohyby, provedené za studena s několika poloměry. Obr. 2 znázorňuje ohyby trubek o tloušťce stěny 6,3 mm realizované pro experimentální program.

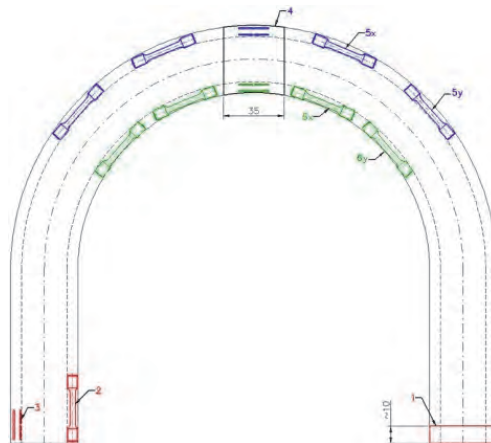
Experimentální techniky

S ohledem na relativně malou tloušťku stěny trubek byla pro hodnocení vlivu σ -fáze na mechanické vlastnosti použita miniaturizovaná zkušební tělesa a rovněž metoda penetračních testů (SPT). Předmětem zkoušení byla jak rovná část ohybů, tak oblast s největší vnesenou plastickou deformací uprostřed ohybu (obr. 3).



Obr. 2 Příklad ohybů pro experimentální program

Fig. 2 Example of bends for experimental work

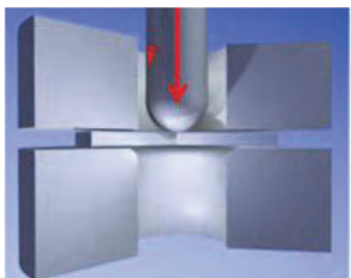


Obr. 3 Rozřezový plán a umístění miniaturizovaných těles včetně SPT [6]

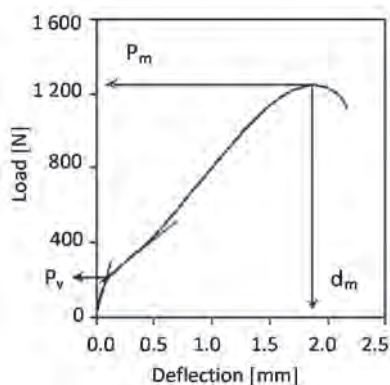
Fig. 3 Cutting plan and location of miniaturized specimens including SPT

Metoda penetračních testů patří k progresivním a dlouhodobě rozvíjeným zkušebním metodám ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o. Touto metodou je možné získat celou řadu mechanických vlastností při relativně velmi malé velikosti testovaného zkušebního tělesa. Metoda se používá především k hodnocení aktuálního stavu mechanických

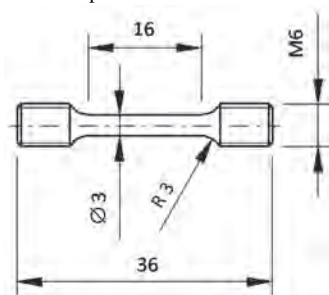
vlastností provozovaných komponent v klasické energetice a autorský kolektiv tuto metodu využil především z důvodu malé objemu experimentálního materiálu a možnosti lokalizace umístění zkušební vzorku do tažené části ohybu, kde v důsledku zakřivení nebylo možné umístit jak standardní, tak ani miniaturizovaná zkušební tělesa pro zkoušku tahem.



Obr. 4 Princip penetračního testu
Fig. 4 Principle of small punch test



Obr. 5 Záznam penetračního testu
Fig. 5 Record of small punch test



Obr. 6 Miniaturizované zkušební těleso pro zkoušku tahem
Fig. 6 Miniaturized tensile test specimen

SPT metoda využívá pro zkoušení vzorek tvaru disku o průměru 8 mm a tloušťce 0,5 mm. Zkouška spočívá v monotónním zatěžování tohoto vzorku hemisférickým razníkem o průměru 2 mm do porušení [7] (obr. 4).

Výsledkem penetračního testu, je záznam síla – reflexe. Z tohoto záznamu (obr. 5) je pak možné odečíst charakteristické hodnoty, které korelují s mechanickými hodnotami stanovenými standardními zkouškami.

Pro stanovení mechanických vlastností byla rovněž využita miniaturizovaná zkušební tělesa (obr. 6).

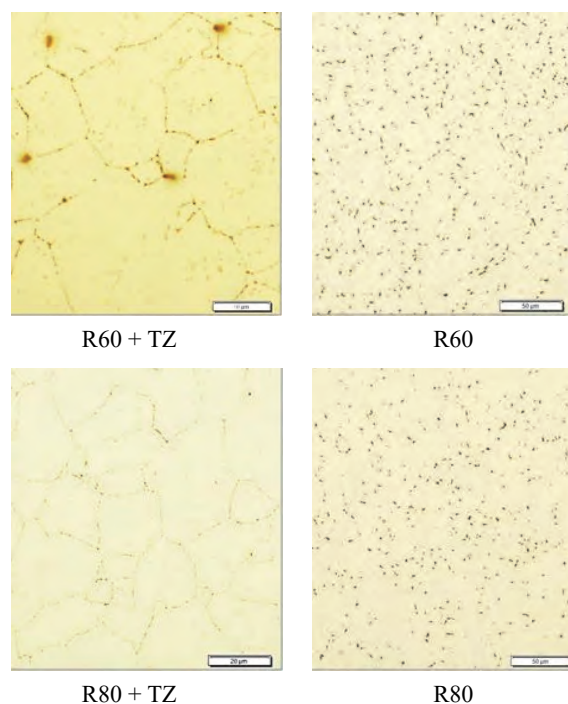
Metalografické hodnocení bylo provedeno klasickou světelnou mikroskopií. Pro zviditelnění σ -fáze byly vzorky leptány v 10% kyselině šťavelové.

Dosažené výsledky a jejich diskuse

Základní materiály

Všechny tři typy základních materiálů byly zkoušeny v následujících stavech:

- bez deformace (rovné části ohybů),
- po plastické deformaci za studena (ohyby s R60, R80 a R100 mm),
- po plastické deformaci za studena a aplikaci rozpouštěcího žíhání,
- po plastické deformaci za studena a dlouhodobé teplotní expozici v intervalu teplot 635 – 694 °C,
- po plastické deformaci za studena a dlouhodobé teplotní expozici v intervalu teplot 726 – 775 °C.



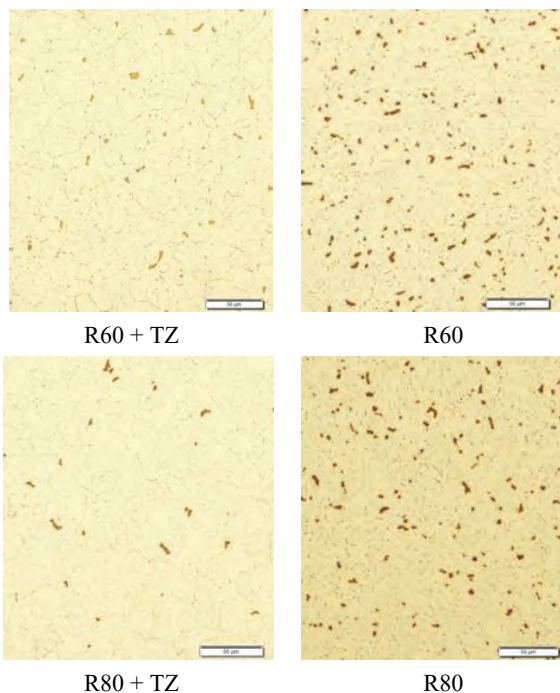
Obr. 7 SUPER 304H – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 635 – 694 °C.

Fig. 7 SUPER 304H – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 635 – 694 °C

Teplotně exponovány byly pouze výřezy středových částí ohybů, které byly umístěny v reálně provozovaném kotli K3 v Elektrárně Dětmarovice, ČEZ, a.s ve dvou místech, kterým odpovídají dva rozsahy teplotní expozice. Doba expozice byla 1 rok. Po expozici byly vzorky metalograficky prozkoumány na přítomnost σ -fáze.

Na obr. 7 a 8 je vidět vliv rozpouštěcího žíhání pro různé poloměry ohybu na precipitaci σ -fáze po dlouhodobé expozici při dvou úrovních teplotních rozmezí pro materiál SUPER 304 H.

Obr. 9 ilustruje vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností materiálu SUPER 304H s ohybem R60 bez aplikace rozpouštěcího žíhání po plastické deformaci.



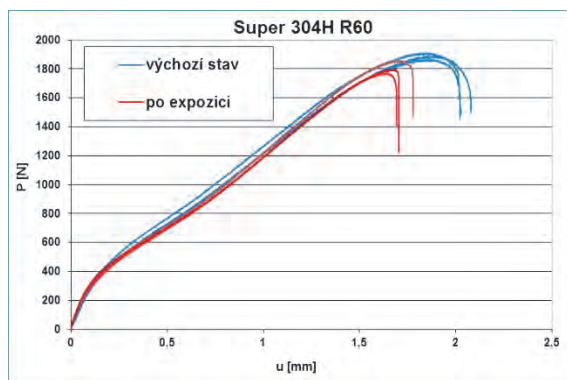
Obr. 8 SUPER 304H – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 726 – 775 °C

Fig. 8 SUPER 304H – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 726 – 775 °C

Z obr. 7 a 8 je velmi dobře patrné, že aplikace rozpouštěcího žíhání u takto extrémního ohybu pozitivně ovlivnila vylučování σ -fáze.

U nižší expoziční teploty po aplikaci rozpouštěcího žíhání byly pozorovány pouze ojedinělé částice vyloučené primárně na hranicích zrn. Vyšší četnost těchto částic u ohybu R60 souvisí s vyšší vnesenou energií plastickou deformací za studena pro tento poloměr ohybu oproti R80. Z obr. 7 a 8 je rovněž patrné, jakým způsobem ovlivňuje tvar a rozložení částic σ -fáze expoziční teplota. Je jasné patrné, že při vyšších teplotách expozice jsou částice výrazně hrubší.

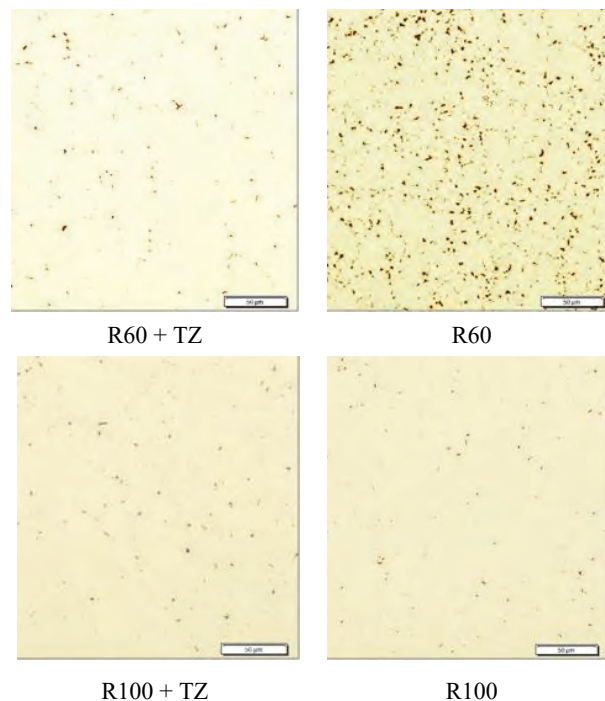
Změna mechanických vlastností se projevila, jak je patrné z obr. 9, jednak snížením maximální síly penetračního testu a jednak snížením lomové energie – tedy poklesem houževnatosti.



Obr. 9 Vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností – SUPER 304H, R60

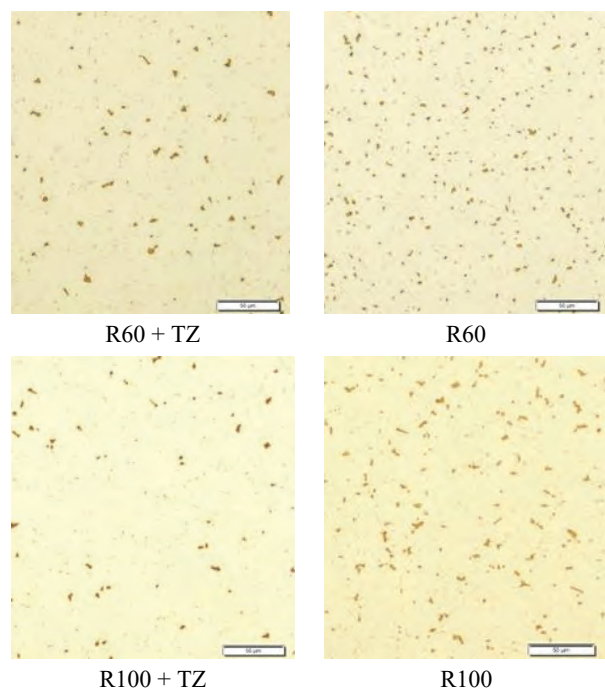
Fig. 9 Effect of long term exposure on the change of mechanical properties change – SUPER 304H, R60

Obr. 10 a 11 ukazují vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při obou teplotách expozice pro materiál TP347 HFG. Z tohoto materiálu byly připraveny ohyby s poloměry R60 a R100 mm. Z obr. 10 a 11 je rovněž patrný pozitivní vliv rozpouštěcího žíhání na vylučování σ -fáze.



Obr 10 TP347HFG – Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 635 – 694 °C

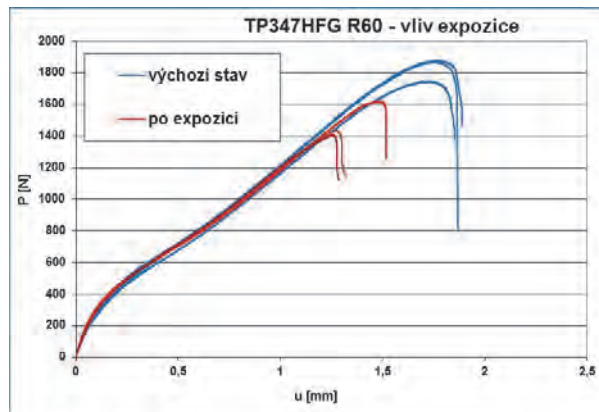
Fig. 10 TP347HFG – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 635 – 694 °C



Obr 11 TP347HFG - Vliv rozpouštěcího žíhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 726 – 775 °C

Fig. 11 TP347HFG – Effect of solution annealing on precipitation of σ -phase at the exposure temperature between 726 – 775 °C

U nižší expoziční teploty opět byly po aplikaci rozpouštěcího žhání pozorovány pouze ojedinělé částice vyloučené primárně na hranicích zrn. V případě ohybu s poloměrem R100 mm byly částice σ -fáze pozorovány pouze ojediněle. Podobně jako v případě materiálu SUPER 304 H vyšší expoziční teplota byla příčinou hrubnutí vyloučených precipitátů.



Obr. 12 Vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností – TP347HFG, R60

Fig. 12 Effect of long term exposure on the change of mechanical properties change – TP347HFG, R60

Tyto strukturní změny opět doprovázely i změny v mechanických vlastnostech. Obr. 12 ilustruje změnu v mechanických vlastnostech a lomové energie penetračních testů, které mají podobný průběh jako u materiálu SUPER 304H, tedy pokles maximální síly penetračního testu a rovněž pokles lomové energie a tedy i houževnatosti.

Poslední z materiálů, které byly vybrány pro tento experimentální program, je ocel HR3C, tedy materiál s významně vyšším obsahem Cr. Hodnocení bylo provedeno obdobně jako v případě předchozích dvou ocelí USC. V tomto případě byly z oceli HR3C vyrobeny ohyby s poloměrem R60 a R100 mm.

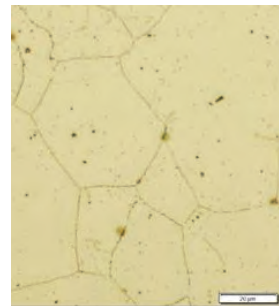
Na obr. 13 a 14 je opět patrný vliv dlouhodobé expozice a taktéž i vliv vnesené plastické deformace za studena na precipitaci σ -fáze. Obr. 15 ukazuje opět srovnání změny mechanických vlastností a lomové energie penetračního testu [8].

U oceli HR3C se u ohybu R100 mm, který byl podroben rozpouštěcímu žhání a následné dlouhodobé expozici v intervalu teplot 635 až 694 °C, σ -fáze nevyskytla. Byla indikována v obou typech ohybů bez tepelného zpracování. Při vyšším rozsahu expozičních teplot pak už byla nalezena ve všech hodnocených vzorcích.

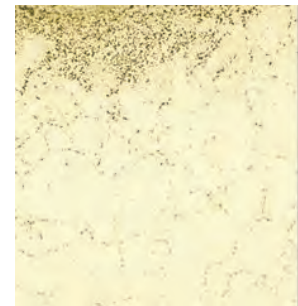
Z obr. 15 je velmi dobře patrný dramatický pokles jak maximálních hodnot zatížení, tak zejména lomové energie penetračního testu, což svědčí o významném ztuhnutí uvedené oceli oproti dvěma předchozím typům [9].

U všech studovaných ocelí při nižší teplotě dlouhodobé expozice docházelo k precipitaci σ -fáze přednostně na vnějším – taženém povrchu ohybu. Při expozici za vyšších teplot byla precipitace rovnoměrná přes celou tloušťku stěny ohýbané trubky. [10, 11]

Dosažené výsledky byly porovnány s rovnými částmi trubek ze stejných materiálů. Zde k precipitaci σ -fáze nedošlo při žádné kombinaci podmínek [12].

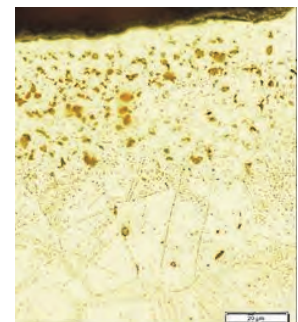


R60 + TZ



R60

sigma fáze
nebyla pozorována

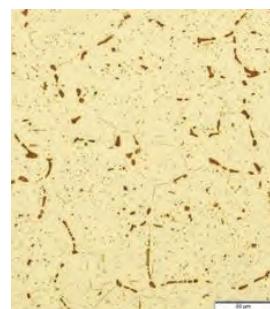


R100

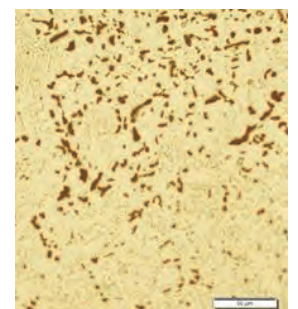
R100 + TZ

Obr. 13 HR3C – Vliv rozpouštěcího žhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 635 – 694 °C

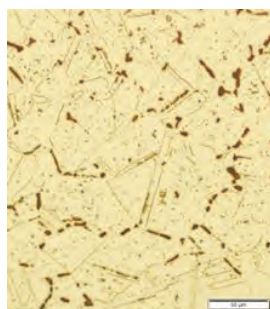
Fig. 13 HR3C – Effect of solution annealing on precipitation of the σ -phase at the exposure temperature between 635 – 694 °C



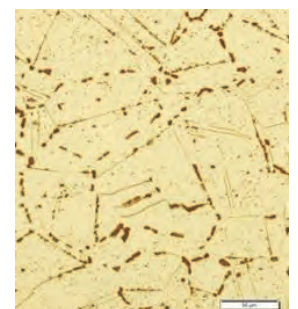
R60 + TZ



R60



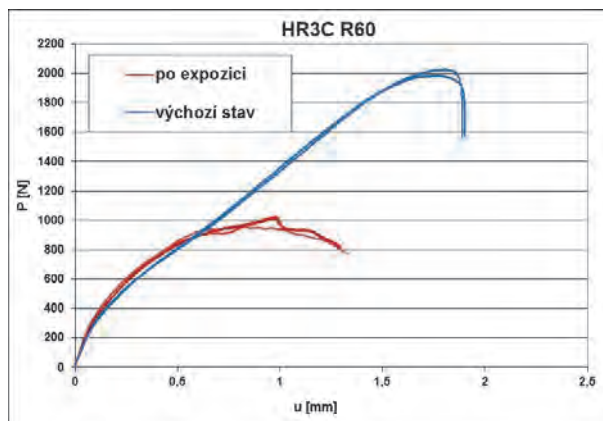
R100 + TZ



R100

Obr. 14 HR3C – Vliv rozpouštěcího žhání na precipitaci σ -fáze při teplotě expozice v rozmezí 726 – 775 °C

Fig. 14 HR3C – Effect of solution annealing on precipitation of the σ -phase at the exposure temperature between 726 – 775 °C



Obr. 15 Vliv dlouhodobé expozice na změnu mechanických vlastností – HR3C, R60

Fig. 15 Effect of long term exposure on the change of mechanical properties change – HR3C, R60

Svarové spoje

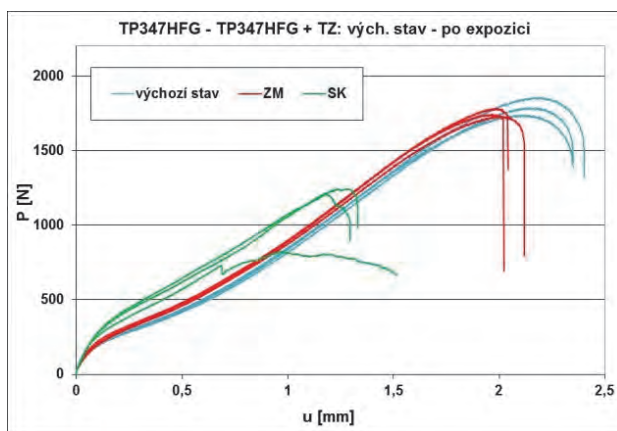
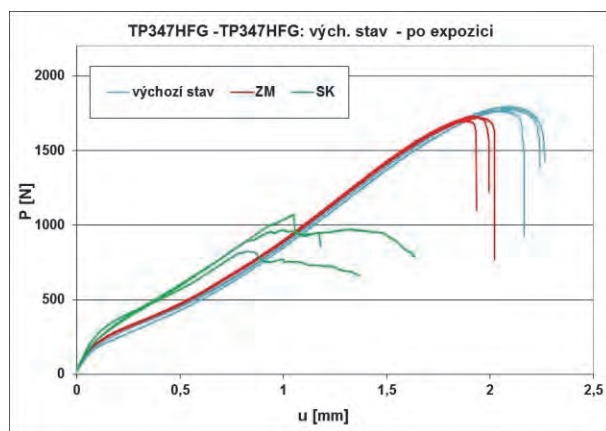
V rámci řešení výzkumného projektu byly hodnoceny různé svarové spoje, homogenní i heterogenní, a to nejen z pohledu mechanických vlastností provedených svarových spojů, ale také vlastností křehkolomových, korozních a creepových vlastností. Rozsáhlost celého experimentálního programu ilustruje tab. 1, v níž je uveden přehled kombinací základních materiálů a tepelného zpracování, které byly použity pro hodnocené svarové spoje [12].

Protože rozsah provedených experimentálních prací přesahuje možnosti tohoto příspěvku, jsou zde prezentovány jen příklady vlivu tepelného zpracování a expozice při nižším rozsahu teplot u vybraných kombinací svarových spojů. Na obr. 16 je provedeno srovnání pro homogenní svarový spoj TP347HFG, na obr. 17 a 18 jsou uvedena srovnání stejných vlivů na heterogenní svarový spoj TP347HFG-HR3C, resp. TP347HFG – SUPER 304H.

Tab. 1 Kombinace hodnocených svarových spojů

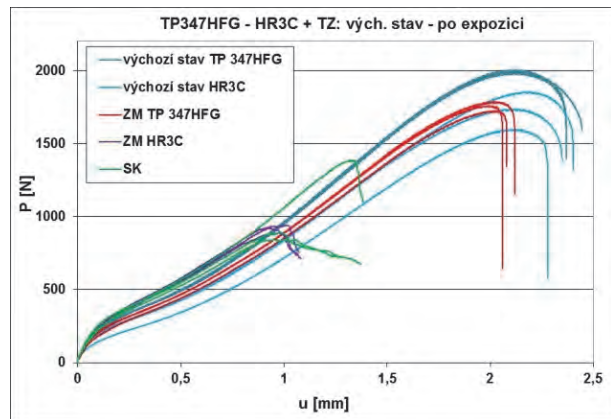
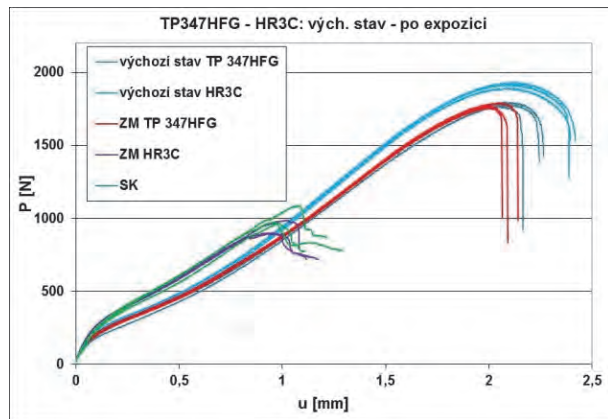
Tab. 1 Combination of evaluated welds

Výchozí stav		
ZM1	ZM2	TZ
Super 304H	HR3C	ano
TP347HFG	P92	ano
HR3C	TP347HFG	ano
TP347HFG	TP347HFG	ano
Expozice 635 – 694 °C		
ZM1	ZM2	TZ
TP347HFG	P92	ano
TP347HFG	HR3C	ne
TP347HFG	HR3C	ano
TP347HFG	TP347HFG	ne
TP347HFG	TP347HFG	ano
TP347HFG	Super 304H	ne
TP347HFG	Super 304H	ano
Expozice 726 – 775 °C		
ZM1	ZM2	TZ
P92	HR3C	ano
Super 304H	P92	ano
Super 304H	Super 304H	ano
HR3C	HR3C	ano
HR3C	Super 304H	ano
HR3C	HR3C	ne
HR3C	Super 304H	ne
Super 304H	Super 304H	ne
TP347HFG	Super 304H	ano
TP347HFG	Super 304H	ne



Obr. 16 Vliv TZ a expozice u homogenního SS TP347HFG (expozice 635 – 694 °C)

Fig. 16 Effect of HT and exposure – homogeneous welds TP347HFG (exposure 635 – 694 °C)



Obr. 17 Vliv TZ a expozice u heterogenního SS TP347HFG – HR3C (expozice 635 – 694 °C)

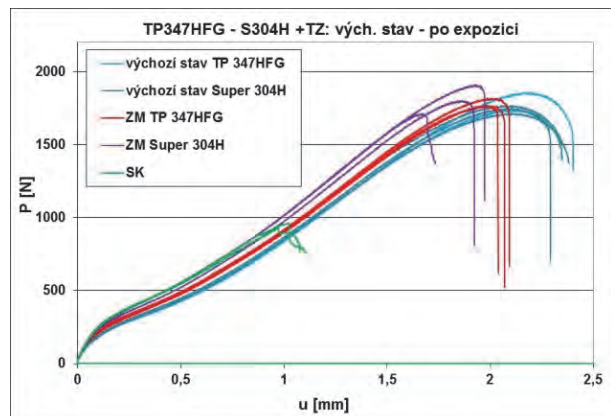
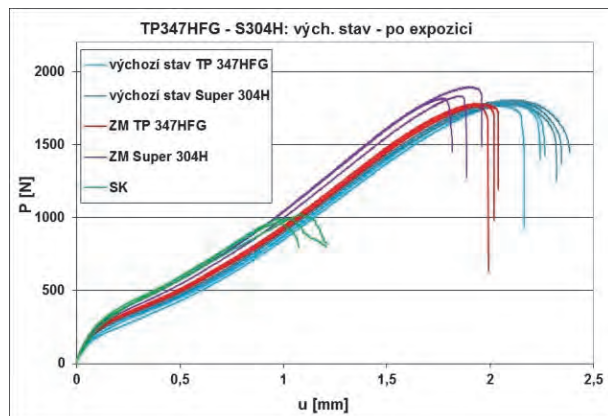
Fig. 17 Effect of HT and exposure – heterogeneous welds TP347HFG – HR3C (exposure 635 – 694 °C)

I když zde, jak je velmi dobře patrné z uvedených obrázků, došlo k poklesu úrovně mechanických vlastností i lomové energie, tento pokles je možné přičíst pouze vlivu dlouhodobé teplotní expozice, protože metalografický rozbor neprokázal ani v jednom ze studovaných svarových spojů precipitaci σ -fáze.

U všech hodnocených svarových spojů byl z pohledu houževnatosti vždy nejslabším článkem svarový kov, jak je rovněž patrné z obr. 16 až 18.

Provedená analýza ukázala, že expozice vzorků svarových spojů při pracovní teplotě v korozním prostředí měla degradační účinky na jejich křehkolomové vlastnosti, kdy hodnota nárazové práce svarových kovů se oproti výchozímu stavu snížila přibližně na 1/3 původní hodnoty.

Analýza výsledků penetračních testů ukázala, že navíc dochází ke značné degradaci křehkolomových vlastností také u základního materiálu HR3C.



Obr. 18 Vliv tepelného zpracování a expozice u heterogenního SS TP347HFG – SUPER 304H (expozice 635 – 694 °C)

Fig. 18 Effect of heat treatment and exposure – heterogeneous welds TP347HFG – HR3C (exposure 635 – 694 °C)

Závěry

Príspevek se zabývá studiem vlivu některých technologických faktorů na strukturu a vlastnosti vybraných představitelů USC ocelí a jejich svarových spojů na jejich degradaci v důsledku dlouhodobé expozice při pracovních teplotách. Bylo prokázáno, že při aplikaci plastické deformace za studena v rámci technologických operací souvisejících s výrobou ohýbaných trubek přehříváků dochází ke značnému zcitlivění struktury austenitických ocelí na tvorbu σ -fáze, která následně významně degraduje zejména křehkolomové vlastnosti těchto ocelí. Dlouhodobou expozicí v trvání 1 roku v provozních podmínkách uhelného kotle v elektrárně Dětmarovice bylo prokázáno, že k precipitaci σ -fáze

dochází již při pouhé expozici v rozsahu běžných provozních teplot bez jakéhokoliv zatížení. Expozice byla provedena při dvou rozmezích teplot. Při nižším intervalu expozičních teplot docházelo k lokalizaci precipitace σ -fáze především k vnějšímu povrchu ohybu, při aplikaci vyššího rozmezí expozičních teplot byla precipitace jasně patrná v celé tloušťce stěny ohýbané trubky. Z experimentálně získaných výsledků vyplývá, že rozvoj precipitace σ -fáze byl výrazně nižší, pokud bylo po plastické deformaci za studena aplikováno rozpouštěcí žíhání.

Z výsledků je rovněž patrné, že po roční tepelné expozici pouze při pracovních teplotách (bez aplikovaného zatížení) byl zaznamenán výskyt sigma fáze v tažených částech ohybů a ve svarech, ani v rovných částech trubkových oblouků nebyla sigma fáze pozorována.

Změny mechanických vlastností byly hodnoceny metodou penetračních testů, a to zejména s ohledem na nutnost přesné lokalizace odběru vzorku. Srovnání bylo provedeno pomocí miniaturizovaných zkušebních těles pro zkoušku tahem.

Křehkolomové charakteristiky studovaných ocelí při laboratorní teplotě vyjádřené změnou lomové energie penetračního testu byly výskytem i malého množství sigma fáze významně sníženy.

V rámci výzkumného programu bylo rovněž provedeno hodnocení rozsáhlého souboru svarových spojů – homogenních i nehomogenních, s různými vzájemnými kombinacemi základních materiálů.

Při hodnocení svarových spojů nebyla prokázána přítomnost σ -fáze v žádném hodnoceném vzorku. Naproti tomu byl prokázán poměrně výrazný pokles hodnot mechanických vlastností a zejména vlastností křehkolomových, které se snížily přibližně na jednu třetinu hodnot výchozích neexponovaných svarových spojů.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] <http://matcalc.tuwien.ac.at/>
- [2] KANDER, L., KORČÁKOVÁ, L. The Influence of Sigma Phase Precipitation on Mechanical Properties of Tp347H Austenitic Steels after 100.000 Hours Service in Coal-fired Power Plant. In *Metal 2015 : 24th International Conference on Metallurgy and Materials* : Cnference Proceedings. Ostrava: TANGER, 2015 Brno, pp. 693–698. ISBN 978-80-87294-62-8.
- [3] KORČÁKOVÁ, L., KANDER, L., MONTGOMERY, M., JENSEN, H.T., STEJSKALOVÁ, Š. The Influence of Sigma Phase Precipitation on Mechanical Properties of Tp347HFG Austenitic Steels after 100 000 Hours Service in Coal-fired Power Plant. In *The 3rd International Conference SSTT 2014*, Austria, pp. 119.
- [4] SOURMAIL, T. *Materials Science and Technology*, 17 (2001), 1–14.
- [5] CHI, Ch., YU, H., XIE, X. *Advanced Austenitic Heat-resistant Steels for Ultra-super-critical (USC) Fossil Power Plants, Alloy Steel – Properties and Use*. Dr. Eduardo Valencia Morales (Ed.), Alloy Steel – Properties and Use, 2011, ISBN 978-953-307-484-9.
- [6] KANDER, L. et al. *Hodnocení materiálových vlastností ohnutých trubek z vybraných austenitických ocelí*. Technická zpráva T-50/2012, Ostrava: MMV, s.r.o., říjen 2012.
- [7] Small Punch Test Method for Metallic Materials. CEN WORKSHOP AGREEMENT CWA 15627, December 2007.
- [8] KANDER, L. aj. *Hodnocení struktury a mechanických vlastností ohybů z materiálů Super 304H a HR3C penetračními testy*. Technická zpráva T-63/2011, Ostrava : MMV. s.r.o., listopad 2011.
- [9] STEJSKALOVÁ, Š., KANDER, L., HERMANOVÁ, Š. The Change of the Structure and Mechanical Properties of the Austenitic Steels after Exposure at the Critical Temperature. In *Metallography 2016*, p.100, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [10] HERMANOVÁ, Š., HORVÁTH, J., KANDER, L. The Effect of Cold Bending Process and Degradation at Boiler Conditions on the Properties of New Austenitic Creep Resistance Steel Super 304H for Boiler Superheaters Tubes. In *Metallography 2016*, p. 88, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [11] KANDER, L. Precipitation of Sigma Phase in Austenitic Steels Used in Supercritical Conditions. In *Metal 2016*, p. 103, Brno, Czech republic.
- [12] HERMANOVÁ, Š., ČINČILA, R., KANDER, L., STEJSKALOVÁ, Š. The Effect of Technology Operation like Bending on Properties of New Austenitic Steels for Application in Boilers with Higher Steam Parameters. In *METAL 2014*, Brno, Czech Republic.
- [13] STEJSKALOVÁ, Š., KANDER, L. et al. *Studium změn mechanických vlastností a struktury svarových spojů trubek z austenitických ocelí po expozici v korozním prostředí*. Technická zpráva T-46/2014, Ostrava: MMV, s.r.o., září 2014.

Německý trh s ušlechtilou ocelí – poptávka není dostatečná

Stahl Aktuell

05.04.2016

Na německém trhu s ušlechtilou ocelí stále není vidět žádná skutečná změna trendu. „Klidně odpočívá jezero,“ říká jeden ze šéfů nákupu v zastoupení ostatních. Základní ceny zůstávají stabilní, ale legovací příplatky v březnu ještě dále poklesly. Protože se nikl v průběhu aktuálního rallye na základních trzích s kovy vzpamatoval, měly by legovací příplatky v dubnu stoupnout. Zda ale na trhu u cen vypukne pravá „jarní nálada“, se zdá z hlediska většiny dotázaných nákupcích pochybné. „Poptávka prostě není dostatečná,“ poznamenal jeden ze šéfů nákupu. Dodací lhůty se pohybují v zelené oblasti. Importy, proudící do Evropy, vyvíjejí tlak na cenovou strukturu. Většina nákupcích je toho názoru, že v příštích týdnech na trhu k žádným podstatným změnám nedojde. Výrazné impulsy ke zvyšování cen dále chybí, protože důležité odběratelské odvětví energetiky dále trpí pod nízkými cenami ropy, a tím i klesajícími investicemi. Pozitivní impulsy přicházejí jen z průmyslu, vyrábějícího spotřební zboží, což ovšem ke změně trendu nestačí.

