

ROČNÍK/VOL. LXXIV
ROK/YEAR 2021

1-2



Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

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

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069



VYRÁBÍME PRO NEJLEPŠÍ.

- Kovárna VIVA je přední česká průmyslová kovárna založená v roce 1992
- Specializujeme se na výrobu zápusťkových výkovků z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí
- Poskytujeme komplexní servis pro dodávku zápusťkových výkovků – vývoj a konstrukci výkovku, jeho výrobu, finální zpracování – obrábění a povrchovou úpravu
- Spolupracujeme se špičkovými evropskými a světovými firmami, s nimiž budujeme stabilní a dlouhotrvající spolupráci

**Pracujeme tak, abychom si
zasloužili dobrou budoucnost.**

Registrační číslo / Registration Number
MK ČRE 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 Pošta, CSc.
tel.: +420 608 421 162
e-mail: j.pošta@seznam.cz

Grafický redaktor / Graphic Editor

Ing. Dana Horáková
tel.: +420 777 047 666
e-mail: hutnickelisty@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 – Chairperson

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika

Členové / Members

prof. dr. hab. inž. Leszek Blacha
prof. dr. hab. inž. Henryk Dyja
prof. Peter Filip, Ph.D., D. Sc.
prof. Kaishu Guan, Ph.D.Ing. Henryk Huczala
prof. Ing. Vojtěch Hrubý, CSc.
prof. Ing. František Kavička, CSc.
prof. Terry C. Lowe, PhD
Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.
prof. dr. hab. Maria Nowicka-Skowron
prof. Ing. Ludovít Parířák, CSc.
Ing. Vladimír Toman
Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.
prof. Wei SunPolitechnika Śląska, Katowice, Polsko
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
Southern Illinois University, Carbondale, USA
School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, China
TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Trinec, Česká republika
Univerzita obrany, Brno, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
Colorado School of Mines, USA
ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
Ocelářská unie, a.s., Praha, Česká republika
Liberty Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika
University of Nottingham, UK

Vydavatel uplatňuje tzv. Zpožděný otevřený přístup. Po dobu 12 měsíců od vydání aktuálního čísla vydavatel na webových stránkách časopisu zveřejňuje anotace jednotlivých článků (česká nebo slovenská a anglické verze). Po 12 měsících od vydání jsou zveřejněny na webových stránkách plné texty článků.

Časopis vychází 3× ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné (tištěného vydání) základní 1190 Kč, studentské 20 % sleva proti potvrzení o studiu. K předplatnému se připočítává poštovné vycházející z dodávek každému odběrateli. Po dohodě se zahraničními odběrateli je možno stanovit cenu v Euro (€) jako souhrnnou včetně poštovného. Předplatné se automaticky prodlužuje na další období, pokud je odběratel jeden měsíc před uplynutím abonentního období písemně nezruší prostřednictvím listinné nebo elektronické pošty. Objednávky na předplatné přijímá redakce nebo SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9-Horní Počernice, 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.

Etický kodex

Časopis Hutnické listy se při svém vydávání řídí etickým kodexem, který stanovuje pravidla pro publikaci příspěvků. To se týká jak posuzování autorských příspěvků, tak následného recenzního řízení. Jeho zněním jsou povinni se řídit autoři, recenzenti i redakce. (Celé znění etického kodexu je zveřejněno na www.hutnickelisty.cz)

© OCELOT s.r.o., 2021

Časopis je zařazen do databáze recenzovaných časopisů Publons.

The publisher uses the so-called Delayed Open Access. For a period of 12 months from the publication of the current issue, the publisher publishes abstracts of individual articles (in Czech or Slovak and English versions) on the journal website. Full texts of articles are published on the website after 12 months of their publication.

The journal is published 3 times a year. Price of a single issue is CZK 200 without VAT. Net price of basic annual subscription (printed edition) is CZK 1190, 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.

Ethical code

The learned journal Hutnické listy (Metallurgical journal) is governed by an ethical code that sets out rules for the publication of papers. This concerns both the assessment of author's papers and the subsequent peer-review process. The authors, reviewers and editors are must follow its wording. (The full text of the Ethical code is published at our website www.hutnickelisty.cz)

© OCELOT s.r.o., 2021

The journal is included in the database of peer-reviewed journals Publons.

Obsah / Content

Úvodník / Editorial

Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D. 4

Hlavní články (recenzovaná část) / Principal Papers (Peer-reviewed Part)

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

Chudobová, L.; Tkadlečková, M.; Strouhalová, M.; Cibulka, J.; Sniegoň, M.; Walek, J.; Michalek, K. 5

Stanovení teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm

Determination of Pphase Transformation Temperatures of 20MnCr5 Steel Using Empirical Equations and Thermodynamic Database CompuTherm

doc. Ing. Rudolf Pernis, CSc.; doc. Dr. Ing. Milan Škrobán, CSc. 11

Matematický model deformačních křivek

Mathematical Model of Deformation Curves

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

Ing. Josef Walek; prof. Ing. Karel Michalek, CSc.; doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. 18

Fyzikální modelování technologických parametrů rotační rafinace hliníkové taveniny

Physical Modelling of Technological Parameters of Aluminium Melt Rotary Refining

doc. Ing. Richard Fabík, Ph.D.; Ing. Vít Baranec; Ing. Tomáš Kubina, Ph.D.; Ing. Milan Onderka 29

Návrh a ověření kalibračního plánu důlní výztuže V32 pomocí metody konečných prvků v programu Simufact Forming

Design and verification of a roll pass schedule for a V32 mining support using the finite element method in the Simufact Forming program

Informační články / Informative Articles

EUROPEAN GREEN DEAL

EUROPEAN GREEN DEAL – ZELENÁ DOHODA PRO EVROPU 38

Vodíkovou strategií k snížení emisí skleníkových plynů (1. část) 39

České firmy nesmí kvůli EUROPEAN GREEN DEAL ztratit mezinárodní konkurenceschopnost 42

EUROPEAN GREEN DEAL otevírá nové příležitosti pro inovace a výzkum 45

Green Deal a dopady na průmysl 47

| | |
|---|----------|
| <i>Janusz Szkuta, MBA.</i> Hutnictví čeká nelehká cesta k uhlíkové neutralitě | 49 |
| <i>Ing. Filip Hájek; Ing. Vladimír Toman</i> Další významné snížení uhlíkové stopy bude pro evropský průmysl historicky těžkou zkouškou Another Significant Reduction of the Carbon Footprint Will Be a Historically Difficult Test for European Industry | 51 |
| Zprávy z Ocelářské unie a.s. Praha / Information of Steel Union a.s. Praha <i>Jiří Dufek</i> Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021 | 54 |
| Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Information on Activities of Companies, Institutions and Research Working Sites Nový unikátní výzkum zjistí zdroje škodlivin | 58 |
| Ze života škol / Information on Activities of Universities Úspěchy studentů z Ostravy na konferenci Metalurgia 2021 | 59 |
| Z odborných společností / From professional companies <i>Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.; Bc. Jarmila Malá; Mgr. František Urbánek</i> Česká slévárenská společnost, z.s. (vznik, vývoj, současnost, budoucnost) část první: období od roku 1923 do roku 1990 | 60 |
| Historie hutnictví / History of Metallurgy <i>Ing. Ladislav Jílek, CSc.; Ing. Jan Počta, CSc.</i> Umělecké kovářství – výkovky z jednoho nebo více kusů | 63 |
| Společenská kronika / Social Chronicle Život s vůní oceli aneb RNDr. Jaroslav Raab slaví 80 let Odešel prof. Ing. Miroslav Tvrđý, DrSc. | 68 69 |
| Představujeme vám <i>Mgr. Šárka Seidlerová</i> Viktor Mácha: „Nic krásnějšího, než vysoká pec zalitá září žhavého železa zkrátka neexistuje“ | 70 |
| Obsah Hutnických listů 2020 / Content of the Metallurgical Journal 2020 | 72 |
| Humor s hutní tematikou | 76 |
| Inzerce | |
| • TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. • Kovárna VIVA a.s. • METALURGIA S.A. | |

Editorial

Vážení čtenáři, dostává se Vám do rukou první číslo časopisu Hutnické listy v letošním roce. Plníme tak svůj slib, že letos vydáme tři čísla.

Dovolte mi, abych se vyjádřil k vydávání Hutnických listů. V první řadě bych Vás chtěl informovat o problematice zařazení Hutnických listů do mezinárodní databáze citovaných časopisů, je to pro nás prioritní cíl, který se snažíme naplnit už několik let. V loňském roce jsme obdrželi ze SCOPUSU negativní odpověď s tím, že nesplňujeme podmínky k zařazení. Jedná se hlavně o problematiku publikování recenzovaných výzkumných a vědeckých odborných článků, při jejichž zpracování se autoři opírají o poznatky jiných vědců a řešitelů v dané oblasti. Spolupracovnice časopisu doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. z Fakulty materiálově-technologické Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava absolvovala školení databáze WOS, kde se dozvěděla, že podmínky k zařazení do této databáze jsou podobné jako u SCOPUSU. Největším zádrhelem je požadavek publikování maxima článků ze zahraničí, abychom se neprofilovali jako regionální časopis. A ocitáme se v začarovaném kruhu... Vysoké školy, Akademie věd ČR, podnikové výzkumné ústavy a další společnosti, které splňují definici výzkumné organizace, odmítají publikovat v Hutnických listech, protože nejsou zařazeny do databáze s vysokou citovaností. Navíc jsou za to ještě sankcionovány a mají nulový přínos z hlediska hodnocení výzkumných organizací v České republice. Bohužel je tak nastaven celý systém. Po několikáté si pokládám tytéž otázky: Kde mají výzkumníci publikovat nové poznatky a seznamovat tak s nimi odbornou veřejnost? Budou číst zahraniční časopisy s vysokou citovaností? Další možnost požádat o zařazení Hutnických listů do databáze SCOPUS máme v srpnu roku 2022. Situaci se budeme průběžně zabývat, zatím ale pokračujeme ve vydávání v podobném duchu jako vloni.

V současné době intenzivně řešíme dvě oblasti. První se týká zajištění dostatečného množství článků a informací z oblasti výzkumu a vývoje na vysokých školách a v podnicích a o zajímavostech z dění v těchto subjektech. Druhou oblastí jsou pro vydávání tolik nepostradatelné finance. Proto se snažíme co nejvíce omezit výdaje spojené s vydáváním časopisu a získávat zdroje z reklamy. To je ale v současné době, kdy v oblasti hutního průmyslu a strojírenství trvá složitá situace spojená s nárůstem cen vstupních surovin, však nesmírně obtížné.

V letošním roce nově zařazujeme do Hutnických listů příspěvky, které se týkají problematiky EUROPEAN GREEN DEAL, česky řečeno „Bezuhlíková Evropa“. První zajímavé články z této oblasti přinášíme už v tomto čísle a budeme rádi, když se do této diskuse zapojíte. Na některé podniky českého průmyslu, hutě z toho nevyjímaje, bude mít EUROPEAN GREEN DEAL výrazný dopad, neboť řešení této situace bude nesmírně složité a určitě i investičně velmi náročné.

Závěrem Vás chci požádat o pomoc a spolupráci s vydáváním časopisu, který má více než sedmdesátiletou tradici. Pomoci můžete nejen finančně, ale také svými příspěvky, názory a podněty. Budu rád, když mi napíšete na adresu: jaroslav.pindor@email.cz.

Přeji Vám pevné zdraví a dostatek nezbytné energie v této nelehké době.

Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.

jednatel společnosti OCELOT s.r.o., vydavatele Hutnických listů

Recenzované vědecké články

Stanovení teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm

Determination of Phase Transformation Temperatures of 20MnCr5 Steel Using Empirical Equations and Thermodynamic Database CompuTherm

Ing. Lucie Chudobová¹; doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.¹; Ing. Michaela Strouhalová¹; Ing. Jiří Cibulka²; Ing. Michal Sniegoň¹; Ing. Josef Walek¹; prof. Ing. Karel Michalek, CSc.¹

¹ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

² TRINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Česká republika

Hlavním cílem práce je analýza teplot fázových transformací oceli 20MnCr5. K výpočtům požadovaných teplot, tzn. teploty likvidu T_L , teploty solidu T_S a teploty počátku rozpadu austenitu Ac_3 a konce rozpadu austenitu Ac_1 bylo použito empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm. Vypočítané teploty jsou dále použity k návrhu regresních rovnic pro výpočet daných teplot. Ze získaných výsledků je zřejmé, že chemické složení oceli má na změny hodnot vypočítaných teplot značný vliv. Výsledné teploty se také liší v závislosti na použitém způsobu výpočtu. Průměrná teplota likvidu pro průměrný obsah prvků v mezích dané jakosti při jejím výpočtu za pomoci empirických rovnic byla 1509 °C a při výpočtu v termodynamické databázi CompuTherm činila 1508 °C. Teplotní rozdíl je tedy 1 °C. Průměrná teplota solidu pro průměrný obsah prvků v mezích daného druhu oceli při výpočtu pomocí termodynamických rovnic byla 1456 °C a při výpočtu v termodynamické databázi CompuTherm dosahovala tato teplota hodnoty 1444 °C. Teplotní rozdíl činí 12 °C.

Klíčová slova: ocel; fáze; teplota likvidu; teplota solidu; austenit

The main goal of this work is the analysis of phase transformation temperatures of 20MnCr5 steel (it is a case-hardening steel with the addition of manganese and chromium). For calculations of required temperatures, i.e. liquidus temperature (T_L), solidus temperature (T_S) and austenite decomposition (Ac_3) and final (Ac_1) temperatures the empirical equations and CompuTherm thermodynamic database were used. The calculated temperatures are further used to design regression equations to calculate the given temperatures. From the obtained results it is clear that the chemical composition of steel has a significant effect on changes in the values of calculated temperatures. Temperatures also vary depending on the calculation method used. The liquidus temperature for the average content of elements within the limits of the given quality in the calculation using the CompuTherm database is 1508°C while using empirical equations the liquidus temperature was on average 1509°C. The temperature difference is therefore 1°C. The solidus temperature for the average content of elements within the given quality in the calculation using the CompuTherm database (excluding the calculation using the Scheil microsegregation model, which proved unsuitable for calculating the solidus temperature) is 1444°C, using empirical equations the solidus temperature averaged at 1456°C. The temperature difference is therefore 12°C. Regression equations stated in the work (1 - 4) are determined by regression analysis of 66 possible variants of chemical composition of steel 20MnCr5 and phase transformation temperatures determined for defined chemical compositions by thermodynamic database CompuTherm. These equations can be used in operational practice for calculations of phase transformations in the limit values of the used chemical composition of a given steel grade. When using a different range of chemical composition, these equations can be used, but without guaranteed results.

Key words: steel; phase; liquidus temperature; solidus temperature; austenite

Ocel mění při různých teplotách svou fázi. Teploty, při kterých dochází ke změně skupenství, označujeme jako tzv. teploty fázových transformací. Mezi nejdůležitější

teploty fázových transformací oceli řadíme teplotu likvidu T_L (neboli teplotu tání) a teplotu solidu T_S (neboli teplotu tuhnutí). Teplotní pásmo mezi teplotou likvidu a teplotou

solidu určuje tzv. dvoufázovou oblast, kdy se mění tekutá fáze na tuhou fázi. Mezi další významné teploty patří teplota rozpadu austenitu.

Znalost teplot fázových transformací oceli je velice důležitá ať už při její výrobě nebo tepelném zpracování. Určení teploty likvidu oceli umožňuje stanovit správné nastavení lící teploty oceli nebo optimalizovat nastavení metalurgických procesů. Znalost rozpětí teplot mezi teplotou likvidu a teplotou solidu umožňuje predikci sklonu oceli k vnitřním vadám. Teplota rozpadu austenitu je důležitá z pohledu dalšího tepelného zpracování oceli. Všechny tyto aspekty vedou ke zlepšení jakosti vyráběné oceli, což je při neustále se zvyšujícím tlaku zákazníků na kvalitu vyráběné oceli velmi důležité [1, 2].

Teplotu fázových transformací ovlivňuje chemické složení taveniny oceli. Většina prvků tyto teploty snižuje. Teplotu rozpadu austenitu však mohou některé prvky naopak zvyšovat.

K určení teplot fázových transformací lze využít metody termické analýzy, dilatometrii nebo výpočtové metody (pomocí empiricky stanovených rovnic nebo softwaru). Výsledky získané po provedení výpočtového stanovení teplot fázových transformací oceli by měly být ověřeny i experimentálními metodami [1, 2].

Hlavním cílem příspěvku je stanovení teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm a návrh regresních rovnic pro výpočet daných teplot.

1. Charakteristika oceli 20MnCr5

Ocel 20MnCr5 je cementační ocel s přísadkou manganu a chromu, někdy bývá navíc modifikována určitým přísadkou boru. Je dobře kalitelná a po cementaci dosahuje dobré odolnosti proti opotřebení v důsledku vysoké povrchové tvrdosti. Používá se pro nejrůznější aplikace v převodech v rotačních strojích. Typické aplikace jsou těla ventilů, čerpadla a armatury, šrouby, ozubená kola, součástky obráběcích strojů, hřídele a jiné strojní díly [3, 4]. Chemické složení oceli použité k výpočtům je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli 20MnCr5 použité k výpočtům [3, 4]
Tab. 1 Chemical composition of analyzed steel grade 20MnCr5

| | Chemické složení oceli 20MnCr5 [hm. %] | | | | | | |
|---------|--|--------|-------------|---------|---------|-------------|--------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Cu |
| Rozmezí | 0,17 - 0,22 | ≤ 0,40 | 1,10 - 1,40 | ≤ 0,035 | ≤ 0,035 | 1,00 - 1,30 | ≤ 0,40 |
| min. | 0,17 | 0,09 | 1,10 | 0,009 | 0,009 | 1,00 | 0,09 |
| prům. | 0,20 | 0,20 | 1,25 | 0,018 | 0,018 | 1,15 | 0,20 |
| max. | 0,22 | 0,40 | 1,40 | 0,035 | 0,035 | 1,30 | 0,40 |

2. Výpočet teplot likvidu a solidu za pomoci empirických rovnic

Empirické rovnice jsou většinou odvozeny pomocí regresní analýzy z laboratorně naměřených údajů pro konkrétní druh oceli. Proto takto stanovená rovnice poskytuje dobré výsledky jen pro studovanou ocel. V případě změny chemického složení oceli nemusí

regresní rovnice poskytnout věrohodný výpočet teploty likvidu v požadované přesnosti. Dalším problémem může být jednoduchá forma rovnic, které jsou často lineárními funkcemi složení, a tedy použitelné pouze na slitiny s méně rozmanitým chemickým složením [1].

2.1 Výpočet teplot likvidu

Empirických rovnic pro výpočet teplot likvidu existuje mnoho (od více různých autorů). V práci [5] jsou uvedeny rovnice použité k našim výpočtům a v tab. 2 jsou uvedeny teploty likvidu stanovené za pomoci těchto empirických rovnic.

Tab. 2 Teploty likvidu vypočítané za pomoci empirických rovnic
Tab. 2 Liquidus temperatures determined using empirical equations

| Empirické rovnice | Vypočítané teploty likvidu pro ocel 20MnCr5 [°C] | | | |
|-------------------|--|--------------------|-------------------|--|
| | T_L (min. hm.%) | T_L (prům. hm.%) | T_L (max. hm.%) | ΔT_L (min. hm.%) - (max. hm.%) |
| T. Myslivec | 1518 | 1511 | 1504 | 14 |
| L. Šmaha | 1515 | 1507 | 1501 | 14 |
| CLESIM | 1513 | 1505 | 1499 | 14 |
| TECTIP | 1514 | 1507 | 1502 | 12 |
| W. Dubovick | 1517 | 1510 | 1503 | 12 |
| J. P. Avinard | 1516 | 1508 | 1502 | 14 |
| W. Roeser | 1521 | 1514 | 1509 | 12 |
| Vest Alpine | 1515 | 1508 | 1503 | 12 |
| VSŽ Košice | 1518 | 1507 | 1501 | 17 |

Z výsledků uvedených v tab. 2 je patrné, že chemické složení oceli má na teplotu likvidu oceli 20MnCr5 značný vliv. Rozdíl této teploty při minimálním a maximálním obsahu přítomných prvků (viz obsahy v tab. 1) může být v našem případě až 17 °C (v případě výpočtu za pomoci rovnic VSŽ Košice).

Je zde také vidět rozdíl mezi vypočítanými teplotami likvidu na základě použité empirické rovnice, který může dosahovat až 10 °C (v případě maximálního možného chemického složení). Tyto rozdíly způsobuje fakt, že každý z autorů ve své rovnici zohledňuje vliv jiných prvků a používá jejich různé násobky. Proto je pro přesnější stanovení teplot likvidu pro použití v praxi doporučováno tyto hodnoty ověřit i za pomoci dostupné termodynamické databáze a experimentálního měření.

2.2 Výpočet teplot solidu

Empirických rovnic pro výpočet teplot solidu existuje (stejně jako u výpočtu teploty likvidu) více druhů (od různých autorů). Avšak na rozdíl od stanovení rovnic pro výpočet teplot likvidu je stanovení empirických rovnic pro výpočet teplot solidu velmi obtížné, a to z důvodu nerovnovážných podmínek při ohřevu nebo ochlazování. V práci [6] jsou uvedeny rov. (11) až (15) použité k našim výpočtům. V tab. 3 jsou uvedeny teploty stanovené solidu za pomoci empirických rovnic.

Tab. 3 Teploty solidu vypočítané za pomoci empirických rovnic
Tab. 3 Solidus temperatures determined using empirical equations

| Empirické rovnice | Vypočítané teploty solidu pro ocel 20MnCr5 [°C] | | | |
|-------------------|---|--------------------|-------------------|--|
| | T_S (min. hm.%) | T_S (prům. hm.%) | T_S (max. hm.%) | ΔT_S (min. hm.%) - (max. hm.%) |
| (11) | 1492 | 1477 | 1464 | 28 |
| (12) | 1457 | 1435 | 1418 | 39 |
| (13) | 1484 | 1467 | 1453 | 31 |
| (14) | 1499 | 1467 | 1438 | 61 |
| (15) | 1458 | 1436 | 1419 | 39 |

Z výsledků v tab. 3 je vidět značný rozdíl mezi teplotami solidu vypočítanými podle použité empirické rovnice. Teplotní rozdíl může mezi maximální a minimální hodnotou T_S při minimálním zastoupení prvků dané jakosti činit až 42 °C, resp. až 46 °C při maximálním možném zastoupení prvků pro zvolené chemické složení oceli.

Je tedy zřejmé, že výsledky těchto výpočtů není možné využít. Proto je nutné použít jiný způsob stanovení teploty solidu, která hraje roli při nastavení podmínek ochlazování oceli, a tedy velikosti objemových vad v předlitcích či ingotech, nebo též při stanovení nulové pevnosti oceli, jejíž znalost je důležitá pro volbu podmínek tváření.

3. Výpočet teplot likvidu a teplot solidu za pomoci termodynamické databáze CompuTherm

Pro výpočet požadovaných teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 bylo využito termodynamické databáze CompuTherm (verze 13.5.5), která je součástí softwaru ProCAST (verze 2018.0) dostupného na katedře metalurgie a slévárnictví Fakulty materiálů-technologické VŠB – TU Ostrava.

Tento program umožňuje po zadání chemického složení oceli vypočítat termofyzikální vlastnosti oceli a popřípadě sledovat změny požadovaných vlastností po úpravě chemického složení. Mezi vypočítatelné parametry patří teplota likvidu, teplota solidu, teploty rozpadu austenitu, hustota, entalpie, viskozita nebo tepelná vodivost v závislosti na teplotě. Výpočet lze provést pro kovové materiály na bázi Al, Fe, Ni, Ti, Mg nebo Cu.

U oceli se používá výpočet na bázi Fe, kde je možné dále definovat obsah těchto prvků: Al, B, C, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, S, Si, Ti, V, W [5, 7].

Výpočty v CompuThermu jsou uskutečňovány třemi různými mikrosegregačními modely Scheil, Lever a Back Diffusion. Model Scheil neuvažuje s difuzí v pevné fázi, naproti tomu model Lever počítá s velmi dobrou difuzí v pevné fázi. Oba tyto modely předpokládají buď úplné míchání, nebo nekonečnou difuzi v kapalině. Model Back Diffusion je definován rychlostí chlazení. Použitím různých metod výpočtu pro stejnou slitinu můžeme dostat odlišné termofyzikální vlastnosti. Při výpočtech za pomoci modelu Lever se předpokládá změna tuhé fáze austenitu na ferit. Modely Scheil a Back Diffusion s touto změnou nepočítají, a proto nejsou příliš vhodné pro výpočet teploty likvidu a solidu oceli [5, 7].

3.1 Výpočet teplot likvidu

V tab. 4 jsou uvedeny teploty likvidu stanovené za pomoci termodynamické databáze CompuTherm.

Jak je z tab. 4 patrné, teploty likvidu se při použití různých modelů jen velmi málo liší (maximálně o 1 °C), a všechny tři mikrosegregační modely jsou tedy pro její výpočet vhodné.

Tab. 4 Teploty likvidu vypočítané za pomoci databáze CompuTherm
Tab. 4 Liquids temperatures determined using CompuTherm database

| Vypočítané teploty likvidu pro ocel 20MnCr5 [°C] | | | | |
|--|----------------------|-----------------------|----------------------|---|
| CompuTherm | T_L (min. hm.%) | T_L (prům. hm.%) | T_L (max. hm.%) | ΔT_L (min. hm.%) - (max. hm.%) |
| Scheil | 1517 | 1508 | 1500 | 17 |
| Lever | 1516 | 1508 | 1499 | 17 |
| Back Diffusion | 1517 | 1508 | 1500 | 17 |

Teplota likvidu při minimálním obsahu prvků v mezích dané oceli činí cca 1517 °C, při maximálním zastoupení prvků v dané oceli klesá teplota likvidu na 1500 °C. Při použití empirických rovnic činila teplota likvidu průměrně 1516 °C, resp. 1502 °C. Teplotní rozdíl tedy činí 17 °C.

Pokud by tedy byla daný druh oceli odlévána plynulým způsobem, pak tavební chemické složení bude hrát zásadní roli při volbě lící teploty.

Dále je třeba si na základě získaných výsledků uvědomit, že pokud nemáme k dispozici termodynamickou databázi a ke stanovení teplot likvidu využíváme empirické rovnice dostupné v literárních zdrojích, je vhodné mít k dispozici více rovnic a výsledky zhodnotit jak z pohledu zastoupených prvků v rovnicích, tak i z pohledu druhu oceli, pro které byly empirické rovnice sestaveny. V případě výpočtu zvoleného druhu oceli jsou zprůměrované hodnoty teplot likvidu takřka rovny hodnotám získaným termodynamickým výpočtem, ale pro jiný druh oceli s odlišným chemickým složením nemusí být zprůměrování vhodné. To platí zejména, vezmeme-li v úvahu, že u výpočtu pomocí empirických rovnic činil rozdíl teploty likvidu podle různých rovnic až 10 °C. Z tohoto důvodu je vhodné, aby výpočty byly nejlépe vždy doplněny o experimentální studium teplot fázových transformací. Měření na skutečných vzorcích oceli může odhalit heterogenitu materiálu, a tedy i vliv chemického složení či podmínek ohřevu/ochlazování na skutečnou teplotu likvidu.

3.2 Výpočet teplot solidu

U metody Back Diffusion byla použita rychlost ochlazování 1 K·s⁻¹. V tab. 5 jsou uvedeny teploty solidu stanovené za pomoci termodynamické databáze CompuTherm.

Tab. 5 Teploty solidu vypočítané za pomoci databáze CompuTherm
Tab. 5 Solidus temperatures determined using CompuTherm database

| Vypočítané teploty solidu pro ocel 20MnCr5 [°C] | | | | |
|---|----------------------|-----------------------|----------------------|---|
| CompuTherm | T_S (min. hm.%) | T_S (prům. hm.%) | T_S (max. hm.%) | ΔT_S (min. hm.%) - (max. hm.%) |
| Scheil | 1222 | 1125 | 1099 | 123 |
| Lever | 1458 | 1462 | 1448 | 40 |
| Back Diffusion | 1443 | 1425 | 1415 | 28 |

Z tab. 5 je vidět, že se výsledky při výpočtu teploty solidu v závislosti na použitém modelu velmi liší. Model Scheil není pro výpočet teplot solidu použitelný, což dokazují výrazné rozdíly ve výsledných teplotách ve srovnání s modelem Lever a Back Diffusion.

Model Scheil totiž neuvažuje difuzi v pevné fázi. Naproti tomu model Lever představuje podmínky za rovnovážného stavu a je pro stanovení teplot solidu nejvhodnější. U modelu Back Diffusion je nutná správná volba rychlosti ochlazování, která hraje roli zejména při plynulém odlévání. Rychlost ochlazování na povrchu plynule litého

předlitku se zásadně liší od rychlosti ochlazování v jeho středu. Obvykle se volí rychlost blízká rychlosti ochlazování středu předlitku, případně se volí střední hodnota. Jakou rychlostí je ochlazován střed plynule litého předlitku, lze přibližně stanovit např. pomocí numerického modelování. Při numerické simulaci je však třeba opět definovat termofyzikální vlastnosti oceli, které mohou výsledek do jisté míry zkreslit. Proto primárně nejvhodnější volbou zůstává výpočet pomocí Lever.

Za rovnovážných podmínek činí teplota solidu vypočítaná termodynamickou databází CompuTherm 1488 °C (pro minimální hm.% prvků v železe), resp. 1448 °C (pro maximální hm.% prvků v železe). Pokud doplníme teploty likvidu, které činily 1516 °C, resp. 1499 °C, pak rozsah dvoufázového pásma může kolísat v rozpětí 28 až 51 °C. Při větším rozsahu dvoufázového pásma hrozí u ocelových poloproduktů větší obsah makrosegregací i rozvinutější středová pórovitost.

4. Výpočet teplot počátku a konce rozpadu austenitu za pomoci termodynamické databáze CompuTherm

Austenit γ je jedním z intersticiálních roztoků železo-uhlík. Má mřížku kubickou plošně centrovanou a jeho struktura je tvořena pravidelnými zrní. Vyskytuje se v oceli při vyšších teplotách a vzniká tzv. austenitizací (přeměnou feriticko-cementické struktury) [8].

Při jeho ochlazování mohou vznikat různé fáze nebo strukturní složky. V závislosti na rychlosti ochlazování oceli může vznikat: perlit (nízká rychlost ochlazování), bainit (střední rychlost) nebo martenzit (vysoká rychlost ochlazování). Základem probíhajících přeměn je změna kubické plošně centrované mřížky železa γ na prostorově centrovanou mřížku železa α . Dále dochází také ke snížení obsahu uhlíku a ke vzniku cementitu [8, 9].

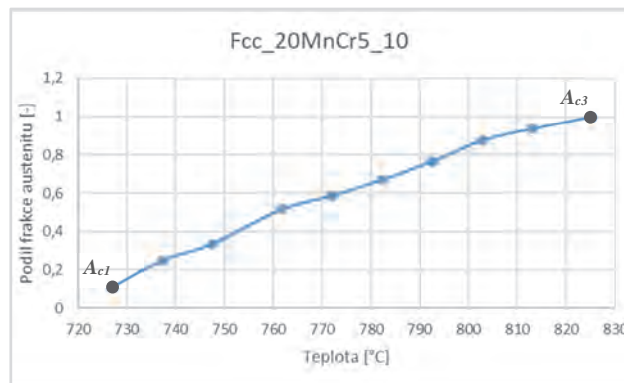
Rozpad austenitu probíhá u podeutektoidních ocelí s obsahem uhlíku 0,02 – 0,765 hm.%, kam patří i ocel 20MnCr5, v intervalu dvou teplot, a to mezi: teplotou počátku rozpadu austenitu A_{c3} a teplotou konce rozpadu austenitu A_{c1} [9].

Teploty A_{c3} a A_{c1} mohou být ovlivněny přítomností jednotlivých prvků v oceli. Prvky Ni, Mn nebo C jsou austenitotvorné, tudíž oblast austenitu rozšiřují, a snižují tak teploty počátku a konce rozpadu austenitu. Naopak prvky, jako je Si, S, P nebo Cu, patří mezi feritotvorné, oblast austenitu zužují, a zvyšují tak teplotu počátku a konce rozpadu. Cr patří rovněž mezi feritotvorné prvky, ale teplotu konce rozpadu austenitu zvyšuje a teplotu počátku rozpadu austenitu naopak snižuje [8].

Na obr. 1 je uveden příklad grafu rozpadu austenitu se znázorněním teplot A_{c3} a A_{c1} pro jednu z variant chemického složení oceli 20MnCr5 vypočítaný pomocí termodynamické databáze CompuTherm.

U dané oceli nabývají průměrné teploty hodnot 806 °C pro A_{c3} a 714 °C pro A_{c1} . Vypočítané teploty kolísají

v závislosti na chemickém složení až o 44 °C (v případě teploty A_{c3}).



Obr. 1 Ukázka grafu rozpadu austenitu (se znázorněním teplot A_{c3} a A_{c1}) získaného výpočtem v termodynamické databázi CompuTherm

Fig. 1 Example of austenite decomposition A_{c3} and final A_{c1} temperatures obtained by calculation in CompuTherm thermodynamic database

5. Stanovení regresních rovnic pro výpočet teplot fázových transformací

Pro stanovení regresních rovnic bylo použito výpočtů v databázi CompuTherm, kdy bylo pro ocel 20MnCr5 vytvořeno 66 různých variant chemického složení. Jedná se o minimální počet kombinací pro zahrnutí všech možností minimálního, průměrného a maximálního obsahu jednotlivých prvků v oceli a pro následné správné provedení regresní analýzy. K výpočtu bylo použito mikrosegregačního modelu Lever. Výsledné teploty likvidu a solidu software určil přímo, teploty počátku a konce rozpadu austenitu byly odečteny z grafu.

Pro zpracování dat metodou vícenásobné regresní analýzy bylo využito tabulkového procesoru Excel, který je součástí balíčku Microsoft Office.

Při výpočtech regrese uvažujeme se standardní hladinou významnosti $\alpha = 0,05$, tzn. 5% nespolehlivost výsledků (neboli 95% spolehlivost). Z výsledku, které tento program poskytne, hodnotíme statistickou významnost regresního modelu jako celku, a to pomocí Fisherova F-testu (Významnost F). Zde je také důležitý parametr Hodnota spolehlivosti R. Dále je hodnocena statistická významnost jednotlivých regresních koeficientů, a to za pomoci výsledků Studentova t-testu (t-Stat), kde je důležitým parametrem hladina významnosti t-testu (Hodnota P) [10].

Za pomoci uvedených testů a při zhodnocení uvedených parametrů lze určit, které aspekty mají na změnu teplot největší vliv a které naopak její hodnotu v podstatě nemění.

5.1 Regresní rovnice teploty likvidu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu likvidu oceli 20MnCr5 z 99,3 % a z 0,97 % ovlivňují teplotu likvidu další vlivy. Regresní koeficienty všech prvků nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P)

nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu likvidy statisticky významnou vlivnost. Největší vliv na teplotu likvidy má v tomto případě křemík. Získaná rovnice pro T_L má tento tvar:

$$T_L = 1537,4 - 16,4 \cdot (\%Si) - 82,8 \cdot (\%C) - 5,1 \cdot (\%Mn) - 3,7 \cdot (\%Cu) - 40,5 \cdot (\%S) - 31,5 \cdot (\%P) - 1,4 \cdot (\%Cr) \quad (1)$$

5.2 Regresní rovnice teploty solidu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu solidu oceli 20MnCr5 z 89,7 % a z 10,3 % ovlivňují teplotu solidu další vlivy. Vyšší podíl vlivu jiných aspektů je u teploty solidu způsoben reakcemi probíhajícími ve dvoufázovém pásmu. Regresní koeficienty prvků Si, S, C, P, a Cu nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P) nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu solidu statisticky významnou vlivnost. Tuto podmínku nesplňují koeficienty prvků Cr a Mn, a tudíž nebude jejich vliv na teplotu solidu nijak zásadní. Získaný vztah pro T_S má tento tvar:

$$T_S = 1515,9 - 29,3 \cdot (\%Si) - 316,2 \cdot (\%S) - 158 \cdot (\%C) - 193,3 \cdot (\%P) - 7,6 \cdot (\%Cu) - 1,7 \cdot (\%Cr) - 1,1 \cdot (\%Mn) \quad (2)$$

5.3 Regresní rovnice teploty počátku rozpadu austenitu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu počátku rozpadu austenitu A_{C_3} oceli 20MnCr5 z 94 % a z 6 % ovlivňují teplotu A_{C_3} další vlivy. Regresní koeficienty prvků C, Mn, Cu, a Cr nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P) nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu A_{C_3} statisticky významnou vlivnost. Tuto podmínku nesplňují koeficienty prvků S, P a Si, a tudíž nebude jejich vliv na teplotu A_{C_3} nijak zásadní. Získaná rovnice pro A_{C_3} má tento tvar:

$$A_{C_3} = 894,3 - 257,5 \cdot (\%C) - 27,8 \cdot (\%Mn) - 19,4 \cdot (\%Cu) - 9,3 \cdot (\%Cr) + 25,7 \cdot (\%S) + 164,3 \cdot (\%P) + 34,9 \cdot (\%Si) \quad (3)$$

5.4 Regresní rovnice teploty konce rozpadu austenitu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu konce rozpadu austenitu A_{C_1} oceli 20MnCr5 z 90,9 % a z 9,1 % ovlivňují teplotu A_{C_1} další vlivy. Regresní koeficienty prvků Mn, Cu, a C nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P) nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu A_{C_1} statisticky významnou vlivnost. Tuto podmínku nesplňují koeficienty prvků P, S, Si, a Cr, a tudíž nebude jejich vliv na teplotu A_{C_1} nijak zásadní. Získaný vztah pro A_{C_1} má tento tvar:

$$A_{C_1} = 728,6 - 34,6 \cdot (\%Mn) - 10,7 \cdot (\%Cu) - 59 \cdot (\%C) + 6,4 \cdot (\%P) + 89,4 \cdot (\%S) + 11,7 \cdot (\%Si) + 32,8 \cdot (\%Cr) \quad (4)$$

Závěr

V práci jsou uvedeny vypočítané teploty likvidy, solidu a teploty počátku a konce rozpadu austenitu pro ocel 20MnCr5. Tyto teploty jsou vypočítány za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že při výpočtu jednotlivých teplot při použití empirických rovnic má chemické složení na změny hodnot daných teplot značný vliv.

Rovněž se výsledné teploty liší v závislosti na použitém způsobu výpočtu. Teplota likvidy pro průměrný obsah prvků v mezích dané oceli při výpočtu pomocí databáze CompuTherm činí 1508 °C. Při použití empirických rovnic pak byla teplota likvidy průměrně 1509 °C. Teplotní rozdíl tedy činí 1 °C. Teplota solidu pro průměrný obsah prvků v mezích dané oceli při výpočtu pomocí databáze CompuTherm (při nezahrnutí výpočtu pomocí mikrosegregačního modelu Scheil, který se ukázal jako nevhodný pro výpočet teploty solidu) je 1444 °C. Při použití empirických rovnic měla teplota solidu hodnotu průměrně 1456 °C. Teplotní rozdíl je tedy 12 °C.

Dále jsou v práci uvedeny výsledné regresní rovnice pro výpočet teplot fázových transformací při definovaném chemickém složení. Regresní rovnice byly určeny pomocí regresní analýzy 66 možných variant chemického složení oceli 20MnCr5 s využitím termodynamické databáze CompuTherm. Použití uvedených rovnic pro výpočty u oceli s chemickým složením mimo rozmezí v tab.1 je v zásadě možné. Je však nutno počítat se sníženou přesností, a to tím více, čím větší je odchylka od deklarovaného rozpětí chemického složení oceli 20MnCr5.

Poděkování

Práce vznikla díky projektu CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008399 z finančních fondů EU a ČR poskytovaných „Operačním programem Výzkum, vývoj a vzdělávání, Výzvy 02_17_049 Dlouhodobá mezisektorová spolupráce pro ITI, řídicí orgán: Česká Republika - Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy“. Práce vznikla též za podpory projektu CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002706 FMT VŠB-TUO - Strategický rozvoj doktorských studijních programů a za finanční podpory projektů „Studentské grantové soutěže“ čísel SP2021/39 a SP2021/41, a projektu IRP – RPP (27 RPP-TO - 2 a).

Literatura

- [1] GRÝC, K., SMETANA, B., ŽALUDOVÁ, M. et al. Thermal Analysis of High Temperature Phase Transformations of Steel. *Metalurgija*, 52 (2013) 4, 445-448, ISSN 0543-5846. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/279716988_Thermal_analysis_of_high_temperature_phase_transformations_of_steel
- [2] MIETTINEN, J., HOWE, A. A. Estimation of Liquidus Temperatures for Steels Using Thermodynamic Approach. *Ironmaking & Steelmaking* [online], 287 (2000) 3, 212-227 ISSN 1743-2812. [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/030192300677516>
- [3] Ovako product catalog. *Ovako*. [online] [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://www.ovako.com/globalassets/global-blocks/ovako-product-catalog.pdf>

- [4] 20MnCr5 - Standards. *VIRAT Special Steels*. [online] [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://www.viratsteels.com/20mncr5-steel.html>
- [5] TKADLEČKOVÁ, M., MICHALEK, K. aj. *Základy 3D modelování metalurgických procesů*, 1. vyd. (Studijní opora) Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2013, 100 s. ISBN 978-80-248-3350-7.
- [6] MARTINÍK, O., SMETANA, B., DOBROVSKÁ, J. et al. Prediction and Measurement of Selected Phase Transformation Temperatures of Steels. *Journal of Mining and Metallurgy. Section B: Metallurgy* [online], 53 (2017) 3, 391-398. ISSN 1450-5339. [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-5339/2017/1450-53391700030M.pdf>
- [7] ProCAST 2018. (User's manual). ESI Group.
- [8] SOJKA, J. *Nauka o materiálu I*. (Studijní opora) Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008, 195 s.
- [9] JONŠTA, Z. *Nauka o kovech II*, 2. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2000. 116 s. ISBN 80-7078-958-1.
- [10] Regresní analýza – Statistika II. *k101.unob.cz* [online] [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/regrese1.pdf>

LIBERTY Steel získala první výrobní závod v Polsku

Nová huť, leden 2021, ročník XII, číslo 1, s. 5, 19

Skupina LIBERTY Steel si od insolvenčního správce pronajala do června 2021 jednu z největších polských hutí, Huta Czestochowa. V roli nájemce tak nahradila polskou skupinu napojenou na čínský kapitál, která měla od září 2009 huť v pronájmu, ale nedokázala ji dostat do černých čísel, takže ji insolvenční správce krátce před Vánoci vypověděl smlouvu.

Guptova skupina LIBERTY Steel hodlá huť koupit a v souladu s postupem, který určil soud, připravuje koupi hutí. Podle polských informací nabídla Guptova skupina za huť 222 mil. zlotých (asi 1,3 mld. Kč). Po hospodaření předchozího pronajímatele zůstaly dluhy ve výši asi 100 mil. zlotých (asi 600 mil. Kč). Gupta usiloval o koupi hutí již v roce 2019.

Huta Czestochowa je výrobce tlustých plechů používaných typicky pro výrobu nádrží a kotlů, s výrobní kapacitou 1,2 mil. tun/r. a je tak konkurentem podniku Vítkovice Steel, který má stejný sortiment. Má 1200 zaměstnanců. Technologicky je vybavena elektrickou obloukovou pecí s kapacitou 700 kt/r oceli, pracující se šrotem.

Blízká Ostrava hraje důležitou roli při opětovném rozjezdu jihopolské hutě, která od loňského října stála. Podle informací z Polska k obnovení provozu již došlo dodávkou asi 7000 tun kontilitých bram z Liberty Ostrava, ze kterých byly vyválcovány první tlusté plechy z oceli vyrobené v Liberty Ostrava.

Díky tomu, že Huta Czestochowa leží v blízkosti dalších podniků LIBERTY, zejména pak hutě Liberty Ostrava, bude moci využít všech synergií a zkušeností týmů pro prodej, marketing a distribuci napříč Evropou.

Nová laboratoř vysokoteplotních korozních procesů na Fakultě materiálů, metalurgie a recyklace Technické univerzity v Košicích

Od začátku letošního roku využívají studenti Fakulty materiálů, metalurgie a recyklace Technické univerzity v Košicích novou moderní laboratoř vysokoteplotních korozních procesů.

Ve spolupráci s Výzkumně-vývojovým centrem ocelárny Podbrezová, která je výrobcem trubek pro energetický průmysl, a Ústavem materiálů a inženýrství kvality FMFR TUKE byla navržena koncepce zařízení pro vysokoteplotní korozní testy energetických ocelí, které je klíčovým zařízením nové moderní laboratoře.

Vizuál laboratoře tematicky dotvořil a designově podchytil PaedDr. Mgr. art. Boris Vaitovič, ArtD. z Fakulty umění TUKE, který dlouhodobě zastřešuje design FMFR.

Jde o jedinečné zařízení na testování různých typů energetických ocelí v simulovaných podmínkách spalování fosilních paliv a biomasy. Laboratoř zároveň poskytuje další možnosti testování ocelí v různých jiných typech atmosfér při teplotách do 650 °C a dlouhodobých expozičních.

Výstupy LVKP budou tvořit základ doporučení pro výrobce produktů z energetických ocelí, které zajistí vysokou spolehlivost tepelně-energetických zařízení. Zároveň poskytnou relevantní informace pro provozovatele zařízení, které pracují v korozní náročných podmínkách při zvýšených teplotách.

- z tiskové zprávy -

Matematický model deformačných kriviek

Mathematical Model of Deformation Curves

doc. Ing. Rudolf Pernis, CSc.¹; doc. Dr. Ing. Milan Škrobán, CSc.²

¹ Farnet s.r.o, Robotnícka 4334, 017 01 Považská Bystrica, Slovenská republika

² Inoval – Slovenská akadémia vied, Priemyselná 525, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovenská republika

Procesy tvárnenia kovov za tepla si vyžadujú znalosť deformačného odporu. Klasická statická skúška ťahom už nepostačuje, pretože nedáva odpoveď na závislosť deformačného odporu od rýchlosti deformácie. Používané torzné plastometre sú v súčasnej dobe nahrádzané kompresnými plastometrami. Zisťovanie deformačného odporu bolo uskutočnené prostredníctvom kaliaceho dilatometra DIL805A/D, ktorý je doplnený o hydraulickú jednotku. Táto umožňuje kompresné skúšky pri vysokoteplotnom tvárnení. Deformačný mód dovoľuje uskutočniť tvárnenie materiálu za definovaných podmienok. Takýmito podmienkami je hodnota deformácie, deformačná teplota a rýchlosť deformácie. Rýchlosť deformácie je možná v rozsahu 0,001 až 20 s⁻¹. Rozsah teplôt je možné nastaviť od izbovej teploty až do 1500 °C. Ako skúšobný materiál bola použitá BCT oceľ. Experimentálne bol zisťovaný deformačný odpor pre skúšobnú maticu 5 deformačných teplôt (800, 900, 1000, 1100, 1200 °C) x 5 rýchlostí deformácie (0,001; 0,01; 0,1; 1; 10 s⁻¹). Pre vyhodnotenie nameraných dát bol navrhnutý matematický model, ktorý popisuje deformačnú krivku v závislosti na deformácii. Ďalej boli navrhnuté rovnice pre výpočet základného deformačného odporu v závislosti dvoch premenných: stupeň deformácie a teplota deformácie, alebo stupeň deformácie a rýchlosť deformácie. Pre tieto dve závislosti sú uvedené vhodné rovnice a ich grafická vizualizácia. Je navrhnutá výpočtová rovnica pre deformačný odpor, ktorý je funkciou troch nezávisle premenných: stupeň deformácie, teplota deformácie a rýchlosť deformácie.

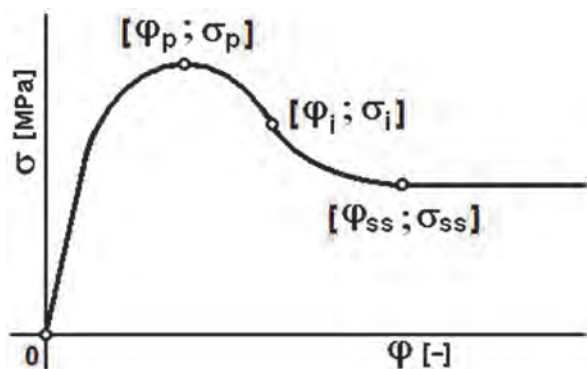
KLúčové slová: bórová oceľ; kompresný test; deformačná krivka; pikové napätie; vysokoteplotná deformácia

Thermoforming processes of metals require knowledge of deformation resistance. A classical static tensile test is no longer sufficient because it does not give dependence of deformation resistance on the deformation rate. The torsion plastometers are currently being replaced by compression plastometers. The deformation resistance was determined using a quenching dilatometer DIL805A / D, which was equipped with a hydraulic unit. This allowed compression tests during high-temperature forming. The deformation mode makes it possible to deform material under defined conditions. Such conditions are strain value, strain temperature and strain rate. It is possible to set a strain rate in the range of 0.001 to 20 s⁻¹. The temperature range can be set from room temperature up to 1500°C. BCT steel was used as the test material. The deformation resistance was experimentally determined for a test matrix of 5 deformation temperatures (800, 900, 1000, 1100, 1200°C) x 5 deformation rates (0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 s⁻¹). To evaluate the measured data, a mathematical model was proposed, which describes the deformation curve depending on the deformation. In addition, the equations were proposed for the calculation of flow stress depending on two variables: deformation and deformation temperature, or deformation and deformation rate. For these two equations, suitable equations and their graphical visualization are given. An equation for the calculation of deformation resistance is proposed, which is a function of three independent variables: deformation, deformation temperature and deformation rate.

Key words: boron steel; compression test; deformation curve; flow stress; high temperature deformation

Pre modelovanie tvárniacich procesov za tepla je potrebné poznať deformačný odpor tvárneného materiálu. Samotné tvárnenie je charakterizované základnými podmienkami tvárnenia, medzi ktoré patrí teplota tvárneného materiálu, veľkosť deformácie, rýchlosť deformácie a deformačný odpor za týchto podmienok. Priebeh deformačného odporu bol zisťovaný prostredníctvom kaliaceho dilatometra DIL805A/D, ktorý je doplnený o hydraulickú jednotkou [1]. Táto umožňuje kompresné skúšky pri vysokoteplotnom tvárnení. Deformačný mód dovoľuje uskutočniť tvárnenie materiálu za definovaných podmienok. Takýmito podmienkami je hodnota deformácie, deformačná teplota a rýchlosť deformácie. Dilatometer umožňuje merať kompresnú silu a tiež merať tejto sile odpovedajúcu zmenu rozmerov skúšobnej vzorky. Zo skutočne name-

ranej sily a skutočne zisteného prierezu vzorky je vypočítané skutočné kompresné napätie (základný deformačný odpor). Táto závislosť umožňuje konštruovať krivky skutočná deformácia – skutočné napätie (true strain – true stress krivky), ktoré nesú označenie ako deformačné krivky [2, 3]. Pre experimentálne zistené deformačné krivky je hľadaný matematický model, ktorý by experimentálne krivky čo najvernejšie popisoval. Priebeh krivky deformačné napätie σ – deformácia φ je uvedený na obr. 1 (True Stress – True Strain diagram). Počiatočná oblasť krivky predstavuje pružnú (elastickú) deformáciu, kde platí Hookov zákon, a túto časť deformačnej krivky tvorí priamka. Odklon krivky od priamky predstavuje pásmo neustáleného plastického toku.



Obr. 1 Charakteristické body na deformačnej krivke
Fig. 1 Characteristic points on the deformation curve

Postupne najprv dochádza k spevňovaniu tvárneho materiálu, až dosiahne krivka maximum a ďalej dochádza k zmäkčovaniu (odpevneniu) [4–6]. Počas kompresnej skúšky za tepla je za definovaných podmienok (geometria vzorky, teplota, rýchlosť deformácie) sledovaný priebeh deformačného napätia v závislosti od deformácie [7, 8]. Na obr. 1 je uvedený typický priebeh tejto krivky. Krivku charakterizuje niekoľko bodov, ktoré sú vyznačené na tejto krivke. Krivka, kde deformačné napätie dosahuje maximálnu hodnotu σ_p , má súradnice $[\varphi_p; \sigma_p]$. Často v literatúre je toto napätie označované ako pikové napätie (Peak Stress) σ_p . Toto napätie je považované za deformačný odpor. Deformácia, pri ktorej je dosiahnuté maximálne napätie, je označovaná φ_p . Súradnice $[\varphi_i; \sigma_i]$ charakterizujú inflexný bod krivky. Poslednú oblasť deformačnej krivky predstavuje pásmo ustáleného plastického toku materiálu. V oblasti ustáleného toku nastáva dynamická rovnováha medzi vznikajúcimi a zanikajúcimi dislokáciami. Počiatok ustáleného stavu deformácie charakterizujú súradnice $[\varphi_{ss}; \sigma_{ss}]$, pričom index *ss* má pôvod v anglickom jazyku (steady state) [9, 10].

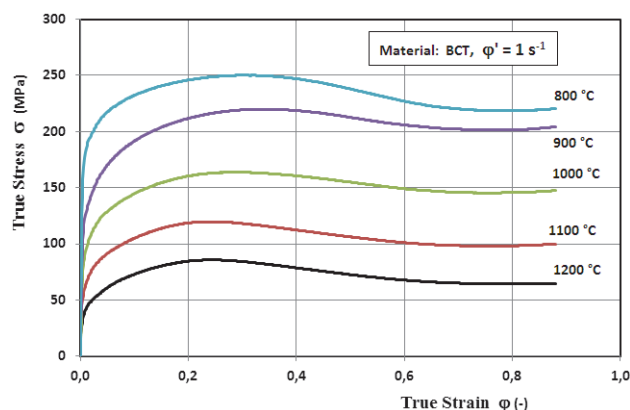
Popis experimentu

Praktické skúšky merania deformačného odporu boli uskutočnené na zariadení Dilatometer DIL805A/D. Skúšobnú vzorku po geometrickej stránke tvorí valec s priemerom $D = 5$ mm a dĺžkou $L = 10$ mm. Rozsah pracovnej teploty t môže byť zvolený v intervale teplôt 20 až 1500 °C. Pre zisťovanie deformačného odporu bola zvolená teplota 800, 900, 1000, 1100 a 1200 °C. Veľkosť (stupeň) deformácie φ môže byť z intervalu 0,05 až 1,2. Rýchlosť deformácie $\dot{\varphi}$ môže byť z intervalu 0,001 až 20 s⁻¹. Pre zisťovanie deformačného odporu bola zvolená rýchlosť deformácie 0,001; 0,01; 0,1; 1 a 10 s⁻¹. Ako skúšobný materiál bola použitá oceľ s prídavkom bóru, pracovne označená ako BCT. Toto označenie charakterizuje oceľ, ktorá nepatrí medzi normalizované značky ocele. Chemické zloženie ocele je uvedené v tab. 1. Časový priebeh merania deformačného odporu je zaznamenávaný v dátovom súbore samostatne pre každú deformačnú krivku. Namerané dáta sú exportované pre ďalšie spracovanie ako grafické, tak aj numerické. Príklad vizualizácie nameraných dát (kriviek) pre rýchlosť deformácie $\dot{\varphi} = 1$ s⁻¹ je uvedený na obr. 2.

Tab. 1 Chemické zloženie ocele BCT (hmot. %)

Tab. 1 Chemical composition of BCT steel (wt.%)

| Prvok | C | Mn | Si | P | Cr | V | Mo |
|-------|------|------|------|-------|------|-------|----------|
| Obsah | 0,12 | 1,60 | 0,45 | 0,013 | 0,04 | 0,002 | 0,02 |
| Prvok | Ni | Nb | Al | S | W | B | Fe |
| Obsah | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,005 | 0,01 | 0,002 | zostatok |



Obr. 2 Deformačné krivky ocele BCT a $\dot{\varphi} = 1$ s⁻¹

Fig. 2 True Strain – True Stress curves for BCT steel and $\dot{\varphi} = 1$ s⁻¹

Matematická definícia kriviek

Matematický model – rovnica napätia σ , ktorá by popisovala deformačnú krivku v závislosti od deformácie φ , pri konštantnej rýchlosti deformácie a konštantnej teplote deformácie, by mala vyhovovať nasledovným požiadavkám:

- prechádza počiatkom súradnicového systému,
- má extrém v podobe maxima pre pikové napätie,
- za maximom prechádza inflexným bodom do ustáleného stavu, bez ďalších oscilácií,
- jednoduchý výpočet regresných koeficientov, ktorý nevyžaduje použitie nelineárnej regresie.

Z geometrického pohľadu deformačná krivka uvedená na obr. 1 v počiatkovej časti je určená priamkou, ktorá rastie a prechádza počiatkom súradnicového systému. Krivka v tretej časti klesá a s postupným poklesom tohto útlmu. Takejto požiadavke vyhovuje exponenciálna funkcia s negatívnou hodnotou argumentu. Tieto čiastkové krivky popisujú nasledujúce rovnice

$$\sigma = \varphi \quad (1)$$

$$\sigma = e^{-\varphi} \quad (2)$$

Súčin týchto dvoch rovníc predstavuje základný matematický model deformačnej krivky

$$\sigma = \varphi e^{-\varphi} \quad (3)$$

Táto rovnica neobsahuje žiadne konštanty, ktoré by pomáhali prispôsobiť popisovanie konkrétnych nameraných dát (konkrétnu krivku). Preto rov. (3) ešte vyžaduje doplnenie na nasledovný tvar

$$\sigma = \sigma_0 \varphi^{a_0} e^{F(\varphi)}, \quad (4)$$

kde: σ – deformačný odpor (MPa)
 σ_0 – materiálová konštanta (MPa)
 φ – logaritmická deformácia (-)
 a_0 – konštanta (-)

$F(\varphi)$ – vhodne zvolená funkcia deformácie

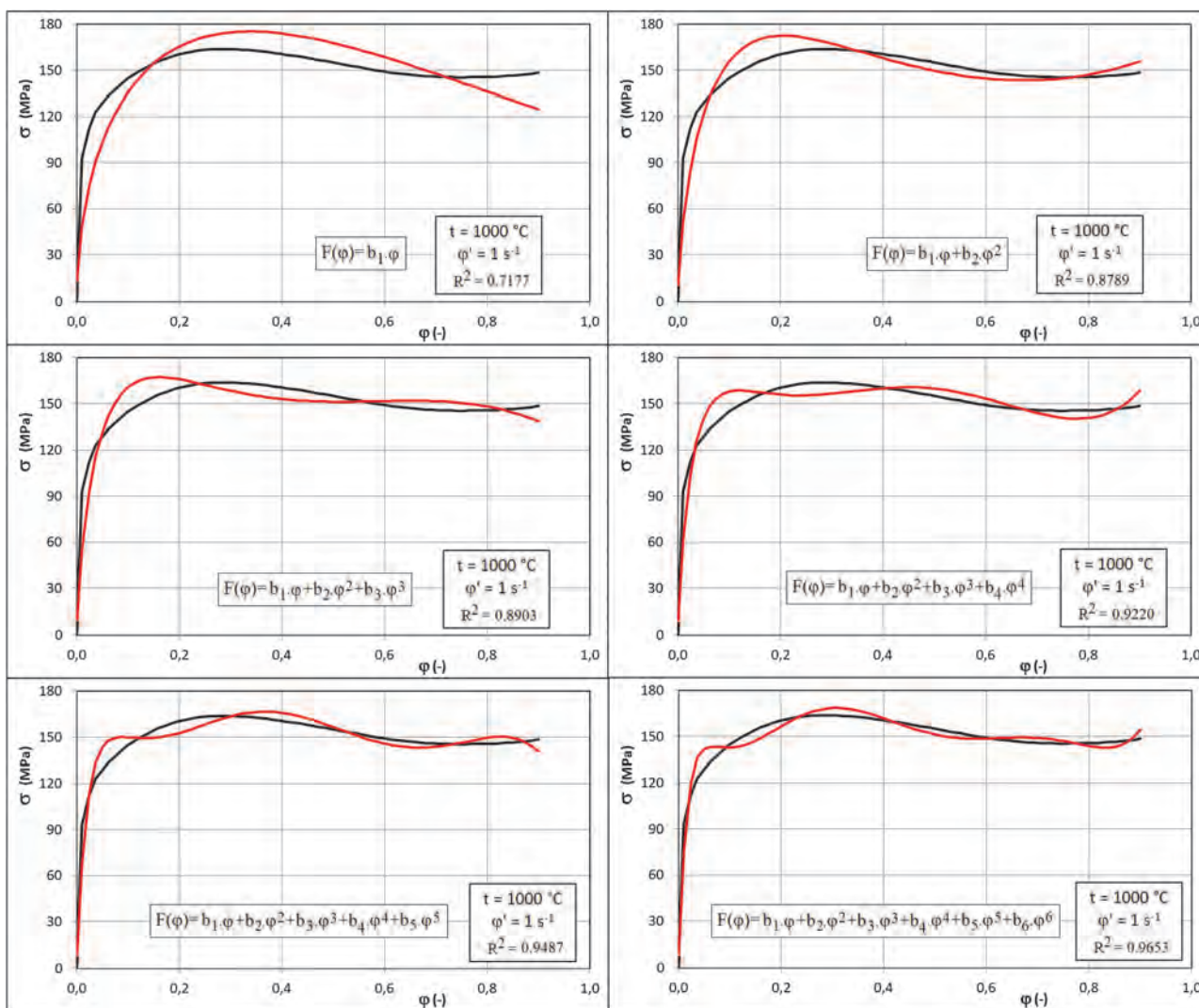
Funkcia $F(\varphi)$ definuje rov. (4) ako otvorený model, ktorý je možné prispôbiť pre potreby popisu nameraných dát. Prvým nápadom bolo použiť rovnicu priamky

$$F(\varphi) = b_1 \varphi \quad (5)$$

Ak by táto funkcia $F(\varphi)$ nevyhovovala, treba použiť polynóm vyššieho stupňa

$$F(\varphi) = b_1 \varphi + b_2 \varphi^2 + b_3 \varphi^3 + b_4 \varphi^4 + b_5 \varphi^5 + b_6 \varphi^6, \quad (6)$$

kde koeficienty b_1 až b_6 sú bezrozmerné konštanty. Vizualizácia rov. (4) s použitou F -funkcie je uvedená na obr. 3. Čierna krivka zobrazuje namerané dáta a červená krivka predstavuje zobrazenie matematického modelu daného rov. (4). Použitie nižšieho stupňa polynómu rov. (6) dáva nízky koeficient korelácie R^2 . Zvyšovanie stupňa polynómu síce zvyšuje koeficient korelácie, ale červená krivka osciluje okolo čiernej krivky nameraných dát. Bolo odskúšaných množstvo rôznych funkcií, a to napr. $\ln(\varphi)$, $\exp(\varphi)$ a iných. To však nevedlo k uspokojivým výsledkom. Riešenie sa našlo v použití jednoduchých racionálnych funkcií.



Obr. 3 Vplyv stupňa polynómu F -funkcie na aproximáciu deformačnej krivky
 Fig. 3 Effect of polynomial function degree of F -function on an approximation of deformation curve

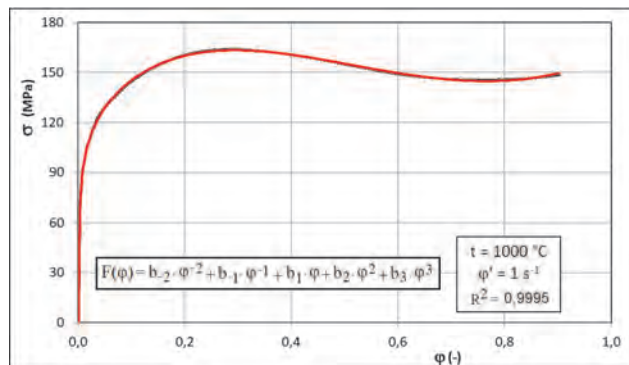
$$F(\varphi) = b_{-2} \varphi^{-2} + b_{-1} \varphi^{-1} + b_1 \varphi + b_2 \varphi^2 + b_3 \varphi^3 \quad (7)$$

V tejto F -funkcii boli použité dva racionálne členy s koeficientami b_{-2} a b_{-1} a tri členy polynómu s koeficientami b_1 , b_2 a b_3 . Výpočet koeficientov deformačnej krivky bol

uskutočnený prostredníctvom všeobecnej lineárnej regrese z linearizovanej rov. (4)

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 + a_0 \ln \varphi + F(\varphi) \quad (8)$$

Pričom za F-funkciu bola dosadená rov. (7). Porovnanie nameranej krivky (čierna farba) s vypočítanou krivkou (červená farba) je uvedené na obr. 4.



Obr. 4 Použitie F-funkcie, rov. (7)
Fig. 4 Use of the F-function, eq. (7)

Tab. 2 Regresné koeficienty červenej krivky na obr. 4
Tab. 2 The regression coefficients of the red curve in Fig. 4

| Materiálová konštanta a koeficient | Merná jednotka | Hodnota |
|------------------------------------|----------------|---------------|
| σ_0 | (MPa) | 205,505 485 |
| a_0 | (-) | 0,160 059 |
| b_{-2} | (-) | -0,000 001 74 |
| b_{-1} | (-) | -0,000 308 |
| b_1 | (-) | 0,483 604 |
| b_2 | (-) | -2,562 027 |
| b_3 | (-) | 1,836 692 |

Vypočítané koeficienty pre červenú krivku sú uvedené v tab. 2. Konštanta σ_0 je materiálová konštanta a nepredstavuje hodnotu pikového napätia. Koeficient korelácie R^2 dosiahol hodnotu 0,9995. Táto hodnota signalizuje, že sa nejedná o koreláciu, ale o funkčnú závislosť. Pikovú deformáciu φ_p hľadáme z rovnice

$$a_0 + \varphi \frac{dF(\varphi)}{d\varphi} = 0 \quad (9)$$

Táto rovnica predstavuje prvú deriváciu napätia podľa deformácie, ktorá je rovná nule, čiže $d\sigma/d\varphi = 0$. V prípade F-funkcie rov. (7) jej derivácia je nasledovná

$$\frac{dF(\varphi)}{d\varphi} = -2b_{-2}\varphi^{-3} - b_{-1}\varphi^{-2} + b_1 + 2b_2\varphi + 3b_3\varphi^2 \quad (10)$$

Analytické riešenie rov. (9) je prakticky nemožné. Preto pripadá v úvahu len možnosť riešiť túto rovnicu numerickým spôsobom. Dobré a rýchlo konverguje k požadovanej presnosti Newtonova metóda. Súradnice inflexného bodu sú počítané z druhej derivácie rov. (4), $\frac{d^2\sigma}{d\varphi^2} = 0$. Pre červenú krivku na obr. 4 boli vypočítané súradnice pikového bodu (súradnice maxima krivky) $[\sigma_p; \varphi_p] = [163.35; 0.294]$. Podobne vypočítané súradnice inflexného bodu $[\sigma_i; \varphi_i] = [154.72; 0.508]$.

Vzniká otázka, či je možné jednou rovnicou popísať funkčnú závislosť deformačného odporu v závislosti na deformácii a teplote tvárnenia pri konštantnej hodnote rýchlosti deformácie. Rov. (4) rozšírime o premennú t – teplota deformácie. Konštantu a_0 nahradíme vhodne zvolenou funkciou teploty $E(t)$ a F-funkciu doplníme o teplotu. Rov. (4) potom nadobudne tvar

$$\sigma = \sigma_0 \varphi^{E(t)} e^{F(\varphi,t)} \quad (11)$$

kde: σ – deformačný odpor (MPa)
 σ_0 – materiálová konštanta (MPa)
 φ – logaritická deformácia (-)
 t – teplota deformácie (°C), prípadne $\ln(t)$
 $E(t)$ – vhodne zvolená funkcia teploty deformácie
 $F(\varphi, t)$ – vhodne zvolená funkcia deformácie a teploty

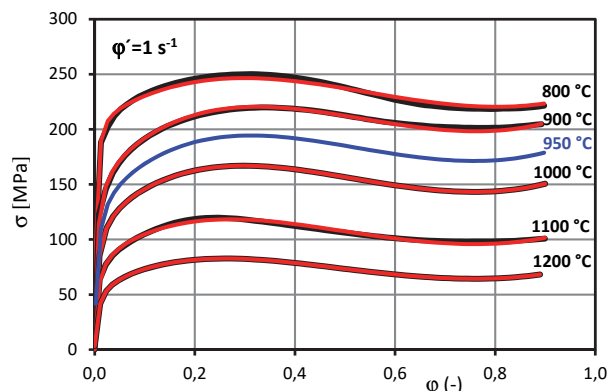
Ako E-funkcia sa osvedčila nasledovná rovnica

$$E(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (12)$$

Konštanty a_0 až a_3 majú rozmer volený tak, aby vykompenzovali rozmer teploty na bezrozmernú hodnotu. F-funkcia je doplnená o premennú t – teplota deformácie

$$F(\varphi, t) = b_1 \varphi^{-3} + b_2 \varphi^{-2} + b_3 \varphi^{-1} + b_4 \varphi + b_5 \varphi^2 + b_6 \varphi^3 + b_7 t + b_8 t^2 + b_9 t^3 + (b_{10} \varphi^{-3} + b_{11} \varphi^{-2} + b_{12} \varphi^{-1} + b_{13} \varphi + b_{14} \varphi^2 + b_{15} \varphi^3) t^{-1} \quad (13)$$

Konštanty b_1 až b_{15} majú rozmer volený tak, aby vykompenzovali rozmer teploty na bezrozmernú hodnotu. Rov. (11) až (13) boli použité na vizualizáciu nameraných a vypočítaných hodnôt ocele BCT pre teploty 800, 900, 1000, 1100 a 1200 °C pri konštantnej rýchlosti deformácie $\varphi' = 1 \text{ s}^{-1}$. Výsledný graf je uvedený na obr. 5.



Obr. 5 Základný deformačný odpor pre teploty 800, 900, 1000, 1100, 1200 °C a predikcia pre 950 °C

Fig. 5 Flow stress for temperatures of 800, 900, 1000, 1100, 1200°C and prediction for 950°C

Čierne krivky predstavujú namerané hodnoty deformačného odporu, červené krivky sú vypočítané z matematického modelu, rov. (11). Pre teplotu 950 °C bola stanovená prognóza deformačnej krivky (modrá krivka). Regresné konštanty $\ln \sigma_0$, a_0 až a_3 , b_1 až b_{15} v semilogaritmickej tvare sú uvedené v tab. 3. Pri výpočtoch sa ukázalo, že je vhodnejšie miesto teploty použiť jej logaritmus $\ln(t)$, čo spôsobilo zvýšenie koeficientu korelácie R^2 , ktorý má hodnotu 0,9990. Rov. (11) platí pre podmienky dvoch

premenných deformácia a teplota, pričom rýchlosť deformácie je parametrom. V ďalšom kroku zameníme postavenie teploty a rýchlosti deformácie.

Tab. 3 Regresné koeficienty pre rov. (11)
Tab. 3 Regression coefficients for eq. (11)

| Materiálová konštanta a koeficient | Hodnota | Materiálová konštanta a koeficient | Hodnota |
|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
| $\ln \sigma_0$ | -5,129 012E+03 | b_6 | 2,507 898E+01 |
| a_0 | -1,994 619E+03 | b_7 | 2,193 670E+03 |
| a_1 | 8,606 358E+02 | b_8 | -3,119 962E+02 |
| a_2 | -1,237 992E+02 | b_9 | 1,476 942E+01 |
| a_3 | 5,937 063E+00 | b_{10} | -2,591 566E-09 |
| b_1 | 3,418 775E-10 | b_{11} | -1,350 746E-05 |
| b_2 | 3,016 637E-06 | b_{12} | 1,733 449E-02 |
| b_3 | -5,500 475E-03 | b_{13} | 5,757 986E+01 |
| b_4 | -6,706 657E+00 | b_{14} | 1,485 438E+02 |
| b_5 | -2,596 444E+01 | b_{15} | -1,530 371E+02 |

Deformačný odpor bude funkciou deformácie a rýchlosti deformácie, pričom teplota bude parametrom. V tomto zmysle uskutočnená modifikácia rov. (11) nadobudne podobu

$$\sigma = \sigma_0 \varphi^{E(\varphi')} e^{F(\varphi, \varphi')}, \quad (14)$$

kde: σ – deformačný odpor (MPa)
 σ_0 – materiálová konštanta (MPa)
 φ – logaritická deformácia (-)
 φ' – rýchlosť deformácie (s^{-1})
 $E(\varphi')$ – vhodne zvolená funkcia rýchlosti deformácie

$F(\varphi, \varphi')$ – vhodne zvolená funkcia deformácie a rýchlosti deformácie

Ako E-funkcia sa osvedčila nasledovná rovnica

$$E(\varphi') = a_0 + a_1 \varphi' + a_2 \varphi'^2 + a_3 \varphi'^3 \quad (15)$$

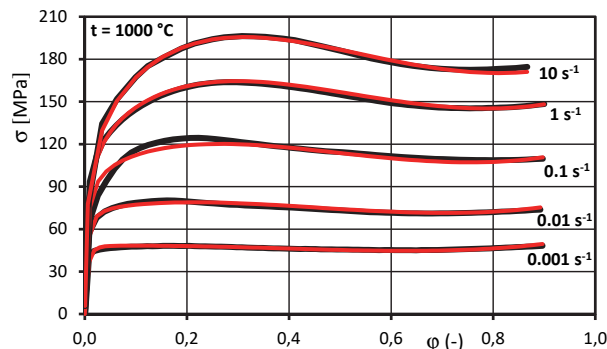
Konštanty a_0 až a_3 majú rozmer zvolený tak, aby vykompenzovali rozmer rýchlosti deformácie na bezrozmernú hodnotu. F-funkcia je doplnená o premennú t – teplota deformácie

$$F(\varphi, \varphi') = b_1 \varphi^{-2} + b_2 \varphi^{-1} + b_3 \varphi + b_4 \varphi^2 + b_5 \varphi^3 + b_6 \varphi' + b_7 \varphi'^2 + b_8 \varphi'^3 + (b_9 \varphi + b_{10} \varphi' \varphi^2 + b_{11} \varphi^{-1} + b_{12} \varphi^{-2} + b_{13} \varphi^{-3}) \varphi' \quad (16)$$

Konštanty b_1 až b_{13} majú rozmer zvolený tak, aby vykompenzovali rozmer rýchlosti deformácie na bezrozmernú hodnotu.

Rov. (14) až (16) boli použité na vizualizáciu nameraných a vypočítaných hodnôt ocele BCT pre rýchlosti deformácie 0,001; 0,01; 0,1; 1 a 10 s^{-1} pri konštantnej teplote deformácie $t = 1000$ °C. Výsledný graf je uvedený na obr. 6. Čierne krivky predstavujú namerané hodnoty a červené krivky sú vypočítané z rov. (14). Regresné konštanty $\ln \sigma_0$, a_0 až a_3 ,

b_1 až b_{13} v semilogaritmickej tvare sú uvedené v tab. 4. Koeficient korelácie R^2 má hodnotu 0,9988.



Obr. 6 Základný deformačný odpor pre rýchlosti deformácie 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10 s^{-1} a teplotu 1000 °C

Fig. 6 Flow stress for strain rate 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 s^{-1} and temperature 1000 °C

Tab. 4 Regresné koeficienty pre rov. (14)
Tab. 4 Regression coefficients for eq. (14)

| Materiálová konštanta a koeficient | Hodnota | Materiálová konštanta a koeficient | Hodnota |
|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
| $\ln \sigma_0$ | 5,313 059E+00 | b_5 | 1,690 137E+00 |
| a_0 | 1,472 435E-01 | b_6 | 1,740 650E-01 |
| a_1 | 3,575 078E-02 | b_7 | -1,558 536E-02 |
| a_2 | -1,535 462E-03 | b_8 | -6,826 992E-04 |
| a_3 | -1,995 963E-04 | b_9 | 2,059 394E-13 |
| b_1 | -2,339 988E-07 | b_{10} | -1,378 337E-07 |
| b_2 | -1,672 499E-03 | b_{11} | 3,812 692E-04 |
| b_3 | 4,859 074E-01 | b_{12} | -7,913 644E-02 |
| b_4 | -2,427 908E+00 | b_{13} | 2,889 782E-03 |

Ešte zostáva možnosť posúdiť kompletnú definíciu deformačného odporu v závislosti na troch premenných: stupeň deformácie, teplota deformácie a rýchlosť deformácie. Toho sa dosiahne zjednotením rov. (11) a (14) do jednej rovnice

$$\sigma = \sigma_0 \varphi^{E(\varphi, t, \varphi')} e^{F(\varphi, t, \varphi')}, \quad (17)$$

kde: σ – deformačný odpor (MPa)
 σ_0 – materiálová konštanta (MPa)
 φ – logaritická deformácia (-)
 t – teplota deformácie (°C)
 φ' – rýchlosť deformácie (s^{-1})
 $E(\varphi, t, \varphi')$, $F(\varphi, t, \varphi')$ – vhodne zvolené funkcie deformácie, teploty deformácie a rýchlosti deformácie

Tento model si vyžaduje vstup všetkých 25 nameraných deformačných kriviek. Uskutočniť matematický výklad a zdokumentovanie aplikácie rov. (17) by zabralo veľa priestoru. Preto tu je ukončený výklad matematického modelu deformačných kriviek. Táto téma by mohla byť námetom na samostatný článok.