Hodnocení vlastností žárupevných ocelí – od 24 hodinových zkoušek po SPCT zkoušky

Evaluation of the properties of heat resisting steels – from 24 hour tests to SPCT tests

Dr. Ing. Zdeněk Kuboň¹; doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.²

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 703 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

V článku je nastíněn postup vývoje žárupevných ocelí, a to od uhlíkových, přes nízkolegované, chromové, modifikované až po oceli austenitické, a stručně shrnut také vývoj metod jejich zkoušení, od krátkodobých zkoušek, jejichž výstupem byla hodnota rychlosti tečení v rozmezí 24 – 72 hodin, až po zkoušky, které svou délkou mnohdy předčí i reálné provozní doby komponent energetických zařízení. Při stanovení aktuální zbytkové životnosti se pak s výhodou používá metod pracujících s miniaturizovanými zkušebními tělesy, jako je metoda creepových zkoušek malých vzorků (Small Punch Creep Tests – SPCT). Na příkladu výkovku z oceli P92 je uvedeno porovnání výsledků mezi klasickými creepovými zkouškami a zkouškami SPCT a jsou uvedeny hodnoty přepočítacích koeficientů, které umožňují vzájemnou porovnatelnost obou těchto metod.

Klíčová slova: Creep, uhlíkové; nízkolegované; chromové modifikované a austenitické žárupevné oceli; vývoj zkušebních metod; SPCT testy; ocel P92; korelace mezi creepovými a SPCT zkouškami

The article outlines the progress of development of creep-resistant steels from carbon steels through low-alloy, chromium modified to austenitic steels, and it also briefly summarizes the development of testing methods of creep resistance characteristics. Creep tests emerged at the beginning of the 20th century when it was found that the traditional approach to determining material properties could be used for high temperature applications. Creep testing started by the short-term tests, where the output value was the creep rate measured in the time interval from 24 to 72 hours and developed into the really long-lasting creep tests with times that often surpassed the actual operating time of the power plant components. In the last decades also new testing methods of the creep properties emerged and one of them, known as the small punch creep tests (SPCT) could be, due to its reduced demand for the amount of material to be tested, used with advantage for determining the actual residual life of the coal-fired power plant components. It works with a disc-shaped samples having 3 - 10 mm in diameter and 0.3 - 1 mm in thickness, making it almost a non-destructive method. Besides of determining the proof stress and tensile strength, fatigue strength, brittle-ductile transition temperature and fracture toughness, this method can also be used for determination of the creep characteristics. The evaluation of SPCT is based on the correlation with the results of the conventional creep and/or stress rupture tests. Due to complexity of the strain state, this correlation is based on the ratio between the load in SPCT and stress in creep test for the same times to rupture. The example of such a correlation between the conventional creep tests and SPCT of the forging made of the steel P92 was found and the values of the conversion coefficients between the both methods are stated here, which allows comparability of these two methods.

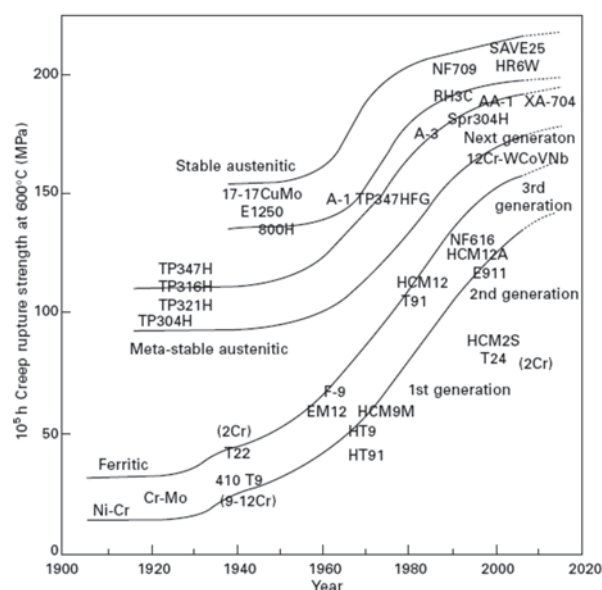
Key words: Creep, carbon steels; low-alloy steels; chromium modified steels; austenitic creep resistant steels; development of test methods; SPCT tests; steel P92; correlation between creep and SPCT tests

Vývoj žárupevných ocelí úzce souvisí s rozvojem energetického a chemického průmyslu a požadavky na vlastnosti a jejich testování jsou u nich určovány především pracovními podmínkami (teplotou, tlakem, korozním prostředím) a ekonomickou životností zařízení. Vývoj tepelně energetických zařízení sleduje od samého počátku cestu zvyšování tepelné účinnosti,

s čímž je spojeno plynulé zvyšování provozních teplot a tlaků a zvyšování výkonu nově budovaných jednotek. Tento vývoj by však nebyl možný bez paralelního vývoje zkušebních metod, jejichž zvláštností je to, že musí garantovat neměnné experimentální podmínky po celou dobu zkoušení, která může i přesáhnout 100 000 hodin, tj. téměř 9 let.

1. Nástin vývoje žárupevných ocelí

Až do počátku 20. století byly pracovní parametry i výkony parních kotlů natolik nízké, že nebylo potřeba vyvíjet materiály se specifickými a v materiálových listech také uváděnými vlastnostmi za zvýšených teplot. Až zhruba ve 20. letech minulého století spolu s výstavbou parních kotlů o vyšším výkonu (např. ve Vítkovicích kotle typu Löffler s pracovní teplotou 500 °C a tlakem 13 MPa) se ukázalo, že stávající, převážně uhlíkové oceli nejsou pro tyto účely dostačující, a to jak z pevnostního hlediska, tak i pro nízkou korozní odolnost. To odstartovalo vývoj nových typů nízkolegovaných ocelí následovaný vývojem ocelí na bázi 9–12 % chromu a ocelí austenitických, speciálních slitin na bázi niklu, kobaltu a dalších prvků s vysokou teplotou tání (obr. 1) [1].



Obr. 1 Schéma vývoje značek a typů žárupevných ocelí [1]

Fig. 1 Development of types and grades of creep-resistant steels [1]

1.1 Uhlíkové a nízkolegované oceli

Vývoj nových typů žárupevných ocelí vycházel z původně používaných značek ocelí uhlíkových, které však, zejména v případech, kdy byly zpracovávány za studena, při provozu za zvýšených teplot křehly. Ke zvýšení jejich houževnatosti bylo použito uklidnění oceli hliníkem, který vyvázal z tuhého roztoku volný dusík, a zabránil tak stárnutí oceli, třebaže za cenu určitého snížení žárupevnosti [2]. Kromě zkrěhnutí vlivem dusíku mohlo, zejména ve svarových spojích, u nich docházet také ke grafitizaci cementitu a s tím spojené ztrátě pevnosti i plasticity. Uhlíkové žárupevné oceli se ovšem používají stále, třebaže s aplikačním omezením maximální pracovní teploty ve výši cca 450 °C. V tomto segmentu byly v 80. letech vyvinuty oceli mikrolegované niobem, resp. vanadem nebo jejich kombinací, které přinesly další zvýšení meze pevnosti při tečení, která se tak ve stavu po řízeném tvárění dostala až na úroveň ocelí s obsahem 0,3 % Mo.

Právě ocel s obsahem 0,3 % Mo byla jednou z prvních úspěšných nízkolegovaných žárupevných ocelí, která posunula maximální pracovní teplotu až na hranici 530 °C. Jejím aplikačním omezením však byla nejen nižší pevnost, ale také snížená odolnost proti grafitizaci u horní hranice pracovních teplot. Tento nedostatek byl odstraněn využitím kombinace legujících prvků Cr-Mo a Cr-Mo-V, pro případy použití na rotory turbín pak ještě s přísadou niklu. Do této skupiny patří představitelky nejúspěšnějších a nejrozšířenějších nízkolegovaných žárupevných ocelí, jako jsou značky 13CrMo4-4 (v ČR 15 121), 14MoV6-3 (15 128) a 10CrMo9-10 (15 313), které jsou používány až do teploty stěny 570 °C. Další impuls pro vývoj nových značek nízkolegovaných ocelí přišel s výstavbou moderních USC bloků, které pracují s teplotou páry okolo 600 °C a pro jejichž membránové stěny již tradiční značky ocelí nevyhovují. Specifickým požadavkem pak byla absence přehřevu i tepelného zpracování po svařování, což si vyžádalo snížení obsahu uhlíku u těchto nových značek na 0,04–0,10 %. Jejich konstituce vychází z ocelí s obsahem 2,25 % Cr a 1 % Mo, ale obsah molybdenu byl částečně nahrazen wolframem a oceli byly dolegovány vanadem, niobem, případně i titanem a borem [4]. Tyto komerčně vyráběné oceli pod značkami T 23 (HCM2S) a T 24 dosahují creepové pevnosti srovnatelné s ocelí X20CrMoV12-1 a představují do budoucna perspektivní nízkolegované žárupevné oceli, a to i přesto, že se jejich komerční nasazení do membránových stěn USC kotlů ukazuje dosud jako problematické.

1.2 Chromové modifikované oceli

Vývoj ocelí na bázi 9–12 % Cr započal v 30. letech minulého století zavedením oceli T9 (9 % Cr, 1 % Mo), která byla používána hlavně v petrochemickém průmyslu. Zvýšené korozní odolnosti i za vysokých teplot bylo u této skupiny ocelí využíváno všude tam, kde pracovní teploty dosahovaly a překračovaly 600 °C. Modifikacemi chemického složení byla dále optimalizována její žárupevnost [5]. V 80. letech pak byla na trh uvedena ocel P 91 jako představitelka nové generace modifikovaných žárupevných ocelí [6], které se vyznačovaly až dvojnásobnou mezí pevnosti při tečení oproti oceli X20CrMoV12-1. V Japonsku byla vyvinuta ocel P92 (Nf 616) obsahující wolfram, který částečně nahradil molybden, a s přísadou boru [7]. Následovala evropská ocel s molybdenem i wolframem E911 [8], oceli s obsahem 12 % Cr (VHM 12, HCM 12) [9] a další značky. Vývoj v této skupině ocelí tak pokračuje intenzivně i nadále, přestože je zřejmé, že maximální pracovní teploty těchto značek nemohou překročit asi 630 °C a také, že jejich dlouhodobá strukturní stabilita není dostatečná a v oceli vzniká jednak Lavesova fáze Fe₂Mo, jednak Z-fáze Cr(V,Nb)N [10], které způsobují pokles dlouhodobé žárupevnosti. Poslední výzkumy v tomto segmentu žárupevných ocelí se tak soustřeďují na nalezení takové kombinace legujících prvků, která vzniku Z-fáze buď zabráni, nebo

alespoň posune její vznik natolik, že nebude představovat omezení životnosti vyrobených komponent.

1.3 Austenitické žárupevné oceli

Pro použití nad teplotu 630 °C jsou vhodné austenitické žárupevné oceli. Jejich rozvoj nastal zejména po 2. světové válce, kdy bylo zjištěno, že úsporné austenitické oceli na bázi 18Cr8Ni mají nejen dobrou odolnost proti korozi, ale také dobrou žárupevnost. Této vlastnosti bylo využito při budování 1. generace USC kotlů. Jejich nevýhodou je však citlivost na tepelnou únavu z důvodu vysokého koeficientu délkové roztažnosti a malé teplotní vodivosti, což významně omezuje jejich aplikace na tlustostěnné součásti. Pro vysokoteplotní aplikace bylo vyvinuto mnoho značek zejména na bázi 18Cr8Ni, 15Cr15Ni a 20Cr25Ni [11]. Značného rozšíření se dostalo oceli 316H s obsahem 2,5 % Mo, která byla hojně využívána na výrobu přehřívákových trubek nadkritických kotlů s teplotou stěny nad 600 °C. Oproti stabilizovaným ocelím 321 a 347 s přísadou Ti, resp. Nb pro vyvážení uhlíku a zvýšení odolnosti proti mezikrystalové korozi se u creepových značek využívá nižšího poměru Ti,Nb/C, případně jsou tyto oceli pro další zvýšení žárupevnosti oceli dolegovány dusíkem [12].

Ukázalo se však, že pro špičkové aplikace v UCS kotlích ani tyto materiály neposkytují dostatečnou korozní odolnost. Další generace stále relativně úsporných austenitických žárupevných ocelí proto využívá legování mědi (značka Super 304H), garance jemnozrnné struktury (TP 347 HFG) či zvýšené koncentrace chromu (HR3C), a to i v kombinaci se speciální úpravou pracovního povrchu tzv. shotpeeningem, tedy kuličkováním broky z materiálů o dostatečně vysoké tvrdosti. Tryskání povrchu těmito kuličkami jednak zvyšuje odolnost proti únavě, jednak také výrazně zjemňuje zrna, a tím usnadňuje doplňování chromu na povrch napadený korozi pomocí difuze po hranicích zrn [13].

2. Zkoušení creepových vlastností ocelí

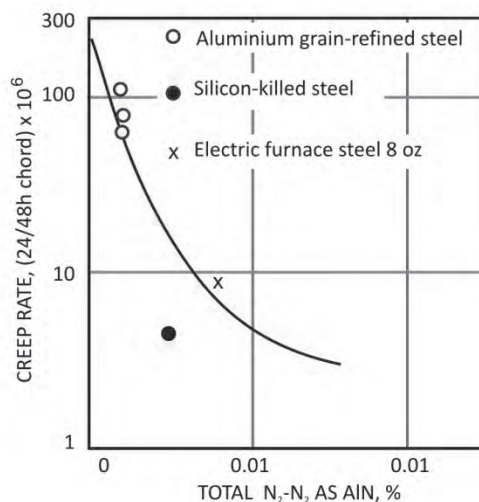
Na počátku zkoušení creepových charakteristik žárupevných ocelí stál Andrade, který zkoušel creep u drátů vyrobených z různých ocelí. Třebaže tyto původní zkoušky trvaly pouze několik minut, Andrade z nich odvodil vztah pro teplotně závislou deformaci čistých kovů [14]:

$$l = l_0 (1 + B \cdot t^{\frac{1}{3}}) e^{KT} \quad (1)$$

kde l_0 je původní délka, l délka vzorku za dobu t , T je absolutní teplota a B a K jsou konstanty, přičemž konstanta B platí pro primární stádium, kdy rychlost creepu klesá, konstanta K platí pro stádium terciární, kdy rychlost creepu naopak roste. Andrade také ukázal na skutečnost, že hodnota konstanty K může být nulová, a tedy za určitých podmínek rychlost creepu stále klesá.

Tento předpoklad vedl k přesvědčení, že pro každý materiál a teplotu lze nalézt limitní napětí, pod kterým tečení nakonec ustane a materiál se nepoškodí. To vedlo k vývoji metod zkoušení creepové pevnosti založené na krátkodobých zkouškách, jejichž cílem bylo nalézt tuto minimální hodnotu. Jednou z těchto metod byla metoda Hätfieldova, jejímž cílem bylo nalézt takové napětí, které nevyvolalo vyšší než 0,5% deformaci za první den zkoušení a v časovém intervalu mezi 24 a 72 hodinami nepřesáhla rychlost deformace 10^{-6} hod⁻¹. Za bezpečné napětí byly považovány $\frac{2}{3}$ této hodnoty napětí [15]. Využití našly tyto krátkodobé zkoušky zejména při analýze faktorů, které ovlivňují creepové vlastnosti kovů a slitin (obr. 2) [2].

Mimo tyto krátkodobé zkoušky se již na konci 20. let minulého století prováděly také zkoušky relativně dlouhodobé, dosahující řádově tisíců hodin, u kterých však bylo obtížné za stávajícího stavu techniky udržet teplotu dlouhodobě v přijatelném rozmezí. Skutečný rozmach ve zkoušení creepu nastal po roce 1940 s nástupem elektroniky, využitím platinového odporového čidla při regulaci teploty i niklových superslitin pro prvky zatěžujícího řetězce pracujícího za vysokých teplot. Delší doby zkoušek a jejich spolehlivější výsledky tak umožnily prodloužit výpočtovou životnost energetických zařízení až na 100 000 hodin již brzy po roce 1940, nejprve v Německu a poté i ve všech průmyslově vyspělých zemích.



Obr. 2 Vliv dusíku na creepovou pevnost uhlíkových ocelí [2]
Fig. 2 Influence of nitrogen on creep strength of carbon steels [2]

Zpočátku byly creepové stroje představovány z trhačích strojů pro mechanické zkoušky a byly jednotkové, tj. jedna pec pro jednu zkoušku. Z důvodu úspory místa i energie a obzvláště pro dlouhodobé creepové zkoušky byly sestaveny stroje hromadné, a to buď pákového typu, nebo pružinové, které pojaly najednou až 216 zkušebních těles. To umožnilo zvýšit rozsah zkoušení a napomohlo rychlému rozvoji creepových ocelí po 2. světové válce. [16] S rozšiřujícími se poznatky o creepovém chování ocelí i rostoucí přesností jejich

zkoušení a ověřování bylo možné postupně prodlužovat projektové doby komponent energetických zařízení až na současných 250 000 hodin, přičemž v řadě laboratoří jsou dosahované hodnoty meze pevnosti při tečení a meze tečení podloženy skutečnými, tedy neextrapolovanými creepovými daty.

3. Hodnocení creepových vlastností pomocí SPCT testů

Skutečná creepová pevnost jednotlivých výrobků však podléhá značnému rozptylu, který je dále zvětšován rozdílnými pracovními parametry, existencí přídavného zatížení a dalšími jevy. Při hodnocení zbytkové životnosti energetických zařízení je tak běžnou praxí odebrat vzorek materiálu, který je podroben zkoušce tečením, nejčastěji pracovním napětím a při několika teplotách vyšších než teplota pracovní. V mnoha případech je však obtížné odebrat takové množství materiálu, které by umožnilo vyrobít sérii klasických creepových zkušebních těles. V těchto případech se s výhodou využívá miniaturizovaných zkušebních těles a metod, na nich založených. Jednou z těchto metod je metoda malých vzorků (Small Punch Tests – SPT), která byla původně vyvinuta pro hodnocení přechodové teploty materiálů v jaderné energetice v EPRI [17]. Její výhodou je to, že pracuje se vzorky tvaru disku s minimálními rozměry $\varnothing$ 3–10 mm a tloušťka 0,3–1 mm), což z ní vůči testovanému výrobku činí téměř metodu nedestruktivní. Mimo stanovení aktuální pevnosti, meze únavy, charakteristik plasticity, přechodové teploty křehký-houževnatý stav i lomové houževnatosti, je pomocí této metody možné určovat i creepové charakteristiky.

Metoda creepových testů malých vzorků (Small Punch Creep Tests – SPCT) a jejich vyhodnocení je založena na jejich korelaci s výsledky creepových zkoušek, podobně jako v případě penetračních testů [18, 19]. Vzhledem ke složitosti napěťových stavů se však pro korelaci využívá rovnosti dob do lomu u klasické creepové zkoušky a zkoušek SPCT. Při rovnosti dob do lomu se navzájem koreluje zatížení zkoušky SPCT a napětí zkoušky creepové a pomocí této korelace je pak možné hodnotit creepovou odolnost materiálů i pomocí SPCT zkoušek. Podobně může být korelována rychlost sekundárního tečení při creepové zkoušce s měřenou deformací a rychlost stacionárního tečení při zkoušce SPCT.

Vyjádření korelačního vztahu mezi zatížením F zkoušky SPCT (FSP) a napětím σ při creepové zkoušce lze vyjádřit vztahem:

$$\frac{F}{\sigma} = 3,33 \cdot k_{SP} \cdot R^{-0,2} \cdot r^{1,2} h \quad (2)$$

kde R je poloměr spodní matrice, do níž je vzorek vtlačován, r je poloměr indentoru nebo kuličky, h_0 je tloušťka vzorku a k_{SP} je konstanta charakterizující plasticitu materiálu.

Ve zjednodušené podobě a pro identickou tloušťku vzorku tento vztah nabývá tvaru:

$$\frac{F}{\sigma} = \Psi \quad (3)$$

Hodnota konstanty v této rovnici se pohybuje obvykle v rozmezí asi 1,2 až 2,5 pro většinu ocelí.

4. Creepová odolnost oceli P92 hodnocená pomocí SPCT testů

Ocel P92 je představitelka komerčně úspěšné značky nové generace 9% Cr modifikovaných ocelí. Oproti oceli P91 je legována navíc wolframem a borem a v současnosti se používá zejména na parovody a komory parních kotlů vysokých výkonů a USC kotlů.

Pro stanovení korelačního vztahu mezi creepovými zkouškami a zkouškami SPCT byl použit materiál z kruhového výkovku, jehož chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 a 2. Samotný creepový experimentální program probíhal jednak na creepových zkouškách do lomu s kruhovým průřezem při teplotách 550, 600 a 650 °C, jednak paralelně na SPCT zkouškách – vzorcích diskového tvaru o $\varnothing$ 8 mm a tloušťce 0,5 mm při teplotách 625 a 650 °C. Graficky jsou výsledky creepových zkoušek do lomu ukázány na obr. 3 ve tvaru závislosti doby do lomu na napětí a teplotě a včetně srovnání se středními hodnotami meze pevnosti při tečení, jak je pro ocel P92 definována v materiálové normě [20]. Obr. 4 ukazuje křivku tečení získanou při SPCT zkoušce.

Obě série výsledků byly navzájem korelovány pomocí vztahu (3). Výsledky této empirické korelace spolu s křivkami, které jsou matematicko-statistickým vyjádřením této závislosti a s křivkami získanými podobným zpracováním klasických creepových zkoušek téhož materiálu z téže tavby při teplotě 650 °C, znázorňuje obr. 5.

Tab. 1 Chemické složení výkovku z oceli P92, (hm. %)

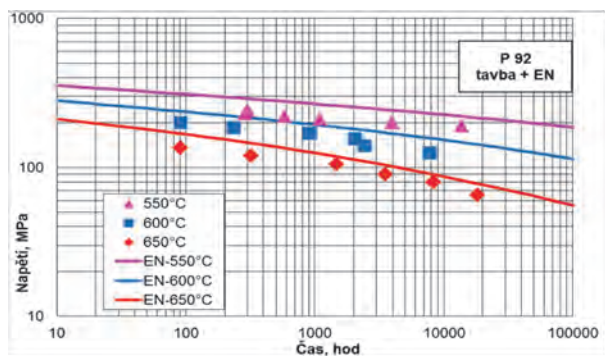
Tab. 1 Chemical composition of the forging made of the steel P92, (mass %)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
0,109	0,44	0,30	0,016	0,0026	8,86	0,404
W	V	Nb	Ti	Al	B	N
1,69	0,191	0,049	<0,004	0,0110	0,0033	0,0481

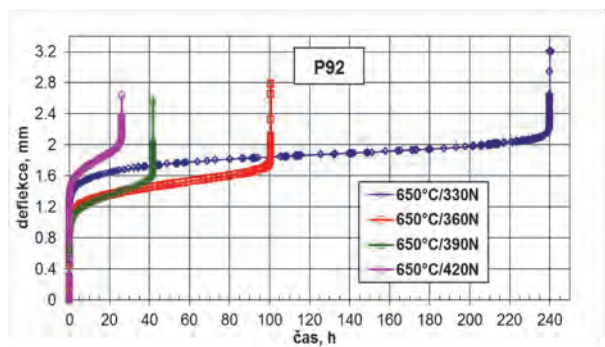
Tab. 2 Mechanické vlastnosti výkovku z oceli P92

Tab. 2 Mechanical properties of the forging made of the steel P92

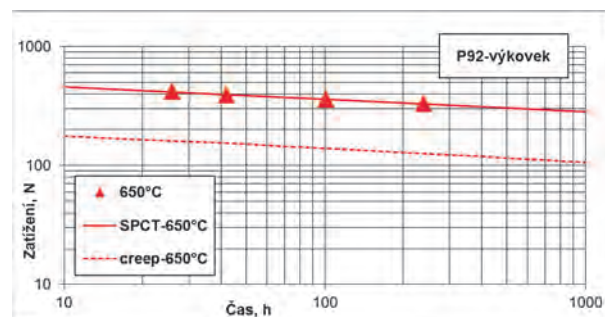
Teplota	R _{p0.2}	R _m	A ₅	Z	KV
°C	MPa		%		J
+20	477	667	24,5	62,8	109
350	410	531	18,8	62,8	-



Obr. 3 Teplotně-časová závislost doby do lomu výkovku z oceli P92
Fig. 3 Temperature and time dependence of time to rupture of the forging made of the steel P92



Obr. 4 Křivky časového rozvoje tečení materiálu výkovku z oceli P92 získaná při teplotě 625 °C pomocí SPCT zkoušek
Fig. 4 SPCT curves of the forging made of the steel P92 at the temperature of 625 °C



Obr. 5 Výsledky creepových a SPCT zkoušek výkovku z oceli P92 a jejich srovnání s výsledky zkoušek creepu téže oceli
Fig. 5 SPCT results of the forging made of the steel P92 and their comparison with the creep tests of the same steel

Při výpočtu hodnoty součinitele k_{SP} z rovnice (2) a konstanty Ψ z rovnice (3) byly srovnávány velikosti napětí a zatížení pro identické doby do lomu v rozmezí časů 10 až 1 000 hodin. V tomto časovém rozmezí pro daný experiment platí, že $k_{SP} = 1,78$ a $\Psi = 2,58$. Aktuální koeficient k_{SP} je vyšší než byla jeho hodnota pozorována u oceli na bázi 9 % Cr, kde se jeho hodnota pohybovala okolo 1,2 [21]. Naopak velmi dobrá shoda je u koeficientu Ψ , který byl naměřen ve výši 2,85 [22].

Závěr

Vývoj žárupevných materiálů i metod jejich zkoušení je již historicky veden požadavkem na zvýšení účinnosti

i životnosti energetických, resp. chemických zařízení. V souvislosti s prodlužováním ekonomické životnosti a spolehlivosti parních kotlů se využívá mnoha metod pro stanovení zbytkové životnosti a s výhodou se aplikují ty, které dokážou minimalizovat zásah do integrity součástí. Příklad hodnocení creepových charakteristik oceli P92 pomocí metody SPCT ukázal jednu z perspektivních metod a směrů tohoto vývoje.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj vědecké organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické vědecké centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] MASUYAMA, F. Steam Plant Material Developments in Japan. In *Materials for Advanced Power Engineering*, 1998, Part III, J. Lecomte-Beckers et al. (eds), Forschungszentrum Juelich, 1998, pp. 1807–1824.
- [2] ROBERTSON, J. M., NICHOLS, R. W. High-temperature Mechanical Properties of Steels Used in Gas-cooled Reactor Pressure Vessels. *Steels for reactor pressure vessels circuits. I.S.I. Spec. Report No 91*. The Iron and Steel Institute, 1961, pp. 14–39.
- [3] FOLDYNA, V., KUBOŇ, Z., SCHELLONG, T., KÜBEL, Z. How to Improve Creep Rupture Strength of Microalloyed Steels. In *Metal 2001*, Tanger, Ostrava, 2001. CD-ROM.
- [4] DESHAYES, F., BENDICK, W., HAARMANN, K., VAILLANT, J.C. New 2–3% Cr steel grades for water wall panels and superheaters, part I, J. Lecomte-Beckers et al. (eds), Forschungszentrum Juelich, 1998, pp. 501–510.
- [5] FUJITA, T., TAKAHASHI, N. Effect of Mo and W on Long Term Creep Rupture Strength of 12%Cr Heat-resisting Steel Containing V, Nb and B. *Transactions ISIJ*, 18 (1978) 115–124.
- [6] SIKKA, V. K., WARD, C. T., THOMAS, K. C. Modified 9Cr-1Mo Steel – an Improved Alloy for Steam Generator Applications. In *Ferritic Steels for High Temperature Applications*, Ed. A. K. Khare, ASM, 1983. p. 65.
- [7] MASUMOTO, H., SAKAKIBARA, M., TAKAHASHI, T., SAKURAI, H., FUJITA, T. Development of a 9%Cr-Mo-W Steel for Boiler Tubes. In *1st International EPRI Conference on Improved Coal-Fired Plants*, Palo Alto/USA, Electric Power Research Institute, 1986.
- [8] ORR, J., BUCHANAN, L. W., EVERSON, H. The Commercial Development and Evaluation of E911, a Strong 9%CrMoWVNbN Steel for Boiler Tubes and Headers. In *International Conference Advanced Heat Resistant Steels for Power Generation*, San Sebastian, Spain, Electric Power Research Institute Palo Alto CA, April 1998.
- [9] ISEDA, A., SAWARAGI, Y., KATO, S., MASUYAMA, F. Development of a New 0.1C–11Cr–2W–0.4Mo–1Cu Steel for Large Diameter and Thick Wall Pipe for Boilers, In *5th International Conference on Creep of Materials*, Lake Buena Vista, Florida, USA, ASM International, Materials Park, Ohio, May 1992.
- [10] HALD, J., DANIELSEN, H. K. Z-phase Strengthened Martensitic 9-12%Cr steels. In *3rd Symposium on heat resistant steels and alloys for high efficiency USC power plants*, Tsukuba, Japan: National Institute for Materials Science, 2009.
- [11] ABE, F., KERN, T. U., VISWANATHAN, R. *Creep-resistant Steels*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008, 678 s. ISBN 978-1-84569-178-3.

- [12] LIŠKA, M., VODÁREK, V., SOBOTKOVÁ, M., SOBOTKA, J. Precipitation Behaviour and Creep Rupture Properties of CrNi(Mo)N Austenitic Steels. In: *2nd Int. Conf. High Nitrogen Steels HNS 90*. Aachen. s. 78–83.
- [13] TOSSEY, B., KHAN, H., ANDERS, T. Steam Oxidation Resistance of Shot Peened Austenitic Stainless Steel Superheater Tubes, *NACE CORROSION 2011*. Houston, TX. (Paper 11186).
- [14] ANDARADE, A. N. On the Viscous Flow in Metals, and Allied Phenomena. *Proceedings of the Royal Society, A*, 84 (1910) 1, 1–12.
- [15] HÄTFIELD, W. H. Heat Resisting Steels. *J. Iron Steel Inst.* 115 (127), 483–522.
- [16] GLEN, J. *The Problem of the Creep of Metals*. Birmingham: Kynoch Press, 1968. 126 s.
- [17] MANAHAN, M. P., ARGON, A. S., HARLING, O. K. The Development of a Miniaturized Disc Bend Test for Determination of Post Irradiation Mechanical Properties. *Journal of Nuclear Materials*, 103&104, North-Holland Publishing Company, 1981, pp. 1545–1550.
- [18] CEN Workshop Agreement CWA 15627 „Small Punch Test Method for Metallic Materials“, December 2007.
- [19] BICEGO, V., LUCON, E., CRUDELI, R. Integrated Technologies for Life Assessment of Primary Power Plant Components. In *Int. Symp. on Materials Ageing and Component Life Extension*, Eds. Bicego, Nitta and Viswanathan, 1995, EMAS, Vol. I, pp. 295–305.
- [20] ČSN EN 10 216-2 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení – Technické dodací podmínky, část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách. ČNMT. září 2003.
- [21] HURST, R. C., MATOCHA, K. A Renaissance in the Use of the Small Punch Testing Technique. PVP 2015, In *Pressure Vessels & Piping Conference: New Frontiers in Pressure Vessels and Piping*, July 2015. Boston. Park Plaza, Massachusetts, USA.
- [22] DOBEŠ, F., MILIČKA, K. Small Punch Testing of P91 Steel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83 (2006), 625–634.

Počet zakázek klesá, dodávky posilují

Focus Rostfrei

29.03.2016

Data o příchodu nových zakázek u německých výrobců nerezových ocelí, zveřejněná naposledy na tomto místě v lednu, byla zřejmě méně zatěžující, než bylo myšleno. Lednový výsledek byl mezitím revidován, a sice na 55 000 tun. V únoru byly registrované objednávky vyčísleny na 51 200 tun. Na celkové situaci se tím ale nic nemění. V dřívějších dobách se přísun zakázek v tomto období pohyboval kolem 150 000 tun. Mezitím dodávky z německé výroby nerezů v lednu tohoto roku posílily o 4,5 % ve srovnání s lednem 2015. Zajímavé je, že austenitické druhy se vyvíjely podstatně lépe než ferritické.

Zisk Dillinger Hütte se propadá

Saarbrücker Zeitung

06.04.2016

Evropští výrobci hrubých plechů, jako je Dillinger Hütte, očekávají na základě realizace antidumpingových opatření ze strany Evropské komise ve druhé polovině letošního roku poněkud zlepšenou situaci. Zatím zaznamenává Dillinger Hütte v běžícím roce agresivní vytlačovací soutěž. Přesto podnik zahájil rok s dobrým vytížením a očekává v roce 2016 celkově odbyt na úrovni předcházejícího roku. Díky příznivé surovinové situaci a úsporným opatřením se v roce 2015 Dillinger Hütte podařilo i přes pokles obrátu dosáhnout operativního zisku, řekl mluvčí koncernu na výroční tiskové konferenci. Konsolidovaný výsledek Ebitda ale ležel se 118 miliony € pod úrovní roku 2014 (193 milionů €). Konsolidovaný obrát v roce 2015 klesl na 1,838 miliardy € ze 2 miliard o rok dříve.

Akcionáři Vallourec schválili navýšení kapitálu

Stahl Aktuell

07.04.2016

Akcionáři francouzského výrobce trub Vallourec schválili navýšení kapitálu o 1,0 miliardy €. Zvýšení kapitálu bude podpořeno oběma největšími akcionáři, francouzskou státní bankou Bpifrance a japonskou společností NipponSteel & Sumitomo Metal Corp. Po provedení schválených opatření budou oba největší akcionáři držet ve společnosti Vallourec po 15 % akcií.

Hodnocení povrchových vrstev a povlaků

Evaluation of Surface Layers and Coatings

Ing. Karel Malaník, CSc.; Ing. Roman Gabor, Ph.D.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., 703 00 Ostrava-Vítkovice, detašované pracoviště
VÚHŽ a.s., Dobrá, Česká republika

Řešitelské aktivity Laboratoře povrchových analýz a koroze jsou zaměřeny na výzkum a vývoj metod zkoušení materiálů s řízenými úpravami povrchu. V rámci prováděných činností je využívána zejména řádkovací elektronové mikroskopie s EDS, WDS a EBSD mikroanalýzou a optická emisní spektrometrie s buzením doutnavým výbojem.

Hlavním předmětem zájmu jsou otěruvzdorné, kluzné a biokompatibilní povlaky připravované technologií CVD, PA CVD a PVD a povrchové vrstvy získávané mikroobloukovou oxidací Ti a jeho slitin. Vývoj metod je prováděn zejména v souvislosti s řešitelskými aktivitami VÚHŽ a.s. při zavádění nových typů povrchových úprav, optimalizací technologických procesů a predikci stability povlaků v provozních podmínkách.

Klíčová slova: zkoušení materiálů; vývoj metod; povrchová analýza; SEM; EDS; GDOES; povlak; povrchová vrstva; mikrooblouková anodizace; hloubkový profil; korozní odolnost

Laboratory of surface analyses and corrosion is focused on research and development of methods for evaluation of materials with controlled surface treatment. Scanning electron microscopy (SEM) with EDS, WDS, EBSD microanalysis and glow discharge optical emission spectroscopy (GDOES) are used within the examined activities. As supporting devices the following equipment is used among others: corrosion chambers (climatic and condensation ones) and C/S and O/N/H determinators.

Procedures for non standard material testing and evaluation are being developed and introduced into practice on the appropriate devices. GDOES technique deals mainly with the profile elemental analysis of conductive and non conductive layers. SEM procedures with the support of microanalyses are developed and applied for the evaluation of microstructural states and chemical characteristics of different types of materials.

The main subjects of interest are wear & abrasion resistant, sliding and biocompatible coatings prepared by CVD, PACVD and PVD technologies and surface layers obtained by spark anodizing of Ti and its alloys. Development of methods is especially carried out in the connection with investigative activities of the company VÚHŽ a.s. focused on innovation of new, advanced types of surface treatments, optimization of technological processes and stability examination of coatings and surface layers in order to consider an operating service life of the surface treated components in industrial conditions. Depth elemental profiles of various types of coatings are reported.

Key words: material testing; development of methods; surface analysis; SEM; EDS; GDOES; coating; surface layer; spark oxidizing; depth profile; corrosion resistance

Vlastnosti produktů významně závisí na stavu povrchu, který je prostředníkem interakce vnějších podmínek a daného materiálu. Povrchové vrstvy se obvykle vytvářejí modifikací základního materiálu. V případě povlaků se jedná o odlišný materiál nanesený na základní materiál – substrát. Jeho kvalita výrazně ovlivňuje výsledné vlastnosti finálních výrobků. Stejně materiály mohou za srovnatelných podmínek vykazovat zcela odlišné chování.

U přirozeně vznikajících nebo záměrně vytvářených povrchových vrstev a povlaků je v rámci sledování jejich jakostních parametrů nezbytná znalost jejich chemického složení a strukturních vlastností. Problematika povrchové analýzy a koroze byla původně řešena ve

skupině Třinecké železářny a Moravia Steel (TŽ-MS) na jednotlivých pracovištích, schopných zpravidla provádět jen dílčí hodnocení. Komplexní řešení nabídlo v rámci projektu RMTVC vytvoření Laboratoře povrchových analýz a koroze (LPAAK) s novým vybavením a širokou nabídkou operativních služeb.

LPAAK je orientována na rozvoj metod pro analýzu povrchů a na studium korozních procesů různých typů materiálů. Její činnosti mají charakter zejména aplikovaného výzkumu s následným transferem poznatků a posílení spolupráce s aplikační sférou v průmyslu. Výsledky jsou cíleně využívány jak v rámci řešení řady výzkumných programů, tak i při komerčních aktivitách LPAAK.