Diskusia výsledkov

Dlhú dobu pre hodnotenie a popis vysokoteplotnej deformácie sa používala a používa ešte poloempirická Garofalova rovnica [4]. Jej nevýhoda spočíva v tom, že popisuje len závislosť pikového napätia na teplote a rýchlosti deformácie [11, 12]. Premennú, ako je hodnota deformácie, však neobsahuje. Preto boli navrhované rôzne empirické rovnice [13]. V Garofalovej rovnici vystupujú 4 konštanty. V [14] je uvedený jednoduchý výpočet koeficientov Garofalovej rovnice. Tieto konštanty sa začali nahrádzať funkciami v tvare polynómu, pričom premennou je stupeň deformácie. Používajú sa polynómy 5. stupňa [15] alebo 6. stupňa [16, 17], pričom počet regresných koeficientov dosahuje hodnotu 28. V [18] je použitý polynóm až 9. stupňa so 40 regresnými koeficientmi. Pre výpočet koeficientov týchto polynómov je nevyhnutné použiť nelineárnu regresiu, čo bežne neovláda každý pracovník výskumu, alebo vývoja. Preto bola hľadaná empirická funkcia, ktorá by umožnila matematický popis deformačných kriviek. Navrhnutá rov. (4) pre matematický popis deformačnej krivky sa ukázala ako otvorený model, ktorý je možné modifikovať prostredníctvom definovanej F-funkcie.

Za použitia F-funkcie danej rov. (7) bolo možné dosiahnuť vysoké hodnoty koeficientu korelácie, veľmi blízke hodnote 1. To dokazuje aj graf uvedený na obr. 4, ktorý dokladuje, že sa tu nejedná o korelačnú závislosť, ale priam o funkčnú závislosť.

Ďalšia úvaha bola, ako matematický model základného deformačného odporu rozšíriť na dve nezávislé premenné, pričom tretia premenná bude parametrom. Prvou úvahou bolo použiť dve nezávislé premenné deformáciu a teplotu, pričom rýchlosť deformácie bude parametrom. Tejto úvahe vyhovel rov. (11), ktorá obsahuje F-funkciu pre dve premenné: deformácia a teplota, rov. (13). Ďalej bola doplnená o E-funkciu, ktorá obsahuje jednu premennú a to teplotu deformácie, rov. (12). Z regresných konštánt uvedených v tab. 3 bola stanovená predikcia deformačnej krivky pre teplotu 950 °C, na obr. 5 modrá krivka. Táto krivka je úplne geometricky podobná ostatným krivkám. Obsahuje pikový bod a tiež inflexný bod. Druhou úvahou bolo vytvoriť rovnicu pre dve nezávislé premenné: deformácia a rýchlosť deformácie, pričom teplota bude parametrom. Toto spĺňa rov. (14) s príslušnými funkciami, E-funkcia a F-funkcia. Vizualizácia rov. (14) je uvedená na obr. 6 a regresné koeficienty sú uvedené v tab. 4. Nad očakávanie boli dosiahnuté vysoké koeficienty korelácie pri použití rov. (11) a (14). Je potrebné podotknúť, že všetky vypočítané regresné koeficienty platia len pre rozsah uskutočnených meraní: stupeň deformácie 0 až 0,9, teplota deformácie 800 až 1200 °C a rýchlosť deformácie 0,001 až 10 s⁻¹.

Poslednou úvahou bolo navrhnuť matematický model základného deformačného odporu pre tri nezávislé premenné: deformácia, teplota deformácie a rýchlosť deformácie (predpokladá použiť najviac 23 regresných koeficientov). Túto požiadavku spĺňa rov. (17).

Záver

Zavedenie nového matematického modelu deformačných kriviek umožnilo získať základný deformačný odpor pre tri nezávislé premenné, ako sú deformácia, teplota deformácie a rýchlosť deformácie. Presné stanovenie deformačného odporu umožnilo spresniť simulácie tvárniacich procesov numerickými metódami, ako je FEM. Všetky navrhnuté matematické rovnice pre výpočet základného deformačného odporu sú prostredníctvom logaritmovania linearizovateľné, čo umožňuje využiť všeobecnú lineárnu regresiu pre výpočet regresných koeficientov. Táto metóda podstatne zjednodušuje štatistické spracovanie nameraných dát. Pre všetky výpočty a tvorbu grafov poslúžil Excel. K naprogramovaniu všeobecnej lineárnej regresie bol využitý Visual Basic, ktorý má zabudovaný Excel. Z pohľadu praktického spracovania dát je potrebné prihliadať na hustotu vzorkovania dát pre jednotlivé deformačné krivky, a to zvlášť pri najvyšších a najnižších rýchlostiach deformácie.

Pod'akovanie

Tento článok mohol vzniknúť vďaka tomu, že prof. Ing. Tibor Kvačkej, CSc. z Technickej univerzity v Košiciach, poskytol dostatočné množstvo vzoriek z ocele BCT pre uskutočnenie kompresných skúšok.

Literatúra

- [1] DILATOMETRY, TA Instruments, Hüllhorst, Germany, 2013.
- [2] MIELNIK, E. M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [3] PERNIS, R., KASALA, J., BOŘUTA, J. *Kovové materiály – Metallic Materials*, 48 (2010) 1,41–46.
- [4] GAROFALO, P. *Trans. Met. Soc. of AIME*, 227 (1963) April, 351–355.
- [5] DRASTÍK, F., ELFMARK, J. *Plastometry a tváriteľnosť kovů*. Praha: SNTL, 1977, 392 s.
- [6] ECKERT, M., KRBATA, M., BARENYI, I., MAJERIK, J., DUBEC, A., BOKES, M. *Materials*, 13 (2020) 5585, 1–21. doi:10.3390/ma13235585.
- [7] SELLARS, C. M., TEGART, W. J. *International Metallurgical Review*, 17 (1972), 1–24.
- [8] TALBERT, S. H., AVITZUR, B. *Elementary Mechanics of Plastic Flow in Metal Forming*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [9] SPIGARELLI, S., CABIBBO, N., EVANGELISTA, E., BIDULSKÁ, J. *Journal of Materials Science*, 38 (2003) 1, 81–88.
- [10] KUBINA, T., KLIBER, J., KUNCICKA, L., BERKOVA, M., HORSINKA, J., BORUTA, J. *Metallurgija*, 52 (2013), 325–328.
- [11] BIDULSKÁ, J., POKORNÝ, I., KVAČKAJ, T., BIDULSKÝ, R., ACTIS-GRANDE, M. *High Temperature Materials and Processes*, 28 (2009) 5, 315–321.
- [12] KVAČKAJ, T., KOVÁČOVÁ, A., KOČIŠKO, R. *Acta Physica Polonica A*, 128 (2015) 4, 689–692.
- [13] KVAČKAJ, T., POKORÝ, I., VLADO, M. *Acta Metallurgica Slovaca*, 6 (2000) 3, 242–248.
- [14] PERNIS, R. *Acta Metallurgica Slovaca*, 23 (2017) 4, 319–329. <https://doi.org/10.12776/ams.v23i4.1017>
- [15] KRBAŤA, M., ECKERT, M., KRIŽAN, D., BARÉNYI, I., MIKUŠOVÁ, I. *Metals*, 9 (2019) 10, 1–17, doi:10.3390/met9101125.
- [16] QUAN, G., PAN, J., WANG, X. *Appl. Sci.*, (2016), 6, 66; doi:10.3390/app6030066.

- [17] WEI, G., PENG, X., HADADZADEH, A., MAHMOODKHANI, Y., XIE, W.; YANG, Y., WELLS, M. A. *Mechanics of Materials*, 89 (2015) 241–253.
- [18] QUAN, G., YU, C., LIU, Y., XIA, Y. *The Scientific World Journal*, (2014) 12, <https://doi.org/10.1155/2014/108492>.

Třinecké železárny plánují proinvestovat v roce 2021 1,6 mld. korun

www.trz.cz, Třinec, tisková zpráva 2.2.2021

Před výzvami spojenými se snížením uhlíkové stopy při výrobě železa a oceli stojí v roce 2021 Třinecké železárny. Promítne se to do dalšího rozvoje firmy i do investičních plánů. V roce 2020 investice dosáhly výše 1,4 miliardy korun. Letošní plán investic je sestaven *s ohledem na současnou situaci na trhu, ekonomické výhledy, a také zohledňuje následky pandemie koronaviru.*

Rekonstrukce vysoké pece

Ve druhé polovině srpna začne nejvýznamnější investice letošního roku, která potrvá 70 dnů, rekonstrukce jedné ze dvou vysokých pecí v třinecké huti, vysoké pece č. 6 v celkové výši přesahující 600 milionů korun. Její podstatou je rekonstrukce technologického zařízení, které je v provozu nepřetržitě 22 let a s ohledem na technický stav zařízení vyžaduje rozsáhlou obnovu.

Dojde také k renovaci nístěje pece a dokončí se modernizace posledního ze tří ohřivačů větru, které zajistí energetické úspory. *Snížením spotřeby energie dojde ke snížení emisí CO₂, což je jedním z klíčových cílů rekonstrukce. Instalací nového zařízení pro předehřev spalovacího plynu a vzduchu dojde ke snížení spotřeby topných médií a podstatným energetickým úsporám při výrobě surového železa.*

Modernizace výroby oceli

Třinecké železárny letos také zmodernizují zařízení plynulého odlévání oceli č. 1, kde vymění původní rámy vodicích stolic z roku 1989 a transformují lici proudy na možnost odlévání průměru kontislitku 600 mm. Dva lici proudy s tímto rozměrem už v železárnách fungují od roku 2018. Celkové náklady nepřesáhnou 300 milionů korun.

Průměr 600 mm vyžadují především výrobci součástí pro energetický průmysl nejčastěji pro větrné elektrárny. Strategii TŽ je navyšovat podíl výrobků do ekologických oborů přispívajících ke snížení uhlíkové stopy. Proto bylo rozhodnuto pokračovat v rozšiřování kapacity výroby kontislitků vyšších průměrů. Díky této investici budou Třinecké železárny moci dodávat další materiál pro nové větrné elektrárny, které mohou každoročně ušetřit miliony tun CO₂. Do jednoho takového zařízení dodají TŽ ocel na součástky přibližně v objemu 15 tun. Jde o listová, azimutová a hřídelová ložiska a třecí spojky.

Pokud jediná moderní 2MW větrná elektrárna vyrobí zhruba 4000 MWh/rok, ve srovnání s elektrárnou spalující uhlí se jedná o úsporu ve výši okolo 4000 tun CO₂ za rok. Loni z třinecké huti směřovalo do větrné energetiky přibližně 50 000 tun oceli, což je množství potřebné pro výrobu 3000 větrných elektráren. Díky jejich provozu dochází k roční úspoře o zhruba 12 milionů tun CO₂.

Ekologické investice

V létě TŽ spustí významnou ekologickou investici na zpracování surovin. Jde o odprášení Zařízení pro odběr a zpracování směsi pro výrobu vysokopečního aglomerátu. Nový velkostroj je vybaven systémem odprášení, díky čemuž uniká do ovzduší méně prachu při zpracování surovin pro výrobu surového železa a oceli. Oba projekty hut' financuje společně s prostředky Operačního programu Životní prostředí.

Budoucnost hutnictví a jeho transformace

Hutnictví čelí stejně jako další energeticky náročné obory výzvam spojeným se snížením emisí oxidu uhličitého. Oteplování planety je vnímáno jako závažný problém, na jeho řešení se však musí podílet všichni. Pro výrobu oceli tradičním způsobem to znamená nastartovat zásadní technologické změny, které budou z historického hlediska průlomové.

Firmy ve skupině Moravia Steel – Třinecké železárny budou v letošním roce intenzivně pracovat na aktualizaci strategie výroby oceli s cílem snížení emisí CO₂ v oblasti prvovýroby i energetiky. *Transformace podniku bude velmi náročná, protože se jedná o finančně velmi nákladné projekty a rychlost, s jakou se s ní firmy vypořádají, závisí také na tom, jak efektivní a rychlá bude dotační podpora z Evropské unie.*

Recenzované výzkumné články

Fyzikální modelování technologických parametrů rotační rafinace hliníkové taveniny

Physical Modelling of Technological Parameters of Aluminium Melt Rotary Refining

Ing. Josef Walek; prof. Ing. Karel Michalek, CSc.; doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

Předkládaný článek se zabývá využitím fyzikálního modelování pro studium procesu odplyňování hliníkových tavenin v rafinační pánvi dmýcháním inertního plynu přes otáčející se rotor. Pro účely fyzikálního modelování byl použit model z plexiskla v měřítku 1:1 k provozní pánvi. Součástí fyzikálního modelu byla dutá hřídel, sloužící pro přívod plynů, vybavená rotorem a dvěma vlnolamy. Proces odplyňování taveniny hliníku dmýcháním inertního plynu byl při fyzikálním modelování simulován poklesem rozpuštěného kyslíku v modelové kapalině (vodě). Tento příspěvek je zaměřen na vyhodnocení laboratorních experimentů získaných pomocí metody fyzikálního modelování. Pozornost je zaměřena na posouzení relevantních parametrů procesu odplynění – otáčky rotoru, objemový průtok inertního plynu, vzdálenost rotoru ode dna rafinační pánve a varianta rotoru. Předběžné výsledky fyzikálního modelování ukazují, že optimálních výsledků rafinačního procesu bylo dosaženo při použití rotoru F2A 190.

Klíčová slova: fyzikální modelování; rafinační pánev; dmýchání inertního plynu; odplynění taveniny; rotor

The presented paper deals with the use of physical modelling to study the degassing process of aluminium melts in the refining ladle by blowing inert gas through a rotating impeller. The efficiency of this rotary refining depends on the creation of fine bubbles with a high interphase surface, wide-spread distribution, the residence time of its effect in the melt, and mostly on the wide-spread dispersion of bubbles into the whole volume of the refining ladle. This is most affected by the rotary impeller speeds and the amount of blown inert gas. An equally important parameter is also the geometry of the impeller and its influence on the distribution and dispersion of inert gas bubbles, the formation of vortices and the overall homogenisation of the melt. Optimisation of the degassing process is difficult under operating conditions. Therefore, in laboratory conditions so-called modelling is used, where the original prototype is replaced by a model. In the case of physical modelling, a method is used, in which the real system is replaced by a tangible physical model, which is as close as possible to the behaviour of the real system. The basis of physical modelling consists in the targeted utilisation of the similarities of the processes that take place within the actual device and its model. For physical modelling, a plexiglass model on a scale of 1:1 is used for the operating ladle. Part of the physical model is a hollow shaft used for gas supply equipped with an impeller and also two baffles. The degassing process of aluminium melt by blowing inert gas is simulated at physical modelling by a decrease of dissolved oxygen in the model liquid (water). This paper is aimed at the evaluation of laboratory experiments obtained by the method of physical modelling. Attention is focused on the assessment of relevant parameters for the degassing process – rotary impeller speeds, a volume flow rate of inert gas, the distance of the impeller from the bottom of the refining ladle and impeller variant. The preliminary results of physical modelling show that optimal results of the refining process are achieved by using the F2A 190 impeller. And the results from numerical modelling are also used to verify the results from physical modelling.

Key words: physical modelling; refining ladle; inert gas blowing; degassing of the melt; impeller

Vzhledem k rostoucím požadavkům na kvalitu hliníkových odlitků je stále více kladen důraz na procesy rafinace taveniny odstraněním plynů (vodíku) [1-3], kovových nečistot (sodíku, vápníku, lithia atd.) a nekovových nečistot (oxidů, nitridů, boridů, karbidů atd.) v průběhu zpracování. Nejběžnější provozní technologií pro snižo-

vání obsahu nečistot v roztaveném hliníku představuje metoda dmýchání inertního plynu, tzv. rafinačního plynu, do pánve přes otáčející se rotor [4-6].

Technologie odplynění prostřednictvím inertního plynu je založena na Sievertsově zákoně. Podle Sievertsova zákona

je možné snížit obsah plynu v tavenině snížením jeho parciálního tlaku v bublině inertního plynu. Hlavními optimalizačními parametry jsou otáčky rotoru a množství dmýchaného inertního plynu [7-8]. Účinnost této rafinace založené na míchání lázně závisí na tvorbě jemných bublin s vysokým mezifázovým povrchem, jejich rovnoměrné distribuci, relativně dlouhé době působení v tavenině a většinou na rovnoměrné disperzi bublin v celém objemu rafinační pánve. To je nejvíce ovlivněno právě otáčkami rotoru a množstvím dmýchaného inertního plynu. Neméně důležitým parametrem je také geometrie samotného rotoru a její vliv na distribuci a disperzi bublin inertního plynu, tvorbu vířů a celkovou homogenizaci taveniny [9-11].

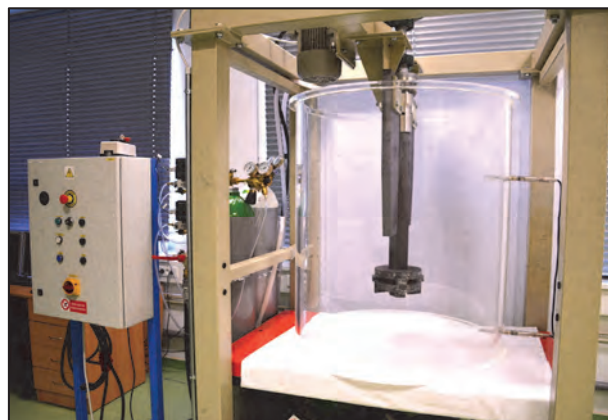
V provozních podmínkách je optimalizace procesu odplynění složitá. Proto se v laboratorních podmínkách využívá tzv. modelování, kde dochází k nahrazení původního díla modelem. Technologie modelování se dělí na dvě základní metody: numerické a fyzikální modelování. Při numerickém modelování je proces nahrazen matematickým modelem tvořeným soustavou parciálních diferenciálních rovnic. V případě fyzikálního modelování se jedná o metodu, při níž se nahrazuje reálný systém hmotným fyzikálním modelem, jenž se svým chováním co nejvíce blíží chování reálného systému. Hlavní podstata fyzikálního modelování spočívá v cíleném využití podobnosti dějů, které probíhají na skutečném zařízení a jeho modelu. Při této metodě má jak dílo, tak model stejnou fyzikální podstatu. Proudění tekutiny v technologickém procesu je tedy modelováno opět prouděním tekutiny v modelu, ale v určitém měřítku délek, rychlostí objemových průtoků, viskozit atd. Podmínkou přenosu výsledků z modelu na dílo je podobnost procesů probíhajících v modelu a díle. Jednou z výhod fyzikálního modelování je možnost vizualizace procesů, které přispívají k pochopení procesů probíhajících v reálných systémech. Z výsledků dosažených na modelu lze predikovat chování reálného systému při různých změnách procesu [12-13].

Cílem tohoto článku je seznámit s hodnocením metodických laboratorních experimentů zaměřených na návrh a testování vyvinutých metod odplynění při fyzikálním modelování.

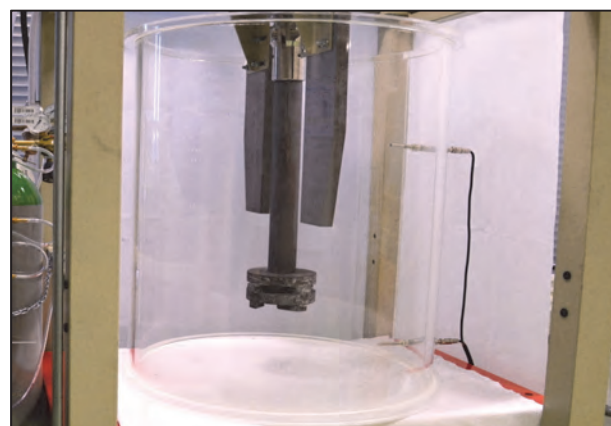
1. Experimentální podmínky fyzikálního modelování

Experimenty zkoumající odplynění taveniny kovu inertním plynem v rafinační pánvi byly prováděny v laboratoři fyzikálního a numerického modelování Katedry metalurgie a slévárství. Tato laboratoř se nachází v prostorách Podnikatelského inkubátoru v komplexu kampusu VŠB-TU Ostrava. Fyzikální model byl vyroben z průhledného organického skla (plexiskla) v geometrickém měřítku 1:1 k provoznímu zařízení pro rafinaci roztaveného hliníku s kelímkem o vnitřním průměru 800 mm. Součástí tohoto fyzikálního modelu byly také dva polohovatelné grafitové vlnolamy, jejichž cílem bylo potlačit nadměrné zvlnění hladiny a tvorbu vířů. Sestava fyzikálního modelu je zobrazena na obr. 1 a obr. 2. Na obr. 3 jsou znázorněna

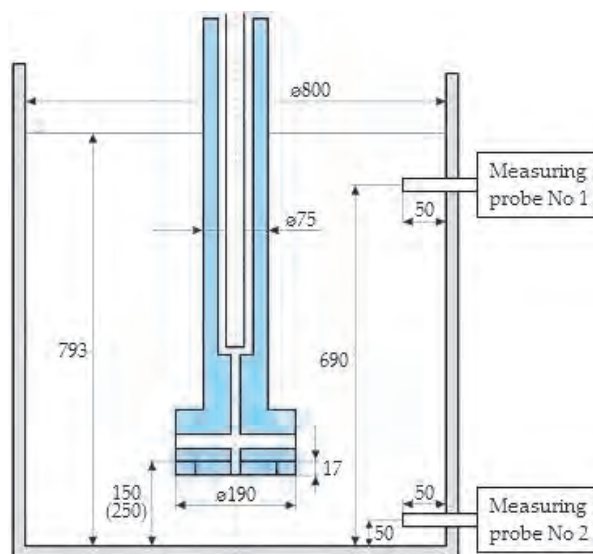
základní rozměrová data modelu včetně umístění měřicích sond.



Obr. 1 Pohled na sestavu fyzikálního modelu s příslušenstvím
Fig. 1 View of the physical model assembly with accessories

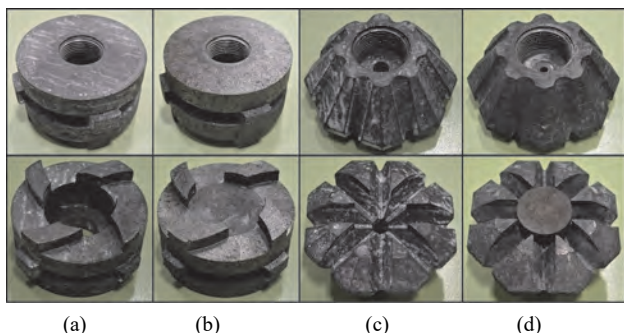


Obr. 2 Fyzikální model rafinační pánve s rotorem a dvěma vlnolamy
Fig. 2 Physical model of a refining ladle with an impeller and two baffles



Obr. 3 Základní rozměrová data fyzikálního modelu s rotorem F2A 190
Fig. 3 Basic dimensional data of physical model with the impeller F2A 190

Pro modelování byly použity čtyři varianty rotorů, označených dále jako F2A 190, F2A-Z 190, J8 190 a J8-ZD 190 (obr. 4). Tyto rotory dodala firma JAP INDUSTRIES, s.r.o.



Obr. 4 Rotory použité pro modelování, pohled shora a zespodu: (a) F2A 190; (b) F2A-Z 190; (c) J8 190; (d) J8-ZD 190

Fig. 4 The impellers used for modelling, top and bottom view: (a) F2A 190; (b) F2A-Z 190; (c) J8 190; (d) J8-ZD 190

Rotor F2A 190 má boční a spodní vyústění dmýchaného plynu, rotor F2A-Z 190 pouze boční vyústění, a to mezi bočními výstupky. Rotor J8 190 má spodní jednootvorové vyústění plynu a rotor J8-ZD 190 v konfiguraci 8 menších výstupných otvorů v boční stěně centrální válcové části.

Fyzikální model byl umístěn na hydraulicky ovládané zvedací plošině, pomocí jejího zdvihu byla nastavena vzdálenost rotoru ode dna rafinační pánve. Regulace otáček rotoru byla řízena pomocí asynchronního motoru napájeného střídavým proudem s proměnlivou frekvencí z inventuru. Součástí modelu byly také tlakové láhve s kyslíkem a argonem. K měření a regulaci průtoku plynů byly použity jehlové regulační ventily, trojcestný ventil a hmotnostní průtokoměry.

Pokles obsahu plynu (vodíku) v tavenině hliníku v průběhu rafinace inertním plynem byl na fyzikálním modelu simulován poklesem obsahu rozpuštěného kyslíku v modelové kapalině (vodě). Hlavní výhodou použití tohoto média spočívá v nízkých nákladech, dobré dostupnosti a v jejich fyzikálních vlastnostech. Dynamickou a kinematickou viskozitu hliníku a vody lze považovat za velmi blízkou. Porovnání základních parametrů hliníku a vody je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Porovnání základních fyzikálních parametrů roztaveného hliníku a vody [1, 12]

Tab. 1 Comparison of basic physical parameters of the molten aluminium and water [1, 12]

| Parametr | Značka | Jednotka | Hliník | Voda |
|-----------------------|----------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Teplota | T | 0 °C | 750 | 20 |
| Hustota | ρ | kg·m ⁻³ | 2345 | 998,5 |
| Dynamická viskozita | η | kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ | 0,00120 | 0,00101 |
| Kinematická viskozita | ν | m ² ·s ⁻¹ | 0,51·10 ⁻⁶ | 1,012·10 ⁻⁶ |
| Povrchové napětí | σ | N·m ⁻¹ | 0,680 | 0,072 |

Laboratorní experimenty byly na základě identity Froudeho kritéria prováděny v souladu s teorií podobnosti

mezi modelem a dílem. Nutné je dodržení zejména geometrické podobnosti díla s modelem a dynamické podobnosti proudění tekutiny v díle a modelu. Před každým experimentem byla voda nasycena plynným kyslíkem na hodnotu 23 ppm (23 mg O₂·l⁻¹) přes otáčející se rotor. Následně byl zahájen samotný experiment při daných otáčkách rotoru a objemovém průtoku argonu. K nepřetržitému měření obsahu kyslíku v modelové lázni (vodě) bylo využito dvou optických fluorescenčních sond. Tyto sondy jsou schopny zaznamenávat obsah rozpuštěného kyslíku do 26 ppm.

Hlavním cílem fyzikálního modelování bylo získat poznatky o vlivu relevantních parametrů rafinace pro odstranění rozpuštěného kyslíku během rafinace (tab. 2). Při experimentech byly cíleně měněny tyto parametry:

- počet otáček rotoru,
- objemový průtok inertního plynu,
- geometrie, tzn. provedení rotoru,
- vzdálenost rotoru ode dna rafinační pánve.

Tab. 2 Přehled experimentálních podmínek fyzikálního modelování procesu rafinace v pánvi

Tab. 2 Overview of experimental conditions for physical modelling of refining process in the ladle

| Varianta rotoru | Vzdálenost rotoru | Objemový průtok argonu | Otáčky rotoru |
|-----------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| | [mm] | [l·min ⁻¹] | [min ⁻¹] |
| F2A 190 | 150, 250 | 10, 15 | 350, 500, 650 |
| F2A-Z 190 | 150 | 10, 15 | 350, 500, 650 |
| J8 190 | 150, 250 | 10, 15 | 350, 500, 650 |
| J8-ZD 190 | 150 | 10, 15 | 350, 500, 650 |

2. Výsledky experimentu

Vyhodnocení experimentů bylo provedeno ve třech fázích. V první fázi byly výsledky porovnány pomocí kombinovaných grafů, ve druhé fázi byly výsledky porovnány na základě doby dosažení bezrozměrové koncentrace v lázni (v tomto případě 0,5 a 0,1) a v poslední, vizualizační fázi byly pořízeny fotografie, kde byla studována velikost bublin a distribuce těchto bublin do objemu rafinační pánve.

2.1 Porovnání výsledků experimentů pomocí kombinovaných grafů

Kombinované grafy představují časovou závislost změny koncentrace kyslíku v průběhu rafinace inertním plynem. Jak již bylo uvedeno, k měření koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě byly použity dvě optické fluorescenční sondy (A1 – horní sonda, A2 – spodní sonda). Při analýze výsledků bylo zjištěno, že průběh změny koncentrace kyslíku snímaných těmito sondami je prakticky identický.

Toto chování se projevilo u všech experimentů. Hlavní příčinou je vysoká míra turbulence, jež způsobuje téměř homogenní koncentrační pole v celém objemu modelu rafinační pánve. Proto byly při dalším hodnocení využívány hodnoty ze spodní sondy A2.

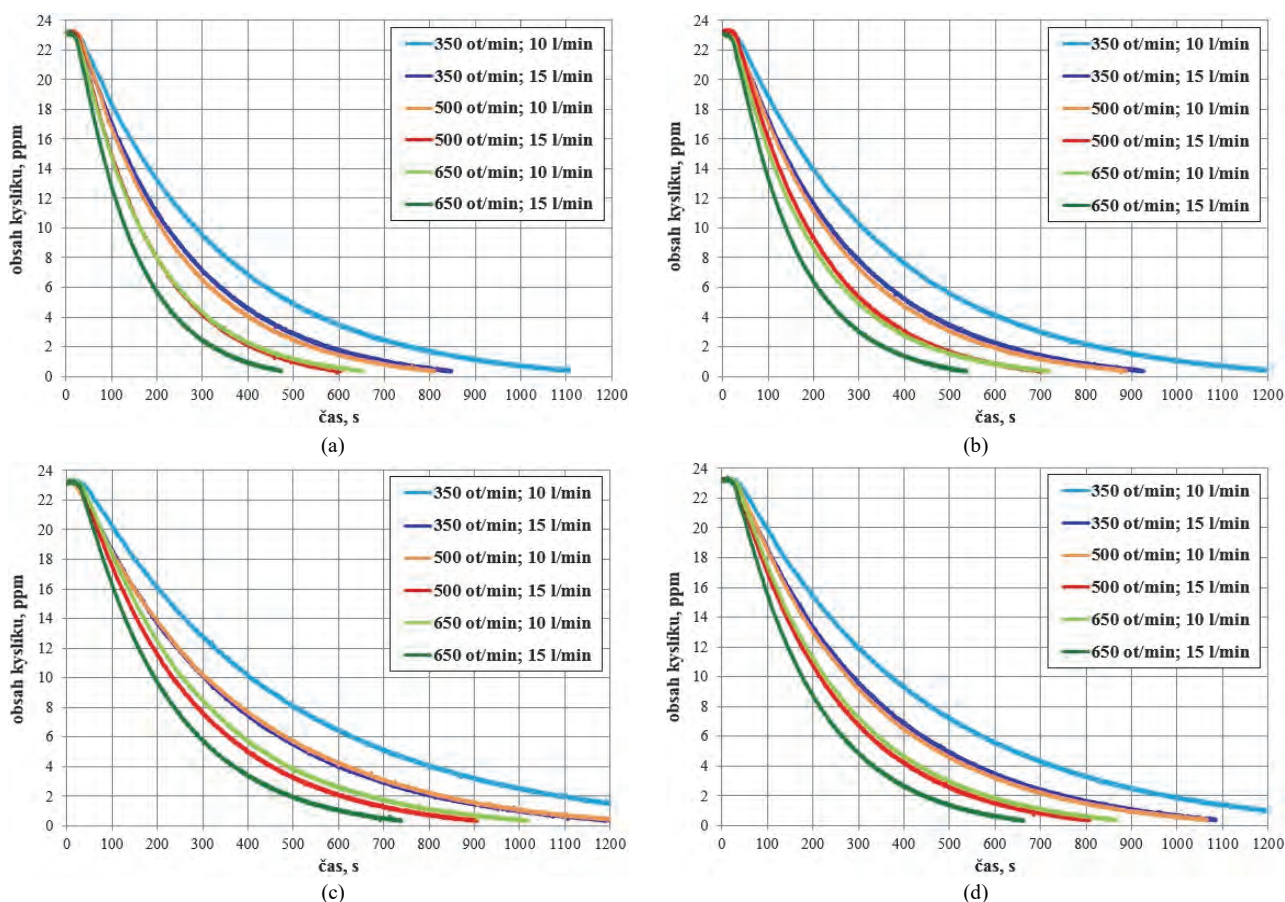
2.1.1 Vliv otáček rotoru a průtoku inertního plynu pro jednotlivé rotory

Vliv otáček rotoru a průtoku inertního plynu byl sledován pro hodnoty 350, 500 a 650 min⁻¹ při konstantním průtoku inertního plynu 10 a 15 l·min⁻¹ a vzdálenosti rotoru ode dna rafinační pánve 150 mm. Na obr. 5 jsou uvedeny grafy s výsledky pro jednotlivé rotory F2A 190, F2A-Z 190, J8 190 a J8-ZD 190. Z grafů je patrný významný vliv zvýšených otáček rotoru na proces snižování obsahu kyslíku. Spolurozhodujícím faktorem je i zvýšený průtok inertního plynu.

Lze také vysledovat jednoduchou souvislost mezi zvyšováním otáček rotoru a průtoku inertního plynu. Přibližně

stejněho pozitivního efektu, jako má zvýšení otáček o 150 min⁻¹, lze dosáhnout také zvýšením průtoku inertního plynu z 10 na 15 l·min⁻¹ bez změny otáček. Z toho vyplývá, že nejvyšší účinnosti bylo dosaženo při otáčkách rotoru 650 min⁻¹ a průtoku inertního plynu 15 l·min⁻¹.

Z porovnání jednotlivých grafů rovněž vyplývá, že rotor F2A-Z 190 dosahoval mírně horších výsledků než rotor F2A 190. U rotorů typu J8 z porovnání grafů vyplývá, že rotor J8-ZD 190 dosahoval výrazně lepších výsledků v porovnání s rotorem J8 190.



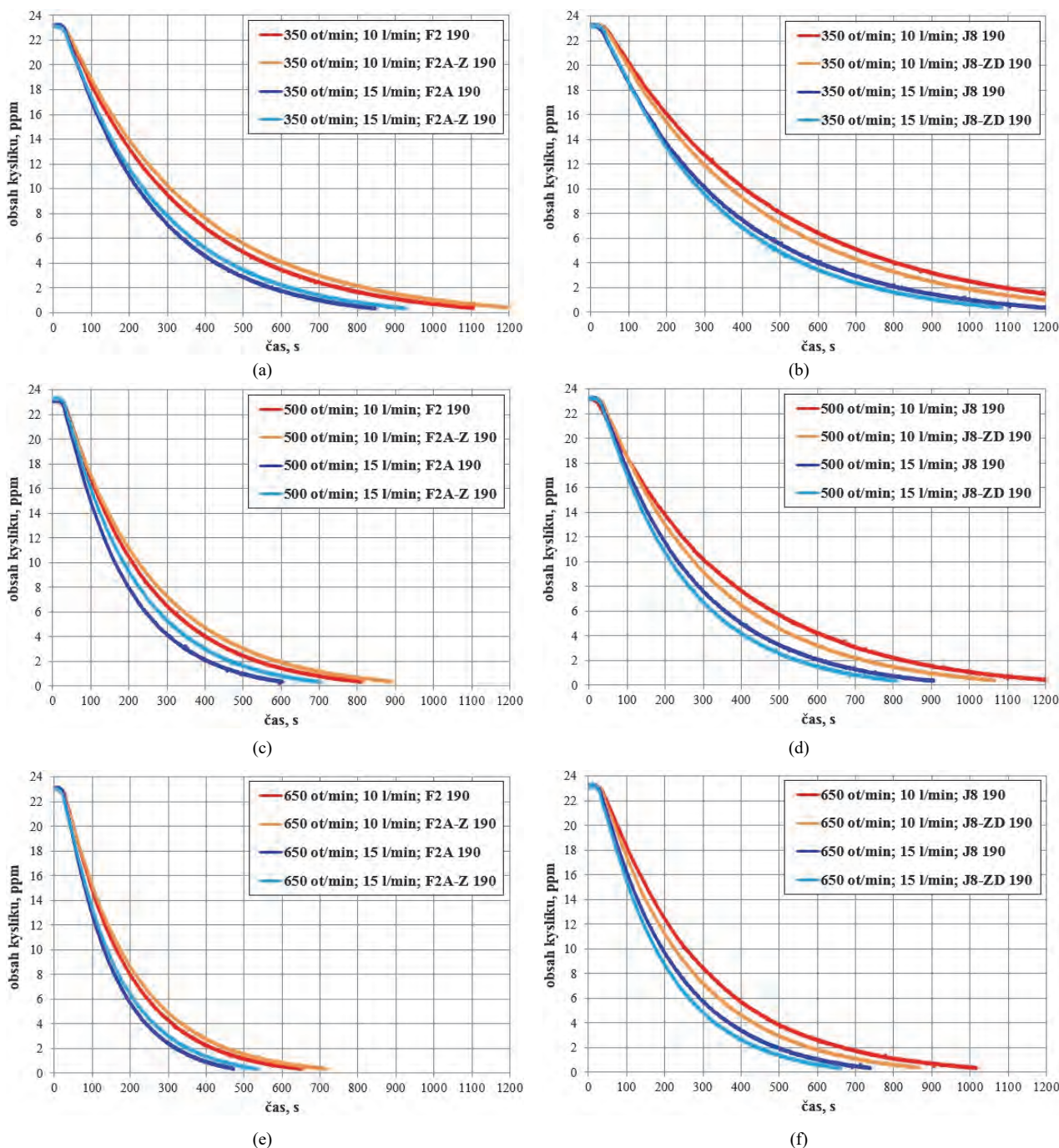
Obr. 5 Vliv změny otáček rotoru a objemového průtoku inertního plynu na koncentraci kyslíku pro jednotlivé rotory: (a) F2A 190; (b) F2A-Z 190; (c) J8 190; (d) J8-ZD 190

Fig. 5 Influence of the change of rotary impeller speeds and volume flow rate of inert gas on the concentration of oxygen for the individual impellers: (a) F2A 190; (b) F2A-Z 190; (c) J8 190; (d) J8-ZD 190

2.1.2 Porovnání vlivu geometrie jednotlivých rotorů

Tato další část se zabývá porovnáním rotoru F2A 190 s F2A-Z 190 a rotoru J8 190 s J8-ZD 190 při otáčkách 350, 500 a 650 min⁻¹, konstantním průtoku inertního plynu 10 a 15 l·min⁻¹ a při vzdálenosti rotoru ode dna pánve 150 mm (obr. 6). Z porovnání grafů vyplývá, že rotor F2A-Z 190 dosahoval mírně horších výsledků než rotor F2A 190 za všech experimentálních podmínek. Je to dáno zejména geometrií rotorů. Účinek při tomto provedení rotoru byl nižší. Může to souviset s horší distribucí bublin inertního

plynu do lázně a následným snížením účinku procesu rafinace pod vlastním rotorem, kde byl v případě rotoru F2A-Z 190 výskyt bublin menší. Z výsledků uvedených v grafech také vyplývá, že rotor J8-ZD 190 dosahoval lepších výsledků ve srovnání s rotorem J8 190. Geometrie rotoru J8-ZD 190 vedla k rovnoměrnější distribuci bublin dmýchaného inertního plynu, které byly spodními žebry rotoru navíc rozptýleny na velmi jemné bublinky, což se pozitivně projevilo i v lepším rafinačním účinku tohoto rotoru.