Základní údaje o experimentálním vybavení

Klíčovou roli ve vybavení LPAaK hraje rastrovací elektronový mikroskop (SEM) Quanta 450 FEG s mikroanalytickým systémem a optický emisní spektrometr s buzením doutnavým výbojem LECO GDS 850A. Jako podpůrná zařízení jsou využívány zejména korozní komory (klimatická a kondenzační) a analyzátoři C/S a N/O/H.

SEM s autoemisním zdrojem je určen pro generování a snímání informací z povrchů vodivých a nevodivých materiálů. Vysokorozlišovací nízkovakuový SEM s rozšířením nízkého vakua umožňuje charakterizovat širokou škálu vzorků, provádět dynamické experimenty a analýzy in situ. SEM je vybaven integrovaným mikroanalytickým systémem s energiově disperzním analyzátořem (EDX), vlnově disperzním analyzátořem (WDX) a technikou difrakce zpětně odražených elektronů (EBSD). Je vhodným nástrojem k hodnocení struktury a elementární analýze/mapování povrchů a hloubkových profilů.

Optický emisní spektrometr s buzením doutnavým výbojem využívá fyzikální proces odprašování jak k analýze objemového složení, tak k analýze povrchu a hloubkových elementárních koncentračních profilů širokého spektra materiálových matic. Práce v modech SDPA (kvalitativní profil) resp. QSDPA (kvantitativní profil) umožňují získat v řadě aplikací jedinečné informace, které jinými technikami prakticky v tomto rozsahu nelze obdržet. Metodu lze aplikovat k analýze kovových, popř. nekovových materiálů, vykazuje jedinečný poměr mezi rychlostí analýzy a množstvím stanovovaných prvků při zachování dostatečné citlivosti.

Korozní komory jsou využívány pro korozní a teplotně-vlhkostní zkoušky odolnosti materiálů v rámci sledování procesů korozní degradace, stárnutí, poruchovosti a jiných poškození kovových i organických materiálů, výrobků a systémů povrchové ochrany v různých klimatických a korozních podmínkách (modelující vlivy různých parametrů prostředí během provozního využití v běžných i extrémních podmínkách včetně skladování, přepravy).

Výzkumné a vývojové aktivity LPAaK jsou zaměřeny v rámci uvedeného experimentálního vybavení na metody stanovení hloubkového profilu elementárního složení a mikrostruktury povrchových vrstev, a to např. při studiu procesů tvorby oxidických vrstev, stability ochranných vlastností vrstev v různých typech prostředí, kvalitu a charakter spojení přechodových vrstev povlaků, vícevrstevných a sendvičových materiálů případně návarů. Řešeny jsou i další problémy související s chemickým a fyzikálním zpracováním, resp. řízenými úpravami povrchu.

Aplikace metod

V rámci prováděných aktivit a k získání nových poznatků bylo využito zejména optické emisní spektrometrie s buzením doutnavým výbojem (GDOES) a řádko-

vací elektronové mikroskopie s EDS, WDS a EBSD mikroanalýzou. Na příslušných zařízeních byla vyvinuta, ověřena a zavedena řada metodik pro nestandardní i komerční hodnocení povlaků a povrchových vrstev.

U techniky GDOES to byla především θ profilová elementární analýza povlaků a přechodových vrstev. Byla zavedena i profilová analýza GDOES velmi tenkých vrstev – tzv. sliding method (řádově v desítkách nm).

Metody SEM s mikroanalýzou byly aplikovány při hodnocení mikrostrukturních stavů a chemických charakteristik různých typů materiálů. Byly zavedeny mj. techniky LFD (na nevodivé materiály), ESEM (nízké vakuum, nevodivé environmentální vzorky), mapping – rozložení prvků, techniky zpětně odražených elektronů a WDS – kalibrace a ověřování pro použití v rámci chemických a metalografických zkoušek při hodnocení materiálů, EBSD – ve spojení s EDS charakterizace mikrostruktury Ti slitin. S využitím softwarových možností SEM byly charakterizovány mikrostrukturní stavy materiálu (orientace zrn) po předchozí metalografické přípravě. Automatizovaná částicová analýza byla aplikována k měření velikosti, počtu a elementárního složení částic.

Vývoj metod a možnosti dalších aplikací

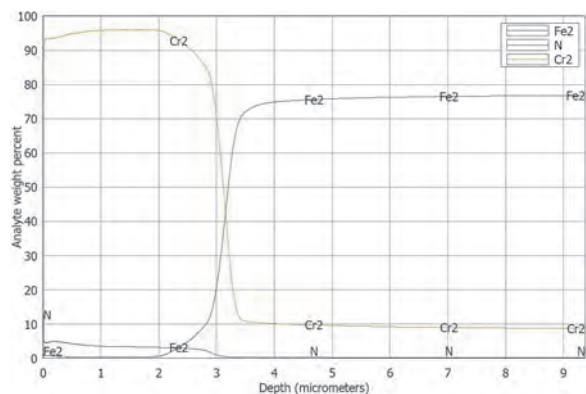
Vlastní aktivity LPAaK jsou zaměřeny na výzkum a vývoj metod pro hodnocení vlastností materiálů s řízenými úpravami povrchu. Týkají se zejména otěruvzdorných, kluzných a biokompatibilních povlaků připravených technologií CVD, PA CVD a PVD. Další klíčovou činností je hodnocení povrchových vrstev připravovaných mikroobloukovou oxidací Ti a jeho slitin.

Vývoj metod je prováděn zejména v souvislosti s řešitelskými aktivitami Coating centra VÚHŽ a.s., při

- optimalizaci technologií povlakování,
- zavádění nových typů povlaků a vývoji technologie,
- ověření stability povlaků v rámci hodnocení životnosti dílů s povrchovou úpravou v provozních podmínkách a v rámci vývoje technologie tvrdé anodizace Ti (mikrooblouková oxidace), problematika řešená v Laboratořích a zkušebnách VÚHŽ a.s.

Analýza otěruvzdorných povlaků

Byly vyvinuty a zavedeny zkušební metodiky hodnocení povlaků odolných proti otěru aplikovaných za účelem zvýšení životnosti obráběcích, řezných, tvářecích a lisovacích nástrojů, spojovacích součástí apod. Jednalo se o testování povlaků PVD, PA CVD a CVD na bázi karbidů, nitridů a boridů, jako je TiC, TiN, TiCN, CrN, Cr₂N, TiBN-TiB₂, AlTiN, a povlaků na bázi Zr. Výsledky elementární profilové analýzy GDOES (vodivý materiál, buzení stejnosměrným zdrojem) jsou prezentovány na obr. 1.



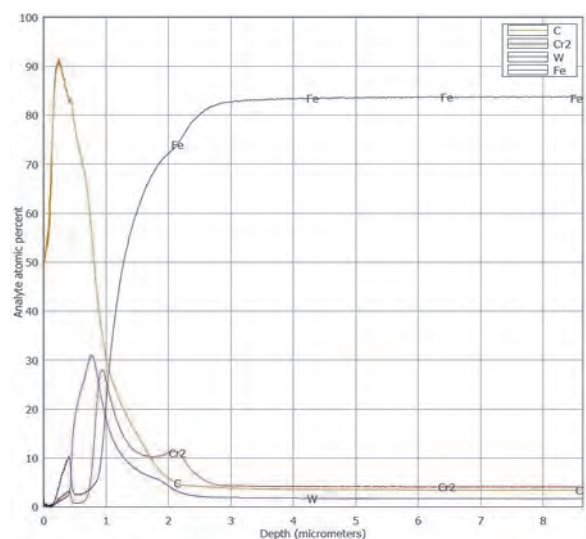
Obr. 1 Profilová analýza povlaku Cr_2N , substrát nástrojová ocel
Fig. 1 Profile analysis of Cr_2N coating, tool steel substrate

Pozornost byla rovněž věnována hodnocení přípravy povrchů substrátu před vlastní depozicí povlaků a hodnocení korozní odolnosti otěruvzdorných povlaků včetně ověření vlivu tepelného zatížení povlaků při pracovní teplotě (zkoušky v solné mlze, cyklické kondenzační testy).

Analýza kluzných povlaků

Výzkumné aktivity při řešení této problematiky se týkají zejména hodnocení chemických, strukturních a mechanických vlastností povlaků pro speciální aplikace v automobilovém průmyslu, a to DLC standardní a dopované Si, např. pro povrchovou úpravu dvéřných závěsů, zámek pro ozubená kola převodovek, díly motorů. Rovněž byly realizovány zkušební programy korozních zkoušek sérií vzorků s otěruvzdornými a kluznými povlaky různého provedení v různých materiálových kombinacích.

Příklad aplikace metody pro stanovení elementárních hloubkových profilů v DLC povlaku s mezivrstvou pomocí GDOES (nevodivý materiál, buzení vysokofrekvenčním zdrojem) je prezentován na obr. 2.



Obr. 2 Profilová analýza DLC povlaku s mezivrstvami na bázi W a Cr, substrát nástrojová ocel
Fig. 2 Profile analysis of DLC coating with interlayers on the base of W and Cr, tool steel substrate

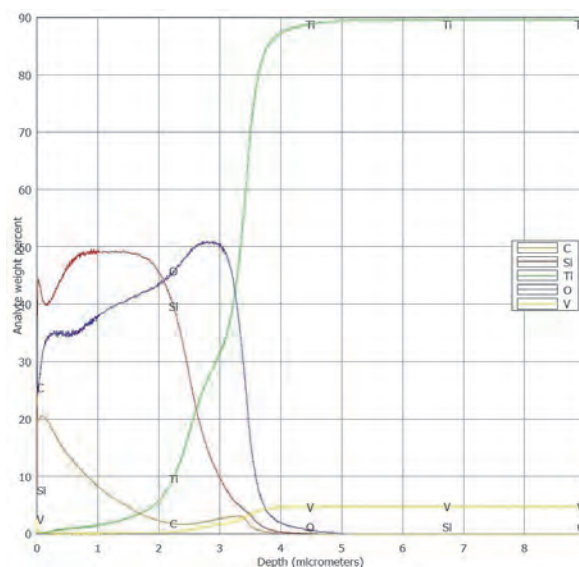
Analýza biokompatibilních povlaků a povrchových vrstev

V současné době probíhá výzkum a vývoj metod pro hodnocení povrchových vlastností v rámci zavádění výroby povlaků PVD vhodných pro zdravotnické prostředky – vrtáky do kostí, frézy, řezné nástroje pro ortopedii, onkologii a stomatologii, vodící pouzdra, zkušební díly implantátů s úpravou DLC s novou mezivrstvou a aplikace multivrstvých povlaků na bázi TiN , TiCN a TiAlN pro austenitické korozivzdorné oceli i HSS oceli.

Rovněž byla věnována pozornost vývoji metody pro hodnocení povrchových vrstev na slitině Ti6Al4V připravených mikroobloukovou oxidací pro aplikace ve zdravotnictví (traumatologie).

Byly specifikovány možnosti testování korozních vlastností povlaků navrhovaných pro biomedicínské aplikace a testovány vybrané typy těchto povlaků.

Na obr. 3 jsou uvedeny výsledné koncentrační elementární hloubkové profily (GDOES – RF zdroj) oxidické vrstvy připravené technikou mikroobloukové oxidace.



Obr. 3 Profilová analýza oxidické vrstvy na slitině Ti6Al4V
Fig. 3 Profile analysis of oxide layer on Ti6Al4V alloy

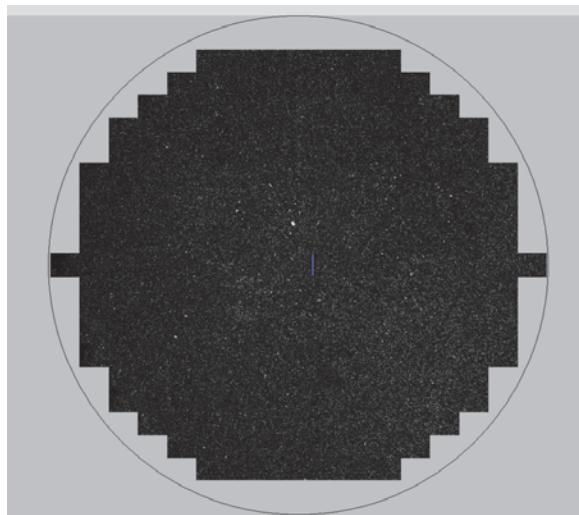
Koncentrační profily sledovaných prvků potvrdily, že po mikroobloukové oxidaci je na povrchu (do hloubky 3 μm) přítomna oxidická vrstva s výrazně zvýšeným obsahem Si, zatímco tenká vrstva spojená se substrátem je již založena na bázi TiO_2 . Jak ukázaly další provedené experimenty (SEM, EDS, zkouška přilnavosti – Mercedes test), povlak se skládá z vnější porézní tenké vrstvy a tzv. mezivrstvy, která je dobře ukotvena na substrátu (Ti6Al4V).

Výsledky ukazují, že zavedená metoda profilové analýzy je vhodná k hodnocení efektivnosti odstraňování nežádoucí pórovité vrstvy při finalizaci povrchu produktů pro traumatologické aplikace.

Částicová analýza

V průmyslových aplikacích se s metodou částicové analýzy nejčastěji setkáváme při hodnocení čistoty povrchů komponent, které jsou součástí oběhových okruhů automobilových systémů. Postup hodnocení čistoty povrchů jednotlivých komponent podle ISO 16232:2006 umožňuje stanovit přítomnost částic podle požadavku na jejich kritickou velikost, počet a celkovou hmotnost. Kontaminanty (nečistoty) jsou z povrchu hodnocených materiálů uvolňovány pomocí ultrazvuku ve zvoleném médiu (podle zadání zákazníka). V průběhu testu dochází k převedení částic na membránový filtr (vakuová filtrace) o průměru 47 mm s deklarovanou pórovitostí 0.5 μm s následným gravimetrickým stanovením. Částice deponované na filtru (obr. 4) jsou následně hodnoceny z pohledu velikosti za použití SEM a potřebného softwaru. V tab. 1 jsou uvedeny výsledky stanovení distribuce částic dle jejich velikosti na filtru, dílu a hodnocené ploše (1 000 cm^2 dle ISO 16232). Míra znečištění je vyhodnocena na základě ISO 16232-10

a umožňuje zákazníkovi prokázat požadované přípustné znečištění povrchu.



Obr. 4 Rozložení částic na filtru

Fig. 4 Particles distribution on the filter

Tab. 1 Stanovená distribuce velikosti částic (převedena 1000 cm^2 dle ISO 16232)

Tab. 1 Assessed particle size distribution (converted to 1000 cm^2 according to ISO 16232)

Průměr (μm)	Třída velikosti (μm)	Vzorky					
		na filtru		na dílu		na ploše 1000 cm^2	
		částice		částice		částice	
		organické	kovové	organické	kovové	organické	kovové
$5 \leq x < 15$	B	121 133	64 896	15 142	8 112	109 722	58 783
$15 \leq x < 25$	C	45 506	10 585	5 688	1 323	41 219	9 588
$25 \leq x < 50$	D	23 952	3 738	2 994	467	21 696	3 386
$50 \leq x < 100$	E	4 159	720	520	90	3 767	652
$100 \leq x < 150$	F	197	61	25	7,6	178	55
$150 \leq x < 200$	G	12	12	1,5	1,5	11	11
$200 \leq x < 400$	H	2	1	0,3	0,1	1,8	0,9
$400 \leq x < 600$	I	-	-	-	-	-	-
$600 \leq x < 1000$	J	-	-	-	-	-	-
$1\,000 \leq x$	K	-	-	-	-	-	-

Tab. 2 Výsledné kódy míry znečištění

Tab. 2 Final codes of contamination level

	CCCC (Kód míry znečištění):
Kovové částice	A(B16/C14/D12/E10/F6/G4/H0)
Organické částice	A(B17/C16/D15/E12/F8/G4/H1)

Závěr

Zavedené metody pro analýzu povrchových vlastností materiálů jsou využívány pro hodnocení efektivity technologických procesů a kvality výrobků v řadě průmyslových odvětví, zejména v automobilovém strojírenském a hutním průmyslu. V rámci řešitelských aktivit jsou získávány nové poznatky o tvorbě a vlastnostech povrchových vrstev, kvalitě a charakteru povlaků, chemické a korozní odolnosti, vlivu technologie výroby na vlastnosti produktů apod. Výsledky vývoje metod

povrchových analýz jsou rovněž operativně využívány v rámci expertizních aktivit při řešení aktuálních technologických problémů, poruch a havárií.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] LIU, X., CHU, P. K., DING, CH. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications. *Materials Science and Engineering*, 47 (2004), 49–121. ISSN 0927-796X.

- [2] OH, H. J., LEE, J. H., JEONG, Y., KIM, Y. J., CHI, CH. S. Microstructural characterization of biomedical titanium oxide film fabricated by electrochemical method. *Surface and Coatings Technology*, 198 (2005), 247–252. ISSN 0257-8972.
- [3] GABOR, R., VLČKOVÁ, I., MALANÍK, K., MICHENKA, V., MARVAN, J., DOUBKOVÁ, M., PAŘÍZEK, M.; BAČÁKOVÁ, L. Výzkum a vývoj přípravy a hodnocení anodické vrstvy na titanové slitině Ti6Al4V. *Hutnické listy*, 68 (2015) 6, 84–92. ISSN 0018-8069.
- [4] GABOR, R., MALANÍK, K. Principy a aplikace částicové analýzy pro hodnocení nečistot povrchů. *Hutnické listy*, 66 (2013) 6, 51–55. ISSN 0018-8069.
- [5] FALTÝNKOVÁ, L., GABOR, R. Stanovení koncentrace prvků v závislosti na analyzované hloubce s využitím techniky GDOES. *Hutnické listy*, 67 (2014) 6, 63–66. ISSN 0018-8069.

Thyssenkrupp se stává u brazilské ocelárny jediným u kormidla

Börsen-Zeitung

06.04.2016

Thyssenkrupp se stává jediným majitelem stále ještě deficitní ocelárny CSA v Brazílii. Essenský koncern se dohodl se svým brazilským partnerem Vale o převzetí 26,87 % akcií, které doposud kontroloval těžařský obr. Podle sdělení podniku, byla zaplacená jen symbolická cena. Koncern Vale se na miliardové špatné investici, která u Thyssenkrupp vyvolala existenční krizi, podílel původně 10 %. Těžařský koncern pak v roce 2009 svůj podíl za zaplacení 965 milionů € navýšil na 27 %. Thyssenkrupp se již v roce 2013 pokoušel problémového podniku zbavit, nenašel ale žádného kupce, což bylo zaviněno i komplexními smlouvami s brazilským partnerem. Jako jediný vlastník má teď německý koncern mnohem lepší šance ocelárnu prodat.

Koncentrace na Rusko

Stahlmarkt

07.04.2016

Pro majitele Severstal Alexeje Mordašova bylo jedno z největších životních zklamání, když vlastníci lucemburské Arcelor SA v roce 2006 odmítli jeho nabídku na zakoupení 30 % akcií a upřednostnili převzetí holandské Mittal Steel Company. Dnes již miliardář není z tohoto spojení tak nešťastný. Dnešní padesátník změnil po odmítnutí z Lucemburku svoji strategii. Důležitější než nákupy v zahraničí se mu stal jednak vývoj podniku přímo v Rusku a zvyšování efektivity. Mordašov profituje z velmi příznivých rámcových podmínek. Zatímco konkurenti z mnoha světových regionů trpí pod vysokými exporty z Číny a slabým růstem, daří se Rusům díky historicky slabému rublu podstatně lépe. Mzdy a většinu ostatních výdajů platí v rublech, ale za svoje exporty dostávají dolary a eura. Akciový kurs Severstalu na londýnské burze sice v roce 2015 spadl o 20 %, jiným výrobcům oceli se vedlo mnohem hůř. S Ebitda marží 33 % disponuje Severstal jednou z nejvyšších marží celého odvětví. Kromě toho má Severstal jedno z nejnižších zadlužení.

Čínská ocel ohrožuje evropské hutě

www.deutschlandfunk.de

10.04.2016

Čína se v posledních deseti letech stala z největšího dovozce oceli jejím největším exportérem. Kvůli tomu se snižuje cena oceli na světovém trhu, což ohrožuje ocelářské podniky v Evropě. Ty se současně obávají i možné reformy obchodu s emisními právy. Ocel je dnes celosvětově v obrovském přebytku. Od začátku druhého tisíciletí se celosvětová výroba zvětšila na dvojnásobek na zhruba 1,6 miliardy tun v roce 2015. Asi polovina oceli se vyrábí v Číně, kde se začátkem stavebního boomu a rychlé industrializace rostly ocelárny jako houby po dešti. Až do roku 2013 si svoji ocel Čína dokázala sama spotřebovat. „Největším problémem dnešního stavu je, že čínská ocel se na náš trh dostává s dumpingovými cenami,“ říká Andreas Goss, šéf Thyssenkrupp Steel. „Čínské ocelárny jsou většinou státní podniky, kde pracují miliony lidí. Stát proto udržuje i nerentabilní podniky při životě díky půjčkám, daňovým úlevám a nízkým cenám energie. Tyto firmy často vyrábějí ocel, kterou nikdo nepotřebuje, dávají ale milionům lidí práci.“ Stejný problém jako Čína má i mnoho evropských zemí. Výroba oceli je extrémně závislá na konjunktuře. Hlavními odběrateli jsou automobilní průmysl, stavebnictví a strojírenství. A i v Evropě dnes existuje mnoho přebytečných ocelářských kapacit.

Aplikace vybraných statistických metod v metalurgii

Application of Specific Statistical Methods in Metallurgy

Ing. Jan Morávka, Ph.D.¹; Ing. Jan Kufa¹; Ing. Radek Hermann²; Ing. Bohuslav Chmiel²; Ing. Jaromír Kaleta²; Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.²; Ing. Marek Bilko²; Ing. Petr Podolinský²; Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.²; Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.²; Ing. Zdeněk Solowski²; Ing. Petr Mlčoch²; Ing. Petr Klus²; Ing. Rostislav Milata²

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., úsek 941 Metalurgický výzkum, Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s., Technologie a výzkum, Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Česká republika

V článku je prezentována aplikace vybraných statistických metod při řešení výzkumných projektů v metalurgickém výzkumu a provozní praxi za delší časové období. Text článku je řazen do kapitol a podkapitol podle toku výroby, materiálu a energie v hutním podniku – v Třineckých železárnách, a.s. Jsou zde zahrnuty technologické (výrobní) úseky: aglomerace, vysoké pece, mímopecní odsíření surového železa, sekundární metalurgie (licí pánev, argónovací homogenizační stanice, pánvová pec, vakuovací stanice), obě zařízení plynulého odlévání oceli, spojitá jemná válcovací trať, spojitá drátová válcovací trať a válcovna předvalků a těžkých profilů. Dlouhodobě a se zvláštním zřetelem jsou analyzovány procesy na elektroocelárně, jako i ekologické aspekty použití mikrovlnných technologií a prosazování polotovárů z odpadů do výrobního procesu (na vysokých pecích a na elektroocelárně). Statistické metody vycházejí z analýzy závislosti sledovaných ukazatelů kvality polotovárů či výrobků (povrchová, podpovrchová, vnitřní kvalita, mechanické vlastnosti) anebo samotného technologického procesu (kvalita, efektivnost) na technologicko-provozních veličinách příslušného výrobního řetězce, počínaje chemickým složením surového železa anebo oceli a konče výrobními parametry finalizačních úseků, tj. jde o tzv. kvalimetrickou analýzu. Při řešení daných úloh analýzy je využita celá škála širokého a neustále se rozšiřujícího spektra statistických metod, které jsou k dispozici ve speciálních statistických programech. Mezi nejčastěji používané matematicko-statistické metody patří průzkumová (exploratorní) analýza, odhad (fitování) typu pravděpodobnostního rozdělení, korelační analýza, jednofaktorová i dvoufaktorová analýza rozptylu (ANOVA), dvouvýběrové a párové testy shody dvou středních hodnot a rozptylů, párová lineární, polynomiální i nelineární regrese a lineární, nelineární a linearizovaná vícenásobná regrese statická i dynamická, zobecněné lineární modely (GLM), z vícerozměrných metod pak analýza hlavních komponent, shluková analýza, kanonická korelační analýza a metoda částečných nejmenších čtverců. V několika případech pak byla možnost použít i tzv. metodu DOE (Design of Experiment), tj. metodu optimálního plánování experimentů umožňující dosáhnout maximálně možného (obecně nelineárního interakčního) modelu při minimálním počtu pokusů. Tato metoda je uplatnitelná v experimentech na reálných objektech, ale i v rámci fyzikálního a numerického modelování metalurgických procesů. Mezi použité speciální statistické metody patří vícekritériální analýza variant, analýza systému měření (MSA), dynamické regresní modely, logistická regrese, matematické, matematicko-statistické a numerické modelování a metoda transformace fyzikálně-matematických a kybernetických modelů na diskrétní statistické regresní modely. Výsledky analýz jsou vždy průběžně konzultovány s výzkumníky a technologi z oboru hutnictví za účelem zvýšení jejich relevantnosti v hutních technologiích a přímé použitelnosti v daném výrobním úseku ve smyslu doporučení ke změnám jeho parametrů s cílem zvýšení kvality výroby či jejího zefektivnění.

Klíčová slova: statistické metody; matematická-statistika; aplikace; metalurgie

The paper presents an application of the specific statistical methods at solution of research projects in the field of metallurgical research over a long period of time. The text is divided into chapters and subchapters according to the production flow of material and energy in a metallurgical plant, specifically in the Třinec Iron and steelworks, a.s. Statistical methods are based on analyses of the dependence of the observed indicators of products quality (surface, subsurface, internal quality, mechanical properties) or of the technological process (quality, efficiency) on technological and operational variables. During solution a wide and continually expanding range of statistical methods was used. These methods are available in special statistical programs. The most frequently used statistical methods include exploratory analysis (EDA), estimation (fitting) of the type of probability distribution, correlation analysis, one-way and two-way analysis of variance (ANOVA), independent and paired sample t-tests, simple linear, polynomial and nonlinear regression and multiple linear, nonlinear and linearized regression (static and dynamic), generalized linear models (GLM), multivariate methods, such as principal component analysis, cluster analysis, canonical correlation analysis and partial least squares method. Special statistical methods include DOE (Design

of Experiment), i. e. method of optimal design of experiments allowing to achieve the best (generally nonlinear interaction) model in a minimum number of trials. This method is applicable in experiments using real objects, but also for physical and numerical modelling of metallurgical processes. Other special methods include multiple criteria decision analysis, measurement system analysis (MSA), dynamic regression, logistic regression, mathematical modelling and numerical method of transformation of physicomathematical and cybernetic models for discrete statistical regression models. On the basis of the long-term application of statistical methods in research projects in the field of metallurgical research and operational experience, it can be concluded, that use of appropriate statistical methods appears to be a useful part of solution of most tasks in metallurgy. It is necessary to consult all achieved results with relevant researchers and technologists during solution of research projects. These consultations are beneficial for both sides.

Key words: statistical methods; mathematical-statistics; application; metallurgy

Vzhledem ke složitým, obecně nelineárním, vícerozměrným a stochastickým, fyzikálně-chemickým jevům v hutnictví, se uplatnění *metod matematické statistiky* jeví jako nutná součást expertních analýz.

V případech, kde (zatím) neexistuje vhodný fyzikálně chemický model pro popis složitých metalurgických dějů, se jako vhodné jeví aproximační empirické *matematicko-statistické modely*.

Při aplikaci matematické i aplikované statistiky v oboru metalurgie byly použity následující statistické metody:

- průzkumová (exploratorní) analýza (EDA – Exploratory Data Analysis),
- analýza časových řad (TSA – Time Series Analysis),
- odhad (fitování) typu pravděpodobnostního rozdělení,
- korelační analýza,
- dvouvýběrové a párové testy shody dvou středních hodnot a rozptylů,
- jednofaktorová i dvoufaktorová analýza rozptylu (ANOVA – Analysis of Variance) s uvažováním parametrických i neparametrických testů,
- párová lineární, polynomická a nelineární regrese,
- lineární, nelineární a linearizovaná vícenásobná statická i dynamická regrese,
- zobecněné lineární modely (GLM),
- z vícerozměrných metod pak:
 - analýza hlavních komponent (PCA – Principal Component Analysis),
 - shluková analýza (CLU – Cluster Analysis),
 - kanonická korelační analýza (CCA – Canonical Correlation Analysis)
 - a metoda částečných nejmenších čtverců (PLS – Partial Least Squares),
- metoda plánovaných experimentů (DOE – Design of Experiments),
- vícekritériální analýza variant,
- analýza systému měření (MSA – Measurement System Analysis),
- logistická regrese,
- matematické, matematicko-statistické a numerické modelování,

- metoda transformace fyzikálně-matematických a kybernetických modelů na diskrétní statistické regresní modely.

Teoretický popis principů a metod aplikované matematické statistiky je uveden v literatuře [1 – 13].

Vybrané metody a postupy statistické analýzy dat dosud nacházely své úspěšné uplatnění při řešení nejrůznějších úkolů na celé řadě dílčích agregátů výrobního toku v Třineckých železárnách, a.s. (TŽ, a.s.).

Cílem a obsahem příspěvku je prezentovat výsledky *aplikace* metod matematické statistiky při řešení výzkumných projektů v oblasti metalurgického výzkumu a provozní praxe za delší časové období.

1. Aglomerační proces

Základním cílem spolupráce v analýze aglomeračního procesu v TŽ, a.s. (se dvěma provozy: aglomerace 1 a aglomerace 2) bylo řešení optimálního podílu paliva (koku) v aglomerační směsi, řízení zásobníku zpětného aglomerátu, nalezení algoritmu průběžného hledání polohy maximální teploty plynu v odsávacích komorách a analýza vlivu technologických parametrů na měrný výkon spékání na aglomeraci 1.

V analýze aglomeračního procesu v TŽ, a.s. byly aplikovány statistické metody: DOE (metoda optimálního plánování a vyhodnocení experimentů), matematické modelování a vícerozměrná regrese.

Jako příklady aplikace jsou v následujících podkapitolách uvedeny: hledání optimálního podílu paliva (koku) v aglomerační směsi a analýza vlivu technologických parametrů na měrný výkon spékání na aglomeraci 1.

1.1 Optimální podíl koku

V souladu s náplní řešeného vnitropodnikového výzkumného projektu v TŽ, a.s. byl vypracován a realizován návrh DOE (Design of Experiment) experimentu pokusného spékání aglomerační směsi obsahující *homogenizovanou směs* aglorudy a koncentráty, *koks* (K), *vápenec* (V) a *zpětný aglomerát* (ZA) [14, 15].

Cílem experimentu bylo získat matematický model závislosti optimálního podílu paliva (pro bilanci zpětného aglomerátu rovnou 100 %) na podílu vápence a podílu zpětného aglomerátu v aglomerační směsi.

Pro realizaci řešení byl zvolen plánovaný experiment podle metody DOE, protože je vhodným uspořádáním cílevědomě sestavených dílčích pokusů tak, aby rozsah (počet měření, pokusů) experimentu byl co nejmenší, ale objem i forma informací o zkoumaném procesu co největší (nejkvalitnější) [16 – 18].

Plán experimentu typu DOE byl z důvodu minimalizace počtu pokusů (které jsou úměrné ceně) a současně z důvodu podchycení potřebných interakcí faktorů navržen jako tzv. úplný faktorový plán se dvěma úrovněmi faktorů (dvouúrovňový), bez replikace a s doplněním o dva tzv. středové (centrální) body, takže obsahoval 10 pokusů.

Základními faktory experimentu byly relativní podíly koksů pK (%), vápence pV (%) a zpětného aglomerátu pZA (%), vztažené na tzv. rudnou vsázku vstupující do aglomeračního závodu (tab. 1):

Tab. 1 Návrh plánu třífaktorového experimentu

Tab. 1 Design of the 3factorial experiment

Pokus	Faktory			Odezva	Poznámka
	pK	pV	pZA	Y	
	(%)				
1	3	0	50		
2	5	2	30		centrální bod
3	7	4	50		
4	7	0	10		
5	3	4	10		
6	5	2	30		centrální bod
7	3	4	50		
8	7	0	50		
9	7	4	10		
10	3	0	10		

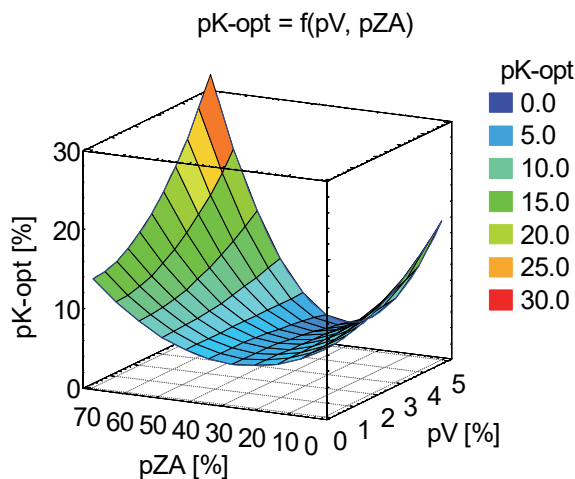
Navržený plán experimentu byl po konzultacích realizován v laboratoři pokusného spékání ve Výzkumném ústavu hutnictví železa (VÚHŽ) v Dobré u Frýdku-Místku.

Výsledný 3D regresní model, získaný metodou DOE, má, pro závislost optimálního podílu paliva – koksů pK, následující tvar:

$$pK = b_0 + b_1 pV^2 + b_2 pV^2 pZA + b_3 pV^2 pZA^2 + b_4 pZA + b_5 pZA^2 \quad (1)$$

Daný regresní model vykazoval vysoký koeficient determinace $R^2 = 97,3 \%$.

Z uvedené regresní rovnice modelu vyplývá 3D zobrazení optimálního podílu paliva na podílu vápence a podílu zpětného aglomerátu, jak ukazuje obr. 1



Obr. 1 3D graf aproximované závislosti optimálního podílu paliva
Fig. 1 3D plot of optimum rate of coke

Získaný model měl být implementován do tzv. výrobního informačního systému (VIS) TŽ, a.s., kde měl sloužit operátorům provozu aglomerace 1 (A1) jako rádce pro nastavení optimálního podílu paliva (koksů).

1.2 Analýza vlivu technologických parametrů na výrobnost aglomerace 1

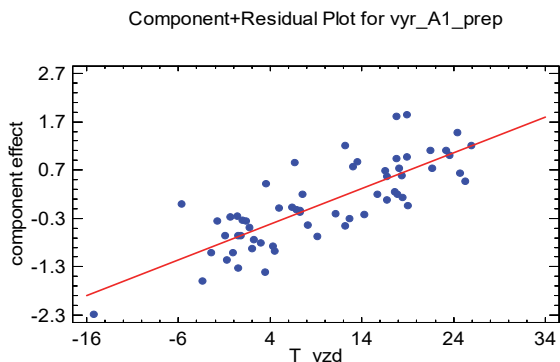
Hlavním cílem statistické analýzy bylo vyhodnocení vlivu jednotlivých výrobně-technologických proměnných na výrobnost aglomerace 1. Vycházelo se přitom z provozních dat zaznamenaných v letech 2012 – 2014.

Proces výroby aglomerátu byl popsán pomocí celkem 33 vysvětlujících proměnných, od kvality rudné vsázky po nastavení spékacího procesu. Výrobnost aglomerace 1 byla definována jako průměrná denní výrobnost aglomerace, přepočtená na stejnou hodnotu časového využití a m² spékací plochy ($vyr_{A1_prep} (t \cdot m^{-2} \cdot den^{-1})$).

Vyhodnocení vlivu jednotlivých technologických proměnných a jejich interakce s výrobností aglomerace 1 bylo provedeno pomocí metody vícerozměrné lineární regrese.

Regresní rabat (vysvětlovací schopnost nalezeného modelu) je 67 %. To znamená, že tato závislost je zhruba ze dvou třetin vysvětlena nalezeným regresním modelem a zhruba z jedné třetiny (33 %) je ovlivňována ještě jinými (neznámými) vlivy.

Na základě výsledného regresního modelu bylo možné detailně kvantifikovat vliv jednotlivých proměnných na výrobnost aglomerace 1, např.: „Teplota vzduchu při spékání zvyšuje výrobnost aglomerace. Zvýšení teploty o 10 °C zvýší výrobnost o 0,73 t·m⁻²·den⁻¹“. Graficky je tato závislost vyjádřena na obr. 2.



Obr. 2 Parciální regresní graf ($T_{vzd} - vyr_A1_prep$)

Fig. 2 Partial regression diagram ($T_{vzd} - vyr_A1_prep$)

Získaná rovnice závislosti výrobnosti aglomerace 1 na jednotlivých technologických proměnných může být použita k predikci výrobnosti tohoto provozu a je východiskem k diskuzi o možnostech zvyšování jeho výrobnosti při současných technologických podmínkách [19].

2. Vysokopecní pochod

Základním cílem matematicko-statistické analýzy vysokopecního pochodu v TŽ, a.s. (se dvěma vysokými pecemi VP4 a VP6) bylo vyhodnocení vlivu vybraných technologických proměnných na měrnou spotřebu vysokopecního koksu, stanovení koeficientu záměny vysokopecního koksu prachovým uhlím a vícekritériální analýza variant sypání vsázky.

Při analýze vysokopecního pochodu byly aplikovány statistické metody jako analýza EDA, 1f ANOVA, korelační analýza, párová regrese, vícenásobná regrese a vícekritériální analýza variant.

2.1 Vícekritériální analýza variant sypání vsázky na vysoké peci č. 4 v období zvýšeného podílu pelet ve vsázce

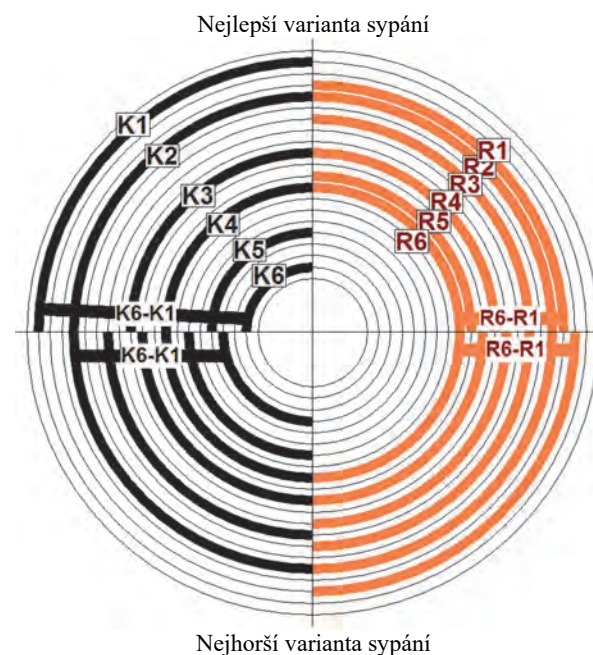
V této podkapitole je podrobněji popsána vícekritériální analýza variant sypání vsázky na VP4 v období zvýšeného podílu pelet ve vsázce.

Cílem bylo pomocí metody vícekritériální analýzy variant vyhodnotit efektivnost chodu VP4 při různém nastavení parametrů (kružnic) sypání koksové a rudné vsázky z materiálových komor sazební do pracovního prostoru VP4 v období zvýšeného množství pelet ve vsázce. Výsledky obdobné analýzy již byly publikovány v [20].

V modelech vícekritériální analýzy variant je dána konečná množina m variant, které jsou hodnoceny podle n kritérií. Cílem je najít variantu, která je podle všech kritérií celkově hodnocena co nejlépe (nalézt variantu optimální či kompromisní), případně seřadit varianty od nejlepší po nejhorší.

Základní prvky řešení úlohy jsou jednak **varianty**, tzn. vzájemně se odlišující varianty sypání vsázky, dále **kritéria** – ukazatele, s jejichž využitím jsou varianty sypání kvantitativně ohodnoceny a nakonec jsou to **váhy kritérií**, čili preference kritérií pro hodnocení kvality vysokopecního pochodu vyjádřené odborníky na vysokopecní technologii.

Výsledkem analýzy bylo seřazení devíti hodnocených variant sypání od nejlepší po nejhorší z hlediska kvality vysokopecního pochodu. Jako velmi užitečné se ukázalo grafické porovnání nejlepší a nejhorší varianty sypání (obr. 3).



Obr. 3 Porovnání nejlepší (horní polovina kružnice) a nejhorší (dolní polovina) varianty sypání na VP4

Fig. 3 Comparison of the best (upper half of the circle) and of the worst (bottom half of the circle) burden distribution variants

Na základě výsledků provedené vícekritériální analýzy variant byla doporučena optimální varianta sypání koksové a rudné vsázky a rovněž formulovány obecné technologické závěry a doporučení pro sypání rudy a koksu v období zvýšeného podílu pelet ve vsázce na VP4 [21].

3. Mimopecní odsíření surového železa

Hlavním cílem matematicko-statistické analýzy technologického procesu mimopecního odsíření surového železa (MPO) v TŽ, a.s. bylo zjištění a posouzení efektivnosti aplikace tzv. patternů (dílků) procesů odsíření charakterizovaných různou intenzitou dávkování obou reagentů CaO a Mg s ohledem na jejich průměrný stupeň odsíření a průměrné dávkované množství reagentů.

V oblasti analýzy činnosti tohoto zařízení (v období let 2009 až 2016) byly aplikovány následující statistické metody při řešení dílčích problémů:

- exploratorní analýza a analýza časových řad: kvantitativní proměnné MPO, stupeň odsíření,
- párová lineární korelace a regrese:
 - vypočtených a skutečných (naměřených) hodnot hmotnosti obou reagentů,
 - parametrů odsíření a čísel patternů (procesů),
- párová nelineární, linearizovaná a polynomická regrese:
 - pro závislost konečného relativního hm. obsahu síry na jejím počátečním obsahu a podílu obou reagentů v surovém železe,
 - závislosti odsířovacího poměru na době odsíření,
 - závislosti stupně odsíření na (měrném) podílu reagentů (MMF model [22], Hillův model [23, 24]),
- vícenásobná nelineární (exponenciální, hyperbolická a hyperbolicko-polynomická) i linearizovaná regrese, jako i regrese GLM:
 - poměru odsíření (podílu počátečního a konečného obsahu síry) na kvantitativních i kategoriálních parametrech odsíření,
 - skutečného množství odsířovadel (reagentů) na parametrech odsíření,
 - predikce hm. obsahu síry před odsířením na parametrech odpichu a přelévání surového železa,
- jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA) vybraných parametrů odsíření u obou stanic MPO, včetně analýzy absolutní a relativní efektivity patternů (procesů odsíření).

3.1 Použití Hillovky funkce

V této podkapitole je na ukázkou prezentováno použití tzv. Hillovky funkce při popisu závislosti stupně odsíření na množství reagentů. Hillova rovnice, model či funkce je používána v biologii (biochemii) v tzv. enzymatické kinematice [11].

Její použití ve fyzikální chemii při popisu dějů odsířování surového železa na pracovišti MPO v TŽ, a.s. vycházelo z potřeby najít vhodnou (semi) empirickou regresní funkci, která by popisovala závislost střední hodnoty stupně odsíření (jako ukazatele kvality/intenzity procesu odsíření) na (absolutním či relativním) množství reagentů (vápná CaO a hořčíku Mg).

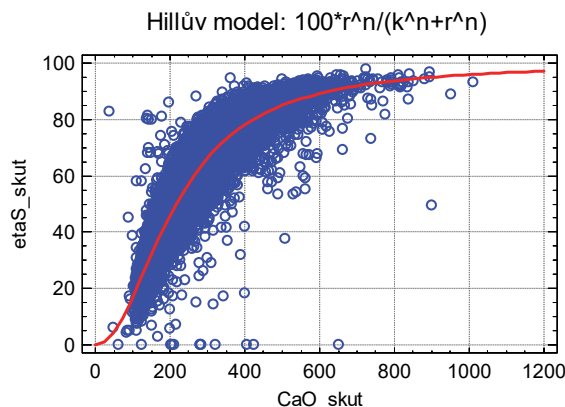
Z matematického hlediska je možné obecný 3parametrový Hillův model zapsat ve tvaru [23, 24]:

$$y = V_{\max} \cdot \frac{x^n}{k^n + x^n}, \quad (2)$$

kde y je počáteční reakční rychlost, $V_{\max}$ představuje limitní (nepřesně maximální) rychlost dosaženou v systému, x označuje koncentraci substrátu, parametr n

je tzv. koeficient sigmoidity, zvaný též Hillův a parametr k je tzv. pseudo Michaelisova konstanta.

Na obr. 4 [23, 24] je vidět výsledek aplikace obecné Hillovky funkce na reálná data MPO z roku 2013 pro závislost stupně odsíření (jako ekvivalentu rychlosti, intenzity chemické reakce) na skutečném dávkovaném množství CaO u všech patternů celkem asi pro 11 000 procesů odsíření.



Obr. 4 Stupeň odsíření vs. CaO_skut

Fig. 4 Degree of the desulphurization vs CaO_actual

Z výsledků aplikace tohoto modelu je zřejmé, že koeficient $n = 2,068 \approx 2,0$, $k = 216,4$ kg, index determinace $R^2 = 83,4$ %. Hodnota pseudo Michaelisovy konstanty (k) přímo odpovídá nejvíce efektivnímu a nejčastěji používanému patternu odsíření.

Aplikace modelu na reálná data odsíření pomocí analýzy ukázala, že Hillův model věrně popisuje mimopecní proces odsíření surového železa v TŽ, a.s.

4. Sekundární metalurgie

Hlavním cílem statistické analýzy procesu *mimopecního zpracování oceli* (MPZ, sekundární metalurgie) v TŽ, a.s. bylo zjištění kritických dílčích procesů a vlivu chemických prvků v oceli (hm. %) na navazující technologické procesy s dopadem na sledovanou kvalitu polotovárů a konečných výrobků.

Podrobný rozbor vlivu všech dostupných veličin úseku MPZ byl začleněn do statistické analýzy vlivu parametrů celého technologického toku na velikost podílu vyhovujících tyčí rozměru $\varnothing 68$ mm, vyrobených v roce 2014 z precipitační oceli typu 38MnV ve spojitě jemné válcovně (KJT) – viz [25].

Poprvé v historii byly do datového souboru začleněny i všechny dostupné veličiny (parametry, proměnné) úseku MPZ, které sestavil a jejich vliv analyzoval Ing. Marek Bilko. Jím sestavený pracovní soubor pro vybrané tyče o průměru 68 mm pro tavby z úseků:

- kyslíkové konvertory (KK),
- sekundární metalurgie (MPZ),
- plynulé odlévání 2 (ZPO2)

obsahoval v konečné fázi 280 proměnných.

Analýza byla rozčleněna podle navazujících zařízení MPZ: KK - kyslíkový konvertor, LP - lící pánev, AR - argónovací homogenizační stanice, LF - pánvová pec, RH - vakuovací stanice.

V oblasti analýzy zařízení a procesů ve vyjmenovaných provozních úsecích byly aplikovány tyto statistické metody: analýza EDA, 1f ANOVA, párová regrese, vícenásobná i GLM regrese.

Další a podrobnější popis zjištěných skutečností z daného technologického úseku výroby je prezentován v kap. 6.

Výsledky získané analýzou v tomto úseku výroby byly úspěšně a efektivně realizovány v technologické praxi, a to se žádoucím dopadem na cílové zvýšení povrchové kvality oceli.

5. Zařízení plynulého odlévání oceli

Základním cílem analýzy procesu plynulého odlévání oceli v TŽ, a.s. (se dvěma pracovišti: ZPO1 a ZPO2) bylo zjištění vhodného nastavení dominantních veličin tohoto procesu (přehřátí oceli nad likvidem, lící rychlost, intenzita primárního a sekundárního chlazení, tlaky v tažně-rovnacích stolicích) za účelem stabilizace a optimalizace tohoto procesu s ohledem na metalurgickou délku předlitků a jejich povrchové i vnitřní teploty v předem stanovených místech lícího oblouku. Vhodné nastavení daných veličin plynulého odlévání oceli má dopad na povrchovou i vnitřní kvalitu předlitků, která se následně přenáší do souvisejících polotovárů a výrobků (tyčí a drátů).

Při analýze daného technologického procesu byly použity následující statistické metody při řešení níže uvedených dílčích problémů:

- exploratorní analýza a analýza časových řad, párová korelace a lineární i nelineární regrese, vícenásobná statistická i dynamická, jako i zobecněná (GLM) regrese, simulační DOE experiment, matematické a matematicko-statistické modelování,
- dílčí řešené problémy:
 - o analýza korelovanosti souhrnných průměrů a směrodatných odchylek veličin lící rychlosti, mazání a tření v určité tavbě,
 - o matematický model rozdílu teplot vody v primárním chlazení (PCH),
 - o vlastnosti a dávkování lících prášků,
 - o matematicko-fyzikální model teploty povrchu sochoru,
 - o návrh simulačních experimentů s fyzikálně-matematickým dynamickým modelem ZPO2 pro odlévání oceli značky S355x,
 - o statistická analýza výsledků simulačního experimentu č. 1 s numerickým modelem ZPO2 firmy Concast pro odlévání oceli značky S355x,

o analýza míry reohřevu kontislitku po výstupu z krystalizátoru.

V následujících dvou podkapitolách je jako příklad aplikace uveden DOE návrh a statistické analýzy:

- výsledků simulačního experimentu s fyzikálně-matematickým dynamickým modelem ZPO2 firmy Concast pro odlévání oceli značky S355x,
- míry reohřevu kontislitku po výstupu z krystalizátoru.

5.1 DOE návrh a statistická analýza výsledků simulačního experimentu s fyzikálně-matematickým dynamickým modelem ZPO2 firmy Concast

S ohledem na sledovaný základní cíl *minimalizace povrchových vad tyčí* vyráběných z dané oceli S355x bylo rozhodnuto o numerickém simulačním experimentu s fyzikálně-matematickým dynamickým modelem ZPO2 firmy CONCAST (SM) – bližší informace jsou uvedeny v [26, 27].

Záměrem uskutečnění experimentů bylo získání výsledků pro vytvoření matematických modelů použitelných pro návrh nastavení základních parametrů ZPO2 se zaměřením na:

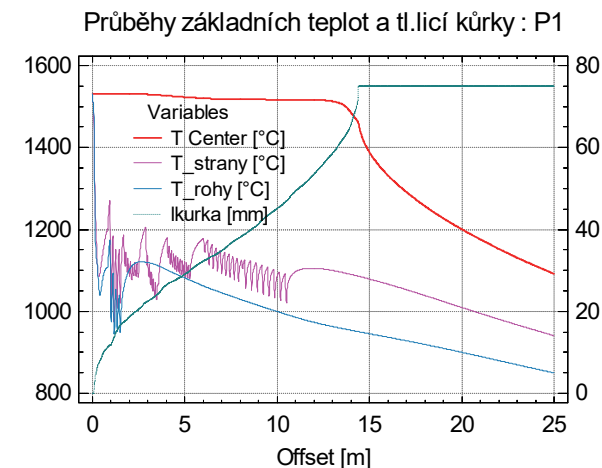
- *stabilizaci* (metalurgické délky, teploty povrchu sochoru na konci oblouku, tj. před tažně-rovnacími stolicemi) a
- *optimalizaci* (minimalizaci rozkmitu, či variability teplot v krystalizátoru a v zónách sekundárního chlazení)

uvedených charakteristických veličin při měnících se základních veličinách: *přehřátí oceli*, *lící rychlost* a *intenzita sekundárního chlazení* (SCH) v jednotlivých zónách (zvláště v 1. zóně).

Simulace měly být uskutečněny pomocí SM Concast i VUT Brno s následným ověřením pomocí provozních experimentů na ZPO2.

S ohledem na maximalizaci výpovědní schopnosti získané informace a minimalizaci počtu pokusů experimentu byla pro návrh a vyhodnocení simulací zvolena metoda DOE. Experiment vycházel z úplného 3faktorového dvouúrovňového plánu s jedním centrálním bodem, který měl pro 3 veličiny (tzv. faktory) $2^3 + 1 = 9$ pokusů (P1 ÷ P9).

Pro názornost je na obr. 5 znázorněn průběh prvotních charakteristických veličin po délce lícího oblouku (od menisku až po paličky) pro pokus P1. Jsou to jak teplotní parametry předlitku – sochoru (teplota v jádru T_{center} , průměrná teplota stěn T_{strany} a průměrná teplota hran T_{rohy}), tak i průměrná tloušťka lící kůrky:



Obr. 5 Průběh základních veličin – pokus P1

Fig. 5 Development of the basic variables – experiment P1

Kritéria *optimality* byla definována prostřednictvím středních hodnot a variačních rozpětí rozdílů průměrných teplot stěn a hran po celé délce SCH, jako i v jeho jednotlivých zónách.

S ohledem na minimalizaci odchylek uvedených parametrů se jevílo jako vhodné, aby optimální metalurgická délka dosahovala vyšších hodnot, a to více jak 17 či 18 m, kdy se konec tekuté zóny v ose předlitku nachází za tažně-rovnacími stolicemi (TRS). Tím se docílí zmenšení povrchového i vnitřního odporu a pnutí při ohýbání, rovnání a tažení předlitku. Takováto volba vede současně k vyšším lícím rychlostem.

Cílem úlohy *stabilizace* metalurgické délky byla skutečnost, že zvolená (optimální) metalurgická délka (L_m) by se neměla měnit při změnách základních tří ovlivňujících veličin, které byly stanoveny pro simulační experiment (*přehřátí oceli*, *lící rychlost* a *intenzita SCH* v její 1. zóně).

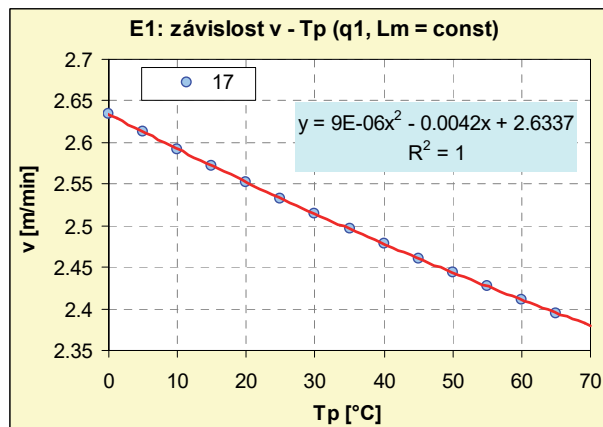
Regresní model závislosti metalurgické délky L_m na daných veličinách získaný metodou DOE má tvar:

$$L_m = b_0 + b_1 \cdot T_p + b_2 \cdot v + b_3 \cdot q_1 + b_4 \cdot v \cdot T_p + b_5 \cdot v \cdot q_1 + e \quad (3)$$

kde b_i jsou regresní koeficienty regresního modelu (DOE), e jsou rezidua regresního modelu, T_p je přehřátí oceli nad likvidem, v je lící rychlost, q_1 je intenzita sekundárního chlazení (SCH) v dominantní 1. zóně.

Na základě uvedeného modelu byl pro konstantní hodnotu metalurgické délky (požadavek stabilizace této veličiny), tj. pro $L_m = \text{const} = L_{mc}$, odvozen požadovaný model závislosti *lící rychlosti* na *přehřátí*.

Model byl zadán v podstatě implicitně, a proto byl řešen numericky. Řešení pro případ $L_m = 17$ m v grafické podobě ukazuje obr. 6.



Obr. 6 Graf závislosti $v - T_p$ pro $L_m = 17$ m

Fig. 6 Diagram of the relation $v - T_p$ for $L_m = 17$ m

Z obr. 6 je zřejmé, že optimální závislost $v = f(T_p)$ má tvar konvexní kvadratické závislosti, přičemž pro zvolené $L_m = 17$ m by pro $T_p = 0$ °C měla být lící rychlost asi $2,63 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, pro rozmezí $T_p \in (5; 65)$ °C by se lící rychlost měla měnit pouze asi o $0,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, a to v rozmezí asi od $2,6$ do $2,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Odvozená optimální konvexní kvadratická závislost lící rychlosti (v) na přehřátí (T_p) umožňuje *stabilizaci* hodnot metalurgické délky při volbě její konstantní (*optimální*) hodnoty.

5.2 Analýza míry reohřevu kontislitku po výstupu z krystalizátoru pomocí simulačního DOE experimentu

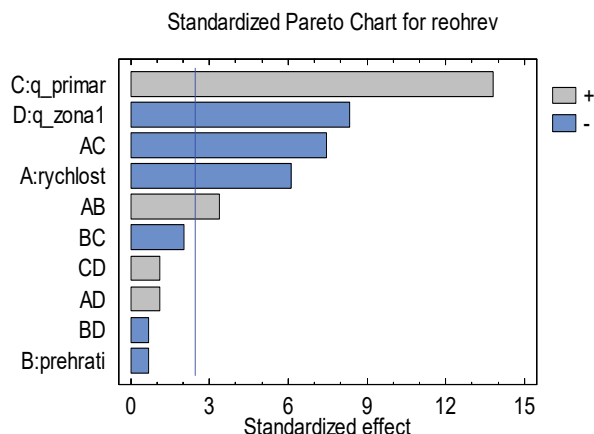
Pro vyhodnocení vlivu vybraných technologických faktorů na velikost reohřevu kontislitku po výstupu z krystalizátoru na zařízení plynulého odlévání ZPO2 v TŽ, a.s. byl navržen DOE experiment, kde jednotlivé pokusy představovaly simulace v *Off-line teplotním modelu* ZPO2. Experiment sledoval 2 základní cíle:

- určit ty faktory, jež mají dominantní vliv na velikost reohřevu,
- zjistit takové nastavení faktorů, které umožní minimalizovat velikost reohřevu.

Reohřev povrchu oceli po výstupu z krystalizátoru byl definován jako rozdíl maximální teploty v 1. zóně sekundárního chlazení a teploty na konci krystalizátoru.

Z množiny technologických faktorů, které potenciálně ovlivňují míru reohřevu povrchu kontislitku byly vytipovány čtyři hlavní faktory: rychlost lití, přehřátí oceli, průtok vody v krystalizátoru a průtok vody v 1. zóně. Byl sestaven plán experimentu DOE a jednotlivé pokusy provedeny simulací podle teplotního modelu.

Získaný model je statisticky významný, s výpovědní schopností 96,4 %. Vliv sledovaných faktorů na výši reohřevu kontislitku je zobrazen na tzv. Paretově grafu (obr. 7).



Obr. 7 Paretův graf efektu faktorů
Fig. 7 Pareto chart of factors effect

Výsledkem realizovaného simulačního DOE experimentu bylo pochopení vlivu vybraných technologických faktorů na výši reohřevu kontislitku po výstupu z krystalizátoru, což umožnilo a usnadnilo přípravu navazujících provozních experimentů [28].

6. Spojitá jemná válcovací trať

Hlavním cílem analýzy technologického procesu a povrchové kvality odlévaných *sochorů* na ZPO2 s dopadem na sledovanou kvalitu válcovaných *tyčí* (a z nich následně vyrobených *řetězů*) na spojitě jemné válcovací trati (kontijemná trať KJT) v TŽ, a.s. (v období roků 2011 až 2016) bylo nalezení ovlivňujících (nezávislých) proměnných z celého předchozího toku výroby i ze samotného válcovacího procesu, které se projeví na povrchové kvalitě daných výrobků.

V analýze daného technologického procesu byly použity následující statistické metody při řešení níže uvedených dílčích problémů:

- EDA a TSA analýza, jednofaktorová ANOVA, vícenásobná korelace, párová a vícenásobná i zobecněná GLM regrese, matematické modelování,
- dílčí řešené problémy:

Tyče

- o statistická analýza vybraných veličin měřených v oblasti krystalizátoru na licích proudcích LP3 a LP8 v určité tavně, odlévané na ZPO2, kdy byly na obou proudcích použity odlišné licí prášky, a to s ohledem na ukazatel povrchové kvality oceli,
- o analýza vlivů na povrchové vady (o hloubce max. 0,3 mm) kruhových tyčí průměru 60 a 70 mm, odválcovaných ze sochorů odlitých na ZPO2 na licím proudci LP8 v určité tavně z oceli značky S355x,
- o analýza vlivů na povrchové vady kruhových tyčí průměru 35, 70, 80 mm a všech průměrů, odválcovaných ze sochorů odlitých na ZPO2 z oceli značky S355x,

- o statistická analýza povrchových vad 11 tyčí o průměru 70 mm odválcovaných z 11. sochoru odlitého na LP8 ZPO2 v určité tavně z oceli značky S355x,
- o statistická analýza vadnosti tyčí průměru 60 mm vyrobených z oceli značek S355 ve 260 zakázkách v určitém období s ohledem na vybrané výrobní parametry KKO a ZPO2,
- o statistická analýza vlivu parametrů celého technologického toku (KK – MPZ – ZPO2 – KJT, včetně vlivu parametru okolního vzduchu v době technologických operací na těchto zařízeních) na velikost podílu vyhovujících tyčí rozměru Ø 68 mm, vyrobených v roce 2014 z vybrané oceli na provozu KJT. Základní pracovní soubor obsahoval 320 proměnných a 2 717 záznamů (řádků) vztahujících se k zakázkám dodávek tyčí z dané oceli. Z výsledků rozsáhlé analýzy vyplynulo, že míra vypovídací schopnosti ukazatele kvality tyčí klesala ve směru toku materiálu v technologii výroby: nejlepší vypovídací schopnosti tohoto ukazatele bylo dosaženo na úseku KK – MPZ, pak na úseku ZPO2 a nejméně na posledním úseku KJT,

Řetězy

- o statistická analýza dat za účelem zjištění vlivu výrobních parametrů na povrchovou kvalitu a mechanické vlastnosti tyčí z vysokopevnostní řetězové oceli,
- o statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby kruhových tyčí pro řetězy na provozu KJT v TŽ, a.s. s ohledem na ukazatel povrchové kvality oceli v zakázkách za období 1 roku,
- o statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby kruhových tyčí pro řetězy na provozu KJT v TŽ, a.s. s ohledem na *nárazovou práci* v zakázkách za období 1 roku,
- o statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby kruhových tyčí pro řetězy na provozu KJT v TŽ, a.s. s ohledem na jejich *nárazovou práci* i *povrchovou kvalitu* v zakázkách za období 1 roku,
- o matematický model závislosti licí rychlosti na průměru kontislitku ve tvaru funkční závislosti typu *hyperboly 2. stupně* (mocninné kvadratické závislosti se záporným mocnitelem),

Sochory

- o prvotní statistická analýza povrchových defektů tří sochorů detekovaných laserovým profiloměrem Micro-Epsilon (pracovníky VUT Brno) a odpovídajících povrchových vad zjištěných defektoskopickým zařízením Circoflux na tyčích průměru 70 mm pro vybrané sochory odlité na třech různých licích proudcích ve zvolené tavně z oceli značky S355x,

- o statistická analýza povrchových defektů 5 sochorů změřených profiloměrem VUT a povrchových vad detekovaných zařízením Circoflux,
- o statistická analýza výsledků detekce defektů na 19 sochorech odlitých z oceli určité značky ve vybrané tavbě a odpovídajících vad na tyčích průměru 72 mm při použití laserové triangulační metody v březnu roku 2015,
- o korelace mezi počtem vad zachycených na sochoru pomocí laserové triangulace a různými kritérii povrchové kvality tyčí u vybrané značky oceli,
- o dotazy, připomínky, návrhy a statistická analýza ke zprávě VUT Brno: Kontrola kvality povrchu sochoru, hledání propadlých stěn na sochorech, návrh vhodné filtrace naměřených dat LTM (vyhlazovací filtr autorů *Hodrick-Prescott* a nastavení jeho jediného parametru), definice křivosti profilu (*variční rozpětí*, definované jako rozdíl maxima a minima filtrovaných naměřených hodnot – jde o rozkmit křivosti, rozkmit zvlnění profilu strany sochoru, jako i činitel kmitavosti PPN – počet průchodů nulou).

Souhrnné výsledky ukazují, že největší nepříznivé vlivy na povrchovou kvalitu tyčí se vyskytují na počátku procesu (KK – MPZ), které se dále přenášejí s přidáváním dalších nepříznivých vlivů na následujících úsecích (ZPO2, KJT). Daným prvotním vlivům na kvalitu je tedy třeba věnovat náležitou pozornost již na samém počátku materiálového toku v technologii výroby.

6.1 Modelování vlivu tepelně-teplotních poměrů při odlévání sochorů na povrchovou kvalitu tyčí

V této podkapitole je jako příklad aplikace uvedeno kyberneticko-statistické modelování vlivu tepelně-teplotních poměrů při odlévání sochorů na povrchovou kvalitu tyčí (bliže viz [29, 30]).

Cílem řešení byla analýza chování základního ukazatele povrchové kvality tyčí na základě sestaveného fyzikálně adekvátního modelu podchycujícího tepelně-teplotní poměry při odlévání sochorů.

Na základě zjednodušující fyzikální interpretace byl pro měřenou povrchovou teplotu odléváných sochorů sestaven aproximační dynamický kybernetický model, z něj pak spojitý matematický model ve tvaru obyčejné diferenciální rovnice s konstantními koeficienty. Tento model lze následně pomocí diskretizace času převést na matematický model diskrétní ve tvaru obyčejné diferenční rovnice s konstantními koeficienty a v konečném důsledku na model regresní.

Protože ukazatel povrchové kvality tyčí vykazuje charakter pravděpodobnosti výskytu jevu, byl při regresní analýze dat použit vícenásobný logistický regresní model.

Pro ověření modelu byla vybrána data z konkrétní tavby při odlévání oceli značky S355x na krajním LP8 zaří-

zení ZPO2 v TŽ, a.s. a při válcování čtvercových sochorů 150×150 mm do kruhových tyčí Ø 70 mm na provozu KJT.

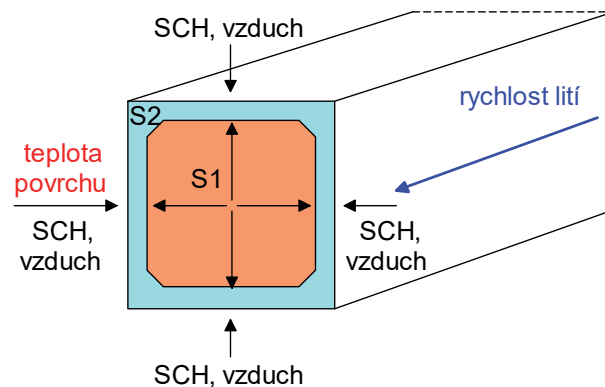
Fyzikální interpretace průběhu povrchové teploty sochorů (fyzikální model) a kybernetický (staticko-dynamický) teplotní model vycházejí z představy, že na měřené povrchové teplotě sochoru se projevují dva kombinované protichůdné vlivy:

- silnější, *dlouhodobější* vliv reohřevu prostřednictvím tepelné kapacity tekutého jádra sochoru a tepelného toku (přímo úměrně závislého na lici rychlosti)

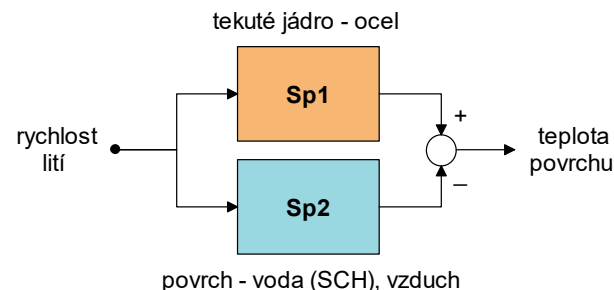
versus

- slabší, *krátkodobější* a přechodný vliv chlazení vodou v oblasti sekundárního chlazení (SCH, jehož chladicí intenzita je přímo úměrně závislá na lici rychlosti), jakož i dlouhodobý vliv ochlazování povrchu sochoru prouděním okolního vzduchu (asi nejslabší vliv).

Schematicky (fyzikálně a kyberneticky) je protipůsobení (antiparalelní působení) obou vlivů znázorněno na obr. 8, 9 (kde S1 a S2 jsou statické aproximační dílčí tepelné soustavy sochoru, Sp1 a Sp2 jsou jejich kybernetické dynamické ekvivalenty ve smyslu dynamických proporcionálních soustav 1. řádu):



Obr. 8 Fyzikální schéma teploty povrchu sochoru
Fig. 8 Physical scheme of billet surface temperature



Obr. 9 Kybernetické schéma teploty povrchu sochoru
Fig. 9 Cybernetic scheme of billet surface temperature

Postupným převodem modelů lze pro povrchovou teplotu sochoru dostat obecnou diferenční rovnici, z níž už lze sestavit konkrétní vícerozměrnou (vícenásobnou) lineární dynamickou regresní rovnici (v parametrech i proměnných) s chybovým členem:

$$y_i = d_0 + d_2 y_{i-1} - d_3 y_{i-2} + f_1 v_i + f_2 \Delta v_i + \varepsilon, \quad (4)$$

kde regresand y je teplota povrchu sochoru, d_0 je absolutní člen a ε je chybový (reziduální) člen regresní rovnice.

Ukazatel povrchové kvality tyčí Q lze převést na ukazatel rQ , který má charakter pravděpodobnosti výskytu jevu, takže nabývá hodnot z intervalu $\langle 0;1 \rangle$.

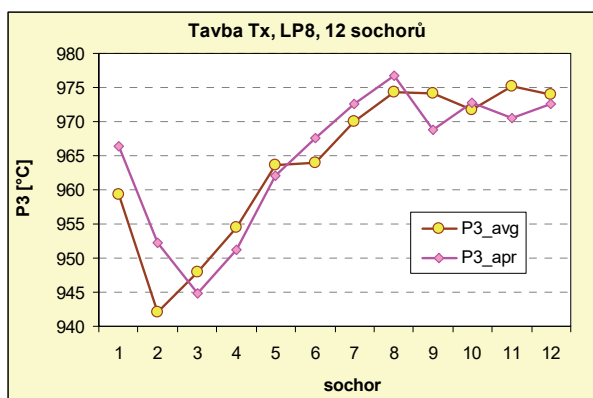
Konečný tvar *modelu výskytu povrchových vad tyčí* s ohledem na licí rychlost a její změnu ve formě vícenásobného logistického regresního modelu je následující:

$$u = b_0 + b_1 \cdot v + b_2 \cdot dv + \varepsilon, \quad (5)$$

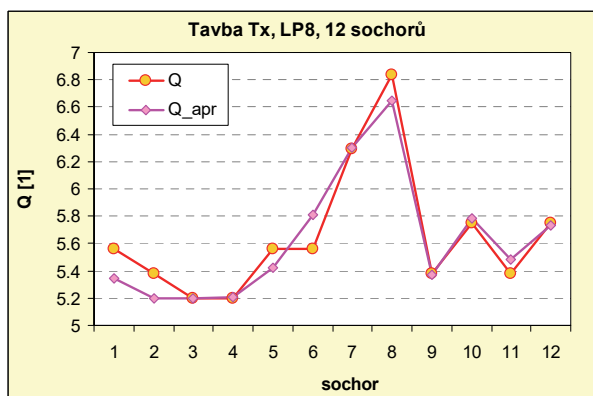
$$y = rQ = \frac{\exp(u)}{1 + \exp(u)} = \frac{e^u}{1 + e^u} = \frac{1}{1 + e^{-u}}, \quad (6)$$

kde je u – pomocná vstupní proměnná charakteru rychlosti ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), parametry b_i – regresní koeficienty modelu, index i v rozmezí $\langle 0;k \rangle$ pro k regresorů, v – licí rychlost ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), dv – diferenciální změna, difference licí rychlosti $\approx \Delta v$ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), y – odezva $\in \langle 0;1 \rangle$ (-), regresand rQ – pravděpodobnostní ukazatel povrchové kvality tyčí $\in \langle 0;1 \rangle$ (-).

Výsledky vícenásobné *dynamické* regresní analýzy pro povrchovou teplotu $P3$ a vícenásobné *statické* logistické regrese pro ukazatel povrchové kvality tyčí Q jsou v grafické formě prezentovány na obr. 10, 11:



Obr. 10 Časový predikční graf teploty $P3$ u sochorů
Fig. 10 Time prediction graph of the temperature $P3$ for billets



Obr. 11 Časový predikční graf ukazatele kvality Q u tyčí
Fig. 11 Time prediction graph of the quality indicator Q for steel bars

Z výsledků regresní analýzy je zřejmé, že na oba základní regresandy $P3$ a Q měla vliv *licí rychlost* a *její změna* se stejným kladným znaménkem a s přibližně stejnou souhrnnou vypočítací schopností kolem 86 %.

Logistický model překvapivě ukázal, že vliv změny licí rychlosti byla asi 2,6krát větší než vliv samotné licí rychlosti.

Na základě výsledků dané analýzy byla formulována doporučení pro řízení tavby, která byla v praxi realizována ve smyslu omezení maximální změny licí rychlosti a pozvolného nárůstu nebo poklesu skutečné licí rychlosti ve srovnání s rychlostí nastavenou operátorem (žádanou rychlostí).