Obr. 6 Porovnání vlivu geometrie jednotlivých rotorů na koncentraci kyslíku (a,c,e) F2A 190 a F2A-Z 190; (b,d,f) J8 190 a J8-ZD 190

Fig. 6 Comparison of influence of individual impellers geometry on concentration of oxygen (a,c,e) F2A 190 and F2A-Z 190; (b,d,f) J8 190 and J8-ZD 190

2.1.3 Vliv vzdálenosti rotoru ode dna rafinační pánve

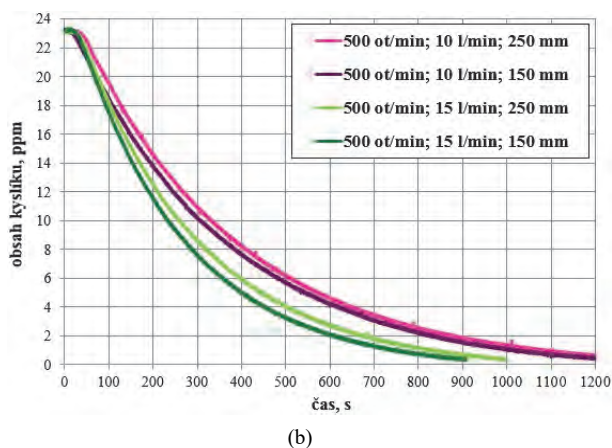
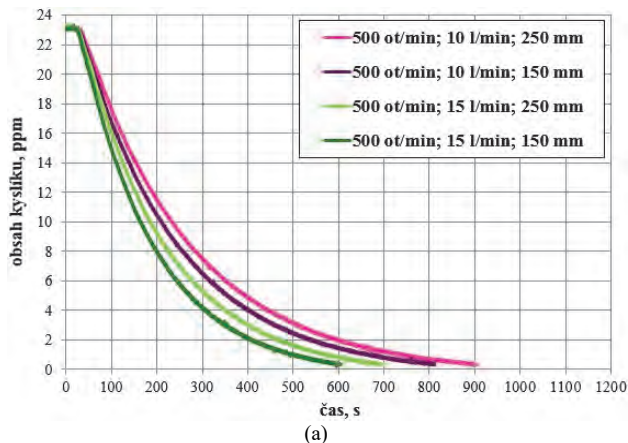
Vzdálenost rotoru ode dna pánve je velmi důležitá pro podpoření rovnoměrné distribuce inertního plynu v objemu rafinované lázně. Při větší vzdálenosti ode dna může být efekt rafinace méně výrazný, při malé vzdálenosti ode dna zase může hrozit nebezpečí zvýšené eroze vyzdívky nadměrnou turbulencí a rotací lázně v blízkosti dna pánve.

Na obr. 7 jsou zobrazeny kombinované grafy, které dokumentují uvedený vliv vzdálenosti mezi rotorem a dnem modelu o velikosti 150 a 250 mm, při otáčkách rotoru 500

min^{-1} a průtoku inertního plynu 10 a $15 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ pro rotory F2A 190 a J8 190. Níže uvedené grafy jednoznačně ukazují, že zvětšení vzdálenosti rotoru ode dna pánve z 150 na 250 mm se projevilo v mírném snížení účinnosti rafinace, resp. v nárůstu rafinačních časů. Obdobný průběh byl potvrzen i při otáčkách rotoru 350 a 650 min^{-1} .

Možné vysvětlení může být následující. Při nízkých otáčkách rotoru se tvoří velké bubliny, které vznikají v nejtěsnější blízkosti rotoru a následně vyplouvají k hladině. Posunutím bodu vzniku těchto bublin o dalších

100 mm směrem nahoru se sníží objem taveniny, která je schopna reagovat s bublinami inertního plynu, což vede ke snížení účinnosti rafinace. Při zvýšených otáčkách rotoru, které vedou ke zvýšené turbulenci taveniny a tvorbě vírů, se tento rozdíl v účinnosti zmenšuje.



Obr. 7 Vliv vzdálenosti rotoru nade dnem pánve na koncentraci kyslíku pro rotory: (a) F2A 190; (b) J8 190

Fig. 7 Influence of the distance of the impeller above the bottom of the ladle on the concentration of oxygen for the impellers: (a) F2A 190; (b) J8 190

2.2 Porovnání výsledků na základě doby dosažení bezrozměrové koncentrace

Pro snadnější interpretaci a grafické porovnání dosažených výsledků daných experimentů byly porovnány časy $\tau_{0,5}$ a $\tau_{0,1}$, tzn. časy, za které se koncentrace kyslíku v lázni snížila na 50, resp. 10 % počáteční hodnoty, tzn. za kterou je dosaženo tzv. bezrozměrové koncentrace $C_x = 0,5$ a $C_x = 0,1$. Bezrozměrová koncentrace C_x se vypočítá dle vztahu

$$C_x = C\tau / C_{poč} \quad (1)$$

kde $C\tau$ je koncentrace kyslíku v lázni (ppm) a

$C_{poč}$ je koncentrace na počátku experimentu (standardizováno na 23 ppm).

Jinými slovy se dá říct, že doba dosažení bezrozměrové koncentrace 0,5 a 0,1 (tedy $\tau_{0,5}$ a $\tau_{0,1}$) je doba, za kterou původní koncentrace 23 ppm klesne na 50 % počáteční

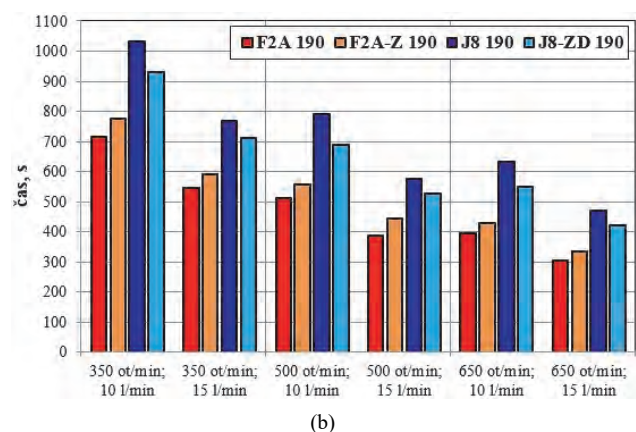
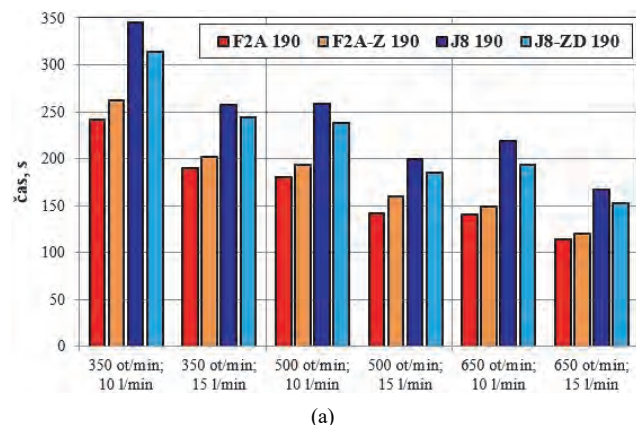
koncentrace, tj. na 11,5 ppm a analogicky na 10 %, tedy na 2,3 ppm. Uvedené parametry mohou tedy charakterizovat rychlost poklesu rozpuštěného kyslíku v lázni.

Výše uvedené porovnání bylo provedeno souhrnně pro hlavní sledované parametry:

- počet otáček rotoru, objemový průtok inertního plynu a geometrie rotoru,
- vzdálenost rotoru ode dna pánve.

2.2.1 Vliv otáček rotoru, objemového průtoku inertního plynu a geometrie rotoru

Z obr. 8 je patrný výrazný vliv otáček rotoru a objemového průtoku inertního plynu na obě hodnoty $\tau_{0,5}$ a $\tau_{0,1}$. Se vzrůstem otáček rotoru (350, 500, 650 min^{-1}) a průtoku inertního plynu (10, 15 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) dochází ke snižování jak $\tau_{0,5}$, tak i $\tau_{0,1}$. Je zde viditelný trend, při kterém přibližně stejného pozitivního efektu jako má zvýšení otáček rotoru o 150 min^{-1} za stálého průtoku inertního plynu lze dosáhnout i zvýšením průtoku inertního plynu z 10 na 15 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ bez změny otáček rotoru.



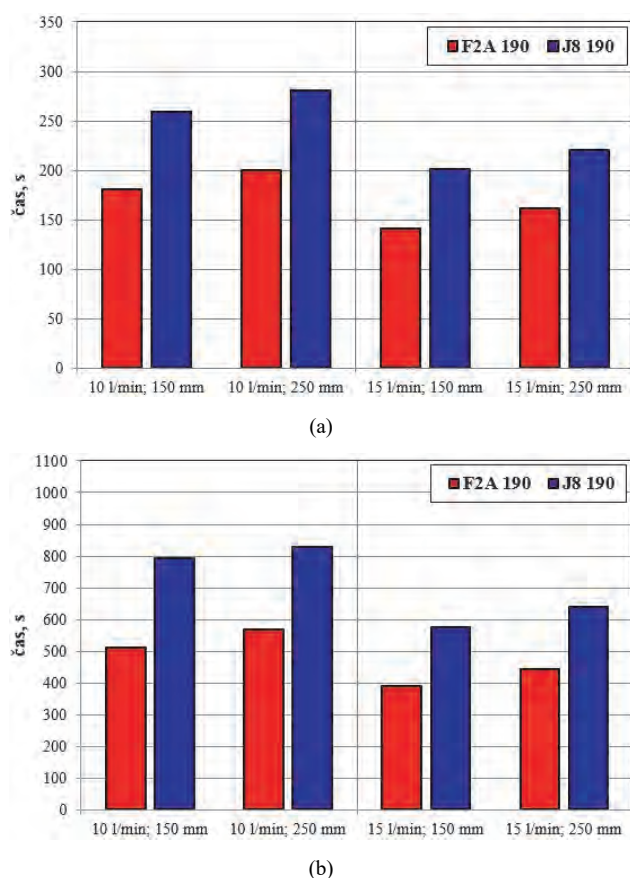
Obr. 8 Porovnání vlivu počtu otáček rotoru, objemového průtoku inertního plynu a geometrie rotoru na čas rafinace při konstantní vzdálenosti rotoru ode dna pánve 150 mm na hodnoty: (a) $\tau_{0,5}$; (b) $\tau_{0,1}$

Fig. 8 Comparison of the influence of rotary impeller speeds, the volume flow rate of inert gas and impeller geometry on refining time at a constant distance of the impeller from the bottom of 150 mm on the values: (a) $\tau_{0,5}$; (b) $\tau_{0,1}$

Z obou grafů na obr. 8 je patrné, že nejlepšími výsledky, tj. nejkratší doby rafinace neboli nejnižší koncentrace plynu v lázni, dosahoval rotor F2A 190. Jeho modifikace F2A-Z 190 vykazovala mírně horší výsledky. Výsledky použití rotoru J8 190 naznačují, že jeho rafinační účinnost je z porovnávaných rotorů nejhorší. Modifikace rotoru J8-ZD 190 přinesla v porovnání s J8 190 mírně pozitivní efekt, nicméně i tento modifikovaný typ nedosahoval výsledků rotoru F2A 190.

2.2.2 Vliv vzdálenosti rotoru ode dna pánve

Zvětšení vzdálenosti rotoru ode dna pánve ze 150 na 250 mm se projevilo v mírném nárůstu hodnot $\tau_{0,5}$, a $\tau_{0,1}$ za všech experimentálních podmínek a u všech použitých rotorů (obr. 9). Tyto nárůsty nejsou ale tak významné, aby výrazně prodloužily celkový čas rafinace.



Obr. 9 Porovnání vlivu vzdálenosti rotoru ode dna pánve na čas rafinace při objemovém průtoku inertního plynu 10 a 15 l·min⁻¹ na hodnoty: (a) $\tau_{0,5}$; (b) $\tau_{0,1}$.

Fig. 9 Comparison of the influence of the distance of the impeller from the bottom of the ladle on refining time at the volume flow rate of inert gas 10 and 15 l·min⁻¹ on the values: (a) $\tau_{0,5}$; (b) $\tau_{0,1}$

Křivky na obr. 5 – 7 odpovídají obecné exponenciální závislosti

$$c = c_0 \cdot e^{kt}, \quad (2)$$

kde c a t jsou proměnné, c_0 a k jsou konstanty a exponent t nabývá hodnot v rozmezí -0,003 až -0,009. Ze sloupcových grafů lze rovněž vysledovat, že čas $\tau_{0,1}$ je u většiny variant třikrát vyšší než čas $\tau_{0,5}$.

2.3 Vizualizační sledování experimentu

V průběhu provádění jednotlivých experimentů byly pořízeny snímky chování lázně uvnitř modelu, ze kterých bylo možno blíže zhodnotit proudění tekutiny, množství a rozptyl bublin inertního plynu. Pro vizualizaci byly použity rotory F2A 190, F2A-Z 190, J8 190 a J8-ZD 190 při otáčkách rotoru 350, 500 a 650 min⁻¹ a objemovém průtoku inertního plynu 10 a 15 l·min⁻¹.

Příklad proudění lázně při použití výše uvedených rotorů, při otáčkách rotoru 500 min⁻¹, objemovém průtoku inertního plynu 10 l·min⁻¹ a vzdálenosti rotoru ode dna pánve 150 mm jsou na obr. 10 a 11.

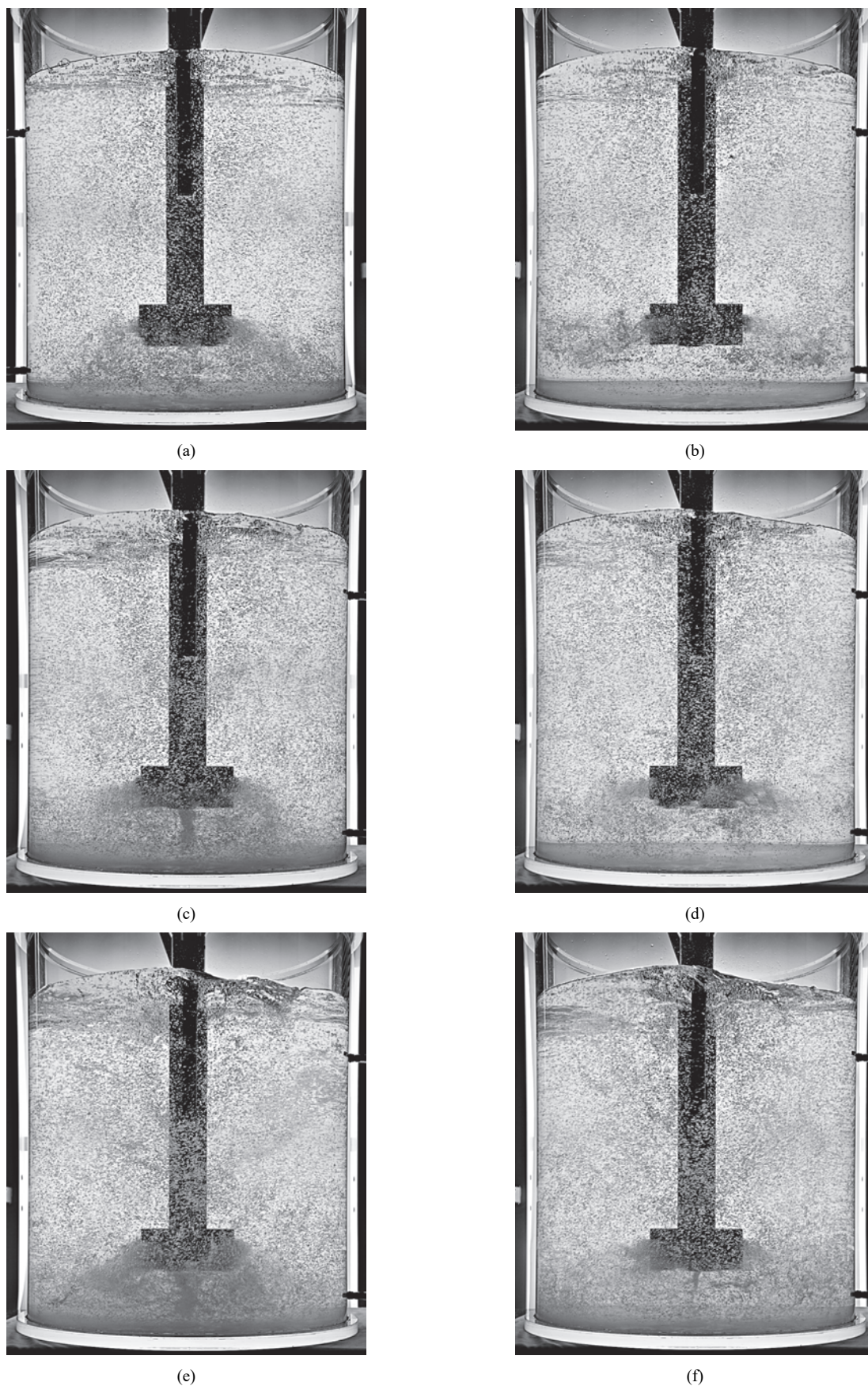
Na těchto snímcích je zřetelný vliv zvyšujících se otáček rotoru v rozmezí 350 až 650 min⁻¹, kdy dochází k intenzivnějšímu rozdělování bublin do celého objemu rafinační pánve, ale také i vyšší míře rozvlnění hladiny lázně v rafinační pánvi.

U rotoru F2A 190 lze pozorovat intenzivní víření a zvýšenou koncentraci bublin nejen po stranách rotoru, ale i pod ním, a to zvláště při vyšších otáčkách rotoru. Pod rotorem je rovněž patrná tvorba intenzivního víru a v pravidelných cyklech i velké rotující kavity vyplněné interním plynem. Tyto kavity se asi v třísekundových intervalech porušují a rozdělují se na velké množství malých bublin.

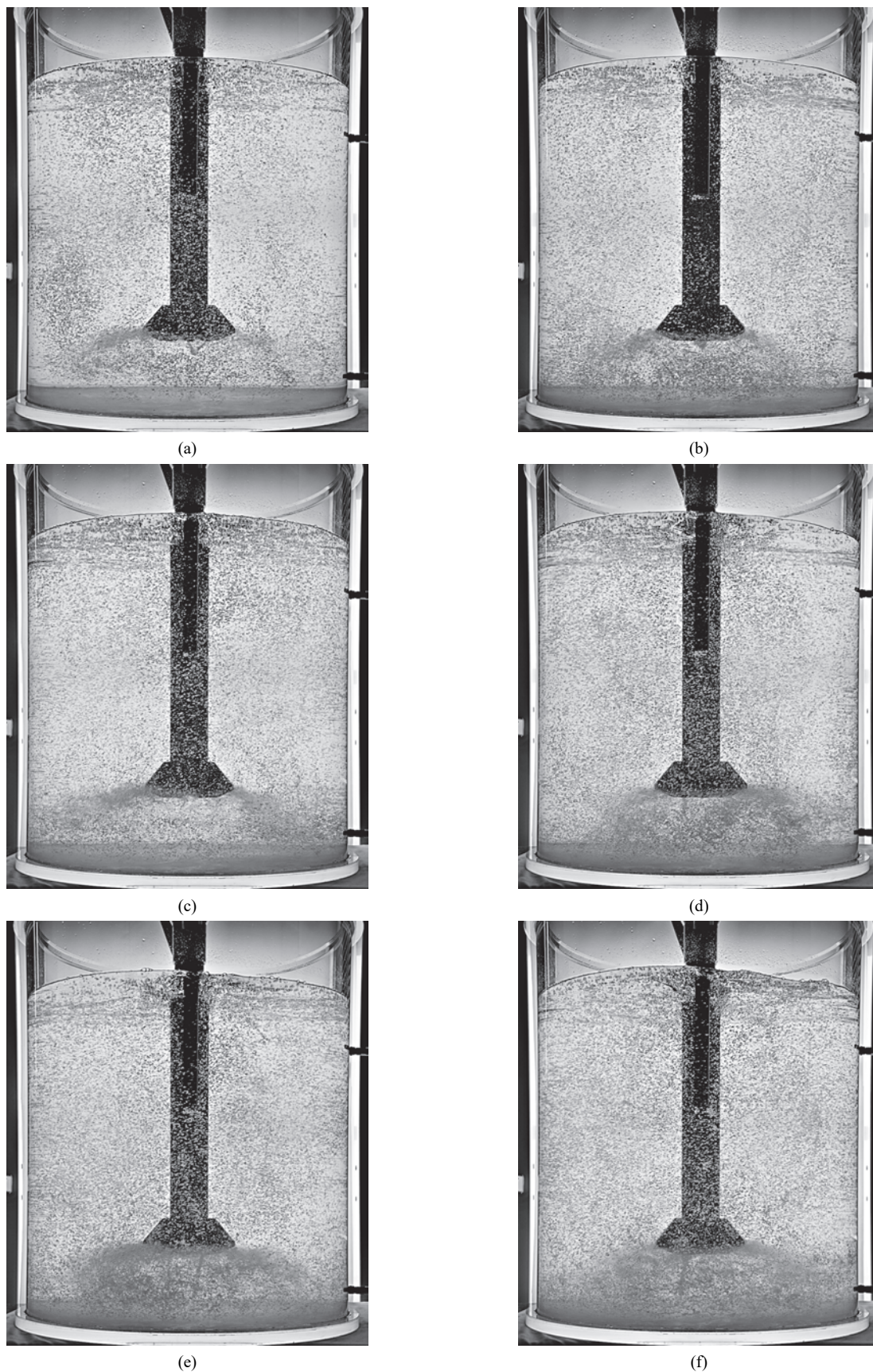
Z fotografií na je zřejmé, že rotace kapaliny existuje i pod rotorem F2A-Z 190. Tvorba kavity je však méně intenzivní a koncentrace bublin pod rotorem je nižší v porovnání s rotorem F2A 190. Zřejmě i s tímto jevem souvisí mírně horší účinnost rotoru F2A-Z 190 v porovnání s rotorem F2A 190.

U rotoru J8 190 můžeme pozorovat rovněž tvorbu kavit naplněných inertním plynem, a to již při nízkých otáčkách rotoru 350 min⁻¹. Pokud velikost rotující kavity překročí kritickou velikost, tak se kavity poruší za vzniku velkého množství drobných bublin.

Návrh rotoru J8-ZD 190 vycházel z požadavku omezit vznik těchto kavit pod rotorem. Proudění lázně během rafinace skutečně potvrdilo menší výskyt kavit, které se tvořily až při vyšších otáčkách rotoru 650 min⁻¹ a navíc ještě v menších objemech. Lepší distribuce bublin argonu v prostoru rafinační pánve také vedla k lepší účinnosti tohoto rotoru v porovnání s rotorem J8 190.



Obr. 10 Vizualizační snímky proudění plynu v lázni při objemovém průtoku inertního plynu $10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$: (a) F2A 190 – 350 min^{-1} ; (c) F2A 190 – 500 min^{-1} ; (e) F2A 190 – 650 min^{-1} ; (b) F2A-Z 190 – 350 min^{-1} ; (d) F2A-Z 190 – 500 min^{-1} ; (f) F2A-Z 190 – 650 min^{-1}
Fig. 10 Visualisation images of the flow of gas in the bath at the volume flow rate of inert gas $10 \text{ NI}\cdot\text{min}^{-1}$: (a) F2A 190 – 350 rpm; (c) F2A 190 – 500 rpm; (e) F2A 190 – 650 rpm; (b) F2A-Z 190 – 350 rpm; (d) F2A-Z 190 – 500 rpm; (f) F2A-Z 190 – 650 rpm



Obr. 11 Vizualizační snímky proudění plynu v lázni při objemovém průtoku inertního plynu $10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$: (a) J8 190 – 350 min^{-1} ; (c) J8 190 – 500 min^{-1} ; (e) J8 190 – 650 min^{-1} ; (b) J8-ZD 190 – 350 min^{-1} ; (d) J8-ZD 190 – 500 min^{-1} ; (f) J8-ZD 190 – 650 min^{-1}
Fig. 11 Visualisation images of the flow of gas in the bath at the volumetric flow rate of inert gas $10 \text{ NI}\cdot\text{min}^{-1}$: (a) J8 190 – 350 rpm; (c) J8 190 – 500 rpm; (e) J8 190 – 650 rpm; (b) J8-ZD 190 – 350 rpm; (d) J8-ZD 190 – 500 rpm; (f) J8-ZD 190 – 650 rpm

3. Vyhodnocení výsledků experimentu

Vyhodnocení experimentů probíhalo ve třech fázích. V první fázi byly provedeny experimenty zaměřené na vliv jednotlivých parametrů na chování kyslíku během rafinace, které byly následně použity při tvorbě kombinovaných grafů. V druhé fázi byly výsledky porovnány na základě doby dosažení bezrozměrové koncentrace 0,5 a 0,1 v lázni. V poslední, vizualizační fázi byly pořízeny fotografie, kde byla zkoumána velikost bublin a jejich rozptýl v objemu rafinační pánve.

Na základě získaných výsledků z experimentálních měření lze formulovat tyto poznatky:

- Zvýšený počet otáček rotoru velmi významně ovlivňuje účinnost procesu odplynění lázně. Spoluřizujícími faktory je však i zvýšený průtok inertního plynu.
- Přibližně stejného pozitivního efektu, jako má zvýšení otáček rotoru o 150 min⁻¹, lze dosáhnout také zvýšením průtoku inertního plynu z 10 na 15 l·min⁻¹ bez změny otáček rotoru.
- Porovnání rotorů F2A 190 a F2A-Z 190 vedlo k závěru, že rotor F2A-Z 190 dosahoval mírně horších výsledků než rotor F2A 190 při všech experimentálních podmínkách. Je to dáno zejména geometrií rotoru.
- Rotor J8-ZD 190 dosahoval lepších výsledků ve srovnání s rotorem J8 190. Geometrie rotoru J8-ZD 190 vedla k rovnoměrnější distribuci bublin dmýchaného inertního plynu, které byly spodními žebry rotoru navíc rozptýleny na velmi jemné bublinky.
- Výsledky také jednoznačně ukazují na to, že zvětšení vzdálenosti rotoru ode dna pánve ze 150 na 250 mm se projevilo v mírném snížení účinnosti rafinace, resp. v nárůstu rafinačních časů.
- Porovnání hodnot $\tau_{0,5}$ a $\tau_{0,1}$, tzn. časů, za které se koncentrace kyslíku v lázni snížila na 50, resp. 10 % počáteční hodnoty, vedlo k závěru, že nejlepších výsledků dosahoval rotor F2A 190. Naproti tomu rafinační účinnost rotoru J8 190 byla z porovnávaných rotorů nejhorsí.
- V rámci experimentu byla provedena fotodokumentace, která byla zaměřena na objasnění vlivu počtu otáček rotoru v rozmezí 350 až 650 min⁻¹ a objemového průtoku inertního plynu 10 l·min⁻¹. Prokázal se zřetelný vliv zvyšujících se otáček rotoru na zkrácení doby rafinace a také na intenzivnější rozdělování bublin do celého objemu rafinační pánve.

Závěr

Odplyňování (snížování obsahu vodíku) v taveninách na bázi hliníku bylo při fyzikálním modelování simulováno procesem snižování obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě o teplotě 20 °C. Pomocí dvou fluorescenčních sond byla měřena jeho koncentrace ve vodní lázni.

Experimenty byly prováděny v laboratorních podmínkách, jejichž cílem bylo zjistit a vyhodnotit vliv jednotlivých parametrů na účinnost procesu rafinace taveniny. U jednotlivých parametrů byla porovnávána schopnost ovlivnit účinnost procesu. Mezi tyto parametry patří otáčky rotoru, objemový průtok inertního plynu, vzdálenost rotoru ode dna pánve a geometrie rotoru.

Poděkování

Tento výzkum vznikl za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v rámci programu TRIO v rámci řešení projektu č. FV10080 „Výzkum a vývoj pokročilých rafinačních technologií hliníkových tavenin pro zvýšení kvality produktu“.

Článek byl vytvořen také díky projektu č. CZ.02.1.01/0.0/17_049/0008399 z finančních fondů EU a ČR poskytnutých „Operačním programem Výzkum, vývoj a vzdělávání, Výzvy 02_17_049 Dlouhodobá mezisektorová spolupráce pro ITI, řídicí orgán: Česká republika – Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy“. A za podpory Studentské grantové soutěže č. SP2021/39 a SP2021/41.

Literatura

- [1] MICHALEK, K., TKADLEČKOVÁ, M., SOCHA, L., GRYC, K., SATERNUS, M., PIEPRZYCA, J., MERDER, T. Physical Modelling of Degassing Process by Blowing of Inert Gas. *Arch. Metall. Mater.*, 63 (2018) 987–992.
- [2] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, M., CAMACHO-MARTÍNEZ, J., GONZÁLEZ-RIVERA, C., RAMÍREZ-ARGÁEZ, M. A. Impeller Design Assisted by Physical Modelling and Pilot Plant Trials. *J. Mater. Process. Technol.*, 236 (2016) 1–8.
- [3] SATERNUS, M. Rafinacja aluminium i jego stopów przez przedmuchiwanie argonem. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Slaskiej, Poland, 2011, 167 p. ISBN 978-83-7335-892-8.
- [4] MOSTAFAEI, M., GHOBADI, M., EISAABADI, G. B., ULUDAG, M., TIRYAKIOGLU, M. Evaluation of the Effects of Rotary Degassing Process Variables on the Quality of A357 Aluminum Alloy Castings. *Met. Mater. Trans. A*, 47 (2016) 3469–3475.
- [5] MERDER, T., SATERNUS, M., WARZECHA, P. Possibilities of 3D Model Application in the Process of Aluminium Refining in the Unit with Rotary Impeller. *Arch. Met. Mater.*, 59 (2014) 789–794.
- [6] SATERNUS, M., MERDER, T., PIEPRZYCA, J. The Influence of Impeller Geometry on the Gas Bubbles Dispersion in Uro-200 Reactor-RTD Curves/Wpływ rodzaju wirnika na dyspersję pecherzyków gazowych w reaktorze URO-200-krzywe mieszanin. *Arch. Met. Mater.*, 60 (2015) 2887–2894.
- [7] YAMAMOTO, T., SUZUKI, A., KOMAROV, S. V., ISHIWATA, Y. Investigation of Impeller Design and Flow Structures in Mechanical Stirring of Molten Aluminum. *J. Mater. Process. Technol.*, 261 (2018) 164–172.
- [8] GAO, G., WNG, M., SHI, D., KANG, Y. Simulation of Bubble Behavior in a Water Physical Model of an Aluminum Degassing Ladle Unit Employing Compound Technique of Rotary Blowing and Ultrasonic. *Met. Mater. Trans. A*, 50 (2019) 1997–2005.
- [9] YU, S., ZOU, Z., SHAO, L., LOUHENKILPI, S. A. Theoretical Scaling Equation for Designing Physical Modelling of Gas-Liquid Flow in Metallurgical Ladles. *Steel Res. Int.*, 88 (2016) No. 1600156.
- [10] ABREU-LÓPEZ, D., DUTTA, A., CAMACHO-MARTÍNEZ, J. L., TRÁPAGA-MARTÍNEZ, G., RAMÍREZ-ARGÁEZ, M. A. Mass Transfer Study of a Batch Aluminum Degassing Ladle with Multiple Designs of Rotating Impellers. *Journal of Materials, Metals & Materials Society*, 70 (2018) 2958–2967.
- [11] MANCILLA, E., CRUZ-MÉNDEZ, W., GARDUÑO, I. E., GONZÁLEZ-RIVERA, C., RAMÍREZ-ARGÁEZ, M. A.,

ASCANIO, G. Comparison of the Hydrodynamic Performance of Rotor-injector Devices in a Water Physical Model of an Aluminum Degassing Ladle. *Chem. Eng. Res. Des.*, 118 (2017) 158–169.

[12] MICHALEK, K. *Využití fyzikálního a numerického modelování pro optimalizaci metalurgických procesů*. Ostrava: VŠB-Technická

univerzita Ostrava, Česká republika, 2001, 125 s. ISBN 80-7078-861-5.

[13] SATERNUS, M., MERDER, T. Physical Modelling of Aluminum Refining Process Conducted in Batch Reactor with Rotary Impeller. *Metals*, 8 (2018) 726.

Společnost TOSYALI objednala EOP QUANTUM a dvou Proudé kontilití

Metals Magazine, February 2021, p.19, metalsmagazine@primetals.com, meta.ls/magazine

Turecká ocelárna Tosalı Demir Celik Sanayi objednala u Primetals Technologies EOP Quantum, zdvojené vakuovací zařízení s možností dmýchání kyslíku a dvou Proudé bramové kontilití. Zařízení je určeno pro projekt výroby plochých ocelí, budovaný na zelené louce v tureckém Iskenderunu.

Elektrická oblouková pec Quantum je projektována tak, aby mohla pracovat s širokým rozsahem sázeného materiálu rozdílné kvality a chemického složení – prakticky cokoliv od šrotu až k HBI a tekutému surovému železu. Její energetická spotřeba je ve srovnání s jinými EOP podstatně nižší, primárně díky inovativnímu systému předehřevu šrotu.

Vakuovací zařízení nabízí další možnosti zpracování vyráběných ocelí. Díky možnosti dmýchání kyslíku bude Tosalı moci vyrábět všechny značky ocelí od těch s velmi nízkým obsahem uhlíku až po vysokouhlíkové, též peritektické, API, dvoufázové, a také HSLA značky. Nová ocelárna zahájí provoz do konce roku 2022.

Společnost PRIMETALS TECHNOLOGIES získala závěrečné potvrzení o provedené modernizaci teplé širokopásové válcovny 1700 mm v Mariupolu

Metals Magazine, February 2021, p.13, metalsmagazine@primetals.com, meta.ls/magazine

Hutní závod Iljič v Mariupolu vydal závěrečné potvrzení o provedené modernizaci teplé širokopásové válcovny 1700 mm společnosti PRIMETALS TECHNOLOGIES. Modernizace zvýšila konkurenceschopnost válcovny rozšířením výrobního mixu, zvýšením kvality, produktivity a snížením výrobních nákladů. Kapacita se zvýšila z 1,36 na 2,5 mil. tun/rok. Primetals Technologies zodpovídala za inženýring a dodávku klíčových komponent teplé pásové válcovny, včetně instalace nového vratného přípravného pořadí s mohutnou vertikální stolicí, nový coilbox a upgrade hotovního pořadí.

Ve Švédsku postaví zelenou hut'

ocelocel (Newsletter Ocelářské unie), únor 2021, s.5

Na severu Švédska vznikne unikátní integrovaná hut' H2 Green Steel s kapacitou 5 mil. tun, jejíž součástí bude největší elektrolyzátor na světě (800 MW). Elektřina bude pocházet výhradně z obnovitelných zdrojů. Největším akcionářem projektu je investiční společnost Vargas, spoluzakladatel výrobce baterií Northvolt. Dalšími akcionáři jsou Scania, Bilstein, SMS či zakladatel Spotify Daniel Ek. Výroba oceli by mohla začít již v roce 2024 s tím, že projektované emise CO₂ na tunu oceli jsou dvacetkrát nižší než emise z klasické výroby v integrovaných hutích (0,1 v s. 2s. přibližně 2 tuny CO₂ na tunu oceli). Celkové náklady projektu se odhadují na 2,5 mld. eur (cca 65,5 mld. korun), z čehož akcionáři vloží asi 750 mil. eur.

Návrh a ověření kalibračního plánu důlní výztuže V32 pomocí metody konečných prvků v programu Simufact Forming

Design and verification of a roll pass schedule for a V32 mining support using the finite element method in the Simufact Forming program

doc. Ing. Richard Fabík, Ph.D.; Ing. Vít Baranec; Ing. Tomáš Kubina, Ph.D.; Ing. Milan Onderka

Liberty Ostrava a.s., Výzkum a Vývoj, Vratimovská 689/117, 719 00 Ostrava-Kunčice

Cílem této práce bylo zavedení nového profilu důlní výztuže V32 do výrobního portfolia firmy Liberty Ostrava a.s. s využitím MKP simulací v programu Simufact Forming.

V nedávné době byla v podmínkách Liberty Ostrava zřízena laboratoř se zaměřením na numerické simulace, které byly použity pro úspěšný návrh kalibrační řady polského profilu důlní výztuže V32. Pro profil V32 jsou, ve srovnání s běžnými profily TH, požadovány velmi přísné rozměrové tolerance.

V Liberty Ostrava se důlní výztuže válcují na zastaralé trati HCC (Heavy Cross Country) s použitím výhradně horizontálních válců. Návrh optimální kalibrační řady v kombinaci s návrhem tvaru rovináčích válečků je tak velmi náročný úkol, který se v takovýchto případech doposud řešil formou pokus omyl. Tento článek popisuje využití metody konečných prvků pro návrh kalibrační řady pro válcovací trať HCC. Řešitelský tým nejdříve navrhl kalibrační řadu profilu V32. Po první kalibrační zkoušce profil nespĺňoval požadavky na potřebné rozměrové tolerance. Pomocí MKP simulací bylo navrženo ověření kalibrační řady v programu Simufact Forming. Ověření probíhalo od kalibru ve stolici č. 9 a postupně byly prováděny simulace až do kalibru stolice č. 6 tak, aby mohlo být lokalizováno kritické místo s nerovnoměrnou intenzitou deformace. Simulace ukázaly, že deformace v kalibru stolice č. 7 je nerovnoměrná a je nutné přepracovat tvar kalibru. Materiál ve stojině byl vystaven příliš velké deformaci, která měla za následek zvýšené prodlužování vývalku. Změnou tvaru následně prošly také zbylé kalibry ve stolicích č. 7, 8 a 9. Kalibrační řada navržená pomocí simulací byla ověřena kalibrační zkouškou a vyválcovaný profil splnil požadované rozměrové nároky a mechanické vlastnosti. MKP simulace se ukázaly jako užitečný nástroj, jak vizualizovat tok materiálu a sloužily k lepšímu pochopení procesů dějících se během válcování.