7. Spojitá drátová válcovací trať

Hlavním cílem analýzy technologického procesu a kvality válcovaných drátů na spojitě drátové válcovací trati (kontidrátová trať KDT) v TŽ, a.s. bylo nalezení vlivných proměnných z celého předchozího toku výroby i ze samotného válcovacího procesu, které měly vliv na ukazatele povrchové kvality drátů (blíže [31 – 34]). V oblasti analýzy tohoto technologického procesu byly použity následující statistické metody při řešení níže uvedených dílčích problémů:

- exploratorní EDA analýza, jednofaktorová ANOVA, korelační analýza, normalizační mocninná Boxova-Coxova transformace, párová lineární i nelineární a vícenásobná regrese, matematická analýza,
- dílčí řešené problémy:
 - hodnocení povrchové kvality sochorů z jisté tavby u značky QST32-3,
 - analýza vlivu vybraných technologických parametrů na povrchovou kvalitu drátů ze šroubárenských nízkouhlíkových a MnTiB ocelí v období leden 2012 – únor 2013 s ohledem na ocelářské a válcovenské parametry,
 - normalizační mocninná Boxova-Coxova transformace ukazatelů povrchové kvality drátů,
 - statistické vyhodnocení vytipovaných parametrů odlévání šroubárenských, nízkouhlíkových a MnTiB ocelí na ZPO2 v souvislosti s optimalizací lití těchto jakostí, s rozčleněním na dvě části,
 - prvotní statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby drátů pro šrouby na provozu KDT v TŽ, a.s.,
 - statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby drátů z oceli jakosti C10CE pro šrouby na provozu KDT v TŽ, a.s.,
 - fyzikálně-matematický model závislosti rychlosti válcování na průměru drátu a délky sekce na průměru drátu ve tvaru hyperboly 2. stupně,
 - statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby drátů z oceli jakosti MnTiB pro šrouby na provozu KDT v TŽ, a.s.,

- o vytvoření vzorců dle normy SEP 1664 pro výpočet prokalitelnosti při Jominyho zkoušce z chemického složení MnTiB ocelí pomocí více-násobné regrese,
- o statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby drátů z oceli jakosti MnTiB pro šrouby na provozu KDT v TŽ, a.s,
- o statistické vyhodnocení parametrů lití, definovaných objednatelem, na parametry RQI a na počet fatálních vad naměřených defektometrem na KDT u taveb uhlíkových drátů s hm. obsahem C = 0,6 – 0,9 % odlitých v 1. pololetí 2014,
- o statistická analýza vadnosti drátů kordových a víceuhlíkových ocelí vyrobených v určitém období roku 2014 s ohledem na vybrané výrobní parametry ZPO2 a KDT,
- o nelineární aproximace a regrese Grossmanova diagramu, diagramu kritického průměru, závislosti tvrdosti na vzdálenosti od čela vzorků,
- o statistická analýza parametrů chemického složení a mechanických vlastností drátů vybraných značek šroubářenských ocelí s cílem definování detekčních mezí pro nové tavby.

8. Válcování kolejnič

Základním cílem analýzy technologického procesu a kvality válcovaných kolejnič na válcovně předvalků a hrubých profilů (VH) v TŽ, a.s. (za období roků 2011 až 2016) bylo nalezení vlivných proměnných z daného úseku výroby s ohledem na jejich vliv na tvrdost HB a strukturu kolejnič.

V analýze tohoto technologického procesu byly použity následující statistické metody při řešení níže uvedených dílčích problémů:

- analýza časových řad, exploratorní analýza, odhad typu pravděpodobnostního rozdělení, dvouvýběrový F-test (shoda rozptylu) a t-test (shoda středních hodnot), korelační analýza, párová lineární i nelineární a vícenásobná regresní i GLM analýza, jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA), analýza hlavních komponent (PCA), vytvoření aproximačního fyzikálně adekvátního matematického modelu, matematicko-fyzikální analýza (odvození vztahu pro hustotu vlhkého vzduchu, aproximace teplotních křivek chlazení kolejnič, aplikace a modifikace Avramiho vztahu, návrh matematického a regresního modelu poklesu pyrometricky měřené povrchové teploty hlav kolejnič, aproximační transformovaná Boltzmannova funkce popisu vlivu rychlosti ochlazování na fázové složení a tvrdost vzorků kolejnič, jako i pro podíl martenzitu a perlitu),
- dílčí řešené problémy:
 - o matematicko-statistická analýza vlivu technologických parametrů na finální HB tvrdost kolejnič určitého typu,
 - o analýza výsledků mezilaboratorního porovnávání měření tvrdosti u kolejnič určitého typu,
 - o sestavení a verifikace predikční regresní rovnice pevnosti v tahu a tažnosti kolejnič určitého typu podle nejnovějšího vydání normy ČSN EN 13674-1 pro několik let,
 - o vliv pracovníka zkušebny na výsledky měření,
 - o statistická analýza hodnocení tvrdosti temene kolejnič v závislosti na chemickém složení a parametrech válcování i ochlazování kolejnič určitého typu v kampaních,
 - o statistická analýza hodnocení tvrdosti a hloubky oduhličení u kolejnič určitého typu,
 - o analýza systému měření (MSA) u stanovených hloubek oduhličení pro vybrané vzorky kolejnič,
 - o matematicko-fyzikální modelování modelu tvrdosti temene kolejnič,
 - o prvotní analýza dat pokusu měření teploty kolejnič na chladníku,
 - o statistická analýza mechanických vlastností kolejnič určitého profilu v kampaních s pokusnými tavbami,
 - o statistická analýza a sestavení modelu závislosti tvrdosti dle Brinella na vzdálenosti od čela u 7 vzorků kolejnič určitého profilu podle Jominyho zkoušky bez tepelného zpracování,
 - o statistická analýza vlivu výrobních parametrů na mikrostrukturu 16 vzorků kolejnič určitého profilu z taveb vybrané kampaně,
 - o statistická analýza vlivu vlastností vzduchu v oblasti chladicího lože a nasávaného vzduchu venkovního na hodnoty tvrdosti kolejnič vybraného profilu odválcovaných v určitém období,
 - o statistická analýza vlivu doby řízeného chlazení vzduchem kolejnič určitého typu v oblasti chladicího lože VH na výsledné mechanické vlastnosti ve vybrané kampani,
 - o aproximační fyzikálně adekvátní matematický model závislosti THRC (tvrdost podle Rockwella) na VOC (vzdálenosti od čela vzorku),
 - o statistická analýza vlivu výrobních parametrů na mikrostrukturu 16 vzorků kolejnič vybraného profilu z taveb určité kampaně,
 - o odvození vztahu pro hustotu reálného vlhkého vzduchu ve tvaru nelineární funkce tří základních veličin reálného vzduchu: jeho teploty, tlaku a vlhkosti a spolupráce při jeho implementaci do informačního systému VIS,
 - o statistická analýza vlivu vlastností vzduchu v oblasti chladicího lože a nasávaného vzduchu venkovního na hodnoty tvrdosti kolejnič vybraného profilu odválcovaných v určitém období,
 - o statistická analýza technologických parametrů válcování pásnic z oceli jakosti S355x na provozu VHb - Univerzální trať Bohumín za

účelem zajištění požadovaných hodnot meze kluzu Re dle normy ČSN EN 10025,

- o statistická analýza a aproximace naměřených teplotních křivek chlazení kolejnicových pásů vybraného typu z určitých válcovacích kampaní,
- o statistická analýza vlivu parametrů nuceného chlazení a dílčích technologických veličin na hodnoty Brinellovy tvrdosti na temeni kolejnic vybraného typu z určité válcovací kampaně,
- o aproximace průběhu teplotních křivek chlazení pomocí lineární (3L) úsekové piecewise funkce,
- o aplikace Hodrickova-Prescottova filtru na reálná data diferencí teplot povrchu kolejnic,
- o aplikace Avramiho modelu na reálná data všech pyrometricky měřených povrchových teplot chlazených kolejnic,
- o návrh matematického a nelineárního regresního modelu poklesu pyrometricky měřené agregované povrchové teploty hlav kolejnic,
- o matematicko-statistická analýza vlivu rychlosti ochlazování na fázové složení a tvrdost HBW vzorků IH kolejnic legovaných chromem.

8.1 Aproximační fyzikálně adekvátní matematický model závislosti tvrdosti HRC na vzdálenosti od čela vzorku

V této podkapitole je jako příklad aplikace uveden aproximační fyzikálně adekvátní matematický model závislosti tvrdosti podle Rockwella (THRC) na vzdálenosti od čela vzorku kolejnice (VOC).

Daný problém se vyskytl při řešení statistické analýzy a sestavení modelu závislosti tvrdosti HB dle Rockwella (naměřeno) a Brinella (přepočteno) na VOC u 7 vzorků kolejnic určitého profilu podle typu Jominyho zkoušky, avšak bez tepelného zpracování (blíže [35]).

Cílem bylo sestavit vhodný aproximační fyzikálně adekvátní matematický model závislosti THRC (tvrdost podle Rockwella) na VOC.

Základním principem fungování modelu je *protipůsobení* dvou dynamických kompartmentů K1, K2 (kompartiment je část celku, která má specifické vlastnosti, přičemž je obvykle od ostatních částí oddělen zřetelnou vnější hranicí) na jeden objekt (v jednom objektu) [12].

V daném případě zkoumání průběhu tvrdosti po průřezu kolejnice v její ose od odbroušeného temene směrem do středu stojiny (čili pro Jominyho zkoušku vzorků odebraných z hlavy kolejnicového pásu) představuje kompartiment:

- K1: *externí* (vnější) vliv – vstupní veličinu typu ochlazování (odebírání tepla) hlavy kolejnice prouděním vzduchu při jejím chladnutí na chladníku,
- K2: *interní* (vnitřní) vliv – vstupní veličinu typu akumulace tepla (dodaného při ohřevu kolejnice

v krokové peci), jako i deformační reohřev kolejnice při tváření.

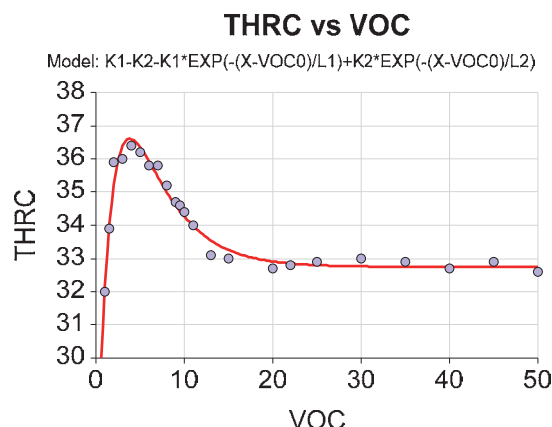
Předpokládá se, že oba kompartmenty mají charakter proporcionálních (setrvačných) soustav 1. řádu. Po sestavení Laplaceových obrazů výstupních veličin a výstupu celé soustavy, lze při použití zpětné Laplaceovy transformace dostat vztah vyjadřující skutečnost, že výstup celé soustavy je rozdílem délkových přechodových funkcí (odezev na jednotkový skok) obou soustav.

Závislost tvrdosti HRC (proměnná THRC) na VOC má pak následující tvar mírně modifikované přechodové funkce uvedené zkoumané soustavy:

$$THRC = (k_1 - k_2) - k_1 \cdot \exp\left\{-\frac{(VOC - VOC_0)}{L_1}\right\} + k_2 \cdot \exp\left\{-\frac{(VOC - VOC_0)}{L_2}\right\}, \quad (7)$$

kde je THRC - tvrdost dle Rockwella [1], VOC - vzdálenost od čela vzorku (mm), VOC_0 - vzdálenost od čela vzorku, kdy THRC nabývá nulové hodnoty (mm), k_1 , k_2 - zesílení 1. a 2. části soustavy (1/mm), L_1 , L_2 - délková konstanta tepelné setrvačnosti 1. a 2. části soustavy (mm).

Výsledek nelineární regrese s daným modelem pro vzorek č. 4 je prezentován na obr. 12:



Obr. 12 Nelineární regrese závislosti THRC na VOC: vzorek 4
Fig. 12 Nonlinear regression of THRC versus VOC: sample 4

Daný regresní model vykazoval u všech vzorků poměrně vysoký koeficient determinace R^2 v rozmezí 84 až 97 %.

Bylo zjištěno, že na parametry rov. (7) má rozhodující vliv chemické složení oceli a dva kategoriální faktory: lící proud na ZPO1 a lidský faktor.

9. Elektroocelárna

Hlavním cílem analýzy technologického procesu s ohledem na kvalitu ingotů, bram a pásnic (ploštín) odlévaných na elektroocelárně (EO) v TŽ, a.s. a válcovaných na válcovně VH a následně na univerzální trati

Bohumín (v období roků 2009 až 2016) bylo zjištění vlivů na tvrdost HB, vrubovou houževnatost, UZ výmět, dále na ukazatele struktury oceli dle normy SEP 1614, na teploty ohřevu a teploty válcování ploštin, na chemické složení, velikost a hustotu vměstků, jako i návrh a optimalizace tvaru kokil i parametrů odlévání oceli.

V analýze tohoto technologického procesu byly použity následující statistické metody při řešení níže uvedených dílčích problémů:

- matematické a matematicko-statistické modelování, exploratorní analýza a analýza časových řad, jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA), korelační analýza, párová lineární i nelineární regrese, vícenásobná lineární i nelineární a GLM statická i dynamická regrese, analýza hlavních komponent skupin proměnných (PCA), kanonická korelační analýza (CCA) a metoda částečných nejmenších čtverců (PLS), metoda DOE.

Podrobněji lze popis aplikace matematicko-statistických metod při řešení dílčích problémů uvést v následujícím členění:

- matematické (matematicko-statistické) modelování:
 - o návrhu nových nelineárních kokil,
 - o víceroznicového predikčního modelu (VPM) chemického ohřevu lázně (vycházející z disertační práce Ing. T. Huczaly [36]). Modelování obsahovalo vývojový diagram, jeho slovní popis, listing matematického programu Scilab, jako i strukturovaný excelovský sešit modelu ve smyslu podkladů pro programování [37],
- exploratorní analýza a analýza časových řad:
 - o tvrdosti HB ploštin,
 - o vrubové houževnatosti vzorků ploštin,
 - o ukazatelů struktury oceli dle normy SEP 1614,
- jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA) pro stanovení vlivu:
 - o lidského faktoru na tvrdost a UZ výmět ploštin,
 - o typu kokil a ingotů, jako i výrobních parametrů na UZ výměty a vrubovou houževnatost ploštin,
 - o lidského faktoru na teploty ohřevu a teploty válcování ploštin,
 - o vlivu kategoriálních parametrů reálných dat taveb sloužící k definování regresních vztahů stochastické části modelu VPM,
- párová korelace a lineární i nelineární regrese:
 - o vlivu rozměrů ploštin a chemického složení oceli na jejich tvrdost,
 - o kvantitativních veličin toku výroby na UZ výměty ploštin,
 - o vlivu teplot ohřevu na teploty válcování ploštin,
 - o korelace proměnných vrubové houževnatosti, proměnných velikosti zrna, chemického složení strusky a chemického složení vměstků, ukazatelů struktury oceli dle normy SEP 1614,

- o vlivu chemického složení oceli a oceli vzorků, hustoty vměstků, velikosti zrna na kvantifikované proměnné ukazatelů struktury oceli dle normy SEP 1614,
- o vlivu struktury dle SEP 1614 na vrubovou houževnatost ploštin,
- o vlivu kvantitativních parametrů reálných dat taveb sloužící k definování regresních vztahů stochastické části modelu VPM,
- vícenásobná lineární i nelineární a GLM statická i dynamická regrese:
 - o vlivu chemie oceli na tvrdost ploštin,
 - o vlivu chemického složení oceli a oceli vzorků, parametrů výroby na EO, extrémů velikosti zrna, metalografické čistoty, počtu vměstků podle velikosti, hustoty vměstků, chemického složení vměstků na vrubovou houževnatost ploštin,
 - o vlivu chemického složení strusky na chemické složení, velikost a hustotu vměstků,
 - o vlivu chemického složení oceli a oceli vzorků na kvantifikované proměnné ukazatelů struktury oceli dle normy SEP 1614,
 - o vlivu kategoriálních i kvantitativních parametrů reálných dat taveb sloužící k definování regresních vztahů stochastické části modelu VPM,
- analýza hlavních komponent skupin proměnných (PCA), kanonická korelační analýza (CCA) a metoda částečných nejmenších čtverců (PLS): chemického složení strusky a chemického složení vměstků,
- metoda DOE: u statistické analýzy výsledků numerické simulace lití oceli do kokily určitého tvaru z numerického simulačního programu MAGMA 5 [38].

9.1 DOE optimalizace závislosti licí rychlosti na teplotě u ingotů

V této podkapitole je na ukázkou prezentována DOE optimalizace závislosti licí rychlosti na teplotě zvolené nástrojové oceli s cílem minimalizace středové nekvality daných ingotů (blíže [38]).

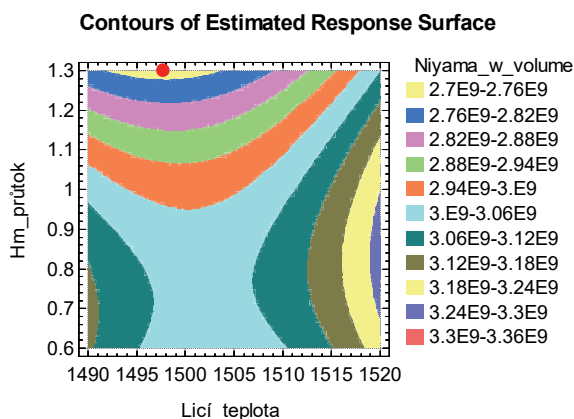
Obsahem řešení byla optimalizace závislosti licí rychlosti na teplotě uvažované nástrojové oceli s cílem minimalizovat středovou nekvalitu daných ingotů, definovanou pomocí 9 kritérií. Byla využita statistická analýza výsledků numerické simulace z programu MAGMA 5 odlití nástrojové oceli značky X do kokily tvaru Y pomocí metody DOE ve statistickém programu Statgraphics Centurion.

Matematický model vycházel z tzv. metody odezvo- vých, responsních ploch (Response Surface Method), která uvažuje tzv. *úplný kvadratický model* ve tvaru pro 2 uvažované vstupní proměnné: x_1 = licí teplota, x_2 = hmotnostní průtok oceli:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + e, \quad (8)$$

kde y je odezva, výstup, ukazatel kvality ingotu [fyzikální jednotka] = [f.j.], b_0 je absolutní, poziční člen [f.j.], b_i jsou regresní koeficienty [f.j.] e je reziduum, „zbytek“ [f.j.].

Na obr. 13 je prezentován vrstevnicový graf základního kritéria *Niyama_w_volume* v závislosti na lící rychlosti (hmotnostním průtoku) a lící teplotě dané nástrojové oceli.



Obr. 13 Vrstevnicový graf pro kritérium *Niyama_w_volume*
Fig. 13 Contours diagram of the criterion *Niyama_w_volume* criterion

Základní závěry statistické analýzy metodou DOE lze stručně shrnout následujícím způsobem:

- získané optimální body všech 9 kritérií jsou rozmístěny ve dvou protilehlých a protichůdných oblastech (shlucích), přičemž v těchto oblastech leží i body dvou kardinálních kritérií nekvality ingotů – *Niyama-weighted volume* (s prioritou 1) a *Porosity-weighted volume* (priorita 2). Znamená to, že daná kritéria mají protichůdný vliv na hodnotu teploty liti a hmotnostní průtok oceli,
- to svědčí o složitosti, nelinearitě a deterministické chaotičnosti procesu liti oceli z pánve do kokil,
- vzhledem k tomu, že nelze vybrat pouze jedno kritérium optimality a že dvě základní (dominantní) kritéria určují protichůdné požadavky na nastavení lící rychlosti a průtočného množství, není možné stanovit funkční závislost rychlosti na teplotě liti v optimální podobě. Jako nejvýhodnější při současném stavu poznání se jeví volit konstantní hodnoty teploty a průtoku uprostřed intervalů možných hodnot.

Stanovení optimálního návrhu tvaru kokil a optimální závislosti rychlosti liti (hmotnostního průtoku) na teplotě liti oceli je složitá a komplexní záležitost. Její řešení je možné pouze v postupných krocích s využitím numerické simulace a fyzikálního ověřování v reálné provozní praxi.

10. Ekologie v metalurgii

Cílem analýzy použití mikrovlnných technologií a prosazování polotovárů z odpadů do výrobního procesu (na vysokých pecích a na elektroocelárně) v TŽ, a.s. (za období roků 2009 až 2016) bylo technologicko-ekologické ověření a statistické vyhodnocení těchto technologií v hutnictví [39, 40].

V analýze daných technologických procesů byly použity následující statistické metody při řešení níže uvedených dílčích problémů:

- exploratorní analýza dat včetně testování normality a náhodnosti, dvouvýběrové a párové parametrické testy shody středních hodnot a rozptylů, jednofaktorová ANOVA, párová lineární i nelineární regrese, vícenásobná regrese, metoda DOE experimentů, kyberneticko-matematicko-statistické modelování,
- dílčí řešené problémy:
 - statistické porovnání výsledků zpracování hutních kalů v rotační a elektrické indukční peci,
 - statistická analýza parametrů redukce briket z druhé série taveb v rotační peci,
 - aproximace časových průběhů vlhkosti a teploty kamenů pomocí kybernetických modelů,
 - statistická analýza výsledků při pokusném prosazování briket HT 296 A z železného koncentráту z odsíření do vsázky VP4,
 - statistická analýza výsledků při druhém pokusném prosazování briket ze strusek mimopecního odsíření surového železa do vsázky VP4,
 - analýza výsledků při třetím pokusném prosazování briket z železného podsítného separátu z odsíření a odprašků do vsázky VP4,
 - matematicko-statistická analýza výsledků při pokusném prosazování briket z ocelářského aglomerátu s přidavkem zaolejovaných okují do vsázky KK,
 - návrh experimentu pro vysušování žárovzdorných hmot pomocí mikrovln v areálu TŽ, a.s.,
 - analýza výsledků mikrovlnného vysušování žárovzdorných hmot a briketovaných kalů,
 - použití logistické funkce pro aproximaci a nelineární regresi normovaných základních veličin lících kamenů, tj. hmotnosti a vlhkosti,
 - návrh experimentu pro vysušování vzorků z žárobetonu pomocí mikrovln,
 - analýza aplikace mikrovln na vysušování vzorků z žárobetonu,
 - analýza výsledků při třetím pokusném prosazování briket z železného koncentráту strusek MPO do vsázky VP4,
 - výzkum a vývoj nových technologických postupů při zpracování druhotných surovin,
 - statistická analýza fyzikálně-chemických vlastností kovonosných briket vyrobených v roce 2014 a 2015 firmou Progres Ekotech, s.r.o.,

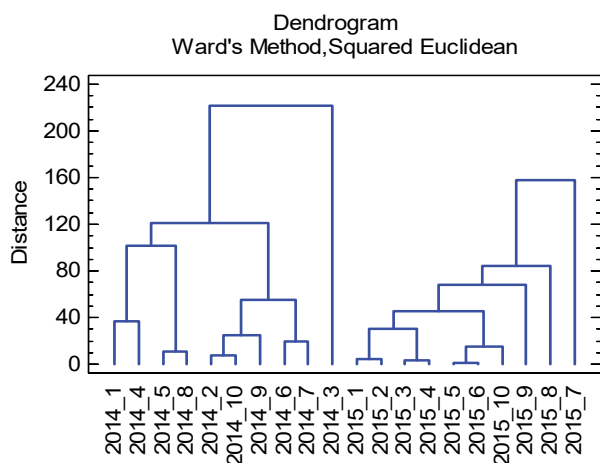
- aproximační nelineární regrese závislosti podílů nejmenších frakcí na počtu pádů (u pádových zkoušek briket) pomocí 4parametrové Weibullovovy funkce,
- shluková analýza chemických vlastností briket.

10.1 Shluková analýza chemických vlastností briket

V této podkapitole je jako příklad aplikace uvedena shluková analýza chemických vlastností briket. V rámci vnitropodnikového výzkumného projektu TŽ, a.s. s názvem „Výzkum a vývoj environmentálně šetrných technologií pro recyklaci hutních odpadů“ byly z hlediska chemického složení analyzovány 2 dávky kovonosných briket, vyrobené v letech 2014 a 2015 (blíže [41]).

Cílem statistické analýzy bylo ověření podobnosti chemického složení briket vyrobených v obou dávkách. U každé brikety bylo definováno celkem 28 proměnných – změřených obsahů prvků a sloučenin (hm. %). V souladu s cílem statistické analýzy byla použita tzv. analýza shluků, což je metoda, která se zabývá určením podobnosti vícerozměrných objektů, tj. objektů, u nichž je změřeno větší množství znaků, a následnou klasifikací objektů do shluků.

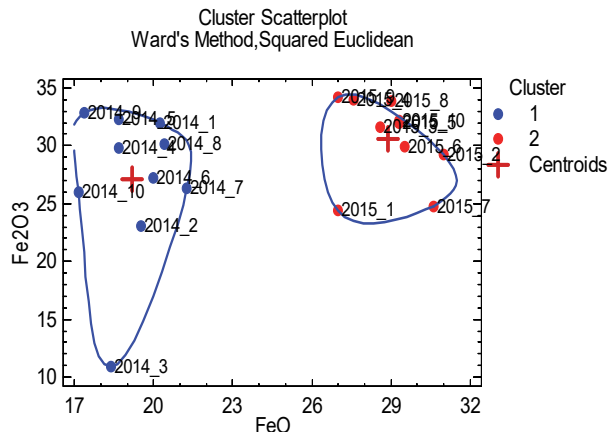
Podobnost objektů (briket) z hlediska chemického složení je graficky vyjádřena pomocí tzv. dendrogramu (obr. 14).



Obr. 14 Dendrogram briket vyrobených v roce 2014 – 2015
Fig. 14 Dendrogram of the briquettes produced in 2014 – 2015

Interpretace dendrogramu objektů je snadná. Objekty blízko sebe jsou propojeny spojovací úsečkou ve spodní části diagramu, mají malou vzdálenost, čili značnou podobnost. Objekty propojené v horní části diagramu mají malou podobnost a mezi sebou vykazují velkou vzdálenost.

V posledním kroku je nutné provést interpretaci vhodně vybraných rozptylových grafů, a to vždy pro dvojici proměnných, kde se ukazuje rozdělení všech objektů (briket) do vytvořených shluků, jako např. na obr. 15.



Obr. 15 Rozmístění briket v rozptylovém grafu podle hm. obsahu Fe_2O_3 a FeO

Fig. 15 Distribution of briquettes on scatterplot according to Fe_2O_3 and FeO content

Přínosem provedené shlukové analýzy bylo zhodnocení homogenity briket z obou dávek z hlediska chemického složení a objasnění výrazné odlišnosti chemického složení některých briket s návazností na jejich fyzikální a termoplastické vlastnosti [41].

Závěr

Dlouholeté zkušenosti a výsledky z aplikace metod matematické statistiky při řešení výzkumných projektů v metalurgickém výzkumu a provozní praxi poskytují následující poznatky:

- používání vhodných metod matematické statistiky se jeví jako *užitečná součást řešení* většiny úkolů (problémů) v metalurgii,
- v průběhu řešení projektů je při uplatňování statistických analýz nutná *průběžná konzultace* výsledků s příslušnými výzkumníky a technologi z provozní praxe. Tyto konzultace jsou oboustranně prospěšné.

Poděkování

Výsledek výzkumu, vývoje a inovací byl dosažen s využitím institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace poskytované „Ministerstvem průmyslu a obchodu“.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 „Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] ANDĚL, J. *Statistické metody*. 4. upr. vyd. Praha: Matfyzpress MFF UK Praha, 2007, 299 s.
- [2] BATES, D. M., WATTS, D. G. *Nonlinear Regression Analysis & its Applications*. New York, John Wiley and Sons, 1988.
- [3] BUDÍKOVÁ, M., KRÁLOVÁ M., MAROŠ, B. *Průvodce základními statistickými metodami*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010, 272 s. ISBN 978-80-247-3243-5.

- [4] HEBÁK, P. aj. *Statistické myšlení a nástroje analýzy dat*. 1. vyd. Praha: Informatorium, s.r.o. 2013, 880 s. ISBN 978-80-7333-105-4.
- [5] KRYSICKI, W. *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach*. Część II. Statystyka matematyczna. I. vyd. Warszawa: PWN, 1986, 328 s. ISBN 83-01-06013-1.
- [6] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Statistické zpracování experimentálních dat*. 1. vyd. Praha: PLUS, 1994, 839 s.
- [7] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Kompedium statistického zpracování dat*. Metody a řešené úlohy včetně CD. 1. vyd. Praha: Academia, 2002, 764 s.
- [8] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Interaktivní statistická analýza dat*, 1. vyd. Praha: Karolinum (UK) Praha, 2012, 953 s.
- [9] NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: MONTANEX, 1999, 276 s.
- [10] REKTORYS, K. *Přehled užití matematiky*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1973. 1140 s.
- [11] SEBER, G. A. F., WILD, C. J. *Nonlinear Regression*. John Wiley & Sons, 1989.
- [12] ZÍTEK, P. *Simulace dynamických systémů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 420 s.
- [13] ZVÁRA, K. *Regrese*. Praha: Matfyzpress MFF UK, 2008
- [14] MORÁVKA, J., HERMANN, R. Využití metody DOE pro stanovení optimálního podílu paliva při spékání agglomérátů. In *Sborník přednášek XIX. International Scientific Conference Iron and Steelmaking*, 7.-9.10.2009, Szczyrk (Polsko). Prace IMŻ 5 (2009), tom 61. ISSN 0137-9941
- [15] MORÁVKA, J., HERMANN, R. Aplikace plánovaného experimentu v hutnictví. In *Sborník přednášek konference REQUEST (REliability QUality ESTimation)* 2009, 26.-27.11.2009, TU Liberec.
- [16] TOŠENOVSKÝ J., NOSKIEVIČOVÁ D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000.
- [17] MAROŠ B., TRÁVNÍČEK T. Plánování experimentu. In *5th International Conference Aplimat 2006*, Ústav matematiky FSI STU Bratislava, 20 s.
- [18] MORÁVKA J., MAROŠ B., MICHALEK K. Vliv neortogonalita plánu experimentu na statistickou korektnost modelu. In *Sborník příspěvků 16. mezinárodní konference Technical Computing Prague*, Humusoft s.r.o. a VŠCHT Praha, listopad 2008, abstrakt: s. 73, příspěvek (CD): 15 s.
- [19] KUFA, J. *Vývoj technologií s cílem zvýšení výrobnosti aglomerací*. Dílčí technická zpráva. Ostrava/Třinec : MMV s.r.o., březen 2014, 27 s.
- [20] KUFA, J., SCHIFFAUER, L., FARUZEL, P., KLUS, P. Vícekriteriální analýza variant sypání vysokopeční vsázky. In *Iron and Steelmaking: XXIV. International scientific conference*. 22.-24. 10.2014, Horní Bečva, Beskydy, Česká republika. s. 128-131. ISBN 978-80-248-3627-0.
- [21] KUFA, J. *Vývoj technologie řízení vysokých pecí při vyšším obsahu pelet ve vsázce*. Dílčí technická zpráva. Ostrava/Třinec : MMV s.r.o., říjen 2015. 38 s.
- [22] MORÁVKA, J. Approximation Model of Pig Iron Desulphurizing Rate on Reagent Consumption. (Aproximace závislosti stupně odsíření surového železa na spotřebě reagentů). In *XX. international scientific conference Iron and Steelmaking*, SR (Tatranská Lomnica), 20.-22.10.2010
- [23] MORÁVKA J. Aplikace Hillovy funkce při statistické analýze mimopecního odsíření surového železa. In *XXIV. mezinárodní vědecké konference Iron and Steelmaking*. VŠB-TUO, 2014, 219 s.
- [24] MORÁVKA, J. *Statistické vyhodnocení činnosti a parametrů zařízení mimopecního odsíření surového železa v TŽ, a.s. za rok 2013*. Případová studie. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., 31.1.2014, 36 s.
- [25] MORÁVKA, J., BILKO, M. *Statistická analýza vlivu parametrů celého technologického toku na procento vyhovujících tyčí Ø 68 mm vyrobených v roce 2014 z precipitační oceli typu 38MnV na KJT v Třineckých železárnách, a.s.* Případová studie. Třinec: MMV s.r.o., prosinec 2014 /květen-srpen 201., 78/116 s.
- [26] MORÁVKA, J. *Matematicko-statistická analýza technologického procesu a dat se zaměřením na zlepšení povrchové kvality litého sochoru, tyčí a drátů*. Závěrečná technická zpráva. Třinec: MMV s.r.o., červen 2013, 172 s.
- [27] MORÁVKA J. Efektivní aplikace metody DOE v numerické simulaci optimalizovaného procesu odlévání sochorů v TŽ, a.s. In *Sborník XXIV. mezinárodní vědecké konference Iron and Steelmaking*. VŠB-TUO, 2014, 219 s.
- [28] KUFA, J. *Využití laserové triangulační metody s cílem optimalizace technologií pro zlepšení povrchové a podpovrchové kvality ocelových polotovarů*. Dílčí technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., leden 2015, 20 s.
- [29] MORÁVKA, J. Kyberneticko-statistické modelování vlivu tepelně-teplotních poměrů při odlévání sochorů na povrchovou kvalitu tyčí. In *31. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli Oceláři/Steelcon*, Tanger, s.r.o., 2015. Příspěvek č. 3610. 7 s.
- [30] MORÁVKA, J. Analysis of the Surface Quality of Steel Bars with Use of Approximation Models (Analýza povrchové kvality tyčí za pomoci aproximačních modelů). *Hutnické listy*, 69 (2016) 1, 3-9. ISSN 0018-8069
- [31] MORÁVKA, J. *Statistická analýza výrobních dat za účelem zlepšení úrovně povrchové kvality drátů ze šroubárenských ocelí*. Závěrečná technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., červen 2013, 101 s.
- [32] MORÁVKA, J., KUFA, J. *Statistická analýza výrobně-technologických dat procesu výroby drátů z oceli jakosti MnTiB pro šrouby na provoz KDT v TŽ, a.s.* Závěrečná technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., prosinec 2014, 146 s.
- [33] KUFA, J., MORÁVKA, J. *Statistická analýza vadnosti drátů kordových a víceuhlíkových ocelí vyrobených v období 1. 1. 2014 až 29. 6. 2014 s ohledem na vybrané výrobní parametry ZPO 2 a KDT*. Technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., červenec 2014-leden 2015, 104 s.
- [34] MORÁVKA, J. *Statistická analýza parametrů chemického složení a mechanických vlastností drátů vybraných značek šroubárenských ocelí s cílem definování detekčních mezí pro nové tavby*. Závěrečná technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., březen 2016, 40 s.
- [35] MORÁVKA, J. 2014. *Statistická analýza výrobně-technologických dat za účelem optimalizace klíčových technologických parametrů pro zlepšení mechanických hodnot kolejnic*. Závěrečná technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., prosinec 2014, 94 s.
- [36] HUCZALA, T. *Řízení chemického ohřevu během sekundárního zpracování oceli*. Disertační práce. Ostrava: KMS FMMI VŠB-TUO, 2015, 122 s.
- [37] MORÁVKA, J. *Statistická analýza dat a vytvoření off-line verze modelu VPM pro predikci teploty oceli v pánvi po chemickém ohřevu za účelem optimalizace tohoto ohřevu na VOD elektroocelárny TŽ, a.s.* Závěrečná technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., prosinec 2015, 53 s.
- [38] MORÁVKA, J. *Statistická analýza dat výroby subledeburitické nástrojové oceli*. Závěrečná technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., prosinec 2014, 79 s.
- [39] MLČOCH, P., MORÁVKA, J.. *Vysušování žáruvzdorných hmot pomocí mikrovlnného záření*. *Hutnické listy*, 63 (2010) 5, 58-62.
- [40] MLČOCH, P., MORÁVKA, J. *Recyklace separátu strusky z mimopecního odsířování surového železa ve vysoké peci*. *Hutnické listy*, 63 (2010) 5, 82-85.
- [41] MORÁVKA, J., KUFA, J. *Statistická analýza chemicko-fyzikálních vlastností kovonosných briket vyrobených v roce 2014 a 2015 firmou Progres Ekotech, s.r.o.* Dílčí technická zpráva. Ostrava/Třinec: MMV s.r.o., červen 2015, 12 s.

Zprávy z HŽ, a.s.