Klíčová slova: MKP simulace; matematické modelování; válcování; důlní výztuž

The aim of this work was to introduce a new profile of mining support V32 into the production portfolio of Liberty Ostrava a.s. using FEM simulations in the Simufact Forming program.

Recently, a laboratory focusing on numerical simulations was established in the conditions of Liberty Ostrava, which were used for the successful design of a roll pass schedule of the Polish profile of mining reinforcement V32. The V32 profile has very strict dimensional tolerances compared with profiles TH.

In Liberty Ostrava, mining reinforcements are rolled on the obsolete HCC (Heavy Cross Country) line using only horizontal rollers. The design of the optimal roll pass schedule in combination with the design of the shape of the straightening rollers is thus a very demanding task, which in such cases has so far been solved by trial and error. This paper describes the use of the finite element method for the design of a roll pass schedule on the HCC mill. The verification took place from the grooves in stand No. 9 and gradually simulations were performed up to the grooves of stand No. 6 so that a critical point with an uneven equivalent strain could be located. When comparing the different coefficients of friction with the samples taken during rolling, it was found that the friction coefficient did not have much of an effect on the shape accuracy of the result. A larger effect was found in the size of the finite element. Simulations have shown that the deformation in the grooves of stand No. 7 is uneven and it is necessary to rework the shape of the grooves. The material in the web was subjected to too much deformation, which resulted in increased elongation of the profile. The remaining grooves in stands No. 7, 8 and 9 were subsequently changed by shape. The footings of the profile underwent the biggest change, where defects occurred. The equivalent strain was gradually transferred to the root of the profile in the 7th stand. The roll pass schedule designed using simulations was verified by a operating test and the rolled profile met the required dimensional requirements and mechanical properties. FEM simulations have proven to be a useful tool to visualize the material flow and have served to better understand the processes that take place during rolling.

Key words: FEM simulations; Mathematical modelling; Rolling mill; Mining support

Úvod

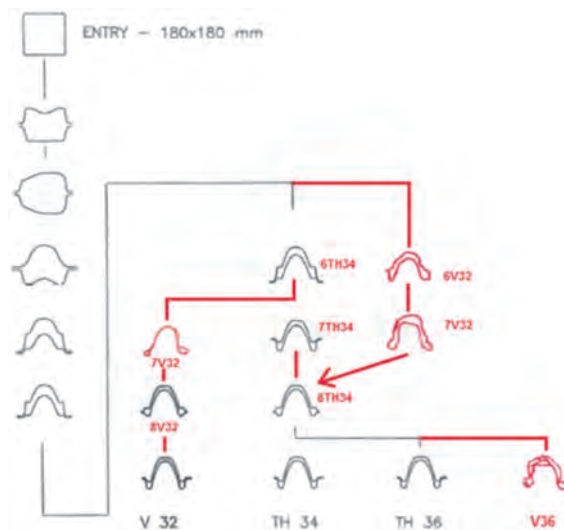
Matematické modelování na bázi metody konečných prvků (MKP) je v dnešní době velmi užitečným a také dostupným nástrojem pro optimalizaci tvářecích procesů.

Využití matematického modelování pomocí MKP při válcování za tepla je pro svou složitost a komplexnost výrazně ve stínu volného, a hlavně zápusťového kování. V odborných časopisech najdeme mnoho článků věnujících se využití matematického modelování na bázi MKP v oblasti válcování dlouhých a plochých vývalků. Většina z těchto článků je však zaměřena výhradně na MKP a chybí zde srovnání se skutečným válcováním, nebo si autoři z reálného válcování pro srovnání vybírají jen některé aspekty a o dalších se nezmiňují [1-15].

Jedním z charakteristických rysů skutečných válcoven je široká variabilita technologických parametrů a jejich velmi obtížné, někdy zcela nemožné stanovení a popsání pomocí matematických rovnic, či okrajových a počátečních podmínek [16]. Týká se to často parametrů naprosto zásadních a teoreticky snadno dostupných, jako je geometrie nástrojů (válců), skok válců, vzájemná poloha válců (nastavení válcovací mezery a při válcování v kalibrech horizontální posunutí válců) geometrie polotovarů a počáteční poloha polotovaru a válce (horizontální a vertikální posun, natočení). Jejich získání není často vůbec snadné a vyžaduje velmi úzkou spolupráci s technologií a valciřmi. Dále tady máme materiálové parametry (co do dostupnosti je lze řadit na druhé místo), které se dají stanovit pomocí doplňujících fyzikálních zkoušek, nebo použitím reologických a TTT (rozpadové diagramy) databází simulačních programů (fyzikální vlastnosti materiálu polotovarů a nástrojů – deformační odpory ocelí, tepelné vlastnosti ocelí, teploty fázových přeměn atd.). Fyzikální (plastometrické) zkoušky nám poskytnou velmi přesné výsledky pro daný materiál, jsou relativně dostupné, ale na druhou stranu jsou časově a finančně náročné. Naopak data z databází jsou k dispozici okamžitě, ale jejich přesnost může být velmi diskutabilní. Třetí skupinou, tentokrát opět technologických parametrů, jejichž získávání je v praxi téměř nemožné a v laboratorních podmínkách vyžaduje speciální zařízení, jsou parametry, které popisují chování na rozhraní polotovar válec (součinitel tření a součinitel přestupu tepla) a vliv okolního prostředí. Hlavně třetí je jedním z největších zdrojů chyb při matematickém modelování válcování [17-20]. Autoři tohoto článku prezentovanou studii navazují na dřívější zkušenosti s matematickými simulacemi, které byly vždy prováděny v nejužším propojení s praxí [21-25].

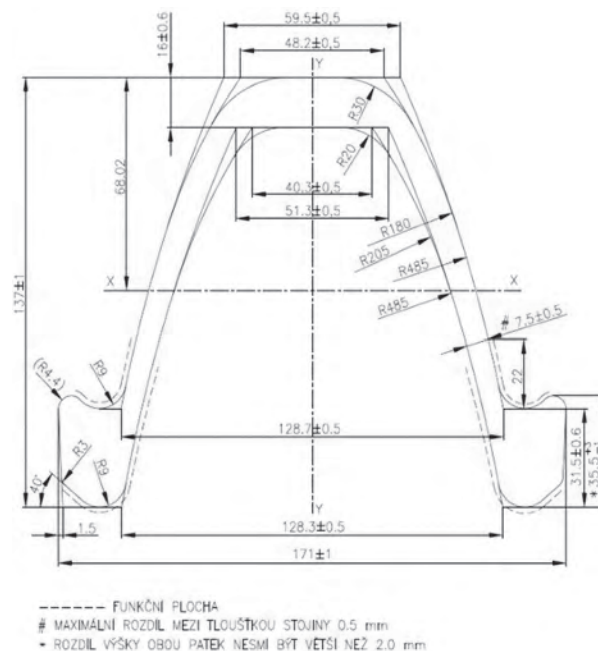
Problematika technologie výroby důlních výztuží je v Liberty Ostrava a.s. (LO) intenzivně rozvíjena už od 80. let minulého století s postupným záměrem posunout se k vyšším rozměrovým řadám. Dnes jsou běžně válcovány profily typu TH, které jsou rozměrově a tvarově blízké profilům typu V, ale nemusí splňovat tak náročné rozměrové tolerance jako profily V.

K dosažení požadovaných rozměrů jsou konkurencí LO používány moderní tratě se spojitým finálním pořadím v konfiguraci stolic univerzál – hranicí stolice – hotovni univerzál. Díky použití univerzálních stolic je možno dosahovat velmi přísných rozměrových tolerancí.



Obr. 1 Schéma válcování důlních výztuží TH a V
Fig. 1 Rolling scheme of mining support TH/V

Kalibrační předpis profilu V32 vychází z kalibračního předpisu pro válcování profilu TH34, jak dokumentuje schéma válcování důlních výztuží v LO na obr. 1. Jak je zřejmé z obr. 1 důlní výztuže se na HCC válcují 9 průchody, kdy první 3 lze považovat za předválcovací, dalších 5 za přípravné. Oproti profilům TH mají profily V přísnější tolerance rozměrů funkčních částí. Tedy hlavně v oblasti patek. Toleranční výkres profilu V32 je uveden na obr. 2.



Obr. 2 Toleranční výkres profilu V32
Fig. 2 Tolerance drawing of profile V32

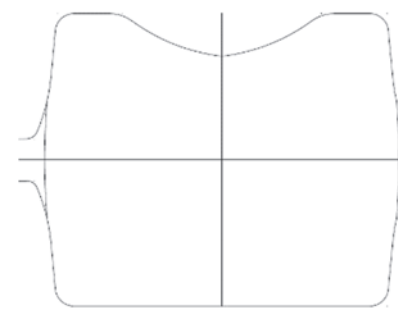
1. Kalibrační zkoušky

Před zahájením vlastních numerických simulací proběhlo několik kalibračních zkoušek. Na vlastní kalibrační zkoušku bylo nasazeno 20 ks sochorů externí jakosti H500M. V posledních 4. úběrech byly použity upravené válce navrhnuté pro válcování profilu V32. Proměřením bylo zjištěno, že celková výška prvního kusu přesahuje toleranci udávanou výkresem. Došlo tedy k přivření 8. a 9. stolice. Následující válcované kusy měly i přes provedené změny problémy s nedostatečným vyplněním materiálu v oblasti patek a také s nežádoucím lemem táhnoucím se po boku vývalku, jak je vidět na obr. 3.

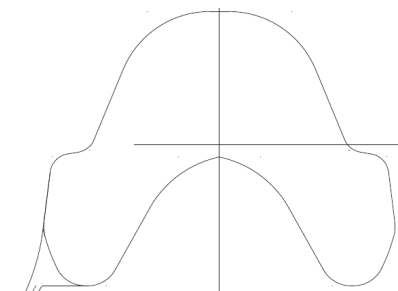


Obr. 3 Nežádoucí lem na bocích vývalků
Fig. 3 Unwanted defect on the sides of profiles

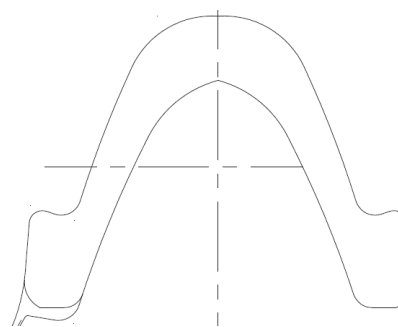
Pro druhou kalibrační zkoušku byly upraveny kalibry v posledních 4. úběrech. Profily získané touto zkouškou měly nevyplněnou a nízkou patku. Během zkoušky byly odebrány vzorky za stolicemi 1, 4, 6, 7 a 8. Každý ze vzorků byl naskenován pomocí skeneru a obrysy vzorků byly překresleny v programu AutoCAD do formátu dwg. Jednotlivé obrysy a jejich uložení v příslušném kalibru je možné vidět na obr. 4.



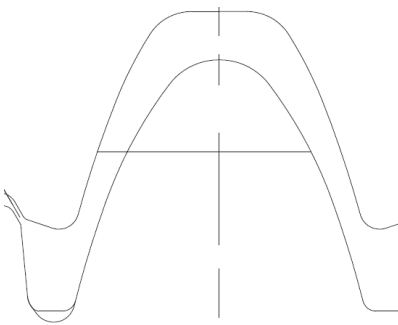
1. stolice



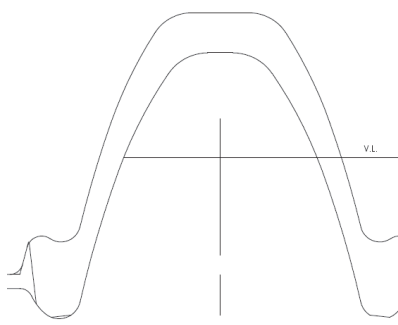
4. stolice



6. stolice



7. stolice



8. stolice

Obr. 4 Obrysy jednotlivých vývalků po různých úběrech
Fig. 4 Contours of individual profiles after different passes

2. PC simulace válcování V32

Ještě před tím, než byly k dispozici jednotlivé obrysy vývalků, bylo provedeno několik simulací válcování v 9. stolici. Cílem těchto simulací bylo posouzení toku kovu v oblasti patky profilu V32 tak, aby bylo možné upravit předcházející kalibry a tím také průřez vývalku vstupující do 9. stolice. Celkem bylo otestováno 5 variant ideálního tvaru vstupujícího do 9. stolice, které jsou popsány v tab. 1. Srovnání tvarů jednotlivých vstupů je provedeno na obr. 5.

Tab. 1 Přehled simulací provedených v 9. stolici

Tab. 1 Overview of simulations performed in 9th stand

| V | Polotovar (ideální) | Stručný popis | Změna |
|---|---------------------|--|---|
| 0 | Obrys 8. stolice | Nákružky 6 mm, zkouška různých tvarů vstupu | První simulace |
| 1 | Obrys 8. stolice | Nákružky 6 mm, větší plocha na vstupu | Změna plochy vstupu obrysu |
| 2 | Obrys 8. stolice | Nákružky 6 mm, výška hlavy vstupu 18 mm | Úprava tvaru patky vstupu |
| 3 | Obrys 8. stolice | Nákružky 6 mm, větší plocha na vstupu | Opětovná úprava tvaru patky vstupu |
| 4 | Obrys 8. stolice | Nákružky 6 mm, výška hlavy vstupu 19 mm, větší plocha vstupu | Opětovná úprava tvaru patky vstupu vycházející z varianty |

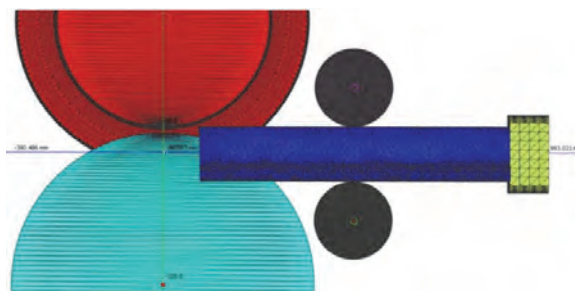


Obr. 5 Srovnání jednotlivých variant tvaru rozvalku vstupujícího do 9. stolice, nahoře celkový průřez, dole detail patky

Fig. 5 Comparison of individual variants of the shape of the profile entering the 9th stand, overall cross-section at the top, detail at the bottom

Všechny řešené simulace probíhaly se vstupní symetrickou podmínkou podle roviny yz. Jako konečnoprvková síť byla použita síť typu Tetmesh 157. Velikost prvků sítě byla nastavena na 10 až 15 mm. Pro všechny simulace byl zapnut automatický remeshing a vývalek vstupoval do remeshing boxu pro zjemnění sítě s jemností level 2 (odpovídá zmenšení prvků cca na polovinu). Pro usnadnění záběru byla použita tlačka a před vstupem do pásma deformace byly umístěny dva

opěrné válečky pro větší stabilitu výpočtu. Nastavení simulace je znázorněno na obr. 6.

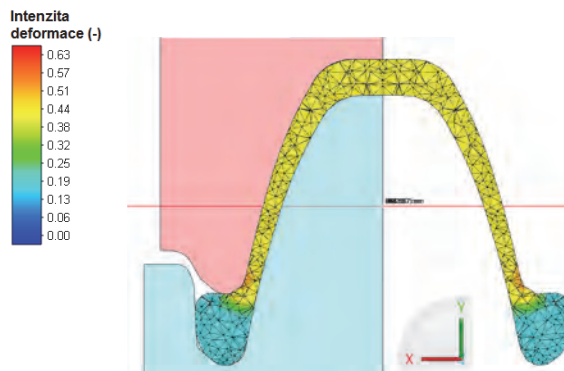


Obr. 6 Pohled ze strany roviny symetrie

Fig. 6 Side view of the plane of symmetry

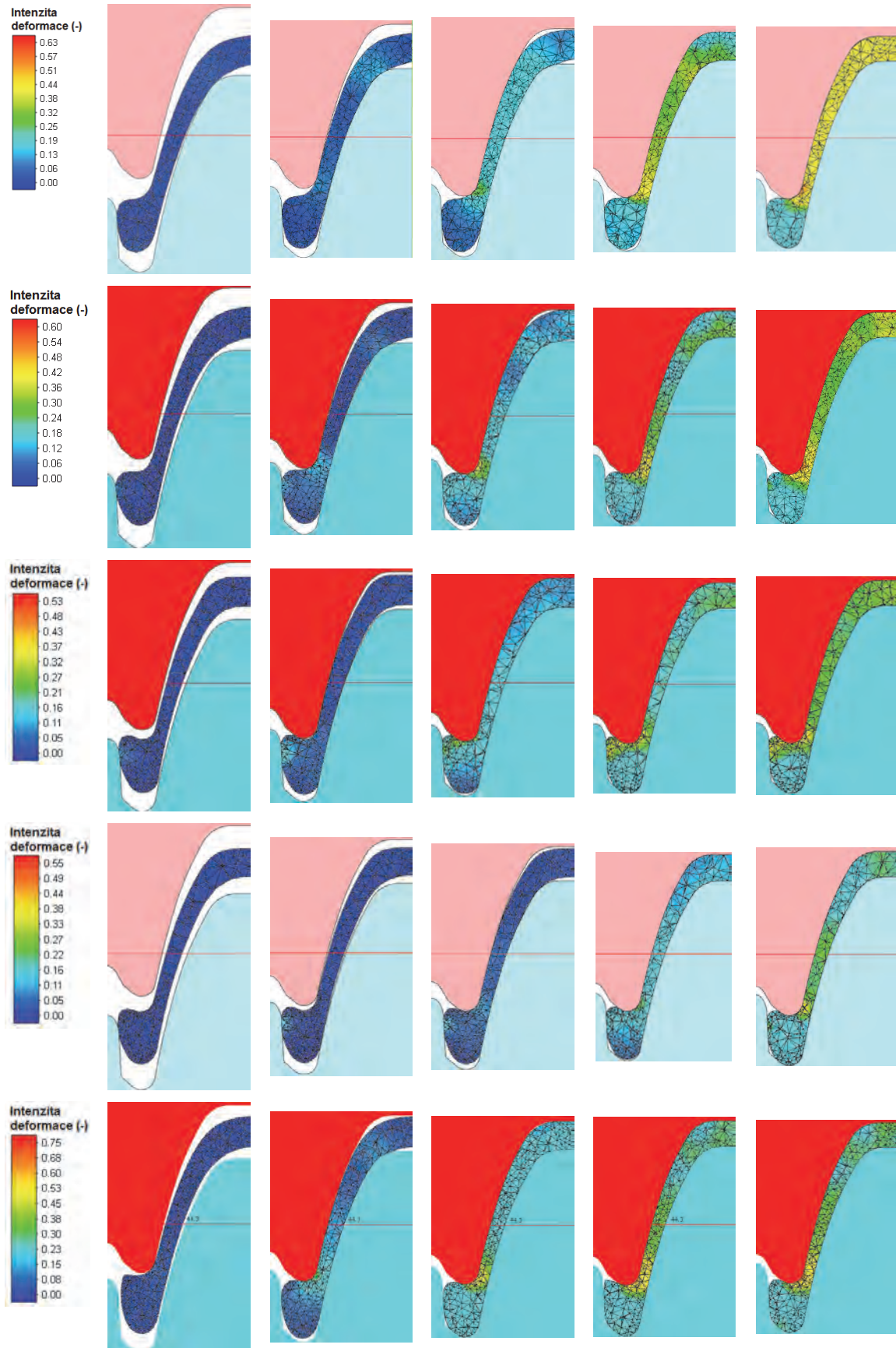
Počáteční teploty byla stanovena na základě provozních měření a byla ve všech případech 980 °C. Ve všech simulacích byl použit kombinovaný model tření, kdy pro nižší hodnoty kontaktního tlaku platí Coulombův model (kluzné tření) reprezentovaný součinitelem tření $\mu = 0,6$ a pro vyšší hodnoty kontaktního tlaku platí Trescův model (smykové tření) s třecím faktorem $m = 0,6$. Obecně se dá říct, že kombinovaný model je vhodný pro většinu procesů objemového tváření, protože eliminuje slabé stránky obou modelů. Součinitel přestupu tepla do válců byl nastaven na hodnotu $\alpha = 10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Během vyhodnocování výsledků bylo nutné detailně se zaměřit na tok kovu v patce profilu, a proto je většina výsledků prezentována v příčném řezu podle obr. 7. Srovnání rozdílů v toku kovu vybraných variant simulací dokládá série příčných řezů pásmem deformace na obr. 8. Postupně lze vidět u jednotlivých variant, jak se měnilo rozložení materiálu mezi patkou a zbytkem profilu, až se ve výsledku došlo k co nejlepšímu vyplnění patky. V prvních 4. variantách docházelo k prvotnímu kontaktu vývalku a válců v místě patky, díky čemuž došlo relativně pozdě k úplnému kontaktu provalku a válců mimo patky. Až poslední varianta se zúžením a zároveň zvýšením patky na vstupu způsobila lepší postupný kontakt od kořene k patce. To vedlo k úplnému vyplnění patek.



Obr. 7 Stolice 9: Příčný řez ve výstupní rovině pásma deformace (varianta 0) Zobrazená veličina: Intenzita deformace

Fig. 7 Stand 9: Cross section in the output plane of the deformation zone (variant 0) Displayed quantity: Equivalent strain



Obr. 8 Stolice 9: Příčné řezy pásmem deformace postupně od místa prvního kontaktu směrem k výstupní rovině, varianty jsou zobrazeny v řádcích v pořadí: Var. 0; Var. 1; Var. 2; Var. 3 a Var. 4. Zobrazená veličina: Intenzita deformace

Fig. 8 Stand 9: Cross-sections of the deformation gradually from the point of first contact towards the output plane, the variants are shown in the order: Var. 0; Var. 1; Var. 2; Var. 3 and Var. 4. Displayed quantity: Equivalent strain

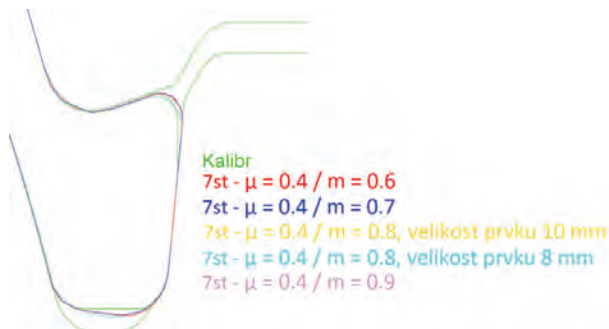
3. Posouzení vlivu tření

Během druhé kalibrační zkoušky vyvstaly problémy s nevyplněnou a nízkou patkou profilu. Při srovnání obrysu odebraného ze vzorku a obrysu vytvořeném simulací vyvstala otázka, zda je správně stanoven třecí koeficient. V předchozích simulacích byl koeficient nastaven na základě zkušeností řešitelského kolektivu. Tření mezi provalkem a válcem může mít zásadní vliv na tok kovu v pásnu deformace a tím i na výsledný tvar provalku. Obzvláště při simulaci válcování v kalibrech je znalost tření klíčová pro přesnost výpočtu. Pro ověření třecího koeficientu a jeho vlivu na přesnost výsledků byla provedena série simulací s různými hodnotami třecích koeficientů. Výsledky byly následně srovnány s obrysy vývalků odebranými za jednotlivými stolicemi. V následujícím odstavci budou popsány výsledky simulací provedených v 7. stolici. Varianty simulací jsou shrnuty v tab. 2.

Tab. 2 Přehled simulací provedených v 7. stolici
Tab. 2 Overview of simulations performed in 7th stand

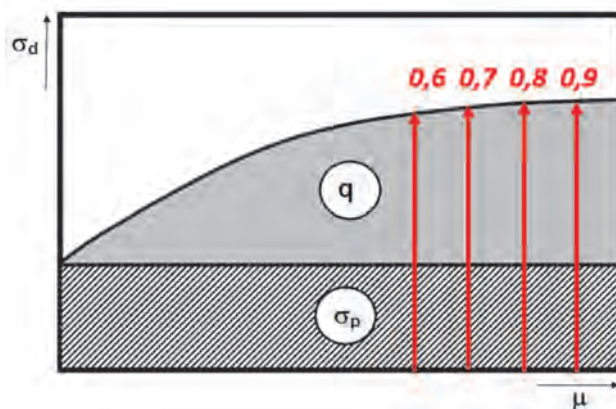
| V | Stručný popis | Změna |
|---|---|--|
| 0 | Tvarová shoda simulace se vzorkem V32, Test tření C-Shear Friction coeff. $\mu = 0,4$ / Interface friction factor $m = 0,6$ | První simulace |
| 1 | Test tření C-Shear Friction coeff. $\mu = 0,4$ / Interface friction factor $m = 0,7$ | Součinitel tření |
| 2 | Test tření C-Shear Friction coeff. $\mu = 0,4$ / Interface friction factor $m = 0,8$ | Součinitel tření |
| 3 | Test tření C-Shear Friction coeff. $\mu = 0,4$ / Interface friction factor $m = 0,8$, velikost prvku | Součinitel tření, změna velikosti prvku sítě |
| 4 | Test tření C-Shear Friction coeff. $\mu = 0,4$ / Interface friction factor $m = 0,9$ | Součinitel tření |

Geometrie vstupního polotovaru byla vytvořena na základě rozměrů vývalku za stolicí 6. Okrajové podmínky (kromě tření), počáteční podmínky (kromě teploty, která je pro tento úběr nastavena jako konstanta na 1070 °C) zůstává konfigurace simulace stejná, jako v předchozí kapitole.

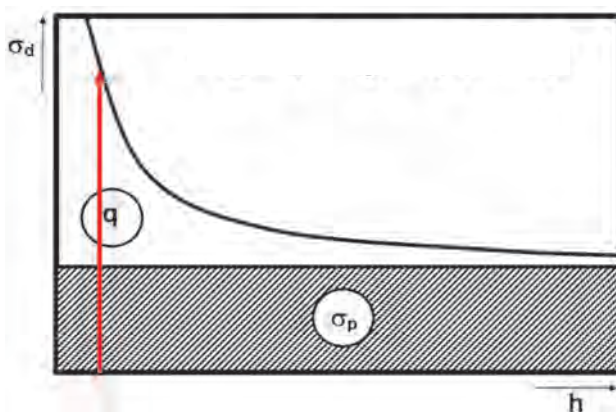


Obr. 9 Srovnání příčného řezu v oblasti patky pro různé hodnoty třecího faktoru a sítě
Fig. 9 Comparison of the cross section in the foot area for different values of the friction factor and the element size

Jak dokazují výsledky na obr. 9, nemá tření na tok kovu v tomto případě významný vliv. Vysvětlení nám mohou dát grafy na obr. 10 a 11, které ukazují velikost třecího napětí q (jako složky deformačního odporu (viz rovnice na obr. 11)) v závislosti na koeficientu tření (obr. 10) a velikosti stykové plochy, resp. tloušťky provalku (obr. 11). Jak je zřejmé z porovnání obou grafů, u těles s malou tloušťkou, ze které rezultuje velká styková plocha mezi válcem a provalkem, dojde k výraznému navýšení deformačního odporu, které snadno překryje i vliv velikosti koeficientu tření. V oblastech se zvýšeným deformačním odporem pak bude omezeno šíření na úkor prodloužení. Z toho plyne, že je nutné upravit kalibraci tak, aby se dostalo více materiálu do oblasti patek, ještě v úběrech, kde má provalek větší tloušťku (nejpozději ve stolici č. 7). Později již bude šíření materiálu velmi omezeno. Mnohem větší vliv na výsledný tvar vývalku má, jak ukázala varianta s třecím faktorem $m = 0,8$, zvolená hustota sítě. Zde byly provedeny dvě simulace se stejnými okrajovými podmínkami, ale s rozdílnou hustotou sítě. Nastavení varianty bylo následně použito pro zbývající simulace, protože vyšší hodnoty třecího faktoru usnadňují záběr a tím stabilizují výpočet.



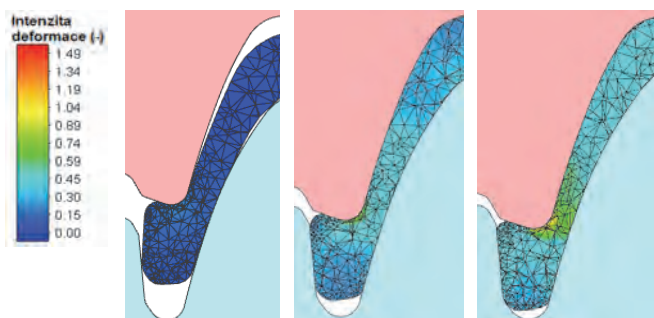
Obr. 10 Vliv součinitele tření na třecí napětí q a deformační odpor oceli
Fig. 10 Influence of coefficient of friction on friction stress q and deformation resistance of steel



Obr. 11 Vliv velikosti stykové plochy na třecí napětí q a deformační odpor během válcování.
Fig. 11 Influence of the size of the contact surface on the friction stress q and the flow stress during rolling.

4. Návrh finálního kalibračního předpisu

Návrh finálního kalibračního předpisu probíhal od 6 stolice, protože kalibrační řada profilů TH a V se začíná lišit právě až od 6 stolice. Nejdříve byla provedena série simulací od 6 do 9 stolice. Do 6 stolice vstupoval model vývalku navrhnutý podle obrysu vzorku odebraného za 5. stolicí. Během této série simulací bylo lokalizováno kritické místo nacházející se v 7 stolicí, kterou bylo nutné přepracovat. Deformace v 7. stolicí je poměrně nerovnoměrná. Ve stojně, v oblasti těsně nad patkami, je materiál vystaven poměrně velké deformaci, která má za následek zvýšené prodlužování provalku v těchto místech a tím i „vytahování“ materiálu z oblasti patek, jak je dokumentováno na obr. 12. Pro dosažení lepšího rozložení intenzity deformace byl tvar kalibru v 7 stolicí upraven. Díky úpravě tvaru kalibru došlo ke kvantitativní, ale i kvalitativní změně v rozložení intenzity deformace. Tvar upraveného kalibru je vidět na obr. 13 a srovnání polí intenzity deformace je provedeno na obr. 14.

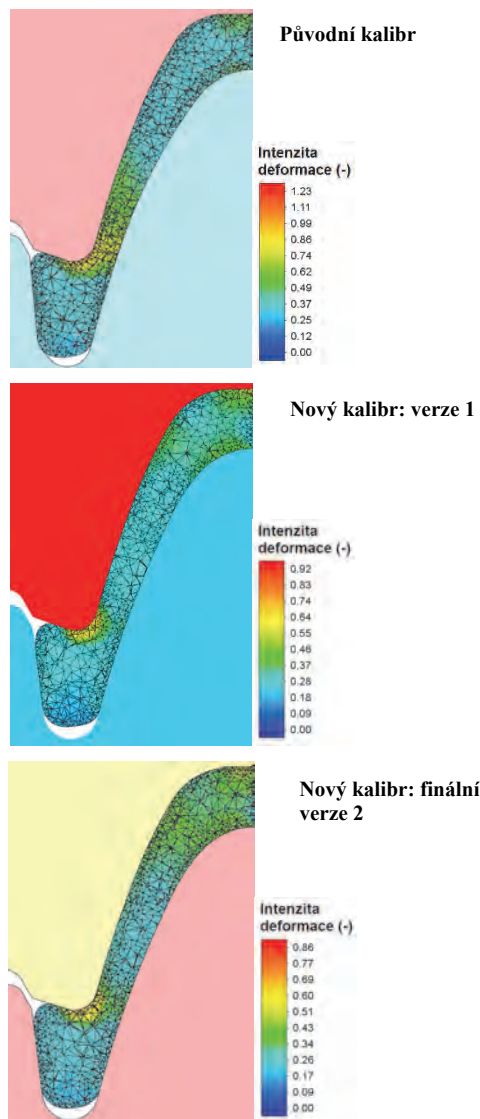


Obr. 12 Stolice 7: Vývoj rozložení intenzity deformace v různých řezech pásmem deformace (varianta 0)

Fig. 12 Stand 7: Development of equivalent strain distribution at different section of deformation zone (variant 0)



Obr. 13 Stolice 7: Původní (zelený) kalibr a nový tvar kalibru (červený)
Fig. 13 Stand 7: Original (green) grooves and new grooves shape (red)

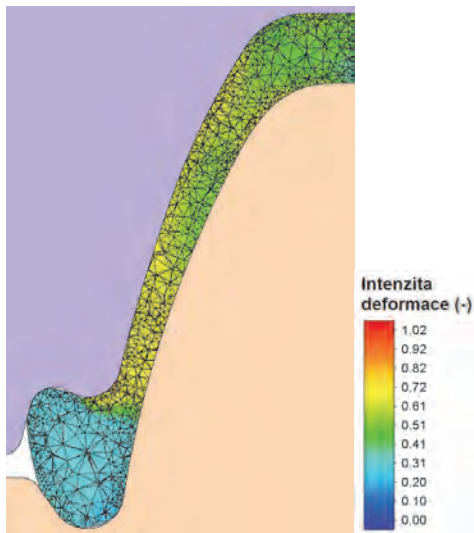


Obr. 14 Stolice 7: srovnání polí intenzity deformace
Fig. 14 Stand 7: comparison of equivalent strain field

V původní kalibraci docházelo k intenzivní deformaci ve spodní části stojiny (blízko patky), což mělo za následek omezený tok kovu do oblasti patek, jak bylo diskutováno v předchozí kapitole. Modifikací kalibru se postupně podařilo přesunout oblast intenzivní deformace do kořene profilu a získat tak konečný tvar, který by měl být lepším vstupem do následující 8. stolice. Pro simulace válcování v 8. a 9. stolicí byl použit výstup z kalibru 7. stolice „Nový kalibr – finální verze 2“. Na obr. 15 resp. obr. 16 je zobrazen tvar vývalku na výstupu z 8. resp. 9. stolice. Oblast patek je po 8. úběru širší než v předchozích případech, a proto dojde v 9. úběru k výrazně lepšímu vyplnění patek, jak dokumentuje obr. 17, kde je provedeno srovnání s tvarem vývalku, který byl získán při 2. kalibrační zkoušce. Ze srovnání je zřejmá míra zaplnění patek v blízkosti. To dokazuje, že provedené změny tvaru předchozích kalibrů splnily svůj účel a otevírají tak valcírům více možností, jak regulovat tvar vývalku v reakci na aktuální chování materiálu např. způsobené rozdílným skokem válců. Před poslední kalibrační zkouškou byla kalibrační řada naposledy ověřena sérií

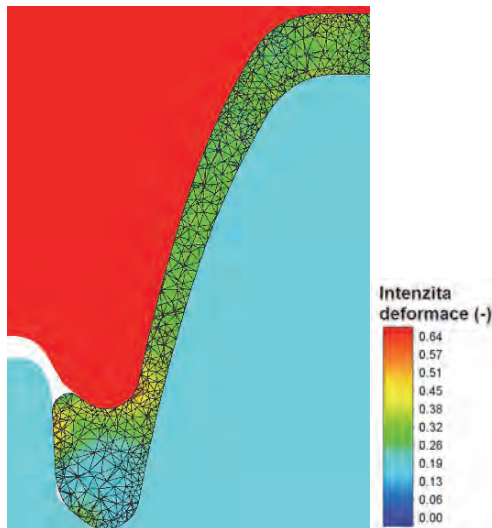
simulací od 6. do 9. stolice. Tok kovu v kalibru 6. stolice ukázal, že oblast patek je výrazně méně protvářena než zbytek profilu. Tento poznatek je důležitý z pohledu mechanických hodnot, protože vzorky pro testování jsou odebrány právě z této oblasti. Nicméně rozměry odpovídaly tolerančnímu výkresu a obavy z nedostatečných mechanických hodnot v patkách nebyly kalibrační zkouškou potvrzeny. Výsledná pole intenzity

deformace při válcování od 6. do 9. stolice jsou znázorněny na obrázku 18. Kalibrační řada navrhnuta pomocí simulací byla úspěšně ověřena pomocí poslední kalibrační zkoušky. Profil V32 splňoval rozměrové a mechanické požadavky a byl ve formě tyčí a z nich připravených oblouků podroben testování v institutu GIG (Central Mining Institute, Katowice, Polsko), který následně Liberty Ostrava udělil certifikát.



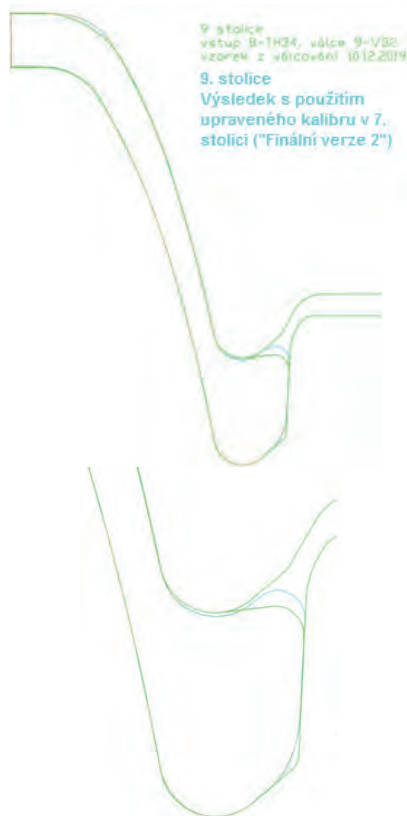
Obr. 15 Stolice 8: intenzita deformace a tvar vývalku na výstupu z pásma deformace

Fig. 15 Stand 8: comparison of equivalent strain field and shape of profile at the exit of the deformation zone

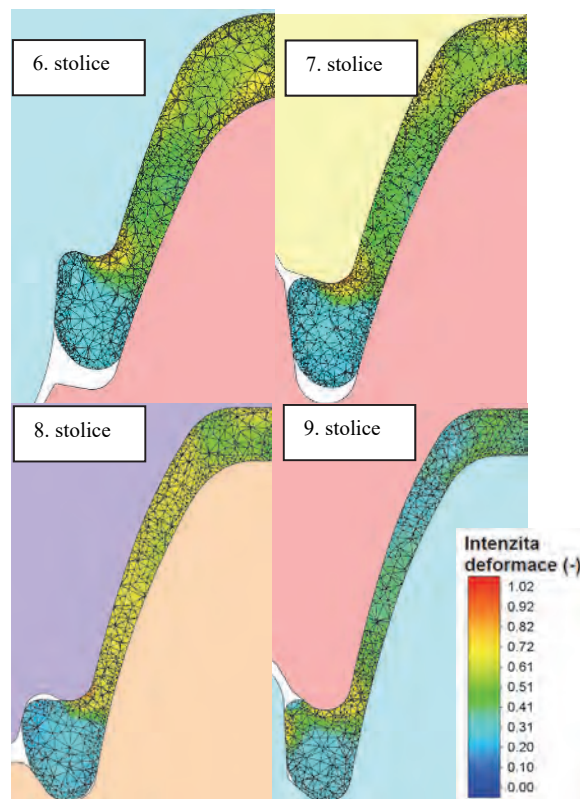


Obr. 16 Stolice 9: intenzita deformace a tvar vývalku na výstupu z pásma deformace

Fig. 16 Stand 8: comparison of equivalent strain field and shape of profile at the exit of the deformation zone



Obr. 17 Srovnání obrysů finálních vývalků
Fig. 17 Comparison of contours of final profiles



Obr. 18 Intenzita deformačních polí finální kalibrační řady od 6. do 9. stolice

Fig. 18 Equivalent strain fields of the final roll pass schedule from the 6th to the 9th stand

Závěr

Simulace toku kovu při válcování pomocí programu SIMUFACT byla použita při rozšíření výrobního portfolia HCC trati o nové důlní profily pro polský trh. Umožnila lépe pochopit tok kovu při rozdílných tloušťkách hlavních částí profilu a najít kritické místo v kalibraci válců. Úpravou tvaru přípravných kalibrů byl potlačen nežádoucí směr toku materiálu a přeměřován do oblastí zajišťujících přesné vyplnění hotovného kalibru. Válcované důlní profily nyní splňují přísné rozměrové tolerance a práce řešitelského kolektivu významně přispěla k získání certifikátů pro nový trh.

Literatura

- [1] KUMAR, D., DIXIT, U. A slab method study of strain hardening and friction effects in cold foil rolling process. *Journal of Materials Processing Technology* 171 (2006) 331-340.
- [2] KOMORI, K. Simulation of deformation and temperature in multi-pass caliber rolling. *Journal of Materials Processing Technology* 71 (1997) 329-336.
- [3] KOMORI, K., KOUMURA, K. Simulation of deformation and temperature in multi-pass H-shape rolling. *Journal of Materials Processing Technology* 105 (2000) 24-31.
- [4] KOMORI, K. Simulation of deformation and temperature in multi-pass three-roll rolling. *Journal of Materials Processing Technology* 92+93 (1999) 450-457.
- [5] KIUCH, M., YANAGIMOTO, J. Computer aided simulation of shape rolling process. *Proc. of the 16th NAMRC*, 1987, pp. 34-40.
- [6] HAJDUK, D., ŠIMEČEK, P. Simulation of forming conditions during section rolling using the finite element method. *Transactions of STELSIM*, Brno, 2005, pp. 421-427.
- [7] PERÁ, J.P., VILLANUEVA, R. Application of FE-methods in practical groove roll design of structurals. *Transactions of STEEL ROLLING*, Paris, 2006.
- [8] INAKOV, R. Finite element simulation of profile rolling of wire. *Journal of Materials Processing Technology*, 142, (2003) 355-361.
- [9] GŁOWACKI, M. Termomechaniczno-mikrostrukturalny model walcowania w wykrojach kształtowych, *Rozprawy, monografie*. 76. Wydawnictwa AGH, Kraków 1998, ISSN 0867-6631.
- [10] ZHOU, S. X., *Journal of Materials Processing Technology*, 134 (2003), 338-351.
- [11] CHUNG, W.K., CHOI, S.K., THOMSON, P.F. *Journal of Materials Processing Technology*. 38 (1993) 85-102.
- [12] XIONG, S., LIU, X., WANG, G., ZHANG, Q. *J. Mater. Eng. Perform.* 6 (1997) 757-765.
- [13] SHANGU, X., XIANGHUA, L., GUODONG, W., QIANG, Z. *Journal of Materials Processing Technology*. 69 (1997) 37-44.
- [14] XIONG, S.W., LIU, X.H., WANG, G.D., ZHANG, Q. *Journal of Materials Processing Technology* 2000;101(1-3):146-51.
- [15] XIONG, S., ZHENG, G., LIU, X., WANG, G. *Journal of Materials Processing Technology* 120 (2002) 53-61.
- [16] FABÍK, R., KLİBER, J., MAMUZIĆ, I., KUBINA, T., AKSENOV, S. Mathematical modelling of flat and long hot rolling based on finite element methods (FEM). *METALURGIJA = Metallurgy*, 2012, Volume 51, Issue 3, Pages 341-344. ISSN 0543-5846 (print), ISSN 1334-2576 (online). ISBN 0543-5846.
- [17] KUBINA, T., KUKOL, R., SCHINDLER, I. Měření součinitele tření při válcování na laboratorní stolici K350 (Measuring of friction coefficient at rolling on laboratory mill K350). *Hutnické listy*, Ocelot, s.r.o., 2008, s. 114-118.
- [18] AKSENOV, S., FABÍK, R., KLİBER, J. The numerical prediction of friction forces distribution within the roll bite when hot rolling steel. *Acta Metallurgica Slovaca*, 13, 2007, 4, pp. 660-666.
- [19] AKSENOV, S., FABÍK, R., KLİBER, J., GAJDZICA, T. Verification of Friction Models by different rolling conditions. In: *14. Mezinárodní vědecká konference FORMING 2007*, Podbánské, 2007, ISBN 978-80-227-2702-0.
- [20] FABÍK, R., KLİBER, J. Inverse analysis calculation of heat transfer coefficient for FEM simulation of rails hardening. *Acta Metallurgica Slovaca*, 11, 2005, 3, pp. 341-350.
- [21] AKSENOV S., FABÍK R., KLİBER J., KOTAS, M. Experimental and Computer Study of Rolling in Roughing Mill Group. *Hutnické listy*, 2009, roč. 62, č. 4, s. 64-66. ISSN 0018-8069.
- [22] FABÍK, R., AKSENOV, S. Optimization of crop losses by finite element simulation of slab edging. *Metal Forming Conference 2008, Steel research international*, 2008, 79 Special Edition, č. 1, s. 432-439. IF 0,478. ISBN 978-3-514-00754-3.
- [23] FABÍK, R., Laboratory and mathematical simulation of slab edging. In. *Metal 2010*, Conference Proceedings. Ostrava : Tanger Ltd, 2010. s. 339-345. ISBN 978-80-87294-17-8.
- [24] KOTAS, M., FABÍK, R., GAJDZICA, T., KLİBER, J. Finite Elements Method (FEM) Simulation of Bar Rolling in Oval-Circle Pass Schedule. In. *Metal 2010*, Conference Proceedings. Ostrava : Tanger Ltd, 2010. s. 251-256. ISBN 978-80-87294-17-8.
- [25] BARON, R., FABÍK, R. Mathematical Modelling of Deformation Behaviour of X15CrNiSi20-12 Heat Resisting Steel During Rolling of Special Sections, *Hutnické listy*, 2010, č. 4, s. 114-118. ISSN 0018-8069.

WorldSteel představuje data za rok 2020

www.worldsteel.org, tisková zpráva 27.1.2021

Celosvětová produkce surové oceli dle WorldSteel za rok 2020 meziročně klesla o 0,9 % na 1 864 mil. tun. Jedná se tak o první meziroční pokles poprvé od roku 2015. Jasným lídrem ve výrobě nadále zůstává Čína, jejíž podíl na celkové výrobě se zvýšil z 53 % v roce 2019 na 56,5 % v roce 2020.

EUROPEAN GREEN DEAL

EUROPEAN GREEN DEAL – ZELENÁ DOHODA PRO EVROPU

Evropská unie se dohodla, že se bude v nejbližší době výrazným způsobem podílet na snižování uhlíkové stopy. Chce tak přispět ke snižování oteplování naší země. Tato strategie v budoucnu značně ovlivní řadu činností našeho života a zásadním způsobem zasáhne dopravu, energetiku a průmysl. A významně zasáhne i hutnictví. Transformace na „zelené“ hutě bude časově a investičně velmi náročná. Nutné bude mimo jiné současné technologie výroby nahradit novými, které budou mít nižší podíl uhlíkové stopy, zajistit dostatek energií z obnovitelných zdrojů a vyřešit problematiku spotřeby koksu při procesech výroby oceli. Je třeba hledat cesty ve využití vodíkových technologií. Jedním z největších problémů hutního průmyslu jsou emise CO₂, špičkové evropské hutě produkují 1,7 až 1,8 tuny CO₂ na tunu vyrobené oceli. Mimo EU je toto číslo ještě vyšší – dvě tuny. Musí se vyvinout technologie na využití CO₂ nebo jeho skladování. Některé technologie jsou již dnes známy, ale jsou finančně náročné. Je tedy třeba hledat nové technologie uplatnitelné v průmyslu a s menším finančním dopadem. Cílem Evropské unie je do roku 2030 snížit emise CO₂ o 55 %. Pro průmyslové podniky je i velmi finančně citlivá problematika povolenek, jejichž cena v posledním období roste, což samozřejmě nepříznivě ovlivňuje nákladovost výroby.

Celý systém opatření bude vyžadovat, jak už bylo uvedeno, značné investiční prostředky a nastoupená cesta bude velmi dlouhá a složitá a neobejde se bez řešení konkurenceschopnosti hutního průmyslu. Je zcela jasné, že bez finanční podpory z Evropské unie, ale i z České republiky se hutě neobejdou a bude třeba najít nová řešení v oblasti technologií výroby. Nutností bude také zapojení výzkumu a vývoje do hledání nového využití současných i budoucích bezemisních zdrojů energií.

Celý budoucí proces transformace není jenom ohrožením konkurenceschopnosti průmyslu, ale je ho třeba chápat i jako novou příležitost.

Vážení čtenáři, ve zkratce jsem se pokusil nastínit problematiku budoucí strategie ZELENÁ DOHODA PRO EVROPU a její dopad zvláště na hutě. Celý proces transformace bude velmi komplikovaný, proto chceme přispět k názorům na tuto problematiku formou článků, které se jí dotýkají. V každém následujícím čísle proto uveřejníme materiály zabývající se problematikou EUROPEAN GREEN DEAL. Budeme velmi rádi, když se do této diskuse zapojíte.

Jaroslav Pindor

Vodíkovou strategií k snížení emisí skleníkových plynů (1. část)

Změna klimatu a zhoršování životního prostředí představují pro Evropu a celý svět existenciální hrozbu. Na to reaguje dokument Evropské unie Zelená dohoda pro Evropu, v níž se mimo jiné nastiňují opatření k tomu, aby se do roku 2050 stala Evropa prvním uhlíkově neutrálním kontinentem, což znamená zajištění rovnováhy mezi vznikajícími emisemi uhlíku a jeho pohlcováním z atmosféry. Právě vodík je pro většinu zemí cestou k redukci těchto emisí a je vnímán jako prostředek k dosažení uhlíkové neutrality i pro odvětví, která by se jinak jen velmi těžko dekarbonizovala. Velká většina zemí si uvědomila význam vodíku a k optimalizaci jeho využití definovala své národní vodíkové strategie. Jak to vypadá s vodíkovou strategií u nás jsme si povídali s Ing. Petrem Mervartem, zmocněncem ministra průmyslu a obchodu pro vodíkové technologie.



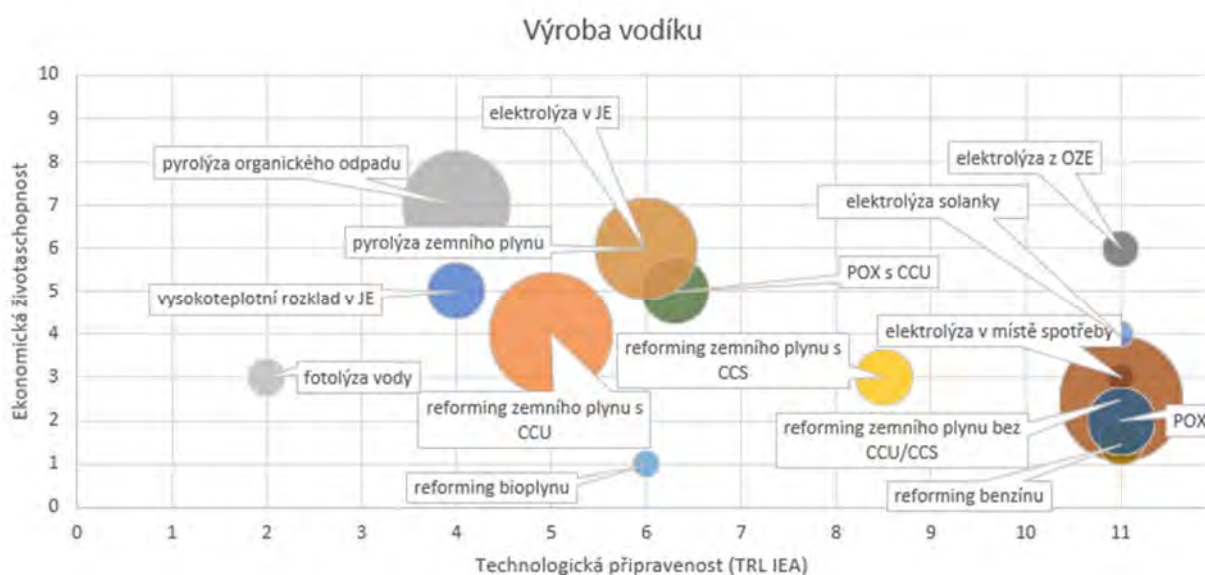
Představil byste čtenářům, co se skrývá za vaší pozicí zmocněnce ministra průmyslu a obchodu pro vodíkovou strategii?

Mým hlavním současným úkolem je příprava vodíkové strategie. Jde o dokument, který by měl být schválen vládou v polovině tohoto roku. Nyní finišujeme s jeho dokončením. Vyjadřovala se k němu spousta kompetentních lidí i organizací a proběhla také celá řada připomínkových řízení. Materiál je velmi komplexní a zahrnuje většinu podnětů a připomínek, které jsme dostali.

A proč tuto vodíkovou strategii připravujeme? Je to reakce na Zelenou dohodu pro Evropu, ze které pro nás vyplývají dva zásadní úkoly. Prvním je, že musíme snížit emise skleníkových plynů. Druhým úkolem je stimulace ekonomiky, protože Zelená dohoda pro Evropu zahrnuje celou řadu omezujících podmínek pro další rozvoj průmyslu a ekonomiky. Emisní neutrality chceme dosáhnout kolem roku 2050. Pokud nebudeme nic dělat a necháme na hospodářství pouze působit omezení daná Zelenou dohodou pro Evropu, tak se bude řada průmyslových odvětví postupně zmenšovat. Ve vodíkové strategii řešíme, jak na požadavky Zelené dohody pro Evropu reagovat, co dělat a jak zajistit, aby se náš průmysl mohl dále rozvíjet a mohl plnit cíle, které má.

V úvodu vodíkové strategie definujeme typy vodíku, které chceme využívat. Z pohledu České republiky je důležité, že se bavíme o nízkouhlíkovém vodíku, nechceme rozlišovat, jestli je vodík vyroben z obnovitelných zdrojů nebo jinak. Zajímá nás jen, jaký má obsah uhlíku. To je pro nás rozhodující kritérium.

Celá vodíková strategie je postavena na čtyřech pilířích, které musí být velice úzce provázány. Patří sem výroba vodíku, využití vodíku, přeprava a skladování vodíku a všechny tyto tři pilíře jsou podepřeny vodíkovými technologiemi.



Pro definování priorit v těchto pilířích máme řadu různých nástrojů, pro každou oblast jsme vytvořili bublinkové grafy. Je v nich znázorněno, jak je technologie v současnosti zralá, jestli jde o počáteční ideu, nebo o něco, co se už rutinně používá. U jednotlivých technologií posuzujeme, jakou mají úroveň ekonomické životaschopnosti, jestli se budou nadále do budoucna rozvíjet. Velikost bubliny v grafu znázorňuje, jaký má daná technologie potenciál. Takto posuzujeme celou řadu oblastí ve všech čtyřech pilířích.

Ve strategii jsou také popsány nástroje, které máme k jejímu prosazování. Je třeba podotknout, že my jsme ministerstvo, nejsme plánovací komise, nemůžeme firmám říct: „Vy musíte dělat to a to, vy byste měli vyrábět takové a takové výrobky“. My můžeme pouze vytvářet prostředí, ve kterém tyto firmy působí. Takto vytvořené prostředí musí podporovat rozvoj vodíkových technologií.

Chceme, aby firmy směřovaly ke dvěma strategickým cílům, které jsem na začátku rozhovoru naznačil: ke snižování emisí a k podpoře rozvoje hospodářství. Musíme hledat nástroje, které nám to umožní. V současné době máme pouze dva druhy nástrojů. Jsou to legislativní a regulativní opatření a dále různé podpůrné programy, které nám umožní vybranou oblast podporovat finančně.

Zmínili jste se, že vodíková strategie podléhala připomínkování, koho jste oslovovali? Vodíkové technologie jsou v prvopočátcích a jsou velmi složité, oslovovali jste také výzkumnou sféru?

Úzce jsme spolupracovali zejména s resorty, kterých se vodíková strategie hlavně týká: s Ministerstvem životního prostředí a s Ministerstvem dopravy. Výzkumnou a průmyslovou sféru jsme oslovovali přes zájmové organizace a přes oborové svazy, například Svaz průmyslu a dopravy ČR, Ocelářskou unii. Spolupracujeme s celou řadou vysokých škol a také se zástupci jednotlivých regionů. Oslovili jsme samozřejmě i Ostravský region a VŠB-TU Ostrava. Celkem to bylo přes třicet organizací, svazů a sdružení, která sdružují desítky individuálních organizací.

Uvažujete o vypsaní nějakých podpůrných programů, které by umožnily podnikům investovat peníze do nových technologií?

Využíváme hlavně ty programy, které již existují a které podniky znají. Ve vodíkové strategii jsme uvedli jejich přehled, zatím neplánujeme, že bychom vytvořili nějaké speciální nové podnikové programy. A musím říct, že tento přístup byl všemi zúčastněnými kladně hodnocen. V okamžiku, kdy bychom vytvářeli speciální vodíkový program, tak všichni, kdo již mají nějaké své programy, by se začali strachovat, že začneme ubírat z toho jejich koláče. Snažíme se, aby jednotlivé podpůrné programy vždy, pokud je to možné, zmínily vodík, jako jednu z podporovaných možností. Chceme využívat programy, které už existují, které mají vytvořena pravidla a schémata, podle kterých fungují. Tento přístup nám připadá efektivnější a ukazuje se, že je schopen pokrýt všechny oblasti, které pokrýt potřebujeme.

Ve strategii jsme si vytvořili mapy, ve kterých máme znázorněny jednotlivé technologické oblasti, seřazené podle životního cyklu. Na začátku je věda a výzkum, pak je podpora výroby, nakonec nákup a užití zařízení. Když bych zmínil například nákladní automobily nebo autobusy na vodíkový pohon, jsme schopni podpůrnými programy pokrýt celý hodnotový řetězec, od výzkumu a vývoje, přes výrobu komponent, jako jsou palivové články a řídicí systémy, až po nákup samotných autobusů nebo nákladních automobilů.

Jaké jsou v současnosti další nejdůležitější úkoly, které váš odbor zajišťuje?

Mimo vodíkové strategie se podílíme na přípravě dekarbonizační studie, což je také velmi důležitý materiál z pohledu snižování emisí. Studie vznikla na základě požadavků Tripartity, abychom analyzovali dopady Zelené dohody pro Evropu na jednotlivá průmyslová odvětví.

My jsme tuto studii zpracovali do určité úrovně detailu, rozdělili jsme ji podle odvětví, která produkují nejvíce skleníkových plynů a kterých se bude Zelená dohoda pro Evropu nejvíce dotýkat. Vybrali jsme z nich podniky, které jsou součástí EU ETS, to znamená, že obchodují s emisními povolenkami, a jsou členy jednotlivých oborových svazů. Z provedených analýz nám vyšlo, že přístupy musí být v jednotlivých odvětvích různé. Analyzovali jsme tyto oblasti: energetika, hutnictví, výroba cementu, výroba vápna, chemický průmysl, cihlářský a keramický průmysl a výroba papíru.

Podarilo se nám tento obrovský problém vzniku emisí v průmyslovém prostředí rozdělit a nyní se snažíme definovat další kroky, co v daných odvětvích dělat. Navrhujeme, že budeme připravovat scénáře dalšího vývoje a analyzovat různé možnosti. V současné době probíhají diskuse, zda by se nemělo jít více do hloubky, více analyzovat dopady, ale já se tomu trochu bráním. Můžeme dělat podrobnější rozbor, můžeme si k němu najmout další specialisty a konzultační firmy, můžeme se rozhodnout, že vytvoříme studii, která bude mít sto nebo tisíc stránek. Ale ta studie by vždy musela vycházet z nějakých vstupních parametrů, u kterých bychom museli odhadnout vývoj jejich budoucí hodnoty. Těchto parametrů je velké množství. Takže nakonec by se studie rozvětvila, měla by ohromnou spoustu variant, a stala by se velmi nepřehlednou. Kdybychom tyto parametry zafixovali na nějakou konkrétní hodnotu, abychom snížili počet variant, tak jediná jistota, kterou budeme mít, je, že ten zafixovaný stav není stavem, který nastane. Z toho důvodu

chceme postupovat podobně jako ostatní evropské země, připravovat se spíše na to, co dělat a jakým způsobem využít Zelenou dohodu pro Evropu pro podporu rozvoje ekonomiky.

Změna technologie v hutích znamená obrovské investice, bude na to nějak reagovat Česká republika nebo si to budou podniky iniciovat samy?

To jsou věci, které musí probíhat paralelně. My nejsme plánovací komise, my nemůžeme firmám diktovat, co mají dělat, můžeme vytvářet jen vhodné prostředí. Samozřejmě podporujeme transformaci těch oblastí, které jsou u nás Zelenou dohodou pro Evropu postiženy. Jedním z těchto podpůrných prostředků je Fond spravedlivé transformace, který je určen zejména pro uhelné regiony. Pokud vzniknou další programy, budeme se o nich bavit. Nejsem specialistou na hutnictví a nejsem k tomu schopen říct další podrobnosti.

Vodík je technologií, o které se mluví v souvislosti s hutnictvím. Když to vezmeme po technologické stránce, pokud hutě chtějí vyrábět železo ze železné rudy, musí mít nějaké redukční činidlo. Může to být buď uhlík, který má nálepkou toho špatného a chceme se ho zbavit, nebo druhým redukčním činidlem je právě vodík, takže chemicky a technologicky nám mnoho variant nezbyvá. Ve světě probíhá testování technologií využívajících vodík pro výrobu železa.

Jaký dopad bude mít uplatňování zásad uvedených v evropské strategii na český průmysl, potažmo na české hutnictví? Řekl jste, že budete bojovat za to, aby se naplnily vize této dohody, na straně druhé, aby se ochránil český průmysl.

Ano, ale musíme si uvědomit, co je ochrana a co je podpora. Některá průmyslová odvětví vytvářejí emise a my jsme se zavázali, že emise skleníkových plynů budeme snižovat. Takže musíme rozlišit, zda budeme podporovat neperspektivní odvětví, nebo budeme podporovat jejich transformaci. Transformace bude mít samozřejmě dopad na konkrétní podniky, některé mohou zaniknout, ale jiné zase vzniknou. Důležité je, aby zůstala zachována celková zaměstnanost a výkonnost hospodářství. Čím dříve s danou transformací začneme, tím bude přechod k novým technologiím „měkčí“ a efektivnější.

Trošku bych oponoval, některé technologie je možno realizovat, ale vždycky pracujete s materiálem, který jste dostal a do kterého už byla vložena uhlíková stopa. Ta uhlíková stopa tam zůstane, jen se přesune někde jinde.

To je ale druhá otázka, která se musí řešit, aby nedošlo k vývozu uhlíku. Velkým tématem je problém transportu uhlíku přes hranice, připravuje se k tomu příslušná legislativa. Nicméně tato otázka není úplně jednoduchá, protože na jednu stranu chceme chránit náš průmysl, ale zároveň nechceme, aby se u nás vyrábělo železo a ocel s emisemi CO₂. Stejně tak nechceme, aby se železo a ocel vyráběly v Číně s vyššími emisemi a aby se k tomu ještě přidaly emise související s dopravou. Dovážet materiály s vysokou uhlíkovou stopou, to není ten správný postup. Zavést uhlíkovou daň také není úplně jednoduché, protože je složité se dopočítat toho, kolik uhlíku bylo do daného materiálu vloženo v jiné zemi. Musíme vytvořit takový postup, aby výpočet objemu spotřebovaného uhlíku nebyl dražší než vlastní železo. Druhá věc je, že pokud zavedeme určitá opatření, tak ta mohou vyvolat celou řadu protipatření. V případě chemického průmyslu jsme nejen velkými dovozci těchto energeticky náročných surovin, ale také velkými vývozci. Samozřejmě se může stát, že země, které budou postiženy cly na ochranu před dovozem uhlíku, se budou na druhou stranu bránit dovozu některých materiálů od nás. Tyto věci nejsou jednoduché a musíme k nim přistupovat obezřetně, abychom nezpůsobili nějaký nechtěný vývoj.

Jaroslav Pindor
(pokračování v příštím čísle)

Rozhovor vznikl v rámci projektu „Platforma AVO+“, registrační číslo CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_105/0018865 spolufinancovaného Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



České firmy nesmí kvůli EUROPEAN GREEN DEAL ztratit mezinárodní konkurenceschopnost

Na naše dotazy k dokumentu EUROPEAN GREEN DEAL odpovídá Bohuslav Čížek, ředitel Sekce hospodářské politiky Svazu průmyslu a dopravy České republiky.

Obsah a cíle dokumentu EUROPEAN GREEN DEAL rezonují Evropou. Jakým způsobem reaguje Svaz průmyslu a dopravy České republiky na tuto skutečnost?

Svaz průmyslu a dopravy aktivně téma komunikuje a vyjednává jak na národní, tak evropské úrovni. Podporujeme postupnou cestu Evropské unie ke klimatické neutralitě, řada firem si stanovuje i své vlastní klimatické cíle, zároveň ale upozorňujeme, že navržena opatření musí být racionální, ekonomicky a sociálně únosná a nesmí ohrozit konkurenceschopnost evropského a českého průmyslu. Návrhy a opatření musí vycházet z podrobné studie dopadů na jednotlivé členské státy a sektory respektující základní princip technologické neutrality, která komplexně posoudí i dopady zohledňující socioekonomickou strukturu a situaci v České republice. Taková studie zpracována nebyla, byť ji členské státy, včetně České republiky po Evropské komisi požadovaly. Pro český průmysl je zásadní, aby politici respektovali reálné možnosti transformace na nízkouhlíkovou ekonomiku s ohledem na vývoj nejlepších dostupných technologií, specifika jednotlivých sektorů a investiční cykly. České firmy nesmí kvůli EUROPEAN GREEN DEAL ztratit mezinárodní konkurenceschopnost, tedy nesmí se z výzev a příležitostí stát ohrožení pro řadu sektorů a pracovních míst. Svaz průmyslu podporuje jak vlastní iniciativní aktivity našich členských firem, tak hledání technologických řešení v daných oblastech podporou výzkumu a vývoje či skrze různé nástroje podpory, jako je například Modernizační fond, strukturální fondy apod. V neposlední řadě jsme přesvědčeni, že jednotlivé členské státy musí mít možnost si samy určit, jakým příspěvkem se budou na plnění evropského cíle podílet. Cíl pro rok 2050 i 2030 by měl být závazný pouze na úrovni Evropské unie, na úrovni členských států by měl být indikativní.



Spolupracujete při řešení problematiky Green Deal s průmyslovými podniky? Byly v této souvislosti zpracovány nějaké konkrétní dokumenty?

Toto téma je jednou z našich priorit. Na našich výstupech a pozicích pravidelně spolupracujeme a komunikujeme se členy nejen v rámci našich expertních týmů a pracovních skupin. Dotýká se a bude se dotýkat širokého spektra našich členů a některých dokonce i téměř existenčně. Vydali jsme řadu tiskových zpráv, stanovisek a konzultací k připravovanému návrhu celého balíčku nové legislativy. Připravovali jsme je v součinnosti se členy z řad průmyslových podniků a jsou zveřejněny na webových stránkách Svazu průmyslu a dopravy České republiky. Naše stanoviska obsahovala i shrnutí dopadů za vybrané sektory, které vycházejí právě ze znalosti členských firem. Od našich odvětvových svazů či v rámci naší spolupráce se zahraničními svazy jsme měli možnost vycházet i z pozic zahraničních asociací. Nedávno jsme například vydali společnou deklaraci s několika dalšími evropskými státy.

Specifickou oblastí českého průmyslu jsou v této souvislosti hutní podniky. Spolupracujete i s nimi?

Mezi členy Svazu průmyslu a dopravy České republiky patří jak přímo důležité hráči z oblasti hutnictví, tak i Ocelářská unie, tedy oborový svaz, který je zastupuje. Jedná se o aktivní členy, se kterými komunikujeme všechny klíčové otázky a stanoviska v této oblasti. Hutní produkty jsou součástí mnoha dalších výrobků, které firmy a domácnosti využívají, a neradi bychom, aby tento sektor byl podmínkami v Evropské unie a v České republice poškozen a museli bychom následně dovážet dané produkty, v nehorším případě i nakonec s vyšší globální emisní stopou. Tento sektor již při současných cílech a politikách naráží na výrazné komplikace v mezinárodní konkurenceschopnosti, příkladem je cena emisních povolenek zvyšující cenu elektřiny nebo dovoz levnějších produktů s vyšší uhlíkovou stopou.

EUROPEAN GREEN DEAL je ohrožením části českého průmyslu z hlediska nutných budoucích investic, ale i pracovních míst. Přinese i nějaké nové příležitosti?

Od zveřejnění sdělení EUROPEAN GREEN DEAL Svaz průmyslu a dopravy České republiky upozorňuje, že postupná cesta Evropské unie ke klimatické neutralitě bude znamenat i nové příležitosti. Konkrétní cíle a opatření, která mají vést k naplnění vize uhlíkové neutrality, ale musí být racionální a nesmí znamenat ohrožení dlouhodobé konkurenceschopnosti průmyslu a socioekonomické stability. Pro český průmysl je zásadní, aby byly respektovány reálné možnosti s ohledem na vývoj nejlepších dostupných technologií, specifika jednotlivých sektorů a investiční cykly. Tedy ano, pro některé sektory může být bez dostatečných funkčních nástrojů a podpor či bez respektu technologických a specifických podmínek také hrozbou. Již některé stávající regulace a politické záměry neusnadňují podnikání například v hutním průmyslu a podnikatelé v uzavřených či omezených provozech po Evropě uvádí právě environmentální regulaci jako jeden z důvodů. Na druhou stranu je třeba i pozitivně upozornit, že firmy investovaly obrovské prostředky do ekologizace a zefektivnění svých provozů a nadále plánují investice do nových technologií. Ty ale musí být návratné.

Dosažení cílů Zelené dohody bude znamenat zásadní změnu české energetiky a průmyslu. Vyžádá si investování značných finančních prostředků. V některých odvětvích ale nejsou technologie pro dosažení bezemisní výroby zatím komerčně dostupné nebo jsou dokonce neznámé. Typickým příkladem je technologie zachytávání a ukládání nebo využívání CO₂, bez které se některá odvětví s procesními emisemi z výrobních procesů neobejdou a o které se mluví už dlouhé roky, ale stále není komerčně dostupná za konkurenceschopné ceny. Česká republika musí maximálně podpořit rozvoj nových technologií a zajistit efektivní využití dostupných finančních prostředků.

Pro řadu průmyslových podniků představuje uplatnění zásad Green Deal značné investice a nezbytné přepracování výrobních technologií. Kromě investičních prostředků bude tedy zřejmě nutné podpořit i aplikovaný výzkum a vývoj...

Ve Svazu průmyslu dlouhodobě usilujeme o navýšení prostředků na aplikovaný výzkum. Za úspěch například považujeme, že se nám podařilo vyjednat, aby se zvýšila alokace na výzkum a vývoj v rámci Národního plánu obnovy. Bojujeme také za prostředky v rámci národních programů a státního rozpočtu. Skutečně je potřeba, aby tomu vláda přikládala maximální význam a tlačila i na větší propojení vysokých škol, vědeckých center a firem.

Řešení problematiky Green Deal bude představovat v budoucnu v některých odvětvích průmyslu komplexní řešení. Není to příležitost pro větší spolupráci českých firem včetně zapojení výzkumného prostředí?

Ve Svazu průmyslu podporujeme, aby Česká republika byla místem komplexních řešení, aby nové technologie včetně všech fází dodavatelského řetězce vznikaly a působily zde. Větší spolupráce českých firem bude nezbytná pro výzkum, vývoj a výrobu nových technologií. Transformace nesmí vést k přesunu vývoje a výroby do zahraničí a růstu naší závislosti. Hledání komplexních řešení ale znamená vysoké investice. Pokud nechceme, aby se perspektivní oblasti přesouvaly a rozvíjely mimo území naší republiky, musí dát stát investorům jasný signál, že má zájem, aby celý cyklus vývoje i výroby probíhal v České republice.

Spolupracujete při řešení problematiky Green Deal s Ministerstvem průmyslu a dopravy a Ministerstvem životního prostředí?

S oběma ministerstvy spolupracujeme na řešení Green Deal dlouhodobě, vyměňujeme si názory na jednotlivá témata, spolupracujeme při tvorbě rámcových pozic České republiky k legislativním i nelegislativním návrhům a předkládáme pozice a požadavky pro jednání České republiky v Evropské unii. Řešíme například i nastavení programů podpory. Nyní je potřeba, aby Ministerstvo průmyslu a obchodu v kooperaci s odpovědnými ministerstvy dokončilo studii, která vyčíslí dopady Green Deal na českou ekonomiku a jednotlivá odvětví, a bylo tak připraveno pro vyjednávání při návrhu legislativy v létě letošního roku. Tuto analýzu dopadů dekarbonizace průmyslu jsme iniciovali již před rokem. Řada odvětví již k tomu poskytla spoustu vstupů a nyní je potřeba je analyticky dopracovat a mít kvalitní podklady pro jednání o konkrétních návrzích v rámci Green Deal. Plnění klimatických cílů bude v Česku znamenat investice v řádu stovek miliard korun do roku 2030. Kvůli většímu podílu průmyslu na HDP bude plnění cílů v České republice relativně nákladnější než v západní Evropě. Vždy je třeba říkat všechna fakta, včetně toho, kdo a jak to zaplatí. Snažíme se, aby si tyto aspekty Česká republika uvědomovala, na úrovni Evropské unie je prosazovala a zajistila dostatek finančních prostředků, ochranných a kompenzačních mechanismů, které zajistí, že český i evropský průmysl nebude **EUROPEAN GREEN DEAL** ohrožen.

A jaká je spolupráce při řešení problematiky Green Deal se zahraničními subjekty?

Svaz průmyslu a dopravy České republiky je členem BusinessEurope, ve které diskutuje zásadní témata s ostatními evropskými svazy a připravuje společnou pozici, kterou BusinessEurope prosazuje při jednáních s evropskými institucemi. Svaz průmyslu a dopravy České republiky má také v Bruselu svého stálého delegáta při BusinessEurope, takže hlavní témata diskutujeme se zahraničními subjekty každodenně. Pozice také komunikujeme či podporu hledáme při jednání s kolegy z okolních zemí, zejména v rámci CEE regionu. Naši členové s námi také sdílí pozice svých evropských odvětvových asociací.

Můžete ještě doplnit, co nebylo obsahem předchozích otázek?

Je potřeba zajistit legislativní předvídatelnost jako základní předpoklad efektivního vynaložení investic. Nelze měnit pravidla hry v tak krátkých intervalech, protože na to doplatí ve svém konečném důsledku spotřebitel. Upozorňujeme také, že k dosažení cíle EUROPEAN GREEN DEAL musí být dle svých možností zapojeny všechny sektory a je to i celospolečenská změna s dopady do mnoha sfér života.

Jaroslav Pindor

Rozhovor vznikl v rámci projektu „Platforma AVO+“, registrační číslo CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_105/0018865 spolufinancovaného Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



EUROPEAN GREEN DEAL otevírá nové příležitosti pro inovace a výzkum

K dokumentu EUROPEAN GREEN DEAL odpověděl na dotazy redakce Ing. Vladislav Smrž, náměstek pro řízení sekce politiky a mezinárodních vztahů Ministerstva životního prostředí České republiky.

Obsah a cíle dokumentu EUROPEAN GREEN DEAL rezonují Evropou. Jakým způsobem reaguje Ministerstvo životního prostředí České republiky na tuto skutečnost?

Zelená dohoda pro Evropu představuje široký seznam politik, strategií, akčních plánů a legislativy, některá opatření jsou zcela nová, některá naopak už nějakou dobu realizujeme, jako je třeba klimaticko-energetický balíček. Cílem je dosáhnout klimatické neutrality na úrovni EU do roku 2050, kdy by se vyprodukované emise měly rovnat ekvivalentu propadů zachycených lesy nebo technologií Carbon Capture and Storage. Česká republika přijetí Zelené dohody podpořila, protože si uvědomuje negativní dopady průmyslu na ochranu klimatu a nutnost snížit emise a připravit se na negativní dopady klimatické změny. Zároveň ale jde i o ekonomické a sociální dopady na tuzemské hospodářství, energetickou bezpečnost a další aspekty. Proto jsme uvítali možnost získat prostředky z evropských fondů, což by mělo vyrovnat naši pozici se státy, které mají lepší startovací podmínky a nejsou tolik závislé na tradičním průmyslu jako Česká republika.



Aktuálně především dokončujeme nastavení Modernizačního fondu, který by měl do roku 2030 rozdělit přibližně 150 mld. Kč z výnosů z prodeje emisních povolenek. Po předregistračních výzvách jsme v dubnu otevřeli pilotní výzvy v programu HEAT, který je určen teplárnám, respektive vlastníkům soustav pro zásobování tepelnou energií. Na teplárenské výzvy navážou hned v květnu další dvě výzvy. Konkrétně se bude jednat o programy Nové obnovitelné zdroje v energetice-RES+-a Zlepšení energetické účinnosti a snižování emisí skleníkových plynů v průmyslu v EU-ENERG ETS, které už mají za sebou předregistrační výzvy. Do konce roku bychom chtěli představit zbylé programy v detailu pro přípravu projektů a tam, kde to bude žádoucí, vyhlásit předregistrační výzvy.

Dalších 61 miliard korun bude k dispozici v Operačním programu Životní prostředí 2021–2027, který se ještě více zaměří na komplexní řešení projektů. K dispozici bude i Národní plán obnovy. Naše ministerstvo bude přímo spravovat část věnovanou energetickým úsporám v domácnostech a dílčím projektům v oblasti oběhového hospodářství. Celý plán má alokaci přes 190 mld. Kč.

Zároveň připravujeme Operační program Spravedlivá transformace, který je určen pro tři kraje nejvíce závislé na uhelném průmyslu. Na projekty v oblasti klimatu by zároveň mělo být vyčleněno alespoň 30 % z alokace všech nových operačních programů. V přípravě je rovněž nástupnický program Nové zelené úsporám. V oblasti výzkumu, vývoje a inovací je možné předkládat projekty v rámci Inovačního fondu, programů Horizont 2020 a LIFE+ a na národní úrovni rovněž v programu MŽP Prostředí pro život. Na transformaci a ozelenění ekonomiky, které přispějí k obnově a prosperitě hospodářství, má tedy ČR připravenou rekordní sumu prostředků.