Hutní výroba v ČR a SR

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	březen	duben	leden-duben	březen		duben		leden-duben	
	2016	2016	2016	2015	2016/15	2015	2016/15	2015	2016/15
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	264,69	260,67	997,07	297,89	88,85	287,13	90,78	1 150,14	86,69
z toho (HŽ) ČR	129,54	129,51	474,66	158,15	81,91	151,59	85,43	607,41	78,15
(HŽ) SR	135,15	131,16	522,40	139,74	96,71	135,54	96,77	542,73	96,25
AGLOMERÁT									
CELKEM	815,13	797,50	3 171,67	845,57	96,40	764,92	104,26	3 250,64	97,57
z toho ČR	511,83	523,20	2 002,87	512,67	99,84	431,92	121,14	1 981,74	101,07
SR	303,30	274,30	1 168,80	332,90	91,11	333,00	82,37	1 268,90	92,11
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	708,91	655,97	2 615,82	700,36	101,22	651,38	100,71	2 703,31	96,76
z toho ČR	361,41	342,89	1 372,72	348,69	103,65	318,10	107,79	1 354,70	101,33
SR	347,49	313,08	1 243,10	351,67	98,81	333,28	93,94	1 348,61	92,18
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	883,04	839,00	3 269,80	899,96	98,12	820,76	102,22	3 446,44	94,87
z toho ČR	467,59	440,49	1 752,78	463,95	100,79	419,05	105,12	1 794,10	97,70
SR	415,45	398,50	1 517,02	436,01	95,28	401,70	99,20	1 652,35	91,81
KONTISLITKY									
CELKEM	842,65	803,22	3 121,52	854,31	98,63	780,41	102,92	3 277,00	95,26
z toho ČR	427,94	405,45	1 607,46	419,20	102,09	379,61	106,81	1 628,26	98,72
SR	414,71	397,77	1 514,06	435,11	95,31	400,80	99,24	1 648,75	91,83
BLOKOVNY									
CELKEM	55,70	55,29	210,92	58,66	94,95	25,06	220,62	181,52	116,19
z toho ČR	55,70	55,29	210,92	58,66	94,95	25,06	220,62	181,52	116,19
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	825,90	815,54	3 074,72	851,26	97,02	740,67	110,11	3 136,93	98,02
z toho ČR	456,35	449,06	1 716,34	446,33	102,24	398,62	112,65	1 652,37	103,87
SR	369,55	366,48	1 358,38	404,93	91,26	342,05	107,14	1 484,56	91,50
TRUBKY									
CELKEM	57,48	64,86	235,13	71,44	80,46	62,09	104,46	262,39	89,61
z toho ČR	39,04	45,64	161,88	51,63	75,62	45,45	100,41	187,47	86,35
SR	18,44	19,22	73,25	19,82	93,07	16,64	115,54	74,92	97,77
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	21,52	20,71	85,01	18,90	113,88	17,57	117,90	71,00	119,74
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,23	1,25	4,82	1,32	92,52	1,26	99,36	5,45	88,41

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Hutnictví železa, a.s. - Ing. Vála

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	duben	květen	leden-květen	duben		květen		leden-květen	
	2016	2016	2016	2015	2016/15	2015	2016/15	2015	2016/15
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	260,67	274,88	1 271,95	287,13	90,78	297,40	92,43	1 447,54	87,87
z toho (HŽ) ČR	129,51	134,60	609,26	151,59	85,43	157,96	85,21	765,37	79,60
(HŽ) SR	131,16	140,29	662,69	135,54	96,77	139,43	100,61	682,17	97,14
AGLOMERÁT									
CELKEM	797,50	889,44	4 061,11	764,92	104,26	838,47	106,08	4 089,11	99,32
z toho ČR	523,20	556,14	2 559,01	431,92	121,14	501,47	110,90	2 483,21	103,05
SR	274,30	333,30	1 502,10	333,00	82,37	337,00	98,90	1 605,90	93,54
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	655,97	718,43	3 334,25	651,38	100,71	686,91	104,59	3 390,22	98,35
z toho ČR	342,89	374,73	1 747,46	318,10	107,79	378,49	99,01	1 733,19	100,82
SR	313,08	343,70	1 586,79	333,28	93,94	308,42	111,44	1 657,03	95,76
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	839,00	893,28	4 163,08	820,76	102,22	876,07	101,96	4 322,52	96,31
z toho ČR	440,49	485,64	2 238,42	419,05	105,12	495,07	98,10	2 289,17	97,78
SR	398,50	407,64	1 924,66	401,70	99,20	381,00	106,99	2 033,35	94,65
KONTISLITKY									
CELKEM	803,22	854,02	3 975,53	780,41	102,92	833,86	102,42	4 110,86	96,71
z toho ČR	405,45	447,11	2 054,56	379,61	106,81	453,76	98,53	2 082,01	98,68
SR	397,77	406,91	1 920,97	400,80	99,24	380,10	107,05	2 028,85	94,68
BLOKOVNY									
CELKEM	55,29	53,54	264,46	25,06	220,62	52,01	102,95	233,53	113,24
z toho ČR	55,29	53,54	264,46	25,06	220,62	52,01	102,95	233,53	113,24
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	815,54	828,76	3 903,48	740,67	110,11	802,41	103,28	3 939,34	99,09
z toho ČR	449,06	472,31	2 188,65	398,62	112,65	440,63	107,19	2 093,00	104,57
SR	366,48	356,46	1 714,83	342,05	107,14	361,79	98,53	1 846,34	92,88
TRUBKY									
CELKEM	64,86	63,95	299,08	62,09	104,46	65,60	97,48	327,99	91,19
z toho ČR	45,64	42,99	204,87	45,45	100,41	45,70	94,06	233,17	87,86
SR	19,22	20,96	94,22	16,64	115,54	19,90	105,34	94,82	99,36
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	20,71	19,60	104,61	17,57	117,90	17,57	111,51	88,57	118,11
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,25	1,33	6,15	1,26	99,36	1,10	120,91	6,55	93,87

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	květen	červen	leden-červen	květen		červen		leden-červen	
	2016	2016	2016	2015	2016/15	2015	2016/15	2015	2016/15
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	274,88	261,94	1 533,89	297,40	92,43	287,90	90,98	1 735,44	88,39
z toho (HŽ) ČR	134,60	125,02	734,28	157,96	85,21	151,82	82,35	917,19	80,06
(HŽ) SR	140,29	136,92	799,62	139,43	100,61	136,08	100,62	818,25	97,72
AGLOMERÁT									
CELKEM	889,44	794,09	4 855,20	838,47	106,08	674,75	117,69	4 763,85	101,92
z toho ČR	556,14	474,59	3 033,60	501,47	110,90	367,65	129,09	2 850,85	106,41
SR	333,30	319,50	1 821,60	337,00	98,90	307,10	104,04	1 913,00	95,22
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	718,43	700,13	4 034,38	686,91	104,59	692,36	101,12	4 082,58	98,82
z toho ČR	374,73	353,45	2 100,91	378,49	99,01	362,68	97,46	2 095,86	100,24
SR	343,70	346,68	1 933,47	308,42	111,44	329,68	105,16	1 986,71	97,32
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	893,28	879,67	5 042,76	876,07	101,96	874,81	100,56	5 197,33	97,03
z toho ČR	485,64	457,58	2 696,01	495,07	98,10	480,31	95,27	2 769,48	97,35
SR	407,64	422,09	2 346,75	381,00	106,99	394,50	106,99	2 427,84	96,66
KONTISLITKY									
CELKEM	854,02	844,19	4 819,72	833,86	102,42	833,14	101,33	4 944,00	97,49
z toho ČR	447,11	422,83	2 477,39	453,76	98,53	439,54	96,20	2 521,56	98,25
SR	406,91	421,36	2 342,33	380,10	107,05	393,60	107,05	2 422,44	96,69
BLOKOVNY									
CELKEM	53,54	51,61	316,06	52,01	102,95	52,42	98,45	285,95	110,53
z toho ČR	53,54	51,61	316,06	52,01	102,95	52,42	98,45	285,95	110,53
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	824,77	827,81	4 727,30	802,41	102,79	771,96	107,24	4 711,30	100,34
z toho ČR	468,31	458,02	2 642,67	440,63	106,28	439,75	104,15	2 532,74	104,34
SR	356,46	369,80	2 084,63	361,79	98,53	332,21	111,31	2 178,55	95,69
TRUBKY									
CELKEM	63,95	61,20	360,28	65,60	97,48	65,57	93,34	393,56	91,54
z toho ČR	42,99	41,91	246,78	45,70	94,06	47,01	89,16	280,17	88,08
SR	20,96	19,29	113,51	19,90	105,34	18,57	103,91	113,39	100,10
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	19,33	17,69	122,03	17,57	110,01	18,19	97,23	106,76	114,31
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,33	1,17	7,33	1,10	120,91	1,42	82,56	7,98	91,85

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť

Současné postavení společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. jako výzkumné organizace

Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

1. Charakteristika společnosti

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. je jedním z posledních výzkumných pracovišť v ČR zaměřených na aplikovaný provádějících aplikovaný materiálový výzkum v metalurgii a materiálovém inženýrství v komplexním pojetí.

Základním posláním a strategickým záměrem společnosti je provádění nezávislého výzkumu a vývoje, zabezpečování technických a technologických inovací a poskytování služeb v metalurgii a materiálovém inženýrství s cílem zvyšování konkurenceschopnosti především českého hutnictví, strojírenství a energetiky.

V současnosti je společnost MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. je výzkumnou organizací ve smyslu nařízení Komise Evropské unie, General Block Exemption Regulation ("GBER") č.651/2014 a Sdělení komise "Rámec pro státní podporu výzkumu, vývoje a inovací", Úřední věstník Evropské unie 214/C 198/01 ze dne 27. 6. 2014, obojí s platností od 1. 6. 2014.

Zřizovatelem výzkumné organizace – společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. není stát, ale jejím vlastníkem je soukromý subjekt.

Mezi státní výzkumné organizace patří státní vysoké školy, Akademie věd a výzkumně-vývojové instituce. Společnost MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. patří do skupiny 15 výzkumných organizací v ČR, které jsou registrovány na MPO ČR a splňují statut výzkumné organizace. Vlastnickými společníky společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (dále jen MMV) jsou TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. s podílem 90,01 % a VŠB-TU Ostrava s podílem 9,99 %.

2. Zaměření společnosti

Společnost MMV se specializuje na tyto hlavní oblasti:

- výzkum a vývoj technologií výroby a sekundární metalurgie ocelí včetně numerické simulace procesu tuhnutí,
- výzkum pokrokových tvářecích technologií a řízených procesů tváření,
- matematické modelování a numerická simulace tvářecích technologií,
- hodnocení konvenčních a nekonvenčních materiálových vlastností v akreditované zkušební laboratoři únavových a křehkolomových vlastností,
- ověřování creepových charakteristik materiálů,
- chemické analýzy a měření emisí v akreditované zkušební laboratoři,
- strukturní a fázové analýzy kovových materiálů,
- analýzy příčin porušování kovových materiálů,
- výzkum a vývoj povrchových a korozních vlastností materiálů,
- vývoj a výroba nekonvenčních zkušebních zařízení,
- výroba ocelových ingotů, odlitků z šedé, legované a speciální litiny, vše do hmotnosti 1 700 kg.

3. Pohled do historie společnosti

3.1 Historie společnosti do roku 1996

Historie vzniku společnosti MMV sahá do roku 1946, kdy v rámci podniku Vítkovické železářny byly vyhláš-

kou ředitele podniku č. 258 ze dne 27. 6. 1946 založeny Výzkumné a zkušební ústavy jako skupina Technického odboru.

Ustavení, fungování a historie Výzkumných a zkušebních ústavů včetně jejich dalšího rozvoje a zaměření bylo velmi podrobně popsáno v publikaci "Padesát let Výzkumných ústavů akciové společnosti VÍTKOVICE" vydaných společností VÍTKOVICE, a.s. v r. 1991.

3.2 Historie společnosti v letech 1997 až 2007

Společnost MMV prošla v letech 1997 až 2007 mnoha organizačními a vlastnickými změnami.

Vědecko-výzkumná základna společnosti VÍTKOVICE, a.s. byla vyčleněna z organizační struktury jako samostatná obchodní společnost. Na bázi bývalé vnitropodnikové divize 940-Výzkum a vývoj založila společnost VÍTKOVICE, a.s. jako jediný zakladatel svou zakladatelskou listinou ze dne 15. 12. 2000 společnost VÍTKOVICE - Výzkum a vývoj, spol. s r.o.

V návaznosti na pokračující proces restrukturalizace a privatizace mateřské společnosti VÍTKOVICE, a.s. rozhodlo představenstvo holdingu o odprodeji 99 % obchodního podílu na základním jmění společnosti VÍTKOVICE - Výzkum a vývoj, spol. s r.o. firmě MICRO, s.r.o. Vlastnický převod byl realizován k 10. 4. 2003. Od tohoto data přestala být společnost dceřinou společností VÍTKOVICE, a.s.

V důsledku velmi složitých vlastnických vztahů a velmi napjatých vztahů mezi společníky společnosti VÍTKOVICE - Výzkum a vývoj, spol. s r.o. došlo ke změně vlastníka společnosti. Dne 5. 2. 2007 valná hromada společnosti vyslovila souhlas s převodem 99 % společnosti MICRO, s.r.o. novému majiteli, kterým se stal Ing. Lubomír Purmenský.

3.3 Historie společnosti v letech 2007 až 2016

V průběhu 1. poloviny roku 2007 začaly TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. jednat s novým majitelem společnosti Ing. Lubomírem Purmenským o její prodeji. Valná hromada dne 21. 5. 2007 odsouhlasila převod obchodního podílu společníka VIGILANT VENTURES, INC. ve společnosti VÍTKOVICE - Výzkum a vývoj, spol. s r.o. ve výši 99 % na společnost TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. Společnosti VÍTKOVICE a.s. tak zůstal obchodní podíl 1 %. Zápisem do obchodního rejstříku dne 25. 5. 2007 se majitelem 99% podílu ve firmě VÍTKOVICE - Výzkum a vývoj, spol. s r.o. tímto staly TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.

Během let 2007 až 2016 došlo ještě k dalším změnám vlastnických podílů ve společnosti. Dne 23. 6. 2009 proběhla valná hromada společnosti, kdy se nepeněžitým vkladem navýšil základní kapitál společnosti. Novým společníkem se stala VŠB-TU Ostrava. Vlastnická práva společnosti byla rozdělena takto: 89,11% vlastníkem společnosti byly TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.,

9,99% vlastníkem byla VŠB-TU Ostrava a 0,90% vlastníkem byly VÍTKOVICE, a.s.

Následně nabídla společnost VÍTKOVICE, a.s. majoritnímu společníkovi prodej svého podílu. Rozhodnutím valné hromady společnosti dne 24. 10. 2013 byl odsouhlasen převod obchodního podílu společníka VÍTKOVICE, a.s. ve výši 0,90 % na TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., čímž jejich podíl vzrostl na 90,1 %. Podíl základního kapitálu ve výši 9,99 % zůstal VŠB-TU Ostrava.

Na základě rozhodnutí majoritního vlastníka TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. byl změněn obchodní název společnosti. Původní název neodrážel tehdejší pozici a strategii společnosti, a tak rozhodnutím Valné hromady společnosti ke dni zápisu do obchodního rejstříku dne 27. 2. 2008 byla společnost VÍTKOVICE - Výzkum a vývoj, spol. s r.o. přejmenována na MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.

3.4 Vybrané aspekty činnosti společnosti po převzetí TŘINECKÝMI ŽELEZÁRNAMI, a.s.

Hlavní devizou společnosti po převzetí TŘINECKÝMI ŽELEZÁRNAMI, a.s. byli zaměstnanci s obrovským know-how a jejich kontakty na průmyslové partnery. To zabezpečovalo kontinuitu vědeckých a výzkumně-vývojových činností. Zde je nutno zdůraznit roli prof. Ing. Karla Matochy, CSc., který se svými spolupracovníky dokázal udržet činnost společnosti v krizových letech.

I když byl před převodem na TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. proveden velmi důkladný vnitřní audit, takže se vědělo o základních parametrech společnosti, v průběhu následujících let se bylo nutno vypořádat se s některými nepříjemnými skutečnostmi:

- společnost splácela v letech 2003 až 2011 tzv. Back leasing ve výši 5,5 milionů Kč
- došlo i na soudy; někteří bývalí manažeři byli potrestáni za rozkrádání majetku společnosti.

Vedení MMV a její dozorčí rada si byly vědomy stavu společnosti a od roku 2007 byly proto prováděny kroky, které měly dostat společnost na úroveň stabilní, fungující obchodní společnosti, která má statut výzkumné organizace. V letech 2007 až 2015 bylo do majetku společnosti investováno 192,122 milionů Kč. Společnost MMV využívala možnost obdržet dotace, které činily z výše uvedené částky 163,213 milionů Kč. Značná pozornost byla věnována i opravám, na které bylo v letech 2007 až 2015 vynaloženo 18,131 milionů Kč.

3.5 Milníky – úspěchy společnosti v letech 2007 až 2016

Společnost MMV od roku 2007 vykazovala vždy kladný hospodářský výsledek a na svou provozní činnost v současné době nevyužívá bankovní úvěr. Toto jsou pozitiva z hlediska pohledu na společnost jako

celek. Je však nutno uvést tři skutečnosti, které od r. 2007 významně ovlivnily a ovlivňují činnost společnosti:

a) Získání statutu „Výzkumná organizace“:

Z pohledu historického je nutno zdůraznit, že před rokem 2007 společnost MMV využívala institucionální podporu a řešila společně s VŠB-TU Ostrava, FMMI tzv. Výzkumný záměr. Podmínkou bylo, že společnost musí splňovat určitá kritéria. Postavení společnosti bylo tedy posuzováno s kritérii statutu „Výzkumná organizace“, které vypracovala Rada vlády ČR pro výzkum, vývoj a inovace. Na základě porovnání podmínek bylo rozhodnuto podat žádost o zařazení společnosti MMV kategorie výzkumných organizací. Tento návrh byl projednán a schválen v dozorčí radě společnosti a rovněž i dozorčí radě TRINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. se zápisem do společenské smlouvy. Na základě jednání valné hromady dne 10. 12. 2008, ukončila společnost proces plnění všech podmínek pro získání statutu výzkumné organizace (VO) dle tehdy platné definice Rámce Společenství pro státní podporu výzkumu, vývoje a inovací (2006/C/323/01).

b) Projekt Regionální materiálově technologické výzkumné centrum (dále jen RMTVC)

Pro řešení tohoto projektu bylo podmínkou, aby MMV byla výzkumnou organizací. Tento projekt byl řešen v Operačním programu Výzkum a vývoj pro Inovace v letech 2010 až 2013. Příjemcem projektu byla VŠB-TU Ostrava, FMMI a společnost MMV vystupovala jako „Partner“. Řešení projektu bylo v roce 2013 úspěšně ukončeno. V současné době probíhá tzv. udržitelnost projektu, kdy se sledují indikátory, které oba subjekty navrhly jako výsledky výzkumných činností. V rámci řešení projektu RMTVC byly pořízeny investice za cca 148 milionů Kč. Vybavení laboratoří a zkušeben společnosti MMV se tak dostalo na velmi dobrou evropskou úroveň.

Společnost MMV se podílela na řešení ve výzkumných programech těchto výzkumných projektů:

- Řízení specifických vlastností intenzivně válcovaných a termomechanicky zpracovávaných materiálů využitím jejich strukturního potenciálu,
- Nové zdroje pevnosti a houževnatosti materiálů pro náročné technologické aplikace,
- Experimentální ověřování nových technologických postupů u kovových materiálů s vyššími kvalitativními parametry.

c) Projekt Regionální materiálově technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti (dále jen RMTVC-PU):

VŠB-TU Ostrava, FMMI a MMV se po dokončení

řešení projektu RMTVC rozhodly podat přihlášku projektu RMTVC-PU do Národního programu udržitelnosti I v letech 2014 až 2018. Projekt se v soutěži umístil na předních místech. Ze strany poskytovatele MŠMT ČR nebyl nijak krácen požadovaný rozpočet.

Společnost MMV řeší v tomto projektu RMTVC-PU následující výzkumná témata:

- Výzkum nových technologických postupů pro výrobu sofistikovaných materiálů bezešvých trubek,
- Hodnocení aktuálních pevnostních a lomových charakteristik materiálů dlouhodobě provozovaných energetických zařízení z výsledků penetračních testů,
- Výzkum a návrh moderních zkušebních metod pro stanovení materiálových charakteristik používaných při návrhu a posuzování integrity konstrukčních částí,
- Hodnocení povrchových vlastností materiálů pro optimalizaci technologií a aplikace v náročných prostředích,
- Výzkum a návrh metodik hodnocení aktuálních vlastností ocelí pomocí creepových zkoušek malých vzorků a jejich uplatnění při zvyšování bezpečnosti a provozní spolehlivosti komponent energetických zařízení,
- Výzkum vlivů technologických parametrů výroby na vlastnosti kovových materiálů,
- Výzkum nových technologických postupů výroby kovových materiálů pro snížení energetické náročnosti, zvyšování kvalitativních parametrů a zavádění nových materiálů.

4. Současná výzkumně-vývojová činnost společnosti

Jednou ze základních priorit MMV jako výzkumné organizace je provádění nezávislého výzkumu a vývoje. Společnost MMV je příjemcem jak institucionální, tak i účelové podpory.

4.1 Institucionální podpora

Společnost MMV je příjemcem institucionální podpory na rozvoj výzkumné organizace. Tyto finanční zdroje patří mezi jedny z nejdůležitějších v rozpočtu společnosti a jsou využívány na rozvoj jejích hlavních činností, jako jsou nové metodické postupy, výzkum a vývoj nových technologických postupů výroby a zkoušení, pořizování nových investic. Poskytovatelem této institucionální podpory je MPO ČR.

Jedním z nejdůležitějších projektů v rámci institucionální podpory v letech 2010 až 2013 byl výše zmíněný projekt RMTVC v Operačním programu Výzkum a vývoj pro Inovace (OP VaVPI).

4.2 Účelová podpora

MMV se ve spolupráci s průmyslovými partnery průběžně zapojuje do řešení výzkumných projektů v programech TAČR, MPO ČR, MŠMT ČR, výzkumně-vývojového programu Moravskoslezského kraje a evropského programu Research Fund for Coal and Steel (RFCS).

V letech 2011 až 2016 společnost MMV řešila a dosud řeší, většinou jako spoluřešitel, 16 výzkumných projektů s dotacemi. Mezi nejvýznamnější a dlouhodobé projekty patří:

- již výše uvedený projekt RMTVC-PU,
- projekt Centrum výzkumu a experimentálního vývoje spolehlivé energetiky, který je součástí programu CENTRA KOMPETENCE – TAČR,
- mezinárodní projekt CRESTA 2, který je součástí evropského programu RFCS; cílem řešení je vývoj nových typů ocelí pro energetický průmysl; kromě MMV se řešení projektu zúčastňují výzkumné ústavy z Itálie, Rakouska, Francie, Dánska a Německa.

O spolupráci se společností MMV je mezi průmyslovými podniky značný zájem. Svědčí o tom skutečnost, že v letošním roce společnost MMV spolu s průmyslovými partnery podala dva projekty do Operačního programu PIK - program APLIKACE, tři projekty do programu MPO ČR – TRIO a dva projekty do TAČR – program EPSILON.

4.3 Projekty ze strukturálních fondů

Kromě institucionálního a účelového financování společnost MMV řešila i tyto projekty ze strukturálních fondů:

- EF-TRANS – Efektivní transfer znalostí a poznatků z výzkumu a vývoje do praxe a jejich následné využití,
- OP EU Vzdělávání pro konkurenceschopnost,
- Snížení energetické náročnosti objektu společnosti MMV, OPPI-EKOENERGIE.

4.4 Prezentace vědecko-výzkumných výsledků společnosti

Společnost MMV je příjemcem institucionální podpory na základě svých vědecko-výzkumných výsledků. Pro názornost jsou zde uvedeny některé typy a počty výsledků, které byly nebo budou vloženy do Rejstříku informací o výsledcích – RIV za rok 2015 (typ výsledku – počet):

- články v recenzovaných časopisech - 7
- články v impaktovaných časopisech - 3
- ověřená technologie - 1

- funkční vzorek - 4
- kapitola v knize - 1
- certifikovaná metodika - 14
- souhrnné výzkumné zprávy - 11
- články ve sborníku - 6
- smluvní výzkum - 19,66 mil. Kč.

5. Nehospodářské a hospodářské činnosti společnosti

Nařízení Komise Evropské unie, General Block Exemption Regulation (dále je GBER) platné v celé Evropské unii od 1. 7. 2014 předepisuje, jaký podíl nehospodářských a hospodářských činností musí dodržovat „Výzkumná organizace“:

Nehospodářská činnost (NHČ) - Výzkumně-vývojové projekty s dotacemi, institucionální podpora, kolaborativní výzkum, licenční poplatky z využití know-how.

Hospodářská činnost (HČ) - smluvní výzkum, Výzkumná organizace obdrží odměnu za provedení výzkumně-vývojových prací.

Toto nařízení – GBER definuje, že Výzkumná organizace může provádět do 20 % hospodářskou činnost v rámci nákladů Výzkumné organizace a není nutno prokazovat využití státní finanční podpory. V případě, že bude překročeno oněch 20 %, Výzkumná organizace se ocitá v oblasti „Veřejné podpory“, což je nepřípustné. Dle dalších výkladů, hranice 20 % může být překročena, pouze však do 50 %, a musí být dodržena jasná pravidla, která určují, že finanční zdroje získané jako dotace (nehospodářská činnost) nesmí být použity na hospodářskou činnost a všechny nehospodářské činnosti musí mít samostatně vedenou účetní evidenci.

Od začátku platnosti GBER se vedly a dosud vedou diskuze, jak si toto nařízení vyložit a jak je interpretovat. U soukromé výzkumné organizace – společnosti MMV bylo od začátku jasné, že hranici 20 % překročí, protože svou hospodářskou činnost musí Výzkumná organizace provádět, aby udržela chod společnosti a nakonec vykázala potřebný hospodářský výsledek. Jedná se hlavně o dofinancování režijních nákladů u projektů s dotacemi, a to i v případě, že Výzkumná organizace obdrží 100 % dotace.

Ve smlouvě na řešení projektu RMTVC z OP VaVpI (institucionální podpora) je ustanovení, který nařizuje, že nehospodářských činností musí být více než hospodářských činností na pořízeném zařízení.

Státní Výzkumná organizace tuto problematiku řeší prostřednictvím metodiky MŠMT ČR svou vlastní cestou, kterou se autorovi tohoto příspěvku nepřísluší komentovat. Má se za to, že v tomto směru tzv. jednotného výkladu GBER by se měla ujmout Rada vlády ČR pro výzkum, vývoj a inovace.

Touto cestou se sluší poděkovat řediteli odboru Výzkumu, vývoje a inovací MPO ČR Ing. Martinu Štíchovi, že MPO ČR na GBER rychle zareagovalo a vytvořilo jasná pravidla pro vykazování ne hospodářských a hospodářských činností.

Podle pravidel byla posuzována i činnost MMV. Podíl hospodářských činností na všech činnostech ve výzkumu a vývoji činil v roce 2014 – 42,01 % a v roce 2015 – 37,38 %.

Podstatnou část ekonomických činností tvoří výzkumně-vývojová spolupráce s průmyslovými podniky. Společnost MMV spolupracuje s více než 30 obchodními partnery, a to jak z ČR, tak i ze zahraničí.

Mezi největší odběratele výzkumně-vývojových prací MMV v roce 2015 patřily tyto společnosti: společnosti skupiny TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., společnosti skupiny VÍTKOVICE HOLDING, a.s., ČEZ, a.s., ŽDAS, a.s., ÚJV Řež, a.s., BONA-TRANS Group, a.s., VÍTKOVICE STEEL, a.s., G-Team Progres, spol. s r.o.

6. Mezinárodní spolupráce

Významnou součástí obchodní politiky společnosti MMV tvoří mezinárodní spolupráce ve výzkumu a vývoji. Jsou navázány bilaterální spolupráce v Itálii (ISPESL Roma), Číně (East China University of Science and Technology, Shanghai), Holandsku (KEMA Arnhem), Indii (Indhira Gandhi Atomic Research Centre, Kalpakkam) a Španělsku (University of Cantabria). Společnost MMV má v rámci mezinárodního projektu CRESTA 2 v programu RFCS smluvně uzavřenou výzkumně-vývojovou spolupráci s CSM (Centro Sviluppo Materiali) v Itálii, Technische Universitet Graz v Rakousku, Industeel Creusot ve Francii, Danmarks Tekniske Universitet v Dánsku, ALSTOM BOILER v Německu, Air Liquide Welding ve Francii, Societa Delle Fucine v Itálii a dalšími.

Společnost MMV rovněž spolupracuje se zahraničními subjekty v oblasti smluvního výzkumu. Své partnery tak má v: Japonsku, Slovensku, Rumunsku, Finsku, Anglii, Polsku, Maďarsku a Číně.

Za určitou formu spolupráce lze považovat prodej nově vyvinutých a vyrobených zkušebních zařízení do zahraničí. V tomto případě byly výrobky MMV exportovány do USA, Polska a Itálie.

Za velmi důležitou považuje společnost MMV i oblast mezinárodních konferencí. Kromě své aktivní účasti ve formě přednášek a posterů se společnost MMV podílí i na jejich organizaci. Jsou to pravidelné konference, které si již získaly své pevné umístění v kalendáři důležitých mezinárodních akcí:

- Mezinárodní konference „SSTT - Small Sample Test Techniques“. Společnost MMV tuto konferenci založila. První dva ročníky konference v letech 2010 a 2012 se konaly v Ostravě. V roce 2014 se konfe-

rence konala v Grazu – Rakousko, v letošním roce se bude konference konat v Šanghaji – Čína.

- Mezinárodní konference STEELSIM 2013. Společnost MMV pořádala tuto konferenci ve spolupráci s ČHS, z.s., VŠB-TU Ostrava, FMMI a společností OCELOT s.r.o. Konference se konala v Ostravě.
- Mezinárodní konference European Oxygen Steelmaking, která se konala v roce 2014 v Trinci. Společnost MMV se podílela na organizaci společně s TRINECKÝMI ŽELEZÁRNAMI, a.s., ČHS, z.s., VŠB-TU Ostrava, FMMI a společností OCELOT s.r.o.

Všechny výše uvedené konference jsou zařazeny do Prestižního kalendáře mezinárodních konferencí, který spravuje sdružení International Society and Steel Institutes.

7. Současné největší problémy z pohledu činnosti Výzkumných organizací

- Nejednotnost řízení procesu výzkumu a vývoje v ČR. Jen pro názornost je možno uvést, že v současné době existují 4 subjekty, které poskytují účelovou podporu. Jsou to: TAČR – např. pro program ALFA a EPSILON, MPO ČR – pro program TRIO, MŠMT ČR – pro program NPU I a NPU II, CzechInvest – pro Operační program PIK

Pravidla např. pro vykazování uznatelných nákladů v oblasti osobních nákladů jsou u každého poskytovatele jiná, podíl dotace pro Výzkumné organizace je rovněž jiný. V tomto směru se už dlouho diskutuje o zřízení ministerstva, které by zastřešilo oblast výzkumu, vývoje a inovací v ČR.

- Podpora aplikovaného a kolaborativního výzkumu v ČR. V mnoha směrech se politicky deklaruje, že jedním z pilířů zvýšení konkurenceschopnosti je podpora aplikovaného a kolaborativního výzkumu. Bohužel to jsou zatím jen plané deklarace a ve vztahu k výzkumným organizacím se jedná o pravý opak. Dokladuje to nulové bodové hodnocení za článek v recenzovaném odborném časopise, ověřenou technologii, prototyp apod. Dřívější metodika hodnocení výsledků Výzkumných organizací, představující širokou paletu vědeckých a výzkumně-vývojových výsledků (která je dosud ve vědecké a výzkumně-vývojové komunitě známa pod slangovým pojmenováním kafemlejnek) daleko objektivněji hodnotila činnost výzkumné organizace. Stejně tak to dokladuje velmi slabě ohodnocený objem smluvního a kolaborativního výzkumu.

Společnost MMV vidí ve svých podmínkách největší problémy v poklesu podnikatelské činnosti a svou pozici v hutnictví a strojírenství, a to hlavně v ostravské aglomeraci (VÍTKOVICE STEEL, a.s. a VÍTKOVICE GROUP, a.s.). Zprostředkovaně se

společnosti MMV rovněž dotýká krize v důlním průmyslu.

8. Vize do budoucna

Společnost MMV si chce i v budoucnu udržet svou pozici mezi výzkumnými organizacemi. V tomto směru bude nadále aktivně spolupracovat s Asociací výzkumných organizací a MPO ČR. Jedná se hlavně o zvýšení podpory aplikovaného a kolaborativního výzkumu v ČR jako příspěvek ke zvyšování konkurenceschopnosti českých podniků.

Zaměří se hlavně na tyto oblasti:

- úspěšné dokončení řešení klíčových projektů, jako je např. RMTVC-PU a „Centrum výzkum“,
- hledání nových příležitosti, a to jak v oblasti výzkumně-vývojové, tak i komerční,
- poskytování dokonalého servisu pro své zákazníky a partnery,
- rozvoj vývoje a výroby zkušebních strojů a zařízení dle specifických požadavků zákazníků,
- prodej licencí na know-how společnosti.

Ocelářské aliance

Franfurter Allgemeine

05.04.2016

Na ocelářském průmyslu závisí mnoho dalších odvětví. Mají-li oceláři problémy, pak mohou s sebou stáhnout i jiné podniky. Jak rychle to jde, a co se může stát, když politika odpírá průmyslu pomoc, ukazuje příklad Velké Británie. Tam chce indický ocelářský koncern Tata zavřít své tři ocelárny a další podniky, které ocel zpracovávají. Nenajde-li se zájemce, čeká 15 000 zaměstnanců cesta na pracovní úřad. Že je Tata, tak jako celé odvětví, v problémech, bylo známo. Jen termín pro toto temné oznámení překvapil. Premiér Cameron byl na dovolené a ministr průmyslu dlel na návštěvě v Austrálii. Pikantní na celé záležitosti je, že britská vláda patřila k těm, které protestují proti clům na čínskou ocel, protože nechtějí, aby se v EU rozmáhal protekcionismus. K tomu je třeba vědět, že i ve Velké Británii sice existují určité úlevy pro odvody těžkého průmyslu pro ekologickou energii, tato pravidla však nejsou zdaleka tak velkorysá jako například v Německu. Proto velcí spotřebitelé platí na ostrově prakticky dvojnásobné ceny za energii než je průměr v EU. Protože se podniky nemohou spolehnout na politiky, snaží se zkoumat možnosti slučování a uzavírání aliancí. Přípravenost vyjádřil například i šéf Thyssenkrupp Heinrich Hiesinger a posílil tím hodnotu svých podniků. Jako možného partnera vidí i Tata Steel. Indové se sice snaží zbavit svých ztrátových podniků ve Velké Británii, provozují ale například v Nizozemí velmi moderní ocelárnu. A to je docela blízko Duisburgu, jehož výrobky jsou prodávány z 50 % v okolí do 500 km. Pokud by se podniky sloučily, mohly by podle odhadů ušetřit až 300 milionů € ročně na dopravních nákladech (jak u surovin, tak u hotových výrobků). Při eventuelních jednáních bude mít ale Thyssenkrupp mnohem lepší pozici a bude moci jednat „z pozice síly“. Vyloučena zde není ani spolupráce s druhým největším německým výrobcem oceli, koncernem Salzgitter.

Výzkum: průmysl 4.0 pro nástrojově intenzivní průmysl

VDI Nachrichten

29.04.2016

Materiálová asociace Fraunhofer představila na veletrhu v Hannoveru program „Materials Data Space“, který by měl vyvíjet metody Průmyslu 4.0 pro nástrojově intenzivní odvětví, jako je ocelářský průmysl. Mimo jiné by měly vzniknout softwarové nástroje, se kterými by mělo být možné plně simulovat výrobu materiálu od suroviny až k hotovému výrobku. Kromě toho by vědci chtěli vyvinout materiály, které by již v sobě nesly senzorovou funkci.

Ceny oceli v Evropě na vzestupném trendu – dojde k rallye?

Stahl Aktuell

27.04.2016

Vzhledem k již několik týdnů stoupajícím cenám oceli vidí někteří experti konec roky trvajících poklesu cen v obchodu s ocelí. Analytik Goldman Sachs banky Stephen Benson registruje pro evropský ocelářský trh „pozitivní krátkodobý výhled“. Podle jeho přesvědčení nabírá dávno očekávaná konsolidace evropského ocelářského odvětví na tempu. Ve Velké Británii je na pořadu dne uzavření kapacit na výrobu oceli v objemu b7 milionů tun ročně. Možné sloučení Tata Steel s Thyssenkrupp ba mohlo v Evropě vést k dalším redukcím výrobních kapacit. Ani budoucnost největšího evropského hutního kolosu Ilva v Tarentu není jistá.