Spolupracuje Ministerstvo životního prostředí při řešení problematiky EUROPEAN GREEN DEAL s průmyslovými podniky? Byly v této souvislosti zpracovány konkrétní dokumenty?

Ano, byla zpracována rámcová pozice ČR k samotnému návrhu Zelené dohody pro Evropu a nyní očekáváme zveřejnění klíčového balíčku legislativy Fit for 55, který bude revidovat příslušné předpisy tak, aby EU mohla dosáhnout cíle snížení emisí alespoň o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990. Předmětem revize bude například směrnice o obchodování s emisními povolenkami nebo směrnice o obnovitelných zdrojích energie. Evropská komise by měla navrhnout i nový mechanismus zpoplatnění CO₂ na hranicích EUROENERGY, aby nedošlo k ohrožení konkurenceschopnosti evropského průmyslu. O všech těchto návrzích jednáme se zástupci průmyslových podniků a příslušných oborových svazů. V rámci spolupráce se připravují i podrobné dopadové studie.

Specifickou oblastí českého průmyslu jsou v této problematice hutní podniky. Spolupracujete i s nimi?

Ano, v rámci Pracovní skupiny pro ocelářství diskutujeme i aktuální problémy a výzvy, které se týkají sektoru hutnictví. Zde je velmi úzká spolupráce s Ministerstvem průmyslu a obchodu, protože často problematika spadá do gescí průmyslu i životního prostředí.

EUROPEAN GREEN DEAL je ohrožením části českého průmyslu z hlediska nutných budoucích investic, ale i pracovních míst. Přinese i nějaké nové příležitosti?

Součástí Green Deal je i nová průmyslová strategie EU (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_cs), která byla zveřejněna 10. března 2020. Jejím cílem je podpořit souběžnou zelenou a digitální transformaci ekonomiky a zvýšit konkurenceschopnost průmyslu EU v celosvětovém měřítku. Nezasťiráme, že transformace průmyslu bude významnou výzvou, ale nabízí v tomto ohledu pomoc a prostředky na inovace a snížení energetické i emisní náročnosti, např. prostřednictvím Modernizačního a Inovačního fondu. Smyslem je snížit náklady na nákup emisních povolenek, protože jejich cena již dnes dosahuje historicky rekordních hodnot. Mimo to jsme přišli s možností kompenzace ceny povolenky v ceně silové elektřiny od roku 2020 pro některé energeticky náročné průmyslové sektory.

Pro řadu průmyslových podniků představuje uplatnění zásad Green Deal značné investice a nezbytné přepracování výrobních technologií. Kromě investičních prostředků bude tedy zřejmě nutné podpořit i aplikovaný výzkum a vývoj...

Green Deal je jistě také velikou příležitostí pro inovace, výzkum a pro firmy, které nabízejí zajímavá a nová inovativní řešení v ochraně životního prostředí, klimatu, energetice, zemědělství, automotive a dalších oborech. Na tuto oblast se zaměřuje již zmíněný Inovační fond, který částkou více jak 10 mld. EUR podpoří například aplikaci pokročilých vodíkových technologií nebo zachycování a ukládání CO₂ z průmyslových procesů. Zde je však třeba vyšší aktivita i ze strany českých podniků, které zatím o tento fond neprojevíly dostatečný zájem. Fond však bude nabízet další prostředky v rámci jednotlivých výzev až do roku 2030. Ministerstvo životního prostředí také podporuje aplikovaný výzkum především pomocí programu Prostředí pro život, který administruje TAČR. V aktuální výzvě je pro výzkumné týmy připraveno 152 milionů korun na 32 prioritních cílů.

Řešení problematiky Green Deal bude představovat v budoucnu v některých odvětvích průmyslu komplexní řešení. Není to příležitost pro větší spolupráci českých firem včetně zapojení výzkumného prostředí?

Jednoznačně bychom tuto aktivitu uvítali. Česká republika je zatím, co se týče inovací a vědy a výzkumu v průmyslových aplikacích, spíše průměrná nebo i lehce podprůměrná v porovnání s ostatními státy Unie. Ministerstvo životního prostředí přitom vždy nabízelo a nabízí spolupráci při přípravě projektů i komunikaci s Evropskou investiční bankou, Evropskou komisí a dalšími institucemi.

Spolupracujete při řešení problematiky Green Deal s jinými ministerstvy?

Zelená dohoda pro Evropu zahrnuje několik desítek tematických oblastí od energetiky a teplárenství, přes dopravu, zemědělství a oběhové hospodářství jako takové až po zdroje vody, ochranu krajiny a biologické rozmanitosti. Už jen z toho výčtu je jasné, že koordinace nemůže probíhat jinak než na úrovni vlády, respektive jednotlivých věcných resortů. V oblasti průmyslu a energetiky pak probíhá intenzivní komunikace a koordinace především s Ministerstvem průmyslu a obchodu.

A jaká je spolupráce Ministerstva životního prostředí při řešení problematiky Green Deal se zahraničními subjekty?

Pravidelně diskutujeme tuto problematiku s ostatními členskými státy, především s těmi sousedními, jako je Německo, Polsko nebo Slovensko. V oblasti zachycování a ukládání CO₂ však máme velmi úzkou spolupráci třeba s Norskem, které je průkopníkem v tomto oboru.

- red -

Green Deal a dopady na průmysl



V prosinci 2019 byla představena tzv. Zelená dohoda pro Evropu (Green Deal), což je plán obsahující opatření, která mají podpořit účinné využívání zdrojů prostřednictvím přechodu na čisté oběhové hospodářství a zabránit ztrátě biologické rozmanitosti a snížit znečištění. V tomto plánu jsou rovněž uvedeny potřebné investice a dostupné finanční nástroje.

Evropské země se tímto zavazují do roku 2050 stát klimaticky neutrálním kontinentem, tedy nebudou produkovat žádné emise skleníkových plynů. K dosažení tohoto cíle bude nutné přijmout náležitá opatření ve všech odvětvích hospodářství:

- investovat do technologií šetrných k životnímu prostředí,
- podporovat průmysl ve vývoji inovací,
- zavádět čistší, levnější a zdravější formy soukromé a veřejné dopravy,
- dekarbonizovat odvětví energetiky,
- zajistit vyšší energetickou účinnost budov,
- spolupracovat s mezinárodními partnery na zlepšení celosvětových norem v oblasti životního prostředí.

Tato „zelená“ politika Evropy se týká zejména energetiky a postupného odklonu od uhlí. Aktuálně se i v naší republice diskutuje o roku, kdy by mělo dojít k ukončení spalování uhlí. Vše nasvědčuje, že se bude jednat o rok 2038. Klasická energetika bude tedy v horizontu dvou desetiletí

výrazně změněna. Preferován je sice aktuálně přechod i na zemní plyn a separované odpady či tuhá alternativní paliva, ale je třeba si uvědomit, že i v tomto případě budou vznikat emise CO₂ a navíc zemní plyn je fosilní palivo. A obnovitelné zdroje nejsou schopny v současné ani dohledné době nahradit zdroje spalující fosilní paliva.

Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů sice stále roste, ale rostou též poplatky na podporu těchto zdrojů, které musí zaplatit všichni koneční spotřebitelé. Naproti tomu se evropská konvenční energetika dostává definitivně do těžkého sevření zelené ideologie, jejímiž hlavními znaky jsou tržně pokřivené prostředí masivně dotovanými obnovitelnými zdroji, nekonceptně stále stupňované ekologické požadavky, tlak na pokles cen vyvolaný přetlakem výroby z OZE v některých obdobích roku a nyní i cenou emisních povolenek.

Právě jednou z cest, která má přispět k rychlejší změně v palivové základně energetiky, je systém obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů (EU ETS). Velmi negativně však ovlivňuje průmysl, a to zejména v posledních 3 letech, kdy cena povolenek (EUA) stále stoupá. Aktuálně se pohybuje na historickém maximu a již několik týdnů překračuje hranici 40 EUR/EUA. Jde především o reakci na schválení reformy evropského systému emisního obchodování na období let 2021-2030. S tím pochopitelně souvisí růst ceny elektřiny. V tomto období má být alokace bezplatných povolenek výrazněji zpřísněna. Paradoxem všech změn je neustálá nejistota. Ještě není ani jasné kolik bezplatných povolenek má být alokováno jednotlivým společnostem, které jsou zařazeny do systému obchodování s povolenkami, a přitom v polovině roku 2021 má dojít k dalším zpřísněním. Dopad této reformy způsobí další navýšení nákladů na výrobu oceli či jiných průmyslových výrobků v Evropě. Do budoucna zákonitě v některých průmyslových sektorech dojde k útlumu výroby, resp. výroba se bude přesouvat mimo hranice EU.

Pro srozumitelnější pohled uvedu několik čísel. Naše společnost ENERGETIKA TŘINEC, a.s. jen v roce 2020 musela na nákup povolenek vydat 1,087 miliardy Kč, což je takřka třetina všech nákladů na vyrobenou energii. V letošním roce za nákup povolenek předpokládáme částku vyšší než 1,5 miliardy Kč! Logicky jsou tím výrazně zdražovány vstupy pro výrobu oceli a válcovaného materiálu mateřské společnosti Trineckých železáren.

A to i přesto, že plníme všechny zákonné požadavky v oblasti životního prostředí, provozujeme BAT technologie a současně vyrábíme elektřinu a teplo formou vysoce účinné kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET). Je až s podivem, že podpora teplotnosti ze strany některých státních orgánů je takřka nulová a převážně se hledají argumenty, proč by se tyto věci vůbec měly řešit.

Jedním ze strategických cílů naší společnosti je snižování zatížení životního prostředí včetně snižování emisí CO₂. K tomu přispívá i spoluspalování biomasy ve fluidním kotli Teplárny E3, kdy je pro výrobu elektřiny a tepla část tuhého paliva nahrazena biomasou. Mezi další opatření ke snížení uhlíkové stopy patří i nákup tzv. zelené elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů, která plně pokrývá roční spotřebu elektřiny pro veškeré administrativní budovy Třineckých železáren.

Pochopitelně nás situace v oblasti směřování Evropské unie k uhlíkové neutralitě v roce 2050 nutí přijímat i další

opatření. V současné době aktualizujeme strategii společnosti s vazbou na další rozvoj Třineckých železáren s cílem poklesu emisí CO₂. Jednou z možností je postupná náhrada uhelných kotlů novými zařízeními na spalování zemního plynu a biomasy. Taktéž se nyní zaměřujeme na možnost výstavby fotovoltaických elektráren.

Transformace na nízkouhlíkovou energetiku však musí být systematická, postupná a rozumně plánovaná.

Petr Matuszek
Třinecké železářny Ostrava

Víme, jak Evropu zbavit CO₂. Island má přelomový nápad, staví speciální úložiště

Oxid uhličitý vzniká při spalování v autech, uhelných elektrárnách i průmyslové výrobě. Jako jeden z neškodlivějších skleníkových plynů přispívá k oteplování planety, a zhoršuje tak klimatickou krizi. Na Islandu ale objevili způsob, jak svět plynu naopak zbavovat. V podzemních úložištích chtějí sbírat oxid z Británie i kontinentální Evropy. Stavba terminálu pro jeho dovážení začne ještě letos.

Páteř ambiciózních plánů Islandu tvoří technologie takzvaného projektu Carbfix, který vznikl už v roce 2006. Podílí se na něm energetická společnost hlavního města Reykjavíku a řada zahraničních vědců. Myšlenka je jednoduchá: CO₂ se smísí s vodou a vstříkne do čediče - lávové horniny, které je na Islandu dostatek - v hloubce několika set metrů pod zemí. Taková voda je kyselá, a kámen rozleptává. Uvolňují se z něj minerály jako vápník, hořčík nebo železo, které se po čase s oxidem uhličitým spojí. Za dva roky je výsledkem nová hornina, uhličitánová. Ta vyplní volný prostor v pórovitém čediči v podzemí a plyn se trvale odstraní ze zemské atmosféry, kde jeho přebytek způsobuje problémy.

Jak ukázal výzkum, který Carbfix provedl už před pěti lety, tímto způsobem se dá zneutralizovat až 98 procent veškerého plynu. Na jednu tunu CO₂ je potřeba pětadvacetinásobné množství vody. Islandané dosud používali vodu z geotermální elektrárny Hellisheiði. Nyní začínají stavět nové úložiště v oblasti zátoky Straumsvík, nedaleko hlavního města. První vrty jsou naplánovány na příští rok, začátek provozu o tři roky později. Celková kapacita by měla po roce 2030 přesáhnout tři miliony tun plynu ročně. Převážet ho bude v konečné fázi šest lodí.

Na první pohled se může zdát nesmyslné vozit plyn z Evropy na ostrov, který je od nejbližší pevniny (Norska) vzdálený bezmála 1500 kilometrů. Je ale pravděpodobné, že zájemci se najdou. Vypouštění oxidu uhličitého v energetice, ocelářství, železářství a některých dalších odvětvích je totiž v Evropské unii regulováno systémem obchodování s emisními povolenkami-kdokoliv chce do vzduchu uvolnit CO₂, musí si koupit povolení v odpovídajícím objemu.

Jenže ceny povolenek v posledních letech výrazně rostou, a tím zdrazuje i znečišťování. Před týdnem se cena za tunu skleníkových plynů vyšplhala na více než 45 eur (1163 korun), Islandané slibují náklady na jednu tunu o polovinu menší. S financováním projektu pomáhá EU.

Podobné technologie se označují zkratkou CCS (z anglického *carbon capture and storage*, tedy zachycení a uložení uhlíku). Řada zemí, například Spojené státy nebo Norsko, už s nimi experimentuje. Jedná se ale většinou o obyčejné ukládání CO₂, ne jeho faktickou neutralizaci. Například v německém Braniborsku testovali možnost úložiště již před lety, plány nakonec skončily kvůli odporu místních obyvatel a ekologických organizací. Vadilo jim „zašpinění půdy“, možnost úniku plynu i to, že metoda by pomáhala prodloužit dobu, po kterou se v zemi vyrábí elektřina spalováním z uhlí.

Tato otázka je nyní vyřešená, Německo s uhlím skončí nejpozději v roce 2038 a zástupci průmyslu ukládání CO₂ dále prosazují. „Samotné omezování emisí skleníkových plynů, rozšiřování obnovitelných zdrojů energie nebo zvyšování energetické účinnosti nebude stačit k dosažení klimatické neutrality,“ míní Svaz německého průmyslu. Tento cíl, který si Evropská unie vytyčila do roku 2050, počítá se zásadním snížením emisí a vyvážením těch zbylých právě metodami na jejich odstraňování z atmosféry.

Této logiky se drží například Velká Británie. Do roku 2040 chtějí Britové vybudovat obří úložiště na oxid uhličitý pod hladinou Severního moře, v blízkosti průmyslových podniků jižního Walesu by pak měla vzniknout zařízení, která pomocí vodíku CO₂ neutralizují. Na celý koncept CCS britská vláda vyčlenila 1,17 miliardy eur (přes 30 miliard korun). I Londýn se zavázal být do roku 2050 klimaticky neutrální.

- red -

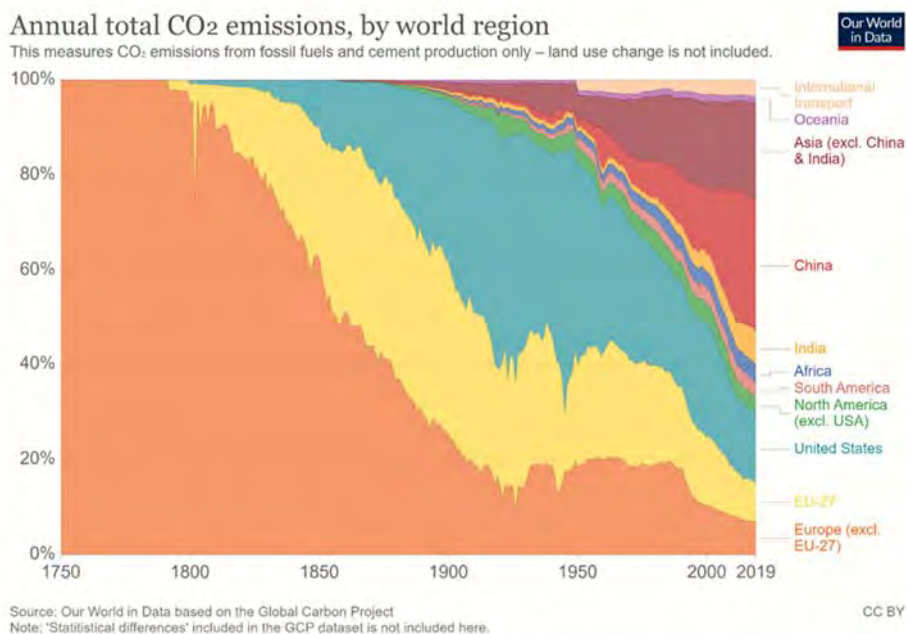
Hutnictví čeká nelehká cesta k uhlíkové neutralitě

Janusz Szkuta, MBA

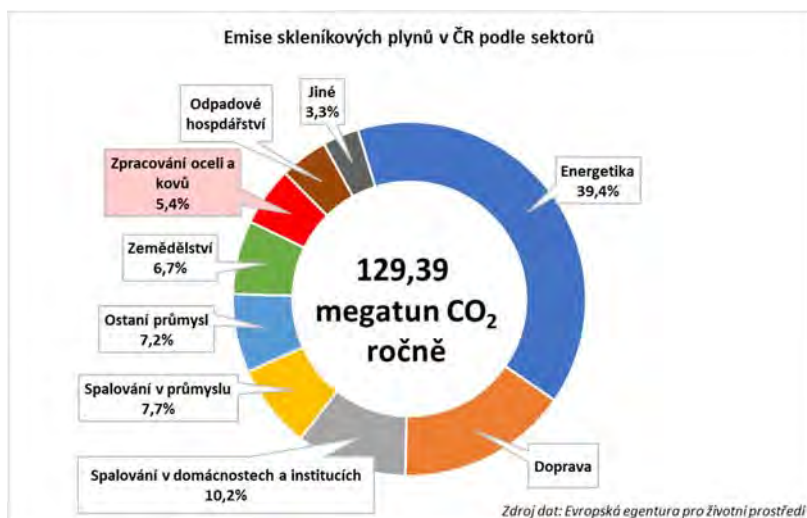
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Česká republika

Klimatická úmluva z Paříže, podepsaná 12. prosince 2015, má za cíl udržet nárůst globální průměrné teploty pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí. Příkladem této myšlenky v praxi má být „Zelená dohoda pro Evropu“. Jejím cílem je „klimaticky neutrální“ Evropa v roce 2050. Podle nového dílčího klimatického cíle schváleného členskými státy v prosinci 2020, by Evropská unie měla do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů o 55 %, oproti roku 1990. Původní cíl byl přitom 40 %.

Členské státy Evropské unie (včetně Velké Británie) vypustily v roce 2017 do ovzduší ekvivalent 4451 megatun CO₂ – 9 % celosvětových emisí (graf č.1). Zpracovatelský průmysl se na tomto množství podílel z 8,7 %. V roce 2018 činily emise CO₂ v České republice 129,39 megatuny. 5,4 % představoval podíl připadající na výrobu a zpracování oceli a kovů (graf č. 2).



Graf č. 1. – Podíl na ročních emisích podle regionů



Graf č. 2 – Podíl ročních emisích CO₂ podle sektorů

Ocelářství se na emisích CO₂ v České republice podílí 5,4 %. Největší část tohoto objemu tvoří emise podniků s uzavřeným hutním cyklem vyrábějícím surové železo na bázi rudné vsázky a koksu. Huť Liberty Ostrava vypustila do ovzduší 5,3, Třinecké železářny pak 4,3 milionů tun CO₂. Pro srovnání, jediná Elektrárna Počerady za stejné období emitovala 6,1 mil. tun CO₂. Absolutní vyjádření emitovaného množství nevyjadřuje přesně zátěž, kterou přináší výroba jedné tuny oceli. Průměrná světová emisní intenzita výroby oceli činí 1,85 t CO₂/t oceli. Pro huť vyrábějící ocel prostřednictvím vysokých pecí a konvertorových oceláren kolísá tento ukazatel mezi 1,6 a 2,6 t CO₂ na tunu oceli. Jestliže evropské huť patří k podnikům s nižší emisní intenzitou, emisní faktor asijských a ruských hutí je zpravidla vyšší než 2. Třinecké železářny se emisní intenzitou 1,75 t CO₂/t řadí mezi evropskou, a tedy světovou špičku. Mírně nižší ukazatel vykazují dlouhodobě pouze firmy Salzgitter AG a Voestalpine. Samozřejmě, porovnávat tzv. uhlíkovou stopu oceli vyráběnou výše uvedeným technologickým postupem s emisní intenzitou oceli vyráběné v elektroocelárnách na bázi šrotové vsázky je zavádějící, neboť tento výpočet nezohledňuje emise, které vznikly v procesech, jež vedly ke vzniku šrotu. Vypočtený ukazatel je tedy výrazně nižší.

V roce 2005 byl vytvořen unijní systém obchodování s emisními povolenkami (EU ETS). Tento systém stanovil stropy pro celkové emise z průmyslových odvětví s velkou produkcí emisí. Zahrnuje více než 11 000 energeticky náročných zařízení v celé Evropské unii. Cílem systému EU ETS není pouze snížit emise na stanovený strop, ale také stanovit cenu uhlíku a poskytnout finanční hodnotu za každou tunu ušetřeného CO₂. Má zároveň motivovat k uplatňování nákladově co nejefektivnějších opatření na snížení emisí. Do systému jsou logicky zahrnuti i výrobci oceli. Množství bezplatně přidělovaných povolenek každoročně klesá. Některé hutní podniky svůj „sklad“ povolenek již vyčerpaly. Lze očekávat, že i ostatní výrobci oceli budou postupně nuceni povolenky nakupovat, čímž budou zatíženy jejich provozní náklady. Spolu s klesajícím množstvím volně přidělovaných povolenek stoupá výrazně jejich cena na trhu. Jestliže před pěti léty byla cena 1 t CO₂ pod deseti eury, v únoru letošního roku překročila hranici 40 euro.

Proces dekarbonizace evropského hospodářství probíhá nejrazantněji v energetickém sektoru. Odklon od uhlí a přechod na výrobu elektrické energie pomocí bezemisních zařízení nabírá v posledních letech na rychlosti. Přes všechny nedostatky a rizika lze konstatovat, že energetika má k dispozici ověřené technologie k výrobě elektřiny na bázi obnovitelných zdrojů – vody, větru, slunečního záření a biomasy.

Situace v hutnictví je však diametrálně odlišná. V současné době neexistuje bezuhlíková technologie výroby surového železa, která by fungovala v průmyslovém měřítku. Ve fázi vývoje je však několik projektů, které mohou emise skleníkových plynů významně omezit. Nejen v hutnictví, ale i v jiných

oblastech průmyslu a dopravy jsou velké naděje vkládány do využití vodíku. Nejdále pokročila švédská společnost SSAB, která pracuje na projektu HYBRIT, jenž má v roce 2026 vyrábět cca 1 mil. tun železa na bázi přímé redukce železné rudy vodíkem. Podobné ambice má rovněž společnost Thyssenkrupp v Duisburgu. Aby výroba byla skutečně bezemisní, je bezpodmínečně nutné pracovat pouze s vodíkem získaným pomocí obnovitelných zdrojů. Aktuálně ale tvoří podíl vodíku vyráběného elektrolyzou pouhé 4 %. Limitem je omezená dostupnost „zelené“ energie a účinnost technologie výroby vodíku. Spotřeba elektrické energie bude v takovém závodě zhruba desetinásobně vyšší než v klasickém. Významně tedy vzrostou zpracovací náklady, nemluvě o astronomických investičních nákladech souvisejících nejen se samotným technologickým zařízením, ale i potřebnou infrastrukturou.

Další alternativou směřující ke snižování emisí je technologie HIsarna vyvíjená společností TATA STEEL. Proces přímé redukce rud železa eliminuje koksovnu a aglomeraci a může přinést snížení emisí CO₂ o téměř 50 %.

Společnost Thyssenkrupp pracuje na projektu Carbon2Chem. Principem vyvíjené technologie je zpracování hutních plynů na chemikálie-metanol a amoniak, využitelné v jiných odvětvích průmyslu. Firma předpokládá průmyslové využití této technologie v horizontu 15 let.

Zelená dohoda pro Evropu, jejímž cílem je dosažení klimatické neutrality Evropské unie v roce 2050, se stává faktem, který natrvalo ovlivní celé hospodářství členských států Unie, hutnictví nevyjímaje. Naprostá většina hutních podniků si je toho nejen vědoma, ale otevřeně proklamuje svůj zájem a ochotu se na této cestě podílet. Zároveň však hlasitě upozorňuje na rizika a omezení, která jsou překážkami úspěšné transformace celého odvětví. Výše uvedené technologické možnosti jsou pro většinu firem extrémně drahé a bez významné pomoci z evropských, nebo národních zdrojů prakticky nerealizovatelné. Určité možnosti skýtá připravovaný Modernizační fond a částečně i Fond spravedlivé transformace. Otázkou však zůstává, zda jejich objem bude dostatečný a pravidla čerpání neomezí možnosti využití pro připravované projekty.

Proces dekarbonizace hutnictví bude procesem dlouhodobým. Výsledkem ale bude ocel, při jejíž výrobě dramaticky poklesnou emise CO₂. Nicméně je zřejmé, že výsledné produkty budou vyráběny s podstatně vyššími provozními náklady. Další podmínkou úspěšnosti je tedy ochrana výrobců před konkurenčními produkty vyráběnými mimo Evropskou unii firmami, na které se evropská pravidla nevztahují. Pokud by vhodná ochranná opatření nebyla přijata, následky ponese nejen evropské ocelářství, ale ohrožena budou i další průmyslová odvětví. Výsledkem pak bude vyšší růst emisí skleníkových plynů v zemích mimo Evropskou unii než efekt z dekarbonizace v Evropě. Tyto souvislosti si je třeba při tvorbě pravidel uvědomovat, aby z dobře míněného záměru nezůstalo pouze sektářské náboženství plné ohrožujících dogmat.

Další významné snižování uhlíkové stopy bude pro evropský průmysl historicky těžkou zkouškou

Another Significant Reduction of the Carbon Footprint Will Be a Historically Difficult Test for European Industry

Ing. Filip Hájek; Ing. Vladimír Toman

Ocelářská unie a.s., Jindřišská 939/20, 110 00 Praha 1

Znakem dnešní doby jsou rostoucí klimatické ambice EU a překotné změny legislativního prostředí. Odvětví jako je ocelářství však mají velmi omezené možnosti dále významně snížit emise skleníkových plynů bez celkové technologické transformace podpořené z veřejných zdrojů. Následující roky proto budou pro průmysl a jeho existenci v EU významnou zkouškou.

Klíčová slova: uhlíková stopa; přímé emise; nepřímé emise; životní cyklus výrobku

Continuously increasing climate ambitions of the EU and rapid changes in the legislative environment are typical nowadays. However, EU industries like the steel industry have very limited possibilities how to significantly abate their emissions without overall technological transformation supported from public sources of the EU and the Member States. Thus, the following years will constitute a difficult existential test for the EU industry.

Key words: carbon footprint; direct emissions; indirect emissions; life cycle assessment

Evropský průmysl čeká v následujících letech a desetiletích zcela zásadní výzva. Nové cíle Evropské unie dosáhnout do roku 2030 snížení emisí skleníkových plynů o 55 % oproti roku 1990 a do roku 2050 pak vytvořit klimaticky neutrální uskupení znamenají obrovský tlak na jeho rychlou dekarbonizaci. Tento tlak průmysl pocítí především v podobě zásadního zvýšení ceny emisní povolenky, která již dnes dosahuje hodnot přes 40 eur. To je za poslední dva roky vzrůst více než o 30 eur, za který může především navyšování klimatických ambicí Evropské unie a s ním spojená očekávání, strategie a obchodní chování účastníků na trhu s povolenkami. Do toho se bude snižovat podíl povolenek poskytovaných zdarma. Česká republika ovšem v několika ohledech nestojí na stejné startovní čáře v běhu za nízkouhlíkovou transformací jako mnohé evropské státy, a pocítí tak nízkouhlíkovou transformaci daleko intenzivněji. Co tedy český průmysl vydrží a dokáže vůbec se současnými technologiemi dále významně snížit svou uhlíkovou stopu? Co mu stojí v cestě?

Česká republika je ve srovnání s dalšími evropskými státy zemí s vysokým podílem průmyslové výroby na tvorbě HDP (tento podíl činí zhruba jednu třetinu, zatímco v Evropské unii jen cca 20 %). Průmyslová výroba je většinou spjata s emisemi skleníkových plynů. Vytváří uhlíkovou stopu, která je obecně jedním z hlavních měřítek dopadu lidské činnosti na životní prostředí, na klimatické změny. Na snižování uhlíkové stopy dnes více než kdy jindy působí současně dva základní navzájem prolínající se faktory: politický tlak a vedle něj postupná orientace společnosti na ekologické spotřební chování, zapříčiněné

mimo jiné intenzivnějším vnímáním dopadů a hrozeb spojených se změnami klimatu. V Evropské unii to platí několikanásobně. Není tak například divu, že se dnes množí dotazy od zákazníků a odběratelů směřované na výrobce s cílem zjistit, jakou uhlíkovou stopu má daný produkt, aby bylo možné porovnat nabídku s dalšími výrobci a dodavateli. Vedle finanční stránky a stránky kvality se tak při výběru nakupovaného produktu čím dál častěji řadí i environmentální aspekt. Uhlíkovou stopu však v případě mnohých výrob není lehké spočítat či přesněji určit.

Do výpočtu uhlíkové stopy je zahrnována celá skupina skleníkových plynů, mezi něž kromě CO₂ náleží metan (druhý nejvýznamnější – uvolňuje se např. při těžbě uhlí a ropy, dopravě a zpracování zemního plynu, ukládání odpadů na skládky) a dále také oxid dusný, fluorid dusitý, freony, fluorované uhlovodíky či fluorid sírový. Pro působení každého z těchto plynů se používá index, který porovnává účinky plynu z hlediska skleníkového efektu s CO₂ (ten má index 1). Např. metan má tento index 100. Uhlíková stopa výrobků je vyjádřena v ekvivalentech CO₂ (CO_{2e}).

Poměrně dobře dokážeme stanovit, kontrolovat i snižovat **přímé emise** neboli množství emisí skleníkových plynů, uvolněných bezprostředně při dané aktivitě podniku (např. při výrobě železa a oceli, výrobě elektřiny, vytápění, spalování pohonných hmot atd.). I v důsledku výše uvedených politických tlaků je v zájmu každého podniku maximálně snížit své přímé emise, a proto se přikračuje ke zefektivňování a modernizaci stávajících výrobních

postupů a technologií, po jejichž životním cyklu se pak často nasazují technologie nové. Tyto možnosti však nejsou nekonečné. Přestože na straně podniků existuje zájem dále snižovat dopady jejich činností na životní prostředí a klima, každý krok směřující ke snížení emisí je čím dál dražší nebo se musí počkat na vývoj a otestování nových technologií. I proto se připisuje hlavní význam urychlení výzkumu a vývoje, včetně podnikového. To je nyní případ sektoru výroby železa a oceli, kde bude v následujících letech nutná zásadní technologická transformace, pro niž však zatím nejsou na trhu dostupné technologie.

Obtížněji můžeme stanovit i ovlivnit **nepřímé emise**, tedy množství emisí skleníkových plynů uvolněných během životního cyklu výrobků, a to od získávání surovin a energetických vstupů pro výrobu až po případnou likvidaci výrobku.

Pro stanovení uhlíkové stopy se využívá **analýza životního cyklu výrobku** (LCA – *life cycle assessment*). Potřebné údaje je ovšem mnohdy obtížné získat a stanovit, a to nejen na makroekonomické úrovni, ale i na úrovni podniků či domácností. Existují sice některé modely výpočtu uhlíkové stopy, avšak ty často používají např. referenční úrovně, a logicky tak nemohou obsáhnout všechny procesy, resp. specifické podmínky. Ani při vlastní iniciativě podniku s cílem přesněji zjistit uhlíkovou náročnost procesů, např. před vstupem surovin do vlastního výrobního či zpracovatelského zařízení, není zdaleka jednoduché zjistit údaje od dodavatelů, kteří běžně nemají vůli ani povinnost je poskytnout a často si je ani neevidují. LCA bere v úvahu procesy od těžby nerostných surovin přes jejich dopravu, výrobu, užití až ke konečnému zpracování jako odpadu. Zohledňuje energetické a surovinové náklady a dopad na životní prostředí pro každý z těchto procesů – sledovány jsou zejména emise do ovzduší, vody, půdy a spotřeba energie a materiálů. I přes některá úskalí význam LCA neustále narůstá, a to mimo jiné i proto, že to je metoda důležitá pro přechod na cirkulární ekonomiku, která je ve své podstatě druhým nejzásadnějším pilířem současných environmentálně-politických snah v Evropské unii. Zde má ocel nespornou výhodu oproti ostatním materiálům, protože je 100% a nekonečně recyklovatelná bez ztráty kvality. Současně při její výrobě vzniká minimum odpadů bez dalšího využití. Právě soubor metod LCA pro různé výrobky a komodity zjišťuje, jak moc se výroba a používání konkrétního výrobku ideálu bezodpadové výroby přibližuje.

V souvislosti se zeleným směřováním Evropské unie není možné vyloučit, že budou do uhlíkové stopy, resp. jejího zpoplatnění zahrnuty veškeré emise včetně těch, které jsou spojeny s nakupovanými službami.

Už dnes náklady v souvislosti s emisemi skleníkových plynů nevznikají podnikům jen ve spojení s přímým nákupem rapidně zdražujících povolenek. Jsou tu i nepřímé náklady, kdy se cena povolenky plně promítá do ceny nakupované elektřiny. Zde musíme mít na paměti energetický mix České republiky, kde stále dominuje uhlí. Nepřímé náklady jsou tudíž při vysoké ceně povolenek

často vyšší než v jiných zemích Evropské unie. Ačkoli jsou i tyto náklady vybraným odvětvím částečně kompenzovány, nelze rostoucí ceny povolenek promítnout do zvýšení cen výrobků z oceli, které jsou prodávány na globalizovaném trhu. Postupně se tedy snižuje konkurenceschopnost (nejen) ocelářství Evropské unie a reálně hrozí, že se výroba přesune za hranice Unie. To však povede akorát ke vzniku daleko většího množství emisí, neboť ty ve třetích zemích většinou nejsou zpoplatněny a došlo by k tzv. **úniku uhlíku**. Navíc, tlak na vyšší ceny povolenek bude díky aktuálně připravované revizi klimaticko-energetické legislativy Evropské unie silít a bez posílení současných opatření na ochranu konkurenceschopnosti to energeticky náročný průmysl těžko zvládne. Nadějí je např. připravovaný mechanismus uhlíkového poplatku na hranicích Evropské unie pro dovoz výrobků některých odvětví (včetně ocelářství) ze třetích zemí, který by mohl začít fungovat už od roku 2023. Jeho nesprávné uchopení a nastavení ovšem může situaci zdejšímu průmyslu naopak významně zkomplikovat a únik uhlíku urychlit.

Je tedy více než kdy jindy v zájmu všech podniků urychleně snižovat svou uhlíkovou stopu. Problémem ocelářství je, že prozatím na trhu neexistují nové provozuschopné technologie, které by částečně nebo zcela z výroby železa a oceli odstranily používání a následně emise uhlíku. Hledá se tedy **náhrada uhlí a koksu**, která by pomohla emise významně snížit nebo dokonce zcela eliminovat. Důležité je to především v hutní prvovýrobě z rud (zahrnuje výrobu surového železa, koksu a aglomerátu), která spotřebovává cca 80 % spotřeby energií a také produkuje zhruba 80 % emisí CO₂ z ocelářské výroby. Největší naděje jsou v Evropě vkládány do **vodíku**, a to získávaného především hydrolyzou vody za použití uhlíkově čisté energie. To vzhledem k podmínkám a geografické poloze České republiky, která neoplývá dostatkem vody i uhlíkově čisté elektřiny (OZE), může představovat významná omezení. Možnosti použití vodíku ve vysoké peci jsou omezené, takže se bude muset přistoupit ke změně současných výrobních agregátů. Asi nejdále prozatím míří probíhající švédský projekt Hybrit, kde je cílem pomocí vodíku postupně dosáhnout emisně nulové výroby oceli z rud z hlediska přímých i nepřímých emisí.

Pro technologii redukce železných rud vodíkem bude velmi důležitá cena potřebného velkého objemu uhlíkově čisté elektřiny a současně cena takového „zeleného“ vodíku, která je zatím vysoká. Výroba nezbytného objemu vodíku pro redukci železných rud bude vyžadovat několiknásobek současné spotřeby elektřiny ocelářského průmyslu, zajištění rozvodu a uskladnění vyrobeného vodíku. Z dosavadních poznatků odhadujeme, že pokud by se v naší zemi vyrábělo 5 mil. t. oceli pomocí vodíku, bylo by celkově zapotřebí okolo 20 TWh elektřiny ročně (dnes hutě spotřebují okolo 2 TWh), což je zhruba jedna třetina současné celkové roční spotřeby elektřiny v České republice. Bude třeba zajistit výstavbu nových vedení elektřiny pro zajištění jejího potřebného množství nejen pro výrobu vodíku, ale i pro zařízení na roztavení vodíkovou redukcí vzniklé železné houby do tekutého stavu. Sama Evropská komise ve vodíkové strategii předpokládá významnější

rozšíření vodíkové technologie v ocelářství až po roce 2030.

Druhou hlavní cestou významného snižování emisí v ocelářství, která rovněž vyžaduje zvýšené množství elektřiny, je navýšení podílu výroby oceli ze **šrotu** (především v elektrických pecích). Hromadný přechod na tuto výrobní cestu je však nemyslitelný, a to minimálně proto, že není celosvětově k dispozici dostatek šrotu. Cílem by tedy mělo být zpracovat nejen v České republice veškerý výskyt ocelového a litinového šrotu. V současné době se ho zpracovává v ČR cca 2,0 – 2,5 mil. t/rok a přibližně stejný objem šrotu se vyváží. V zájmu snížení uhlíkové stopy tak v rámci Evropské unie nastane bezpochyby boj o zdroje šrotu, kterého v současné době země Evropské unie vyvážejí na třetí trhy cca 16 mil. t/rok. Evropská komise už naznačila, že se bude snažit zavést opatření na zamezení vývozu šrotu z Evropské unie.