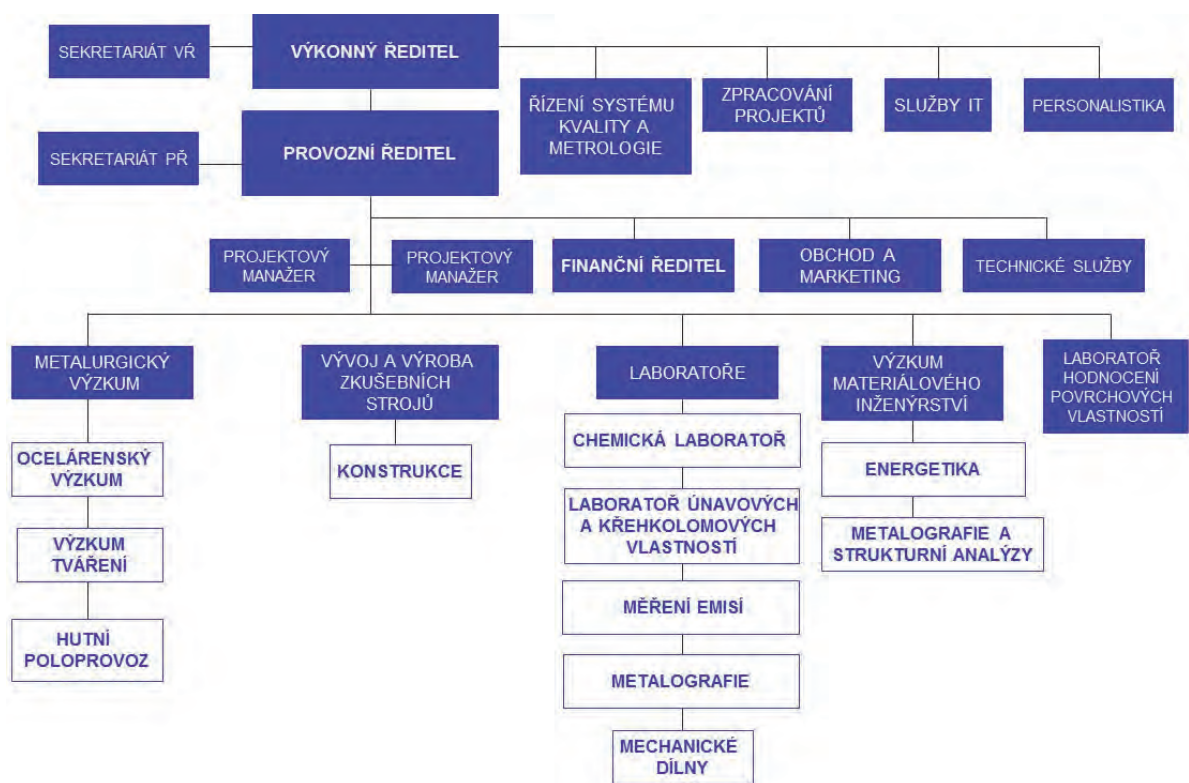
Výzkumně-vývojové zaměření společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.

prof. Ing. Karel Matocha, CSc.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, Vítkovice, 703 00 Ostrava, Česká republika

Experimentální a výrobní kapacity společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV) jsou soustředěny v akreditovaných a neakredi-

tovaných laboratořích a na poloprovozní hale. Služby poskytuje pět výzkumných úseků, jak ukazuje organizační schéma na obr. 1.



Obr. 1 Organizační schéma společnosti (941.0 Metalurgický výzkum, 942.0 Vývoj a výroba zkušebních strojů, 943.0 Laboratoře, 944.0 Výzkum materiálového inženýrství, 945.0 Laboratoř hodnocení povrchových vlastností)

Materiálový výzkum je zaměřen především do pěti oblastí, ve kterých jsou dlouhodobě dosahované výsledky uznávány nejen v rámci ČR, ale i v zahraničí. Jedná se o

- strukturní a fázové analýzy kovových materiálů,
- výzkum a vývoj moderních technologických postupů tváření za tepla,
- hodnocení materiálových vlastností v oblasti creepu,
- hodnocení nekonvenčních vlastností materiálů (lomová mechanika, únava materiálů, korozní praskání, HIC, SSC) a hodnocení materiálových

vlastností pomocí penetračních testů včetně „nedestruktivního“ odběru potřebného zkušebního materiálu,

- vývoj a výroba zkušebních strojů a zařízení a speciální měřicí techniky.

Kromě těchto pěti nosných oblastí jsou výzkumné a vývojové práce zaměřeny na nové technologie výroby ocelí, servisní služby v oblasti chemických analýz, provádění autorizovaných měření emisí, technologická měření ke snížení energetické náročnosti a ekonomické zátěže výrobních procesů a výzkum a vývoj technologií pro zpracování odpadů.

1. Metalurgický výzkum

Metalurgický výzkum zahrnuje dvě podoblasti výzkumu a vývoje, a to ocelářský výzkum a výzkum tváření.

Výzkumně vývojová činnost ocelářského výzkumu je zaměřena na matematické modelování tekuté fáze pomocí programu MAGMA, na vývoj technologií výroby ocelí s nízkým obsahem uhlíku na principu VOD (Vacuum Oxygen Decarburization), VCD (Vakuum Carbon Deoxidation), na vývoj technologií výroby ocelí s nízkými obsahy plynů, vysokým obsahem dusíku a na technologii odlévání ingotů ve vakuu a v přetlaku jak horek tak spodem, a to s respektováním specifik materiálů i požadavků zákazníků.

Výzkum tváření je zaměřen do dvou oblastí:

- fyzikální modelování procesů tváření,
- matematické modelování a numerické simulace tvářecích procesů.

Pro fyzikální modelování procesů tváření je využíván univerzální plastometr SETARAM, padostroj pro zkoušení vlivu rychlosti deformace na tvařitelnost kovů a univerzální válcovací stolice pro výrobu bezešvých trubek. Pro matematické modelování je využíván software Hierarchický matematický model HMM-TP-Complex. Pro numerickou simulaci tvářecích procesů je využíván software FORGE.

2. Vývoj a výroba zkušebních strojů a zařízení, speciální technická měření

Společnost MMV se od roku 1992 systematicky zabývá problematikou hodnocení pevnostních, křehkolomových a creepových charakteristik feritických ocelí z výsledků penetračních testů. Od roku 1997, kdy MMV (dříve VÍTKOVICE – Výzkum a vývoj spol. s r.o.) zakoupil první odběrové zařízení SSamTM-2 od fy Rolls-Royce, je komerčně prováděno hodnocení materiálových vlastností z výsledků penetračních testů jak u zařízení uváděných do provozu (tzv. nulové stavy), tak po dlouhodobém provozu zařízení za účelem získání aktuálních materiálových vlastností. Doposud bylo provedeno 632 odběrů, z toho 384 pro ČEZ, a.s.

V září roku 2004 inicioval Evropský výbor pro normalizaci (CEN) vznik dokumentu CWA 15627 (CEN Workshop Agreement) „Small Punch Test Method for Metallic Materials“. CWA je technická dohoda v rámci CEN a je vlastněná CEN jako publikace, která odráží konsenzus konkrétních expertů a organizací odpovědných za její obsah. CWA proto reprezentuje nižší úroveň konsenzu, než jakou představuje evropská norma. CWA 15627 je rozdělen do dvou samostatných částí:

- Part A: A Code of Practice for Small Punch Creep Testing

- Part B: A Code of Practice for Small Punch Testing for Tensile and Fracture Behaviour

Část B obsahuje rovněž:

- ANNEX B1: Derivation of tensile and fracture material properties
- ANNEX B2: Guidance on relevant technological issues: specimens sampling from component

Na základě tohoto dokumentu je možno z výsledků penetračních testů stanovovat creepové charakteristiky, mez kluzu a mez pevnosti do teploty 400 °C, tranzitní teplotu a lomovou houževnatost materiálu. Na tvorbě části B se jako její koordinátor za MMV podílel autor tohoto článku.

V roce 2009 byla vyvinuta pec pro provádění penetračních testů do teploty 400 °C a jeden kus byl dodán do EPRI NDE Palo Alto, USA. V roce 2010 bylo vyvinuto a vyrobeno první zařízení pro creepové penetrační testy do teploty 600 °C, které bylo dodáno do ISPESL Roma, Itálie. Na podzim roku 2010 uspořádalo MMV v Ostravě 1. mezinárodní konferenci SSTT „Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques“. Konference měla velký úspěch a účastníci si mohli prohlédnout námi vyvinuté zařízení na creepové penetrační testy originálně vyvinuté v MMV. O toto zařízení projevil velký zájem zástupce EPRI Palo Alto.

V lednu 2011 bylo proto rozhodnuto zřídit úsek 942.0 Vývoj a výroba zkušebních strojů, speciální technická měření. V tomto roce bylo vyrobeno a dodáno zkušební zařízení pro penetrační testy do teploty 600 °C do EPRI Palo Alto, v roce 2012 pak společně s fy Labortech zařízení pro penetrační testy při záporných teplotách do Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam, Indie. Na konci roku 2012 byly rovněž dokončeny tři stroje pro creepové penetrační testy do teploty 600 °C, které byly vyrobeny v rámci projektu RMTVC. V roce 2013 byl úspěšně dokončen vývoj kryogenní komory pro provádění penetračních testů za nízkých teplot (do -193 °C) a jedno toto zařízení bylo dodáno do VZÚ Plzeň s.r.o.

V roce 2013 začala společnost MMV rovněž s výrobou vlastního odběrového zařízení ESTIM na principu mechanického odbrušování. V roce 2014 bylo toto zařízení vyrobeno pro Warsaw University of Technology a v roce 2015 bylo dodáno rovněž do ÚJV Řež, a.s.

Na konci roku 2015 byl dokončen vývoj a výroba nového typu zkušebního zařízení pro creepové penetrační testy (SPUTT 500 V3.1) do teploty 800 °C, které bylo dodáno do EPRI Palo Alto, USA.

3. Laboratoře

Široká škála zkušebních činností a služeb je realizována v úseku Laboratoře akreditovanou zkušební laboratoří č. 1300 sestávající z:

- LAB1 – Chemická laboratoř
- LAB2 – Laboratoř únavových a křehkolomových vlastností
- LAB3 – Měření emisí
- LAB4 – Metalografie

a neakreditovanou laboratoří - Laboratoř tepelného zpracování.

LAB1 – Chemická laboratoř má akreditovány postupy pro chemické analýzy kovových a oxidických materiálů na bázi železa a jeho slitin, analýzy plyných, kapalných a pevných odpadů včetně jejich výluhů a hodnocení korozní odolnosti materiálu zkouškami HIC a SCC. Pro zkoušky korozní odolnosti materiálu v prostředí obsahujícím sulfan je k dispozici samostatná zkušební laboratoř, která je vybavena bezpečnostním zařízením, signalizujícím v případě havárie překročení povolených koncentrací sirovodíku. V roce 2015 bylo v rámci projektu RMTVC-PU doplněno vybavení laboratoře atomovým absorpčním spektrometrem Perkin-Elmer. V rámci výzkumných a obchodních aktivit se provádějí analýzy speciálních typů ocelí a slitin včetně vývoje nových analytických metod a vývoje technologií pro zpracování odpadů a analýzy odpadů.

LAB2 – Laboratoř únavových a křehkolomových vlastností má akreditovány postupy pro hodnocení jak základních mechanických vlastností (tahové zkoušky, zkoušky vrubové houževnatosti, měření tvrdosti), tak pro hodnocení nekonvenčních mechanických vlastností (únavové vlastnosti materiálů, hodnocení odolnosti vůči křehkému porušení pomocí parametrů lomové mechaniky, resp. nekonvenčními zkouškami pro stanovení odolnosti vůči křehkému porušení DWT, DWTT zkoušky), které jsou stále častěji součástí technických podmínek obchodních případů. Laboratoř je vybavena servohydraulickými zkušebními zařízeními fy MTS o kapacitě 500 a 100 kN. Součástí těchto zkušebních zařízení je teplotní komora a třípásmová odporová pec, umožňující provádění zkoušek v teplotním intervalu -196 až +800 °C, a řada snímačů, které umožňují stanovování speciálních mechanických charakteristik až do teploty 800 °C. Dále byla laboratoř v rámci projektu RMTVC-PU vybavena instrumentovaným tvrdoměrem Zwick. Servo-hydraulické zkušební zařízení INOVA 40 kN je opatřeno statickým autoklávem o objemu 11 litrů, který je využíván pro hodnocení materiálůvých vlastností ocelí vystavených působení vodního prostředí o vysoké teplotě a vysokém tlaku. Součástí laboratoře jsou rovněž 2 servo-mechanická zkušební zařízení o síle 10 kN, vybavené zkušební komorou pro záporné teploty a odporovou pecí pro provádění penetračních testů

(SPT) a zkoušek mechanických vlastností s využitím miniaturizovaných zkušebních těles.

LAB3 – Měření emisí má akreditovány postupy pro měření emisí tuhých a plyných znečišťujících látek, postupy pro odběr vzorků pro stanovení těžkých kovů a perzistentních látek v emisích.

LAB4 – Metalografická laboratoř je vybavena třemi digitálními metalografickými mikroskopy. Laboratoř strukturní a fázové analýzy je vybavena mikrosondou JCXA-733 včetně Advanced Micro 3WD System, rastrovacím elektronovým mikroskopem JSM 5510 s EDX analyzátozem X-max 20 a transmisním elektronovým mikroskopem fy JEOL. V rámci projektu RMTVC-PU byla v r. 2015 pořízena pro laboratoře nová zkušební zařízení, která umožní jejich další rozvoj (digitální mikroskop Keyence VHX 5000, metalografický lis Struers).

Součástí úseku Laboratoře je rovněž **Laboratoř tepelného zpracování**, která je vybavena 7 laboratorními pecemi řízenými z jednoho počítače, které umožňují dlouhodobé laboratorní tepelné zpracování s možností kalení do vody a do oleje. Dále zde pracuje obrobna mechanických zkoušek, která zajišťuje výrobu zkušebních těles a vzorků pro laboratoře a výrobu přípravků a prototypů pro jednotlivé výzkumné úseky/útvary.

4. Výzkum materiálového inženýrství

Výzkum materiálového inženýrství je zaměřen především na:

- ověřování creepových vlastností materiálů určených pro nové bloky klasické energetiky; creepová laboratoř je jednou z největších laboratoří ve střední Evropě; její součástí je 40 klasických pákových strojů a 1 hromadný stroj, které umožňují současně zkoušet až 345 zkušebních těles,
- rozvoj metod pro stanovení aktuálních materiálových charakteristik ocelí po dlouhodobém provozu, posuzování stavu creepového poškození a zbytkové životnosti dlouhodobě provozovaných zařízení,
- rozvoj metody creepových penetračních testů pro hodnocení creepových vlastností provozovaných komponent,
- rozvoj metody měření rychlosti růstu creepových trhlin pro zpřesnění odhadu zbytkové životnosti,
- analýzu vztahů mezi strukturou a vlastnostmi ocelí a slitin v souvislosti s řešením úkolů zaměřených na optimalizaci postupů výroby,
- hodnocení makrostruktury, mikrostruktury, mikrotvrdosti, a mikročistoty ocelí a slitin,
- fraktografické analýzy ocelových výrobků,
- zjišťování příčin havárií, analýzu stavu poškození zařízení a jeho příčin,
- dilatometrická měření a jejich využití pro optimalizaci tepelného zpracování ocelových výrobků.

5. Laboratoř hodnocení povrchových vlastností

Laboratoř se zabývá vývojem metod analýzy povrchových vrstev materiálů. Její činnost má charakter zejména aplikovaného výzkumu a vývoje s následným transferem poznatků do průmyslové praxe.

V rámci prováděných činností jsou využívány metody řádkovací elektronové mikroskopie s EDS, WDS a EBSD mikroanalýzou (SEM Quanta 450 FEG) a optické emisní spektrometrie s buzením doutnavým výbojem (spektrometr LECO GDS 850A). Jako podpůrná zařízení slouží mj. korozní komory (klimatická a kondenzační) a analyzátoři C/S a N/O/H.

Na příslušných zařízeních jsou vyvíjeny a do praxe zaváděny metody pro nestandardní materiálové zkoušky a hodnocení. U techniky GDOES jsou to především

profilové elementární analýzy vodivých i nevodivých vrstev. Metody SEM s mikroanalýzou jsou vyvíjeny a aplikovány při hodnocení mikrostrukturních stavů a chemických charakteristik různých typů materiálů včetně automatizované částicové analýzy.

Řešitelské aktivity Laboratoře povrchových analýz a koroze jsou zaměřeny na výzkum a vývoj metod pro hodnocení vlastností materiálů s řízenými úpravami povrchu. Hlavním předmětem zájmu jsou ořezuvzdorné, kluzné a biokompatibilní povlaky připravované technologií CVD, PA CVD a PVD a povrchových vrstev získávané mikro-obloukovou oxidací Ti a jeho slitin. Vývoj metod při zavádění nových typů povrchových úprav, optimalizací technologických procesů a ověřování stability povlaků a povrchových vrstev v rámci hodnocení životnosti povrchově upravených dílů při nasazení v provozních podmínkách je prováděn především ve spolupráci s VÚHŽ, a.s.

Gigantické roury podpírají offshorové větrné elektrárny

www.blechnet.com

19.04.2016

Nejen u ropy a plynu, ale i u obnovitelných energií jsou ocelové roury nepominutelné. Zejména u offshorových větrných elektráren nejsou sice ocelové roury nebo konstrukce jako základ na první pohled vidět, ale o to vyšší jsou požadavky na ně kladené. Po rekordním roce 2014 mohla německá branže energie z větru hlásit velké úspěchy i loni. Na moře šlo celkem 546 nových větrných generátorů s výkonem 2282,4 MW. Koncem prosince 2015 tak dodávalo proud celkem 792 offshore větrných generátorů s celkovým výkonem 3294,9 MW (2014: 1012,5 MW). Roury k ukotvení offshore větrných generátorů jsou přitom stále gigantičtější. Začátkem nového tisíciletí mohly být dodávány roury s průměrem 5 m, dnes jsou standardní pilíře s průměrem 6 m, přičemž se jejich použití rozšířilo i na hloubky 30 m. U holandské skupiny Sif (jeden z největších stavitelů větrných elektráren) jsou pokládány za možné pilíře dlouhé až 120 m s průměrem až 11 m o hmotnosti až 2 000 t. V současné době jsou ovšem za dostatečné pokládány základy s průměrem 9 m, 100 m délky a 1 500 tun hmotnosti.

BDI: světové hospodářství už jen klopýtá kupředu

Frankfurter Allgemeine

26.04.2016

Německý průmysl poznamenávají přibývajících světové konflikty. „Export neběží úplně tak, jak by měl," řekl Ulrich Grillo, prezident spolkového svazu německého průmyslu (BDI) na veletrhu v Hannoveru. Světové hospodářství dopředu jen kulhá. Vysoká tempa růstu z minulých let jsou ta tam. BDI proto korigoval svá očekávání růstu pro tento rok směrem dolů. „Pro běžící rok počítáme s růstem hrubého domácího produktu mezi 1,5 a necelými 2 procenty“. Dopusud si byl svaz jistý, že téměř dvě procenta růstu budou zcela jistě dosažena. Lehký pokles i absolutní hodnota růstu by ale neměla být žádným důvodem k panice. Je to ale jen proto, že nejistoty ze zahraničí, jako je možnost vystoupení Velké Británie z EU, přes konflikty na Blízkém východě až k odbytovým problémům v Brazílii, Rusku nebo Číně jsou vyrovnány robustní domácí poptávkou. „Aktuálně je růst držen především silnou domácí spotřebou," říká Grillo. Je ovšem nutné ptát se již dnes, co bude potom, až faktory podporující spotřebu, jako jsou nulové úroky, nízká cena ropy a podhodnocené euro, pomínou. „Pak se náš růst a konjunktura zřítí jako domeček z karet," dodává Grillo. Podle jeho názoru se příliš málo investuje do veřejné infrastruktury a spolková vláda v energetické politice ztratila kontakt s realitou.

Činnost Asociace výzkumných organizací v oblasti aplikovaného výzkumu v ČR

Ing. Karel Mráček, CSc.; Ing. Libor Kraus

Asociace výzkumných organizací. Novodvorská 994, 142 21 Praha 4, Česká republika

Asociace výzkumných organizací (AVO) oslavila v loňském roce 25 let své existence. Byla založena v tehdejší ČSFR v Brně 18. 6. 1990 jako dobrovolné občanské sdružení právnických osob a fyzických osob z různých oborů zabývajících se aplikovaným výzkumem a experimentálním vývojem, a to s cílem přispívat svou činností k udržení a dalšímu rozvoji českého aplikovaného výzkumu a vývoje jako neodmyslitelného zdroje znalostí a inovací pro potřeby českého průmyslu, zemědělství, stavebnictví a dalších odvětví národního hospodářství. Ustavujícího valného shromáždění Asociace výzkumných organizací se zúčastnilo 70 výzkumných organizací z Čech a Moravy a 20 ze Slovenska. Prvním předsedou AVO byl zvolen Ing. Miroslav Ecler, CSc. a sídlem Asociace se stalo Brno. Vznik Asociace představoval v tehdejší ČSFR vůbec první velkou iniciativu v oblasti aplikovaného výzkumu a vývoje. V průběhu roku 1990 dosáhl počet členů Asociace cca 150 a dalších téměř 150 ústavů s ní úzce spolupracovalo. Do jejích aktivit se tak zapojila většina tehdejšího potenciálu aplikovaného výzkumu a vývoje. Za uplynulých 25 let prošla pak činnost Asociace vývojem, v němž se promítaly legislativní, institucionální a další změny systému českého výzkumu a vývoje.

Nástup transformace a počáteční aktivity a cíle AVO

Po roce 1990 začala transformace i v oblasti výzkumu a vývoje. Zejména aplikovaný výzkum a vývoj, především pak průmyslový výzkum prošel složitým procesem zásadních přeměn v celkové hektické atmosféře rychlých transformačních kroků. Vedle potřebného očištění od některých neefektivních výzkumných aktivit doprovázely tento proces často i velmi zbytečné ztráty výzkumného potenciálu. Zejména se na tomto výzkumu a vývoji podepsaly změny financování nepropojené s funkčním podnikatelským prostředím. Státní úkoly technického rozvoje končily k 31. 12. 1990, rozpad velkých koncernů ukončil financování řady výzkumných ústavů z povinného fondu technického rozvoje, pracoviště VTEI byla prohlášena za přebytečná a byla postupně rušena. Výzkumné ústavy v právní formě státních podniků byly poté privatizovány, přičemž mnohdy se

nepřihlíželo k zachování výzkumu a vývoje v potřebné míře a s ohledem na budoucí vývoj podnikatelského prostředí. Souhrnně řečeno, za této situace, kdy standardně fungující podnikový sektor v tržní ekonomice, který podporuje a využívá výzkum a vývoj, se teprve začal formovat a stát současně téměř nepodporoval aplikovaný výzkum a vývoj, bylo možno hovořit i o určité likvidaci této pro ekonomiku nezbytné části výzkumu.

Proto nepřehlédnutelná byla celková činnost AVO pro zachování této oblasti výzkumu a jeho efektivní transformaci do podmínek standardní tržní ekonomiky a při jeho dalším oživení a rozvoji. M. Ecler vzpomíná: „K největším úspěchům v začátcích si můžeme připsat vyjmutí výzkumných ústavů z malé privatizace, kdy hrozilo jejich zprivatizování pouze za účelem získání atraktivních budov v centrech větších měst a pak likvidace zbytku. Proběhlo velice tvrdé jednání s tehdejším ministrem pro privatizaci T. Ježkem, který nakonec naše argumenty přijal.“ Do popředí se pak dostala diskuse s tehdejší vládou ohledně postavení a podpory výzkumu a vývoje a riziko ponechání výzkumu pouze tržním mechanismům. K počátečním aktivitám AVO v tomto kontextu tak mimo jiné náleželo: zastupování výzkumných organizací v otázkách legislativních změn, forem řízení a způsobu financování; spolupráce s výrobními organizacemi, průmyslovými a odborovými svazy; publikační, informační a poradenská činnost v oblasti aplikovaného výzkumu a vývoje. M. Ecler k tomuto období ještě dodává: „Považuji za důležité vytvoření výborného kolektivu, který bez ohledu na odměnu pracoval nezištně na řešení všech problémů, které revoluční doba přinášela. Také musím vyzvednout úzkou spolupráci se Svazem průmyslu a dopravy ČR, který nás všestranně podporoval a prezentoval naše cíle s daleko větší vahou, než bychom to mohli provést sami.“

AVO se stává uznávaným partnerem

V poměrně krátkém období po svém založení měla Asociace více než 100 členů. S ohledem na tuto členskou základnu hledala svou vhodnou tvář a podobu. Informovala členy o novinkách v oblasti měnicího se prostředí pro výzkum a vývoj, seznamovala je s legislativními změnami, ale zejména také lobbowała za

udržení výzkumu a za jeho lepší postavení v podmínkách tržního hospodářství. Spolupracovala s tehdejší Koordinační radou vlády pro vědu a technologie a vstupovala do jednání i s dalšími orgány státní správy. Postupně tak AVO vešla do povědomí odborné veřejnosti jako zástupce aplikovaného výzkumu a uznávaný partner při jednáních se státní správou (vedle Akademie věd ČR a vysokých škol).

Další vývoj AVO byl ovlivněn rozdělením tehdejší ČSFR na ČR a SR a vytvořením privátní sféry výzkumu. Na počátku roku 1993 se oddělila česká část AVO, slovenská část zanikla a teprve v roce 2000 byl založen na Slovensku Zváz priemyselných výskumných a vývojových organizácií, se kterým AVO dlouhodobě spolupracuje. AVO se pak po uskutečnění privatizace proměňuje na zástupce aplikovaného výzkumu a vývoje v podnikatelském sektoru. S tím souvisí i změny členské základny, změna stanov, nově byly zavedeny funkce prezidenta, výkonného předsedy a místopředsedy a Asociace stěhuje své sídlo do Prahy. Dlouholetý výkonný předseda AVO Ing. Václav Neumajer k těmto změnám uvádí: „Došlo k masivní privatizaci výzkumné základny, kdy státní orgány neměly nejmenší zájem na udržení a podpoře základny aplikovaného výzkumu. Změně podmínek se přizpůsobila i AVO – přenesla v roce 1995 své sídlo do Prahy a jejími členy se staly jak zprivatizované výzkumné ústavy, tak nové firmy zabývající se ve větší míře aplikovaným výzkumem a vývojem. AVO začala intenzivně zasahovat do všech aktivit týkajících se aplikovaného výzkumu a vývoje.“ Přemístění sídla Asociace do Prahy umožnilo vytvoření pružnějších vazeb ze strany AVO pro aktivní ovlivňování legislativy a dalších prvků vhodného prostředí pro aplikovaný podnikatelský výzkum. V průběhu dalších let Asociace zvýšila také intenzitu svého zapojení do různých orgánů a komisí a posílila spolupráci se svými členy a ostatními organizacemi a firmami v oblasti výzkumu a vývoje. Ve spolupráci se SP ČR byla pak věnována pozornost mapování situace výrobních podniků a jejich požadavků na výzkum a vývoj. V té době se již před členy AVO otevírají i možnosti zapojit se do evropských projektů výzkumu a vývoje. V. Neumajer shrnuje měnící se situaci: „Ve druhé polovině devadesátých let začíná v ČR konečně opět dotační podpora aplikovaného výzkumu a vývoje. Zástupci AVO se aktivně podílejí na všech činnostech a legislativních aktech týkajících se této podpory – především na MŠMT a MPO (tvorba programů, podmínky vyhlašování, uznané náklady apod.).“

Samotná AVO začíná též s řešením dotovaných větších projektů („Propojení členů AVO pomocí sítě Internet“, uspořádání výstavy „Transformace českého aplikovaného výzkumu po r. 1989“) a účastní se také řady výstav a veletrhů. Mezi dotovanými projekty od roku 1999 dlouhodobě významnou roli sehrává zapojení AVO do sítě NINET (s finanční podporou z programu EUPRO MŠMT) a vytvoření Oborové kontaktní organizace AVO (OKO AVO) se zaměřením zejména

na poradenskou a informační činnost pro české výzkumné subjekty zapojující se do mezinárodní spolupráce. Po roce 2000 se AVO zabývá i řešením řady dalších projektů, v některých spolupracuje i s jinými subjekty (Asociace inovačního podnikání ČR, Inženýrská akademie ČR ad.). Potřeba výzkumného řešení u některých projektů a zakázek vedla Asociaci výzkumných organizací k rozhodnutí založit obecně prospěšnou společnost Aktivita pro výzkumné organizace, o.p.s., jejíž hlavní činností je výzkumná činnost (ke vzniku této společnosti došlo počátkem roku 2004).

Celkově se upevňuje pozice AVO jako aktivního představitele aplikovaného výzkumu a vývoje (zejména podnikatelského charakteru) a důvěryhodného a kvalifikovaného partnera. Státní orgány respektují tuto pozici a při tvorbě různých materiálů a komisí souvisejících s výzkumem a vývojem se vždy obrací také s žádostí o spolupráci s AVO. Jako legislativní úspěch AVO uvádí V. Neumajer: „Zástupci AVO se velmi aktivně podíleli na znění zák. č. 130/2002 Sb., kam se jim podařilo prosadit §28 – předobraz dnešních VO. Na základě tohoto paragrafu vznikly tzv. „výzkumné záměry“ (počátek institucionálního financování). Přes tuhý odpor některých ministerských úředníků se podařilo prosadit, že 25 těchto výzkumných záměrů bylo schváleno i pro neakademické výzkumné ústavy, z nichž 20 bylo členy AVO (převážně bývalé oborové výzkumné ústavy). Toto skutečně „přelomové“ rozhodnutí jim umožnilo přežít nejhorší období (financování od r. 2004), upevnit a zkvalitnit své výzkumné týmy a dnes jsou páteří VO aplikovaného výzkumu a vývoje, které z největší části spolupracují s realizačním sektorem.“ Dalším legislativním úspěchem AVO, jak připomíná V. Neumajer: „...bylo daňové zvýhodnění výzkumu a vývoje podle §34 zákona o daních z příjmů (+ jeho rozšíření platné od 1.1. 2014), kterému předcházelo zpracování studie o těchto nástrojích v EU, ve které AVO dokazovala daňovou úlevu jako nejvhodnější nástroj pro nepřímou podporu VaV v podnikatelském sektoru.“

V roce 1999 se stal prezidentem AVO Ing. M. Janeček, CSc., který poukazuje na to, že zejména „v letech 1999 - 2010 měla Asociace výzkumných organizací poměrně silnou pozici na poli řízení českého výzkumu a vývoje – měla zastoupení nejen v tehdejší Radě vlády pro VaV, ale i v jejích významných oborových a hodnotících komisích (M. Holl, M. Janeček, J. Nedělník, J. Purmenský, M. Václavík a další). Zástupci AVO (M. Janeček, V. Neumajer, K. Mráček a další) se podíleli na přípravě celé řady strategických a koncepčních dokumentů, mj. na vypracování kapitoly Výzkum, vývoj a inovace pro Strategii hospodářského růstu z roku 2005.“

Reforma výzkumu a vývoje z roku 2007 určila jako jeden z nástrojů k odstranění roztržitosti systému účelové podpory vznik Technologické agentury ČR. M. Janeček připomíná: „Není náhodou, že se díky

zaměření AVO její členové výrazně podíleli na přípravě, založení a později i fungování agentury. V přípravném výboru pro založení TA ČR byli V. Neumajer a M. Janeček, který se posléze stal členem předsednictva. Celá řada dalších členů AVO se ale velmi aktivně angažuje v orgánech, jakými jsou Rady programu, koncilia odborníků (expertní hodnotící komise, panely odborníků), ale i jako oponenti. V současné době k tomu přibýly i aktivity v rámci některých interních projektů TA ČR, např. při zpřesňování metodiky posuzování daňových úlev na firemní VaV.“

Celospolečenské efekty spolupráce AVO

Rozsáhlá členská základna AVO s celou řadou expertů v různých oborech umožnila aktivní zapojení a účast zástupců Asociace v radách a pracovních skupinách výzkumných programů (zejména MŠMT a MPO), v Radě pro výzkum, vývoj a inovace a jejích odborných komisích či v různých hodnotitelských komisích a jako hodnotitelů. V neposlední řadě je nutno uvést i intenzivní činnost v pracovních skupinách připravujících relevantní legislativní a strategické dokumenty pro oblast výzkumu a vývoje. Tato široká a iniciativní spolupráce AVO, která je vlastně i aktivní službou výzkumné komunity, byla ze strany státních orgánů hodnocena vždy pozitivně a je považována za velmi kvalifikovanou a odpovědnou. Expertní činnost představitelů AVO je případně oceňována i v mezinárodním měřítku. V posledních letech to byla v případě programu EUROSTARS (prvního společného programu Evropské komise a programu EUREKA) volba exprezidenta AVO M. Janečka za předsedu mezinárodního panelu expertů (International Expert Panel – IEP).

AVO dlouhodobě spolupracuje také s řadou subjektů ve výzkumné i podnikatelské sféře s cílem podpory jejich spolupráce. Důležitým partnerem při integraci zájmů v oblasti podpory a rozvoje průmyslového výzkumu a vývoje je pro AVO Svaz průmyslu a dopravy ČR. Trvalá a vzájemně prospěšná spolupráce probíhá i s Asociací inovačního podnikání ČR (spolupráce na projektu „Technologický profil České republiky“, účast na každoročním Týdnu výzkumu, vývoje a inovací pořádaném AIP ČR, účast na činnosti pracovních týmů AIP ČR a jejího vedení a spolupráce s časopisem Inovační podnikání a transfer technologií).

Spolupráce s Akademií věd ČR se po několik let realizovala v rámci tzv. pracovní skupiny zástupců AVO a AV ČR. Asociace má také dlouhodobě své zástupce mezi členy Akademického sněmu AV ČR. Spolupracuje rovněž s některými ústavy AV ČR, zejména s Technologickým centrem AV ČR. Úspěšně se rozvinula spolupráce s Inženýrskou akademií ČR. Probíhá spolupráce i s některými vysokými školami. V rámci zahraniční spolupráce má dlouhodobě stabilní charakter především spolupráce se slovenským Zväzom priemyselných výskumných a vývojových organizací.

Služby členské základně

Značnou pozornost věnuje Asociace poskytování služeb svým členům. Aktivní službou celé členské základně jsou i výše zmíněné aktivity zaměřené na prosazení opatření přispívajících k tvorbě vhodného prostředí pro udržení a rozvoj aplikovaného výzkumu v ČR. Pokud jde o konkrétní služby jednotlivým členům, zejména je to pomoc při realizaci projektů výzkumu a vývoje. V rámci činnosti OKO AVO jsou poskytovány poradenské a informační služby pro české subjekty při jejich zapojování do mezinárodní spolupráce ve výzkumu a vývoji a při řešení problémů v oblasti ekonomiky, účetnictví a právních aspektů podpory projektů výzkumu a vývoje. Členové jsou také průběžně informováni o aktuálních možnostech získání podpory pro výzkumné a inovační projekty. Významnou odbornou pomoc Asociace poskytovala svým členům při získání a využívání institucionální podpory. Asociace vytvořila a spravuje veřejně přístupnou databázi českých subjektů aplikovaného výzkumu a vývoje. Různými akcemi podporuje vytváření „sítí“ mezi jednotlivými výzkumnými a vývojovými pracovišti v ČR. Pro potřeby svých členů i ostatních zájemců pořádá odborné semináře a konference s aktuální tematikou v oblasti výzkumu a vývoje a jeho podpory. Nabízí také zdarma službu pořádání příslušných seminářů přímo na pracovištích firem, které o ně projeví zájem. Asociace zprostředkovává rovněž účast svých členů na zahraničních i tuzemských výstavách a veletrzích s cílem prezentace a popularizace výsledků českého aplikovaného výzkumu. Pro tyto účely byly zpracovány i různé propagační katalogy a videa AVO a jejich členů včetně jejich anglické verze. Ke službám pro členy AVO patří i poměrně rozsáhlý informační servis, týkající se nejrůznějších aktivit v oblasti výzkumu a vývoje nejen v ČR, ale i v EU. Asociace pro účely kvalitního poskytování služeb svým členům vytvořila také regionální pobočky v Brně a Ostravě.

Asociace dnešní a budoucí

Za uplynulých 25 let Asociace výzkumných organizací vykonala poměrně rozsáhlý kus práce a přitom získala řadu poznatků a zkušeností, jak dělat věci ještě lépe. Její dlouhodobou prioritou je udržení a potřebné rozvíjení aplikovaného výzkumu a vývoje v ČR, jehož významná úloha v konkurenceschopné ekonomice a úspěšně se rozvíjející společnosti není dosud patřičně docenována. V tomto kontextu Asociace reaguje také na potřeby svých členů a aktivním a společensky přínosným způsobem prosazuje zájmy aplikovaného výzkumu na všech úrovních státní a veřejné správy, především při tvorbě nové legislativy a systémů podpory výzkumu a vývoje.

V poslední době byla mimo jiné značná pozornost tak věnována financování a metodice hodnocení výzkumu.

Podarilo se dosáhnout opět zastoupení AVO v Radě pro výzkum, vývoj a inovace, pokračuje aktivní přístup k připomínkování předmětné legislativy a účast v grémech, rozvíjí se spolupráce se Svazem průmyslu a dopravy ČR a Potravinářskou komorou ČR. S TA ČR bylo uzavřeno Memorandum o spolupráci. Zvýšená pozornost se v průběhu posledních let obrací k popularizaci a mediálnímu zviditelnění AVO, subjektů a výsledků aplikovaného výzkumu a vývoje a k vytváření příznivého veřejného mínění o výzkumu a vývoji s využitím různých propagačních a PR aktivit. Asociace má nové a hojně sledované webové stránky, blog, vydává pravidelně zpravodaj. Zapojila se také úspěšně do 3 projektů OP VK na podporu propagace aplikovaného výzkumu.

V současné době má AVO téměř 90 členů s více než 7 tisíci zaměstnanci činnými v oblasti aplikovaného výzkumu a vývoje. Současným prezidentem AVO je Ing. Libor Kraus, výkonným předsedou je Ing. Václav Neumajer a viceprezidentem RNDr. Jan Nedělník, PhD. Běžnou činnost AVO zajišťuje jeho týmově dobře fungující předsednictvo a nevelký, ale výkonný sekretariát. Důraz je kladen na těsnou součinnost

s členskou základnou s využitím moderních informačních a komunikačních prostředků AVO chce být prvkem, který vhodně a účinně doplňuje strukturu institucí v oblasti výzkumu a vývoje v ČR o kvalitní aplikovaný výzkum a pomáhá vytvářet most mezi tvorbou poznatků a jejich praktickým využitím. Jak řekl prezident AVO L. Kraus: „*AVO se nadále do budoucna chce profilovat jako zástupce výzkumných organizací zaměřených na aplikovaný výzkum a vývoj a inovačních firem. Chceme podporovat rovné prostředí, vstřícnou a jednoduchou legislativu, která bude sloužit konkurenceschopnosti České republiky a ne parciálním zájmům a lobbistům. Vyzývám proto i ostatní inovační firmy, aby se připojily k AVO a společným postupem kultivovaly prostředí VaVaI v České republice.*“

Co říci ještě závěrem? Asociace je nyní v nejlepších letech, vyvrála a tak si lze do dalších let jen přát, aby si nejen uchovala, ale ještě posílila pozici kvalifikovaného a důvěryhodného partnera v otázkách podpory a rozvoje výzkumu a vývoje v ČR s cílem řešení aktuálních i perspektivních ekonomických a společenských problémů této země.

Krise ocelářského průmyslu se přiostrhuje – „osudový rok 2016“

Reuters

25.04.2016

Německý ocelářský průmysl tlumí kvůli trvajícím levným importům z Číny naději na rychlé zlepšení problémů v branži. „Rychlé mezinárodní řešení pro globální ocelářskou krizi není v současné době v dohledu,“ řekl Hans Jürgen Kerkhoff, prezident WV Stahl na průmyslovém veletrhu v Hannoveru. Poukázal na to, že čínské exporty oceli jsou v prvním čtvrtletí 2016 ještě znovu o 8 % vyšší než ve stejném období loňského roku. Rovněž importy z Číny do EU ležely o 23 % výše než předcházející rok, zatímco výroba oceli v EU v prvním čtvrtletí 2016 klesla o 7 %. Kerkhoff si stěžoval, že kromě nižších antidumpingových cel ve srovnání s USA trvá také celý proces jejich schvalování dvakrát tak dlouho, než v USA. Jménem WV Stahl požadoval Kerkhoff ve svém projevu striktní zákaz subvencí při restrukturalizaci ocelářského průmyslu v EU. Nejnovější zprávy z Itálie a Velké Británie ukazují, že to bohužel v EU není nic samozřejmého.

Krise ocelářského průmyslu - konec s protekcionismem!

www.cicero.de

27.04.2016

Ocelářský průmysl se nachází vzhledem k energetické transformaci a kvůli levným dovozům z Číny v hluboké krizi. Zelený politik Dieter Janecek vyzval ocelářský průmysl, aby se aktivně podílel na rozvoji obnovitelných zdrojů energie a aby nezaspal digitalizaci. Cena oceli je ve sklepě, evropský ocelářský průmysl trčí v krizi. Střídavě se za viníka situace označuje evropská ochrana klimatu a Čína. Rádo se přehlíží, že na mnoho problémů ocelářské branže bylo zaděláno doma, je třeba pomyslet třeba na miliardy, které utopil Thyssenkrupp ve svém brazilském projektu. Je ovšem fakt, že pohled na fatální chyby managementu před desetiletím dnešní problémy nevyřeší. Co je třeba, je odvážný pohled dopředu. Zodpovědnost za dnešní stav neleží jen na Číňanech. Německo je exportní země a musí být proto velmi opatrné, když se samo cítí ohroženo exportem jiných. Uvědomuje si někdo, že Čína je již roky nejdůležitější odbytový trh pro německý automobilový průmysl? Postavit se čelem k nekalé soutěži je v pořádku. Ale je také třeba zamezit protekcionismu. Perspektivy evropského ocelářského průmyslu jsou podle poslance Janečka v tom, aby se stal technickým vůdcem trhu ve věcech snižování emisí, úspor energie a materiálu a recyklingu.

Ze spolkového života a odborných akcí

Výzkumníci oslavili 70. jubileum společnosti MMV konferencí

K 70. výročí svého založení uspořádala společnost Materiálový a metalurgický výzkum (MMV) 23. června v kulturním domě TRISIA konferenci. Zúčastnilo se jí 62 zástupců z 26 firem a výzkumných společností.

Konferenci moderoval předseda představenstva a výkonný ředitel společnosti Hutnictví železa Jaroslav Raab, který hned v jejím úvodu zdůraznil, že je velice symbolické si připomenout tak významné výročí společnosti úzce spjaté s úspěšnou hutnickou skupinou společností Třinecké železářny–Moravia Steel.

Hned poté vystoupil Jiří Cienciala, bývalý předseda představenstva a generální ředitel TŽ, který se v roce 2007 výraznou měrou podílel na začlenění společnosti MMV do skupiny Třinecké železářny–Moravia Steel. Vyslovil potěšení nad skutečností, že se tímto krokem podařilo uzavřít cestu od výzkumu a vývoje až po aplikaci v průmyslu. Dodal však, že bude ještě dlouho trvat, než aplikovaný výzkum získá postavení, které mu patří.

Na jeho slova navázal výkonný ředitel společnosti MMV Jaroslav Pindor s přednáškou pod názvem „Současné postavení společnosti Materiálový a metalurgický výzkum.“ Seznámil účastníky konference s charakteristikou společnosti a jejím zaměřením, historií a úspěšnými milníky v historii společnosti od roku 2007. V další části zdůraznil výzkumně vývojovou činnost a její nejdůležitější výsledky, vyzdvihl význam smluvní spolupráce s obchodními partnery jak v ČR, tak i v zahraničí. Součástí jeho prezentace byl i nástin největších problémů v oblasti výzkumu a vývoje v ČR a moravskoslezském regionu. V závěru vystoupení přítomné seznámil s vizí společnosti do budoucna a pochlubil se dvěma zlatými medailemi z nedávné mezinárodní výstavy inovací, patentů a vynálezů Invent Aréna, které společnost MMV získala za své vystavené exponáty.

Profesor Karel Matocha, provozní ředitel MMV, v úvodu své přednášky připomněl významné vysokoskolské profesory, kteří pracovali ve společnosti MMV. Hovořil dále o organizační struktuře společnosti a seznámil účastníky konference s výzkumně vývojovou činností hlavních úseků společnosti, kterými jsou Metalurgický výzkum, Vývoj a výroba zkušebních strojů, Laboratoře, Výzkum materiálového inženýrství a Laboratoř hodnocení povrchových vlastností.

Děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství (FMMI) VŠB-TU Ostrava profesorka Jana Dobrovská hovořila o regionálním materiálově-techno- logickém výzkumném centru a spolupráci FMMI VŠB-TU Ostrava se společností MMV. Informovala o charakteristice projektu a jeho výzkumných aktivitách. Na závěr zdůraznila velmi dobrou spolupráci nejen při řešení tohoto projektu, ale i v jiných oblastech mezi oběma výzkumnými pracovišti.

Místopředseda představenstva a technický ředitel TŽ Henryk Huczala účastníkům konference představil Třinecké železářny a společnosti ve skupině TŽ–MS a informoval je o významných plánovaných investicích. Hovořil i o strategii TŽ v oblasti výzkumu a vývoje a uvedl i příklady nejvýznamnějších projektů a spolupráce s externími subjekty. Na závěr prezentoval některé úspěšné výzkumné projekty, které byly realizovány se společností MMV.

Mezi ně lze zařadit užitný vzor na opěrný válec válcovací stolice, který je v provozu ve Válcovně trub a přináší úsporu 3,3 mil. Kč ročně.

Prezident Asociace výzkumných organizací (AVO) Libor Kraus vystoupil s přednáškou

„Činnost AVO v oblasti aplikovaného výzkumu“, ve které představil asociaci, její aktivity a cíle. Zdůraznil, že se AVO za více než 25 let své činnosti stala významným a uznávaným partnerem na poli výzkumu a vývoje v ČR. Poděkoval společnosti MMV za aktivní práci v AVO a popřál jí mnoho výzkumných úspěchů v další činnosti. Na závěr svého vystoupení definoval některé hlavní teze v oblasti podpory aplikovaného výzkumu.



Účastníci konference naslouchají přednáškám. V popředí zleva prezident AVO Libor Kraus, jednatel MMV Karel Matocha, děkanka FMMI VŠB-TU Ostrava Jana Dobrovská, technický ředitel TŽ Henryk Huczala a jednatel MMV Jaroslav Pindor.

Foto: Jiří Wawrzacz (2)

Na závěr dopolední části vystoupil projektový manažer společnosti MMV Tomáš Teindl, který hovořil o aktivitách Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) v oblasti aplikovaného výzkumu v ČR. Příspěvek obsahoval základní informace o dotačních programech na podporu výzkumu a vývoje, které zastřešuje MPO.



Odpolední část byla věnována prezentacím hlavních výzkumně vývojových činností společnosti MMV.

Zazněly přednášky na téma Vývoj technologie výroby oceli pro energetický průmysl, Optimalizace tvářecích procesů při výrobě bezešvých trub, Příklady použití disků s „U“ vrubem pro stanovení tranzitní teploty (T_{sp}) z výsledků penetračních testů, Vývoj a výroba speciálních zkušebních zařízení, Rozvoj a aplikace speciálních zkušebních metod, Vývoj hodnocení vlastností žárupevných ocelí, od 24 hodinových zkoušek po SPCT testy, Hodnocení povrchových vrstev a povlaků a Aplikace vybraných statistických metod v metalurgii.

Jaroslav Pindor za pořádající společnost i touto cestou děkuje oficiálním partnerům konference, kteří významným způsobem přispěli k jejímu uspořádání. Patří mezi ně Třinecké železárny, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, LABORTECH, Třinecký inženýring, Enviform, SPECION, Struers GmbH, organizační složka, Olympus Czech Group, PE Systems a Zwick Roell CZ.

-převzato z časopisu TŘINECKÝ HUTNÍK, červenec 2016-

V červnu 2016 se v Třinci konal 1. ročník mezinárodní výstavy INVENT ARÉNA

Ve dnech 17. a 18. června 2016 se v Třinci v multifunkční hale WERK Aréna konal 1. ročník mezinárodní výstavy INVENT ARÉNA, na které se představilo na 50 technických novinek, vynálezů, patentů a nových technologií z mnoha oborů. Organizátorem výstavy byly TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s., a Česká hutnická společnost, z. s. Odbornou garanci poskytly: International Federation of Inventors Associations (IFIA), Český svaz vynálezců a zlepšovatelů, Český svaz vědeckotechnických společností a Úřad průmyslového vlastnictví.

Vynálezy a patenty byly prezentovány v několika kategoriích: – Ekologie a ochrana životního prostředí; Hutnictví, energetika, strojírenství, doprava, stavebnictví; – Chemie, zemědělství, zdravotnictví, biotechnologie; – Výpočetní technika, telekomunikace, automatizace, informatika; – Mladí inovátoři a Ostatní.

Jednou z oceněných firem byla také společnost METALURGICKÝ A MATERIÁLOVÝ VÝZKUM s.r.o., která získala 2 zlaté medaile za „Zařízení pro provádění creepových zkoušek SPUTT 500“ a „Opěrný válec děrovací stolice“.

Veletrhy vynálezů a inovací se ve světě těší vysokému zájmu veřejnosti i vystavovatelů. V České republice se podobná akce konala naposledy v roce 2013, kdy výsledky technologického vývoje, současné trendy v patentových strategiích a úspěšné investiční počiny představil veletrh vynálezů a inovací **INVENTO 2013**. Snahou **INVENT ARÉNY** bylo na tento projekt navázat.

Hlavní cíle přiblížil jeden z organizátorů akce, předseda České hutnické společnosti, z. s., Jan Kobielski: „*Chceme ukázat všem zájemcům o vědu, techniku a inovace nejnovější domácí a světové trendy. Naším cílem je poukázat na důležitost tvůrčí práce a zdůraznit význam průmyslové právní ochrany pro uplatnění nových řešení na trhu,*“ uvádí Kobielski a dodává: „*Současně chceme umožnit, českým hlavám uplatnit své nápady a řešení na široké mezinárodní platformě a seznámit se s aktuálními technickými novinkami jiných zemí zúčastněných na výstavě.*“



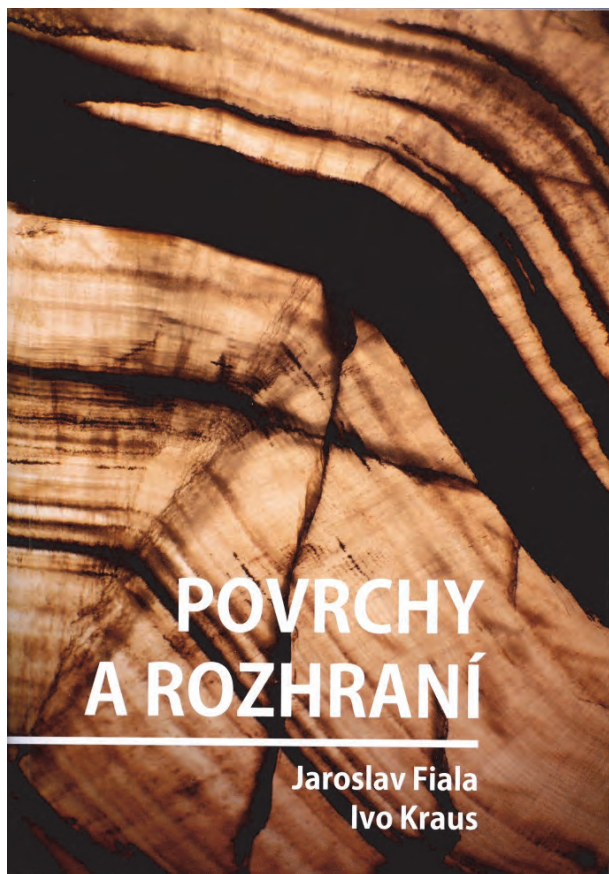
SPUTT 500

- sei -

Nová literatura

Povrchy a rozhraní

Jaroslav Fiala, Ivo Kraus



„Věda říká první slovo o všem, ale poslední o ničem“. Takto na vědu a poznání nahlíží francouzský spisovatel Victor Hugo (1802 – 1885). Nová publikace navazuje na dřívější stejnojmennou knihu autorské dvojice prof. RNDr. Jaroslav Fiala, CSc., FEng. a prof. RNDr. Ivo Kraus, DrSc., jejíž recenze byla otištěna v *Hutnických listech*, 66 (2013) 4, 92-93. Spoluautor profesor Jaroslav Fiala si z tohoto nekonečného moře poznatků sloužících k otevírání bran dalších otázek specifikuje užší oblast, o které se sám ve své dřívější práci vyjadřuje takto: „Povrch je reaktivita, povrch je chemie, povrch je prostor pro materiálové inženýrství.“

Prof. Ing. Petr Zuna, CSc., D.Eng,h.c., FEng. ve své předmluvě k této knize zmiňuje nositele Nobelovy ceny fyzika Richarda Feynmana, který ve své přednášce poukazuje na možnost manipulace s materiálem na úrovni jednotlivých částic (molekul a atomů), a stal se tak

vizionářem nového vědního oboru – věda o nanomateriálech. Před cca 50 – 70 lety byl povrch chápán jen jako skutečné makroskopické rozhraní mezi daným materiálem a okolím. Je si však třeba uvědomit, že s nárůstem miniaturizace a pronikáním do podstaty struktury se stávají povrchy a rozhraní běžnými smysly neviditelnými a pro řadu laické veřejnosti i myšlenkově neuchopitelnými. Přesto se výzkum (primární i aplikovaný) ubírá v posledních letech právě tímto směrem.

Kniha sestává z několika myšlenkově konzistentních částí – „Struktura a vlastnosti povrchů“, „Diagnostika povrchových vrstev“, „Materiály a technologie“ a „Biogramy průkopníků fyziky povrchů a rozhraní“. Zkusme ve stručnosti jednotlivé statě přiblížit.

Začátek první kapitoly je věnován struktuře povrchů pevných látek a seznamuje čtenáře se základními pojmy a principy povrchů. Je zde zmiňována energetická nevyváženost částic na površích a s tím související další možné efekty, jako je nepravidelné a stupňovité uspořádání částic, relaxace, rekonstrukce, povrchová segregace a adsorpce. Následuje rozbor struktury pevných látek, v jehož úvodu autoři připodobňují strukturu anorganických pevných látek k něčemu, co by bylo možno nazvat ekvivalentem buněčné struktury živé přírody. Další pasáže jsou věnovány kapilaritě a matematickému aparátu použitému k jeho popisu (za všechny lze zmínit Young-Laplaceovu nebo Kelvinovu rovnici). Logicky je dále pozornost věnována adsorpci (z hlediska mechanizmu a kinetiky), epitaxii na rozhraní krystalů, horroru superfici – nevůli přírody zvětšovat povrchy, o čemž rozhoduje její snaha o minimalizaci energetického stavu. Do prvního velkého celku ještě náleží statě věnované únavě a lomu kovových materiálů, protože lom rovná se vznik nového povrchu. Kapitola „Fotoelektrika a feromagnetika“ pojednává o polarizaci dielektrik a konečně kapitoly věnované růstu krystalů pojednávají mimo jiné o překrystalizování v rámci látky, nehomogenitě krystalů apod. Tuto část knihy uzavírá rozbor rozhraní v chemických strukturách doplněný o konkrétní přiblížení některých chemických individuů – uhlíku, polysacharidů a silikátů.

Nejen tato, ale i další kapitoly jsou doplněny příklady na konkrétních materiálech a nechybí ani technické využití některých efektů v praxi.

V druhém celku „Diagnostika“ autor pojednává o hlavních metodách umožňujících charakterizovat povrchy. V kapitole „Kvalitativní a kvantitativní hodnocení povrchů“ jsou zmiňovány dotykové profiloměry s různými typy snímačů, základní optické metody a metody pracující se statistikou získaných dat. Následuje pasáž věnovaná difrakční tenzometrii, jejíž podstatou je analýza makroskopických zbytkových napětí pomocí rentgenografických difrakčních analýz. Zmiňovány jsou základní principy, možnosti a omezení včetně sledování nehomogenních napětíových polí jak kolmo k povrchu, tak i v jejich rovině. V závěru autor věnuje pozornost hloubkové nehomogenitě, resp. hloubkovému profilu složení. Popsány jsou profilovací techniky využívající rtg-difrakce a diskutována je i míra nejistoty výstupů získaných těmito technikami.

Třetí celek je věnován materiálům a technologiím a představuje odklon od primárního výzkumu povrchů k aplikační sféře. Pojednává o inkluzivních a okluzivních částicích vytvářejících sloučeniny hojně se vyskytující v přírodě (silikáty), stejně jako o uměle vytvořených materiálech (např. na bázi grafitu). Zmiňovány jsou LB vrstvy realizované přenášením monomolekulárních vrstev povrchově aktivních látek na pevné podložky. Takto lze nejen konstruovat vrstvy s velmi pravidelnou strukturou, ale položit i základy molekulárního inženýrství. V kapitole „Dvojměrné struktury“ představuje autor např. pěnová skla, houbovitě polymery nebo pěnové kovy. Principy dvojměrných struktur jsou vysvětlovány jako paralely k architektuře

gotických chrámů nebo buněčné stavbě živých organismů. Následuje rozbor povrchově aktivních látek, emulzí a pěn. Jejich technologické využití i aplikace v každodenním životě netřeba blíže vysvětlovat. Text pokrčuje koloidními systémy, tedy systémy s částicemi na pomezí rozměrů, kdy má ještě smysl hovořit o povrchu, tak jak jsou chápány newtonovskou fyzikou. Celek je zakončen rozбором povrchové katalýzy v kontextu jejího mechanismu a vlivu porozity a tribologie – oborem zahrnujícím problematiku tření, opotřebení a mazání.

Poslední celek knihy není zcela typický pro běžnou vědeckou literaturu a přispívá k osvěžení celého textu. Z obrovského množství faktů rovnic a odborných výrazů se vynořují skuteční živí lidé, bez kterých by nebylo na poli fyziky na co navazovat a bez kterých bychom chápali povrch jako něco banálního určeného maximálně k odkládání věcí. Čtvrtý celek této knihy přináší biogramy 34 průkopníků na poli fyziky povrchů a rozhraní.

Závěrem lze zdůraznit, že autoři na 402 stranách velice precizně rozpracovávají problematiku povrchů. Nahlíží na tuto oblast fyziky z různých aspektů, které jsou naprosto logicky řazeny a vytvářejí ucelený přehled poznání v tomto oboru. Text je doplněn řadou ilustrací usnadňujících čtenáři pochopení souvislostí a umožňujících studovat tuto knihu nejen specializovaným pracovníkům, ale i studentům – elévům na poli vědy.

doc. Ing. Rostislav Dudek, Ph.D.

ThyssenKrupp otevírá online obchod pro řemeslníky

www.derwesten.de

25.04.2016

Šéf ThyssenKrupp Heinrich Hiesinger objevuje řemeslníky a kutily. „Zjistili jsme, že řemeslníci a kutilové rádi objednávají po večerech,“ vysvětluje manažer. Koncem dubna startuje proto průmyslový koncern nový obchod na webu také v Německu a chce se si tak otevřít úplně novou skupinu zákazníků – konečné spotřebitele. Pro ThyssenKrupp je to ovšem nový svět. Prodej nejmenších množství plechů a trubek dosud nepatřil k jeho základním činnostem. Pro Hiesingera je to ovšem jedna z cest do digitální budoucnosti. Koncern chce ale současně zlepšit i digitální nabídku pro velkoodběratele. V novém online-shopu „material4me“ chce v budoucnu nabízet 11 000 výrobků, které bude všechny i rozesílat, pokud je bude možné zadat poskytovatelům balíkových služeb.

Německý trh s ušlechtilou ocelí dále v klidném duchu

Stahl Aktuell

26.04.2016

Zatímco se na trhu se širokým pásem válcovaným za tepla a jemným plechem odehrálo výrazné zvýšení cen, probíhají obchody na německém trhu s ušlechtilou ocelí dále v klidném duchu. Základní ceny jdou nahoru nanejvýš velmi mírně, pokud vůbec. Velká většina dotázaných nákupčích vychází z toho, že se krátkodobě a ani střednědobě na tomto faktu a komfortní situaci nebude nic měnit. Ani zvyšující se ceny niklu nevyvádějí nákupčí z klidu. Skutečností zůstává, že poptávka se na německém trhu nezvyšuje a zásobování materiálem z evropských oceláren, vyrábějících ušlechtilou ocel, je dostačující. „Náš obchod běží, ale ne nějak přehnaně,“ potvrzuje jeden ze šéfů nákupu. Na tomto pozadí se nedají prosadit žádná zvýšení cen.

Společenská kronika

Odešel Ing. Václav Foldyna, DrSc.

Dne 15. 3. 2016 zemřel ve věku nedožitých 86 let Ing. Václav Foldyna, DrSc. Pro jeho přátele i technickou veřejnost si dovoluji uvést několik poznámek k jeho odbornému životu.

Ing. Václav Foldyna, DrSc. se narodil 3. 5. 1930 v Ostravě-Vítkovicích. Po ukončení základní školy studoval na Matičním gymnáziu v Ostravě, kde maturoval v roce 1949. V letech 1949 až 1953 absolvoval vysokoškolské studium na Hutnické fakultě Vysoké školy báňské v Ostravě, kde po skončení studia nastoupil jako vědecký aspirant. Již jako začínající vědecký pracovník působil ve výzkumu Vítkovických železáren, kde od roku 1956 pracoval nepřetržitě až do odchodu do důchodu.

Odborná kariéra inženýra Foldyny byla po celý jeho profesní život zaměřena na výzkum a vývoj nových žárupevných ocelí a jejich zavedení do čs. energetiky. Byl naším předním materiálovým odborníkem pro oblast nízkolegovaných CrMo a CrMoV ocelí a modifikovaných Cr ocelí na bázi 9 až 12 % chromu, a to jak z pohledu creepové odolnosti, tak jejich technologického zpracování při výrobě teplosměnných trubek a dalších výrobků, zejména pro energetiku a chemický průmysl.

Kandidátskou disertační práci na téma „Studium karbidické fáze při popouštění feriticko-perlitických ocelí“ obhájil na VŠB Ostrava v roce 1961, doktorskou disertaci na téma „Creep nízkolegovaných a modifikovaných chromových ocelí“ v Ústavu fyziky materiálu ČSAV Brno v roce 1990. Svou rozsáhlou vědeckou činností se Václav Foldyna stal špičkovým vědeckým pracovníkem v oboru 22-04-9-Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu s udělenou hodností doktora technických věd. O jeho přední pozici v oblasti vědeckého studia žárupevných ocelí svědčí i opakovaně citovaná světová priorita v objevu precipitace jemné karbidické disperse při sekundárním vytvrzování, což vedlo u ocelí legovaných vanadem k využití jejich vysoké žárupevnosti. Je autorem nebo spoluautorem více než 290 technických a vědeckých publikací v odborných časopisech a sbornících



z domácích i zahraničních konferencí, spoluautorem 14 patentů, resp. autorských osvědčení. Byl rovněž školitelem pěti úspěšných vědeckých aspirantů, z nichž někteří dodnes pokračují v jeho práci. V roce 1966 mu byla společně s dalšími spolupracovníky udělena Státní cena KG za „Výzkum a vývoj, osvojení výroby a zpracování modifikovaných 12% chromových ocelí pro použití v energetice a chemickém průmyslu“.

Kromě funkce vedoucího výzkumu žárupevných ocelí byl Václav Foldyna pověřen koordinací dvou státních výzkumných úkolů, a to

„Oceli pro energetiku“ v letech 1971 až 1975 a „Rozšíření a zefektivnění hutních výrobků pro energetiku“ v letech 1976 až 1980, jejichž výsledky byly plně využity při stavbě energetických bloků 200 a 500 MW.

Z odborné činnosti inženýra Foldyny je třeba připomenout jeho práci ve Vědeckotechnické společnosti na podnikové i celostátní úrovni. Byl odborným garantem celostátních i mezinárodních konferencí a symposií v naší republice a jako vyžádaný přednášející byl často zván na řadu těchto akcí do zahraničí.

Ani po odchodu do důchodu v roce 1993 neukončil svou aktivní činnost v oboru. Dále využíval svých zkušeností jako poradce při vývoji technologie navařování kolejnic pro potřeby dopravního strojírenství.

Ing. Václav Foldyna, DrSc. byl člověk veselý a kamarádké povahy, který se svými znalostmi i osobním přístupem stal neodmyslitelnou postavou čs. energetiky. Jeho přátelé, spolupracovníci i vědecká obec jeho odchodem ztrácí jak velmi dobrého člověka, tak vynikajícího odborníka.

Čest jeho památce!

prof. Ing. Jaroslav Purmenský, DrSc.

Historický seriál

Stručne o metalurgii hliníka na Slovensku – 2. diel

(Zaniknuté hutnícke technológie na Slovensku – 11. časť)

V predchádzajúcom prvom dieli histórie hutníctva hliníka sme opísali „prehistóriu“ výroby hliníka na Slovensku a dotkli sme sa počiatkov projekcie a výstavby hliníkárne vo Svätom Kríži nad Hronom, *dnes Žiari nad Hronom na začiatku 50. rokov 20. storočia. Projektantom 1. etapy stavby bol Hutní projekt Praha a stavbu realizovali k tomu účelu založené Stavebné závody Hron. Stavebné práce začali výstavbou meniarne striedavého prúdu na jednosmerný (obr. 1) dňa 24. novembra 1951. Samozrejme to bol len jeden z mnohých výrobných komplexov. Celá stavba pokračovala veľmi dynamicky a 29. augusta 1953 bol vyrobený prvý hliník. Ak zohľadníme vtedajší stupeň mechanizácie, skutočne od prvého výkopu po vyrobenie prvého hliníka ubehlo len 635 dní, čo je výkon aj dnes obdivuhodný.

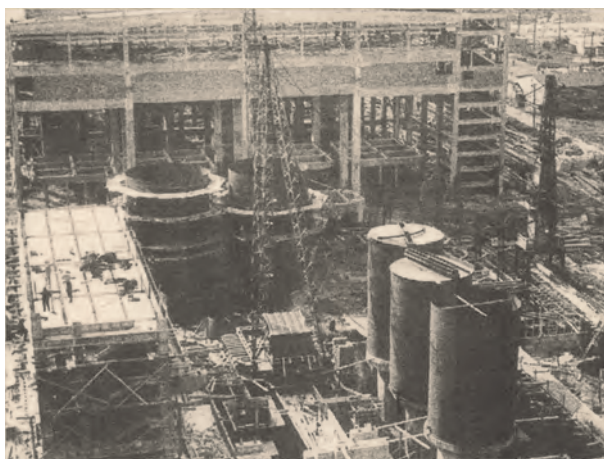
Hlavné komplexy hliníkarského kombinátu boli výroba Al_2O_3 , tzv. kysličníkaŕň (obr. 2), elektrolýzne haly série A a série B, výroba anódovej hmoty, odlievareň, energetický komplex, skúšobne a laboratória, ako aj ďalšie stavby technologickej, dopravnej a sociálnej infraštruktúry. Komplex stavieb napredoval veľmi rýchlo aj preto, že paralelne s výstavbou prebiehala už aj montáž strojno-technologických zariadení, čo bolo projekčne, logisticky a manažérsky vysoko náročné. Výstavba pokračovala aj po spustení výroby hliníka v roku 1953 a celý metalurgický cyklus bol uzavretý v roku 1957, kedy skončil import Al_2O_3 z Maďarska a začala jeho vlastná výroba v ZSNP Žiar nad Hronom.

Oxid hlinitý sa vyrábal spekacou metódou vzhľadom na nízky kremíkový modul dovážaného maďarského bauxitu, ktorý bol cca 5, pričom pre Bayerovu metódu rozkladu je potrebný modul najmenej 8. (Kremíkový modul vyjadruje pomer obsahu Al_2O_3 : SiO_2). Kapacita výroby bola cca 100 000 t Al_2O_3 ročne. Už v 80. rokoch 20. storočia bol tento postup ekonomicky neudržateľný a v roku 1987 bol realizovaný moderný proces vysokotlakého rozkladu bauxitu Bayerovou metódou podľa čsl. patentov pracovníkov ZSNP Žiar nad Hronom a VÚK Panenské Břežany. Moderné trendy výroby hliníka na prelome storočí predstavovali oddelenie produkcie Al_2O_3 od elektrolýzy Al tak, že Al_2O_3 sa vyrába v blízkosti bauxitových baní a oxid hlinitý požadovanej kvality sa dopravuje do veľkokapacitných elektrolýzných závodov. Tento trend Závod SNP v Žiari nad Hronom zachytil, a tak výroba Al_2O_3 vysokotlakým rozkladom bola v roku 1997 definitívne ukončená. Pamiatkou na výrobu Al_2O_3 je halda 8,5 mil. t hnedého kalu zo spekacej metódy a 650 tis. t červeného kalu z vysokotlakej Bayerovej metódy, ktorá ako udržiavaná zazelenená skládka vytvára siluetu západného okraja Žiaru nad Hronom.

Pre vlastnú výrobu hliníka z Al_2O_3 boli počas výstavby závodu nainštalované 2 série Söderbergových elektrolýzov pre redukciu hliníka v prostredí roztaveného kryolytového elektrolytu (obr. 3). Táto elektrolýza bola v 50. rokoch 20. storočia veľmi moderná nakoľko používala samospekacie anódy z kontinuálne dodávanej stekutej grafitovej hmoty do anódového priestoru. Intenzita prúdu bola 63,5 kA, neskôr 77 kA, pričom svetové parametre vtedy predstavovali intenzitu vyššiu ako 50 kA. Projektovaná kapacita 50 000 t/r elektrolýtického hliníka sa dosiahla v roku 1959. Dramatickým momentom bol spor o patentovú čistotu, ktorý viedla nórska firma Elektrokemisk AS proti Československu za neoprávnené využitie nórskej licencie Söderbergových elektrolýzov,



Obr. 1 Pohľad do haly meniarne, v ktorej boli inštalované ortuťové usmerňovače ČKD Praha, Žiar nad Hronom, 1952



Obr. 2 Súčasne s budovaním stavby boli aj technologické zariadenia montované v kysličníkaŕni, Žiar nad Hronom, 1953

ktorú Maďarsko poskytlo formou projekčných podkladov protiprávne tretej, tj. československej strane. Sedem rokov trvajúci spor skončil mimosúdnou dohodou o technickej pomoci mimosúdnou dohodou o technickej pomoci nórskej strany ZSNP Žiar nad Hronom. Zistilo sa, že pri technickej realizácii ZSNP využilo menšinu patentovo chránených podstat a Söderbergove elektrolyzéry boli realizované na základne väčšiny obecných známych údajov. ZSNP a Elektrokemisk AS z toho sporu vyšli víťazne. Náhradu platili nadriadené orgány v Prahe a Budapešti a o výške úhrad sa v ZSNP nikdy nedozvedeli. Koncom 60. rokov 20. storočia sa environmentálna záťaž vyvolaná elektrolyzou Al stávala čoraz viac neúnosnou. Mechanicko-manipulačné výhody samospekacích anód boli potlačené extrémne vysokými fluoridovými a uhlikatými emisiami, ktoré doslova ničili Žiarskú kotlinu.

Až v roku 1985 prijala vláda ČSSR rozhodnutie o „Modernizácii výroby hliníka“. Bola nadviazaná spolupráca s nórskou spoločnosťou Hydroaluminium-Norsk Hydro zameraná na výstavbu nórskeho elektrolyzerov s predom vypálenými anódami, ktoré znižujú fluoridové a uhlikaté emisie o 98 – 99 %. Cieľovým termínom realizácie bol rok 1995. Po páde komunizmu v Československu v roku 1989 bolo ukončené štátne financovanie a celý projekt sa stal výhradne vecou ZSNP Žiar nad Hronom. Dramatické momenty predstavovala zmena financovania a extrémny tlak environmentálnych antiindustriálnych „zelených“ aktivistov, ktorí sa začiatkom 90. rokov stali súčasťou slovenskej vlády a parlamentu a ktorí tiež požadovali definitívne ukončenie výroby hliníka v Žiari nad Hronom.



Obr. 3 Celkový pohľad do B série elektrolyzy, v ktorej boli elektrolyzéry usporiadané v dvoch radoch, Žiar nad Hronom, 1955



Obr. 4 Elektrolyzna hala spoločnosti Sivalco a.s., Žiar nad Hronom, 2005



Obr. 5 Čapy z Al zliatin pre prietlačné lisovanie, jedny z produktov spoločnosti SIVALCO a.s., Žiar nad Hronom, 2005

Špičkoví pracovníci ZSNP, najmä vtedajší generálny riaditeľ ZSNP Ing. Jozef Pittner, PhD. a prvý generálny riaditeľ nastupujúcej spoločnosti SLOVALCO a.s. Ing. Štefan Tesák tomuto tlaku svojou autoritou a osobnou garanciou odolali a zabezpečili pokračovanie financovania. Projekt modernizácie bol dofinancovaný Európskou bankou pre obnovu a rozvoj v Londýne a spoločnosťou Hydroaluminium-Norsk Hydro, ktoré sa stali akcionármi novej spoločnosti SLOVALCO spolu s pôvodným Závozom SNP. Posledný elektrolyzér série B pôvodnej výroby bol odstavený 29. februára 1996, pričom nové elektrolyzéry v novej sérii spoločnosti SLOVALCO boli spustené 1. júna 1995. V súčasnosti SLOVALCO vyrába 160 000 t hliníka ročne, pri intenzite prúdu 232 kA a energetickej spotrebe 13 151 kWh/t hliníka, čo sú špičkové svetové parametre (obr. 4 a 5). Náš seriál je zameraný na históriu zaniknutých hutníckych technológií. Autor však považoval za potrebné pripomenúť súčasnú vysoko modernú výrobu hliníka, ktorá stojí na pilieroch minulej, dnes už zaniknutej produkcie a úsilí o jej udržanie a rozvoj.

Literatúra

- [1] KAFKA, R., ČAMBALOVÁ, L. *Z dejín výroby hliníka na Slovensku*. Martin: Neografia, 2001.
- [2] TOMÁŠEK, K. *Recenzia záverečnej práce E. Tesáka „Riadiaca činnosť pri zavádzaní technológie Bayerovej metódy výroby Al_2O_3 “*. Ostrava: Hutnícky inštitút, 1980.
- [3] TOMÁŠEK, K. *Recenzia záverečnej práce V. Šmida „Program KSR v oblasti znižovania energií a surovín pri výrobe Al_2O_3 spekacím spôsobom“*. Ostrava: Hutnícky inštitút, 1980.

Prof. Ing. Karel Tomášek, CSc.