Závěr

Evropská unie, která dnes produkuje cca 9 % antropogenních emisí CO₂, bude nadále usilovat o další snižování emisí bez ohledu na technologické možnosti, náklady a rychlost přijímání podobných opatření ve třetích zemích. Nad pragmatickým přístupem u řady politiků bohužel převažuje zelená ideologie. To má negativní dopad i na možnosti veřejné podpory dekarbonizačních investic v průmyslu. Než dojde k rozšíření nových technologií (např. vodíková redukce v ocelářství), budou firmy vynakládat více a více prostředků na nákup povolenek namísto toho, aby peníze použily na ekologické a jiné investice. Elektrifikace průmyslu a zavádění vodíku předpokládá markantní nárůst spotřeby zelené, cenově dostupné elektřiny. Riziko úniku uhlíku do budoucna poroste, a to nejen v ocelářství.

Vynález z Ústavu telekomunikací FEKT VUT v Brně pomůže s ochranou citlivých osobních údajů

Pokud dnes zadáte běžnému počítači klasický digitální podpis, který chcete prolomit, bude mu to trvat cca 300 trilionů let. Pro kvantový počítač by šlo o úkol v jednotkách vteřin. Zatím sice můžeme poměrně klidně spát, protože takový stroj neexistuje, odborníci z Ústavu telekomunikací FEKT VUT v Brně ale chtějí být připraveni. Pravděpodobně jako první na světě implementovali kryptografický algoritmus Dilithium do programovatelné síťové karty s FPGA čipem. Ta umožní rychle a spolehlivě ochránit nejen citlivá osobní data internetového bankovníctví a cloudových služeb, ale také třeba platby pomocí kryptoměn.

Přední technologické firmy z celého světa se snaží vytvořit vlastní kvantový počítač, který by začal psát novou generaci výpočetní techniky. Stroj nefunguje na rozdíl od současných počítačů na principu jedniček a nul, ale kvantových bitů, takzvaných qubitů. Pracoval by mnohem efektivněji a rychleji, má ale jeden háček – stejně tak by zvýšil i rychlost prolamování šifrovaných a zabezpečených informací. Autor projektu Lukáš Malina doufá, že jejich vynález pomůže s ochranou citlivých osobních údajů. „Algoritmy pro prolamování současných zabezpečení jsou navrženy, teď zbývá jenom vyvinout techniku, která to umožní. Pak to bude reálný problém. Už dnes proto existuje obor, který se věnuje postkvantové kryptografii. My se snažíme být napřed a pracovat na bezpečném a rychlejším šifrování a podepisování dat dříve, než to bude akutně potřeba,“ předvídá budoucí hrozby Lukáš Malina, který působí na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií. „Kryptografická schémata jsme sami nevymýšleli, ale vzali jsme to nejlepší, co jsme našli. Schéma Dilithium je ve finále soutěže, kterou pořádá americký Národní institut standardů a technologií (NIST), a má ambici nahradit běžné kryptografické algoritmy, které se používají desítky let. My jsme dokonce začali se schématem pracovat ještě předtím, než byl NISTem vybrán.“

Do programovatelné síťové karty, která vypadá jako kterákoliv jiná počítačová součástka, vložili oceněný kryptografický algoritmus. „Doposud byl použitý pouze u běžných počítačů. Původní abstraktní schéma je oproti našemu 114krát pomalejší a běžný počítač je 25krát pomalejší. U našeho využití přímo pro programovatelnou síťovou kartu je vidět výrazné zrychlení,“ dokládá čísla Lukáš Malina největší benefity jejich unikátního řešení.

- z tiskové zprávy -

Zprávy z Ocelářské unie a.s.

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021

| | Výroba *) | | | Výroba | Index | Výroba | Index | Výroba | Index |
|---------------------------------------|-----------|--------|-------------|----------|---------|----------|-----------|-------------|-----------|
| | Prosinec | Leden | Leden-Leden | Prosinec | | Leden | | Leden-Leden | |
| | 2020 | 2021 | 2020 | 2020 | 2020/19 | 2020 | 2021/2020 | 2020 | 2021/2020 |
| | (tis. t) | | | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) |
| KOKS | | | | | | | | | |
| ČR | 154,31 | 153,95 | 153,95 | 130,85 | 117,93 | 134,21 | 114,71 | 134,21 | 114,71 |
| AGLOMERÁT | | | | | | | | | |
| ČR | 505,45 | 499,42 | 499,42 | 468,31 | 107,93 | 452,61 | 110,34 | 452,61 | 110,34 |
| SUROVÉ ŽELEZO | | | | | | | | | |
| ČR | 326,54 | 361,47 | 361,47 | 293,92 | 111,10 | 319,58 | 113,11 | 319,58 | 113,11 |
| SUROVÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 407,81 | 458,15 | 458,15 | 361,12 | 112,93 | 408,65 | 112,11 | 408,65 | 112,11 |
| KONTISLITKY | | | | | | | | | |
| ČR | 389,81 | 434,24 | 434,24 | 345,73 | 112,75 | 386,41 | 112,38 | 386,41 | 112,38 |
| BLOKOVNY | | | | | | | | | |
| ČR | 49,85 | 56,04 | 56,04 | 41,99 | 118,74 | 52,57 | 106,61 | 52,57 | 106,61 |
| VÁLCOVANÝ MATERIÁL | | | | | | | | | |
| ČR | 352,39 | 434,28 | 434,28 | 282,83 | 124,59 | 414,71 | 104,72 | 414,71 | 104,72 |
| TRUBKY | | | | | | | | | |
| ČR | 21,77 | 30,13 | 30,13 | 19,04 | 114,35 | 32,09 | 93,89 | 32,09 | 93,89 |
| TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 15,23 | 20,21 | 20,21 | 8,71 | 174,90 | 17,83 | 113,36 | 17,83 | 113,36 |
| STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ | | | | | | | | | |
| ČR | 0,74 | 1,23 | 1,23 | 0,85 | 86,57 | 1,04 | 118,54 | 1,04 | 118,54 |

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jiří Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021

| | Výroba *) | | | Výroba | Index | Výroba | Index | Výroba | Index |
|---------------------------------------|-----------|--------|------------|----------|---------|----------|-----------|------------|-----------|
| | Leden | Únor | Leden-Únor | Leden | | Únor | | Leden-Únor | |
| | 2021 | 2021 | 2021 | 2021 | 2020/19 | 2021 | 2021/2020 | 2021 | 2021/2020 |
| | (tis. t) | | | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) |
| KOKS | | | | | | | | | |
| ČR | 153,95 | 141,37 | 295,32 | 134,21 | 114,71 | 127,42 | 110,95 | 261,63 | 112,88 |
| AGLOMERÁT | | | | | | | | | |
| ČR | 499,42 | 424,70 | 924,12 | 452,61 | 110,34 | 412,30 | 103,01 | 864,90 | 106,85 |
| SUROVÉ ŽELEZO | | | | | | | | | |
| ČR | 361,47 | 317,23 | 678,70 | 319,58 | 113,11 | 302,61 | 104,83 | 622,19 | 109,08 |
| SUROVÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 458,15 | 395,38 | 853,53 | 408,65 | 112,11 | 390,86 | 101,16 | 799,51 | 106,76 |
| KONTISLITKY | | | | | | | | | |
| ČR | 434,24 | 372,07 | 806,31 | 386,41 | 112,38 | 362,28 | 102,70 | 748,69 | 107,70 |
| BLOKOVNY | | | | | | | | | |
| ČR | 56,04 | 51,82 | 107,86 | 52,57 | 106,61 | 53,04 | 97,70 | 105,61 | 102,13 |
| VÁLCOVANÝ MATERIÁL | | | | | | | | | |
| ČR | 434,28 | 403,12 | 837,40 | 414,71 | 104,72 | 415,57 | 97,00 | 830,28 | 100,86 |
| TRUBKY | | | | | | | | | |
| ČR | 30,13 | 32,10 | 62,23 | 32,09 | 93,89 | 34,31 | 93,57 | 66,40 | 93,72 |
| TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 20,21 | 18,15 | 38,36 | 17,83 | 113,36 | 16,93 | 107,19 | 34,76 | 110,36 |
| STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ | | | | | | | | | |
| ČR | 1,16 | 2,40 | 1,04 | 118,54 | 1,21 | 96,04 | 2,25 | 106,44 | 1,16 |

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jiří Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021

| | Výroba *) | | | Výroba | Index | Výroba | Index | Výroba | Index |
|---------------------------------------|-----------|--------|---------------|----------|---------|----------|-----------|---------------|-----------|
| | Únor | Únor | Leden- Březen | Únor | | Březen | | Leden- Březen | |
| | 2021 | 2021 | 2021 | 2021 | 2020/19 | 2021 | 2021/2020 | 2021 | 2021/2020 |
| | (tis. t) | | | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) |
| KOKS | | | | | | | | | |
| ČR | 141,37 | 156,62 | 451,95 | 127,42 | 110,95 | 135,31 | 115,75 | 396,94 | 113,86 |
| AGLOMERÁT | | | | | | | | | |
| ČR | 424,70 | 504,42 | 1428,55 | 412,30 | 103,01 | 492,05 | 102,51 | 1 356,95 | 105,28 |
| SUROVÉ ŽELEZO | | | | | | | | | |
| ČR | 317,23 | 366,42 | 1045,12 | 302,61 | 104,83 | 318,35 | 115,10 | 940,54 | 111,12 |
| SUROVÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 395,38 | 451,33 | 1304,85 | 390,86 | 101,16 | 402,57 | 112,11 | 1202,08 | 108,55 |
| KONTISLITKY | | | | | | | | | |
| ČR | 372,07 | 426,97 | 1233,29 | 362,28 | 102,70 | 378,66 | 112,76 | 1127,35 | 109,40 |
| BLOKOVNY | | | | | | | | | |
| ČR | 51,82 | 52,93 | 160,78 | 53,04 | 97,70 | 45,94 | 115,20 | 151,55 | 106,10 |
| VÁLCOVANÝ MATERIÁL | | | | | | | | | |
| ČR | 403,12 | 437,24 | 1274,64 | 415,57 | 97,00 | 423,98 | 103,13 | 1254,26 | 101,63 |
| TRUBKY | | | | | | | | | |
| ČR | 32,10 | 35,51 | 97,74 | 34,31 | 93,57 | 34,92 | 101,69 | 101,32 | 96,47 |
| TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 18,16 | 21,74 | 60,11 | 16,93 | 107,24 | 20,50 | 106,07 | 55,25 | 108,78 |
| STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ | | | | | | | | | |
| ČR | 1,16 | 1,51 | 3,91 | 1,21 | 96,04 | 1,27 | 118,65 | 3,52 | 110,84 |

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jiří Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021

| | Výroba *) | | | Výroba | Index | Výroba | Index | Výroba | Index |
|---------------------------------------|-----------|--------|-------------|----------|-----------|----------|-----------|-------------|-----------|
| | Březen | Duben | Leden-Duben | Březen | | Duben | | Leden-Duben | |
| | 2021 | 2021 | 2021 | 2021 | 2020/2020 | 2021 | 2021/2020 | 2021 | 2021/2020 |
| | (tis. t) | | | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) | (tis. t) | (%) |
| KOKS | | | | | | | | | |
| ČR | 156,62 | 157,55 | 609,50 | 135,31 | 115,75 | 123,74 | 127,32 | 520,69 | 117,06 |
| AGLOMERÁT | | | | | | | | | |
| ČR | 504,42 | 457,11 | 885,65 | 492,05 | 102,51 | 417,85 | 109,40 | 1774,80 | 106,25 |
| SUROVÉ ŽELEZO | | | | | | | | | |
| ČR | 366,42 | 336,40 | 1381,52 | 318,35 | 115,10 | 290,30 | 115,88 | 1230,84 | 112,24 |
| SUROVÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 451,33 | 419,56 | 1724,41 | 402,57 | 112,11 | 372,33 | 112,68 | 1574,42 | 109,53 |
| KONTISLITKY | | | | | | | | | |
| ČR | 426,97 | 396,71 | 1630,00 | 378,66 | 112,76 | 344,62 | 115,11 | 1471,97 | 110,74 |
| BLOKOVNY | | | | | | | | | |
| ČR | 52,93 | 48,67 | 209,46 | 45,94 | 115,20 | 49,51 | 98,31 | 201,06 | 104,18 |
| VÁLCOVANÝ MATERIÁL | | | | | | | | | |
| ČR | 437,24 | 420,22 | 1694,86 | 423,98 | 103,13 | 382,82 | 109,77 | 1637,08 | 103,53 |
| TRUBKY | | | | | | | | | |
| ČR | 35,51 | 34,88 | 132,63 | 34,92 | 101,69 | 29,48 | 118,34 | 130,80 | 101,40 |
| TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL | | | | | | | | | |
| ČR | 21,74 | 18,31 | 78,42 | 20,50 | 106,07 | 17,31 | 105,78 | 72,57 | 108,07 |
| STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ | | | | | | | | | |
| ČR | 1,51 | 1,12 | 5,03 | 1,27 | 118,65 | 1,20 | 93,34 | 4,72 | 106,39 |

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jiří Dufek



Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť

Nový unikátní výzkum zjistí zdroje škodlivin

Ostravský městský obvod Radvanice a Bartovice, který přímo sousedí s areálem ostravské huti Liberty, vévodí tabulkám s nejhorsím ovzduším. Zákonné roční maximum pro počet dní s nadlimitní koncentrací prachu v ovzduší (35) lidé z ostravských Radvanic a Bartovic vyčerpali letos již k 10. březnu!

Co všechno je v obvodu i v celé Ostravě zdrojem takového znečištění, začal zjišťovat další výzkum, protože dříve používané metody nedokázaly v této části Ostravska věrohodně určit hlavní původce. Podle oddělení kvality ovzduší ČHMÚ Ostrava ani mezi odborníky nepanuje shoda, jak velká část nadlimitního znečištění pochází z průmyslu, z domácností, z dopravy, přenosu z jiných území či z přírodních zdrojů. Nejsou dostatečně pádné argumenty, kdo a o kolik by měl snížit množství vypouštěného znečištění.

Měření na osmi místech mají přinést odpověď, jaký skutečný podíl mají na stavu znečištění jednotlivé zdroje.

Projekt BORA cílí hlavně na benzo(a)pyren a jemné prachové částice. Měření zkombinuje s analýzou meteorologických podmínek i matematickým modelováním. Vyhodnotí tisíce vzorků, na třech stanovištích je bude sledovat po třech hodinách místo obvyklých čtyřiaadvaceti. Ovzduší pohlídá rok a počítá i s rozbory spadů ze silnic a zemědělských půd. Informace o projektu jsou dostupné na www.projekt-aramis.cz

Vůbec poprvé se měří i přímo v areálu ostravské huti Liberty. Podle mluvčí huti začalo měření 14. ledna a

potrvá do 31. ledna.2022. Nejde přitom o emise v komíně, ale imise, tedy škodliviny v ovzduší.

Využijí se dvě stávající radvanické měřicí stanice, přímo pro účely projektu vznikla měřicí místa v Kunčičkách, Bartovicích a v Petřvaldu. Vzdálenější stanice Věřňovice a Studénka poslouží pro informace o regionálních přenosech. Výsledky budou v druhé půlce příštího roku.

Podle starosty obvodu Radvanice a Bartovice je jednoznačné, že zdrojem znečištění je místní huť. Dopad průmyslu je zřejmý. Obvod má stejné obyvatele, srovnatelnou dopravu i emise z Polska jako ostatní obvody, ale znečištění je úplně jiné.

Podle huti ale její podíl slábne. Mluvčí huti cituje loňskou analýzu příčin znečištění, kde Ministerstvo životního prostředí uvádí, že vliv průmyslových zdrojů v aglomeraci Ostrava, Karviná a Frýdek-Místek je sledovatelný jen v jejich nejbližším okolí, tedy již nejsou v této oblasti dominantním zdrojem. Dodává ještě, že ministerstvo vycházelo z dat roků 2015 a 2016, kdy byly emise tuhých znečišťujících látek huti 592 tun. Emise za rok 2020 byly 284 tun, kdy huť vypustila nejméně škodlivin v historii.

Klesají však i emise domkařů. Z obvodu Radvanice a Bartovice, kde žijí 2 % obyvatel Ostravy, pochází 15 % všech ostravských žádostí o kotlíkové dotace (třetí výzva). Celkem bylo schváleno 193 žádostí a reálně vyměněných kotlů je už 114.

- lz -

Objem výroby oceli v ČR je nejvyšší za poslední dva roky

ocelocel (Newsletter Ocelářské unie), únor 2021, s. 2

I přes pokračující pandemii a chaotická opatření vlády se českým výrobcům daří navyšovat výrobu. Zatímco v červnu roku 2020, kdy krize v ČR poprvé vrcholila, bylo vyrobeno 299 tis. tun surové oceli, tak v lednu 2021 výroba dosáhla 458 tis. tun, tedy nejvíce za více než dva roky. Díky dobré poptávce bude trend pokračovat i v prvním pololetí 2021.

Ze života škol

Úspěchy studentů z Ostravy na konferenci Metalurgia 2021

Obrovský úspěch slavili studenti Fakulty materiálově-technologické, Katedry metalurgie a slévárství Vysoké školy báňské-Technické univerzity Ostrava na 27. ročníku studentské vědecké odborné konference Metalurgia 2021, kterou dne 16. dubna 2021 pořádala Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE, letos netradičně v online prostředí. Celkem 42 studentů ze Slovenska, Česka a Španělska prezentovalo výsledky své práce formou online přednášky.

Cenu za nejlepší práci studenta 1. ročníku navazujícího magisterského studia v sekci Hutnictví a energetika získal Bc. Jakub Stryja za příspěvek, ve kterém představil postup výroby uměleckého designového odlitku. Celkově 2. místo v sekci Hutnictví a energetika získal pro fakultu Bc. Jiří Cupek za práci o fyzikálním modelování proudění oceli v mezipánvi. 1. místo v sekci Materiály pak získal Bc. Šimon Kielar s prezentací o možnostech povrchové úpravy uměleckých odlitků. Velký úspěch u odborné komise sklídl i Bc. František Zlámal se svou přednáškou, ve které podrobně popsal zhotovení bronzového odlitku klepadla dle vlastního návrhu. Všichni jmenovaní jsou studenty studijního programu Metalurgické inženýrství v prezenční formě navazujícího magisterského studia na Katedře metalurgie a slévárství. Zúčastněným a oceněným studentům gratulujeme a doufáme, že je tyto úspěchy budou motivovat v dalším studiu. Současně děkujeme organizátorům za uspořádání této tradiční akce i v současné složité době a za příležitost, kterou tak studentům poskytli. Těšíme se na snad už osobní setkání příští rok!

doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.
Ing. Ivana Kroupová, Ph.D.



Klepadlo
(F. Zlámal)

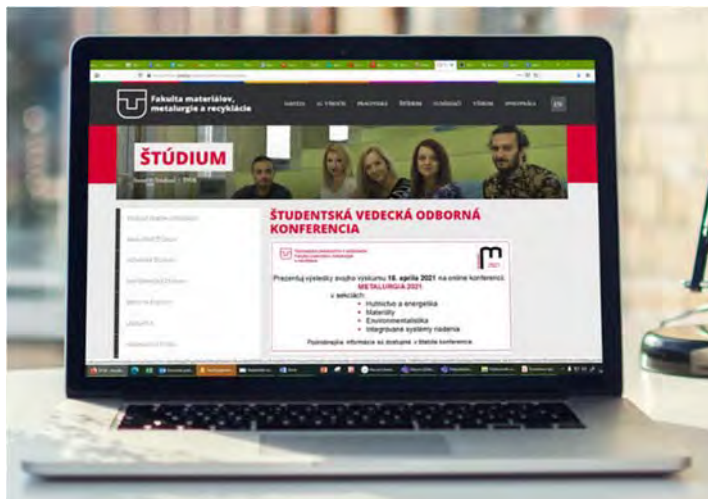


Interiérový designový odlitek
(J. Stryja)



Sada bronzových odlitků – vzorník patin
(Š. Kielar)

Fotografie: Prezentované práce studentů



Z odborných společností

Česká slévárenská společnost, z.s. (vznik, vývoj, současnost, budoucnost) část první: období od roku 1923 do roku 1990

Ing. Ludvík Martínek, Ph.D. – ŽĎAS, a.s., a předseda ČSS, z.s.

Bc. Jarmila Malá – člen ČSS, z.s.

Mgr. František Urbánek – tajemník ČSS, z.s.

Oficiálním datem založení dnešní České slévárenské společnosti, z.s. (dále jen ČSS), je 23. leden 1923. Ovšem pro osvětlení podmínek nutných pro vznik spolků, tedy nejenom pro ČSS, je vhodné poohlédnout se zpět, a to až do časů Rakouska-Uherska.

V roce 1772 se utvořilo v Praze volné sdružení učenců a pokrokových lidí, kteří se rozhodli společně pracovat, vzájemně se podporovat a společně pak v tehdejších podmínkách vystupovat [1]. Vznikla tak „Královská česká společnost nauk“, na jejíž tradice později navázala Československá akademie věd. V roce 1886 byl založen „Spolek inženýrů a architektů v Království českém“, známější později pod zkratkou SIA. Tento spolek sdružoval tehdejší technicky vzdělané odborníky všech oborů a soustředil kolem sebe téměř veškerou inženýrskou inteligenci. Když se v roce 1904 stal SIA změnou svých stanov čistě stavovským spolkem, založili si absolventi vyšších průmyslových škol vlastní spolek „Klub inženýrů a stavitelů“, označovaný ve zkratce KIS. V roce 1919 se horní a hutní inženýři vyčlenili jako samostatná stavovská organizace pod názvem „Svaz horních a hutních inženýrů“. Ovšem ani tato stavovská organizace neměla dlouhého trvání. Nejprve se vyčlenila skupina slévárenských odborníků a později, v roce 1936 se „Svaz horních a hutních inženýrů“ spojil se SIA a v jeho rámci utvořil obor hutních inženýrů.

Hlavní příčina, proč se u nás již za Rakouska-Uherska neustanovil slévárenský spolek, byla, jak už to většinou bývá, především politická. Okolo roku 1923 bylo v tehdejší Československu řádově asi 500 sléváren, ostatně naše země patřila již za Rakouska-Uherska k těm později vzniklým státům, které disponovaly velmi rozvinutým průmyslovým sektorem. Dalo se tedy očekávat, a to s vysokou měrou pravděpodobnosti, že vznik spolku – sdružení, který bude podporovat činnost sléváren, je pouze otázkou času, zejména i proto, že politická bariéra zanikla.

23. ledna 1923 proběhla v Praze za podpory „Sdružení kovodělného průmyslu československého“ (v jehož čele stál generální tajemník Ing. Hrdlička) ustavující schůze nově vzniklého spolku „Československý odborný spolek

slévárenský v Praze“ (ve zkratce ČOSS). Prvním předsedou se stal prof. Dr. Mont. Ing. František Píšek, DrSc. (* 24. 4. 1886) z České vysoké školy technické v Brně. Jednatel byl zvolen Ing. Antonín Benda z Českomoravské – Kolben – Daněk Praha. Do vedení ČOSS pak byli zvoleni někteří vedoucí pracovníci sléváren.

Cílem nově vzniklého spolku byla snaha semknout odborníky ze sléváren bez rozdílu vzdělání ke společné práci za účelem dalšího rozvoje v branži, ve prospěch celého průmyslu, který do svých finálních výrobků potřeboval odlitky. Již brzy po svém založení měl spolek 124 členů i čtyři odbočky v centrech slévárenství, a to ve Vítkovicích (Moravské Ostravě), Brně, Plzni a Praze.

ČOSS neměl svůj vlastní časopis a k seznamování členů s děním ve slévárenské branži využíval časopis „Strojnický obzor“, který patřil SIA. To však platilo pouze do roku 1926, kdy začal „slévárenský spolek“ vydávat své vlastní informace „Měsíční zprávy“. V roce 1929 pak byla uzavřena se SIA dohoda, že se v časopise „Strojnický obzor“ budou slévárenské branži věnovat všechna sudá čísla.

Znak spolku vznikl spojením – syntézou – hornicko-hutnických prvků s dubovou a olivovou ratolestí z rakousko-uherského státního znaku. Byl původně v roce 1821 zhotoven jako ozdoba na zdivu pro novou tzv. „císařskou“ dřevouhelnou pec ve Strašicích, kde setrval do jejího vyhasnutí v roce 1850. Následně byl sejmut a zavěšen nad vchodem do kancelářské budovy železárny v Dobříši. Jeho estetický vzhled vedl k tomu, že byl v roce 1931 navržen jako spolkový znak ČOSS, a tím se pak stal nejenom znakem tehdejšího československého slévárenství, ale i znakem dnešní ČSS.

Spolupráce na vydávání časopisu se spolkem SIA neměla dlouhého trvání a od roku 1938 pod vedením prof. Píška začal ČOSS vydávat svůj odborný časopis „Slévárenské zprávy“, přičemž odborným redaktorem byl Ing. Bohumil Odstrčil. V tomto čase měl ČOSS již 416 členů.

V předválečném období, a to již v roce 1923, navázal ČOSS kontakty s francouzským slévárenským spolkem a v roce 1925 pak s anglickým, americkým, belgickým a německým. V roce 1926 byl v prosinci oficiálně ustanoven Mezinárodní výbor technických slévárenských společností CIATF (Comité International des Associations Techniques de Fonderie). Zakládajícími členy kromě československé delegace, kterou vedl prof. Píšek, byly společnosti z Anglie, Belgie, Francie, Itálie, Německa, Nizozemska, Polska, Španělska a USA. Prvním Čechem, který byl zvolen do funkce prezidenta CIATF (dnešní Světové slévárenské organizace WFO), byl právě prof. Dr. Mont. Ing. František Píšek, DrSc. Tato volba proběhla v Praze v roce 1933 v době konání Mezinárodního slévárenského kongresu.

Začátkem okupace naší země byl spolek nucen změnit svůj název (ode dne 6. února 1940) a úředně byl schválen nový název „Odborný spolek slévárenský“ se sídlem v Praze. Od podzimu roku 1941 musel prof. Píšek odejít do ilegality a zájmy členů spolku, v té době značně omezené, zajišťoval místopředseda spolku Ing. Emil Rynda. „Slévárenské zprávy“, tedy náš tehdejší odborný časopis, vycházely sice dál, ovšem pouze do března 1944. Odborným redaktorem byl od října 1940 Ing. C. Dásek a od listopadu 1941 pak Ing. Bohuslav Holman. Spolková činnost byla zakázána.

Po ukončení druhé světové války roku 1945 se konal v Praze první poválečný a v celkovém pořadí pak XIX. sjezd. Členství obnovilo 320 členů, ovšem po únoru 1948 vstoupila do společenského dění opět politika, podobně jako na počátku naší spolkové činnosti.

V roce 1946 začalo Ministerstvo hutního průmyslu vydávat časopis „Hutnické listy“, který byl do roku 1950 společným časopisem jak pro československé hutě, tak i pro ČOSS. Redakci časopisu, zaměřeného kromě slévárenství také na tematiku hutnictví železa a neželezných kovů, vedl opět náš první předseda prof. Píšek. Zde se sluší připomenout, že v tomto roce, tedy v roce 1950, byl Píšek již podruhé zvolen prezidentem CIATF. Ovšem již v roce 1951 byl ČOSS spolu s dalšími spolky rozpuštěn, a to na doporučení ROH (Revolučního odborového hnutí).

Změna společenského uspořádání v naší zemi negativně ovlivnila životy celé řady odborníků v naší slévárenské branži, a to nejenom majitelů závodních sléváren. Řada renomovaných specialistů zůstala, byť třeba i na jiných pozicích, věrna svému řemeslu. Díky společnému tlaku odborné veřejnosti byl v roce 1953 založen časopis Slévárenství jako periodikum Ministerstva těžkého a všeobecného strojírenství a také Ministerstva hutního průmyslu a rudných dolů. Vedoucím redaktorem se stal opět náš zakladatel prof. Píšek a předsedou redakční rady Rudolf Brabenec, hlavní metalurg Ministerstva těžkého a všeobecného strojírenství.

Přestože byly spolkové činnosti v naší zemi v roce 1954 zrušeny, byla později založena vládní komise zřízená pro vybudování ČSAV (Československé akademie věd).

Na ustavujícím valném shromáždění 13. května 1955 v Praze byla pak zahájena činnost „Československé vědecké technické společnosti pro hutnictví a slévárenství“ při ČSAV. V ní pak byly vytvořeny dvě skupiny, a to hutnická a slévárenská. Předsdou se stal opět prof. Píšek a měl dva náměstky. Prvním – pro hutnictví – byl Ing. Josef Štefko z Kovohutí Krompachy a druhým – pro slévárenství – Rudolf Brabenec. Časopis Slévárenství se stal od roku 1956 časopisem Čs. VTS pro hutnictví a slévárenství.

Ovšem politický vliv byl mnohdy až chaotický a tak ani tato nová organizace neměla dlouhého trvání. Na plenárním zasedání Čs. VTS hutnické a slévárenské sekce 5. října 1960 v Ostravě bylo schváleno rozdělení obou sekcí. Předsdou naší, tedy slévárenské, sekce se sídlem v Brně se stal Dr. Ing. Lev Petržela, vedoucí slévárenského výzkumu SVÚM (Státního výzkumného ústavu materiálu) Brno.

Ve dnech 8. – 10. listopadu 1961 se v Brně konaly I. celostátní slévárenské dny, které navázaly na národní valné sjezdy ČOSS pořádané každoročně v předválečných letech. Také zde se projevil velký organizační talent našeho prvního předsedy prof. Píška, který dokázal ještě zorganizovat i II. celostátní slévárenské dny. Proběhly v Brně ve dnech 14. a 15. listopadu 1962. Prof. Píšek zřejmě velmi dobře vytušil, že budou následovat další politické řízené změny, se kterými již nebude mít sil bojovat. V roce 1963, bez jakéhokoliv jednání se zástupci slévačů, rozhodla Ústřední rada Čs. VTS o další změně. Sekce pro slévárenství byla přiřazena ke strojírenské sekci jako celostátní odborná skupina pro slévárenství. Ano, bylo to politické (až paradoxní) rozhodnutí, a to proto, že slévači, kteří tuto sekci založili jako náhradu za ČOSS, z ní byli vyloučeni. Předsdou této odborné skupiny pro slévárenství se pak stal Ing. Miroslav Bednářík, CSc., vedoucí slévárenského výzkumu SVÚM Brno.

Ovšem „život šel dál“ a další změny se daly očekávat. Začlenění slévačů, jako odborné skupiny do strojírenské sekce, se ukázalo jako málo funkční, a tak v období „Pražského jara“, tedy v letech 1967 – 1968 byla zvažována možnost založení samostatné Československé slévárenské společnosti.

Na pracovní poradě 23. dubna 1968 v Brně hlasovalo 142 ze 147 přítomných delegátů pro založení samostatné společnosti pod názvem Československá slévárenská společnost. Ustavující sjezd pak proběhl 6. března 1969 v Brně a předsdou byl zvolen Ing. Miroslav Bednářík, CSc., ze SVÚM Brno. Sluší se poznamenat, že čestným předsdou byl zvolen prof. Píšek a vědeckým tajemníkem doc. Ing. Igor Macáček, CSc., z VUT Brno. V prosinci roku 1969 nastoupila na místo tajemnice sekretariátu Československé slévárenské společnosti Jaroslava Kühnelová. K zabezpečení odborné práce společnosti pro pokrytí co nejširší oblasti ve slévárenské branži byly založeny celostátní odborné komise – skupiny. Byla jich celá řada, vše je uvedeno v citované literatuře, ze které čerpáme.

V následujícím roce 10. března 1970 zemřel ve věku 83 let prof. Dr. Mont. Ing. František Píšek, DrSc., profesor VUT v Brně a náš první dlouholetý předseda, který vedl společnost slévačů od roku 1923 až do roku 1963. Na státním pohřbu se rozloučil se zesnulým jeho nástupce Ing. Miroslav Bednářík, CSc.

Také období po roce 1968 (označované jako „normalizace poměrů“) Také období po roce 1968 označované jako „normalizace poměrů“ mělo negativní dopad na činnost v naší branži. Celá řada našich odborníků opět musela „odejít“ a opustil své pozice ve školách i ve slévárnách. V roce 1970 bylo nuceno z politických důvodů rezignovat na členství v ústředním výboru a v revizní komisi 7 členů České slévárenské společnosti.

Na základě usnesení ÚR ČSVTS ze dne 17. 6. 1971 došlo k přejmenování České slévárenské společnosti na ČVTS – Společnost slévárenskou. Další změna názvu následovala již v květnu 1978, a to na „Český ústřední výbor slévárenské společnosti „ČSVTS“. Jejím předsedou byl stále Ing. Miroslav Bednářík, CSc., který byl dlouholetým vedoucím slévárenského výzkumu SVÚM Brno. Dne 7. října 1980 ve svých 59 letech zemřel a novým předsedou byl 19. listopadu 1980 zvolen prof. Ing. Karel Rusín, DrSc., který vedl slévárenskou společnost až do 22. února roku 1990. Prof. Ing. Karel Rusín, DrSc. (* 19. 1. 1937), po absolvování VUT v Brně pracoval jako provozní metalurg ve slévárně EJF Brno. Po nástupu na katedru v Brně pracoval nejprve jako odborný asistent, později jako docent a profesor. Na VUT v Brně zastával řadu

postů jako např. proděkan, děkan FS, prorektor VUT pro vědecko – výzkumnou činnost. V roce 1991 byl zvolen prezidentem mezinárodní slévárenské asociace CIATF (WFO). Ano, opět dochází ke změně politické situace, na níž reaguje i slévárenská společnost, která svolává do Brna 22. února 1990 ustavující sjezd Slévárenské společnosti jako jediné společné organizace českých i slovenských slévačů. Novým předsedou byl zvolen doc. Ing. Igor Macášek, CSc.

Doc. Ing. Igor Macášek, CSc. (* 11. 7. 1928), absolvoval gymnázium v Žilině a v letech 1947 – 1951 studoval na VUT v Brně. Následně působil jako hlavní metalurg a později jako vedoucí slévárny v Hronci. Od roku 1955 působil na katedře slévárenství VUT v Brně, kde byl v roce 1963 jmenován docentem. V letech 1964 – 1969 byl proděkanem Fakulty strojní. V září roku 1986 byl generálním sekretářem a garantem 53. mezinárodního slévárenského kongresu. Za připomenutí stojí skutečnost, že tento 53. slévárenský kongres již nebyl označován za Mezinárodní, ale jako první Světový slévárenský kongres a byl uskutečněn v Praze jako připomínka stého výročí narození profesora Píška.

V následujícím vydání Hutnických listů bude uvedena další část představení České slévárenské společnosti, z.s.

Literatura

- [1] Kolektiv autorů: Almanach k 75. výročí založení Československého odborného slévárenského spolku, Česká slévárenská společnost, 1998.

Firmy hlásí rekordní úbytky prachu v ovzduší

MFD, 20. 3. 2021, s.16

K loňskému výraznému poklesu množství polévatého prachu, které firmy v Moravskoslezském kraji vypustily do ovzduší, vedly hlavně investice, počasí a odstávky.

Ostravská huť Liberty Ostrava snížila v loňském roce emise tuhých znečišťujících látek na historické minimum 284 tun, což představuje meziroční zlepšení o 12 %. Jde o nejnižší hodnotu v sedmdesátileté historii hutí.

Toto množství tvoří méně než 15 % emisí oproti stavu v době privatizace hutí v roce 2003 a méně než 1 % v porovnání s 80. lety 20. století.

Stěžejním důvodem snížení emisí v Liberty byla podle všeho hlavně krize, kterou firma loni procházela. Kvůli výpadku výroby totiž odstavila na několik měsíců jednu ze svých vysokých pecí, které jsou velkým zdrojem polévatého prachu.

Třinecké železárně, druhý velký hutní závod v regionu, naopak oproti roku 2019 množství tuhých znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší mírně zvýšil a to ze 128 na 152 tun. Protože v posledních šesti letech s výjimkou loňska firma díky masivním investicím do technologií odprášení výrobních agregátů stále klesala na historicky nejnižší hodnoty, bude už nyní oscilovat zhruba na těchto číslech, která se budou měnit v závislosti na objemu výroby.

Uváděné příznivé výsledky komentuje sdružení Arnika, které situaci dlouhodobě sleduje, upozorněním, že množství produkovaných tuhých znečišťujících látek u průmyslových provozů se sice dlouhodobě zlepšuje, ale nedává to celkový obraz o stavu životního prostředí, protože firmy nejsou jediným zdrojem tuhých znečišťujících látek v kraji.

Je tady ještě spousta dalších zdrojů, jako jsou lokální topeniště, nebo doprava.

Historie hutnictví

Umělecké kovářství – výkovky z jednoho nebo více kusů

Ing. Ladislav Jílek, CSc.¹; Ing. Jan Počta, CSc.²

¹ Svaz kováren České republiky, z.s., Ostrava, Česká republika

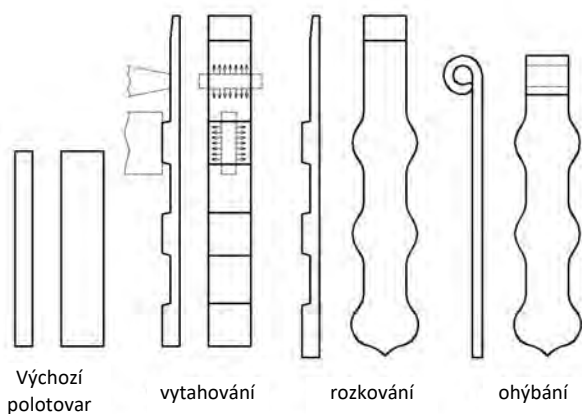
² CSM Ostrava, Česká republika

Umělecké kovářství bylo součástí zpracování kovů již od počátku jejich výroby. Šperky a ozdoby dokonce po dlouhou dobu v sortimentu kovových výrobků převažovaly. Avšak i užitkové předměty denní potřeby, jako zámky, klíče, mříže, předměty ke stolování, ale i zbraně a brnění, někdy i nástroje [1], byly většinou zároveň malými uměleckými díly. Dnes je umělecké kovářství rozsáhlý obor tvorby s významným podílem užitných předmětů. Kromě železa se zpracovávají i další kovy a někdy se kombinuje více materiálů.

Začneme tím, že uvedeme postupy a příklady výkovků z jednoho kusu.

Technologie

Základní operace při uměleckém i průmyslovém kování jsou stejné, ovšem liší se názvosloví. Prvními základními operacemi je *vytahování* a *rozkování*. Použití obou operací je zachyceno na obr. 1 pro případ kování závěsu dveří.



Obr. 1 Postup kování závěsu dveří

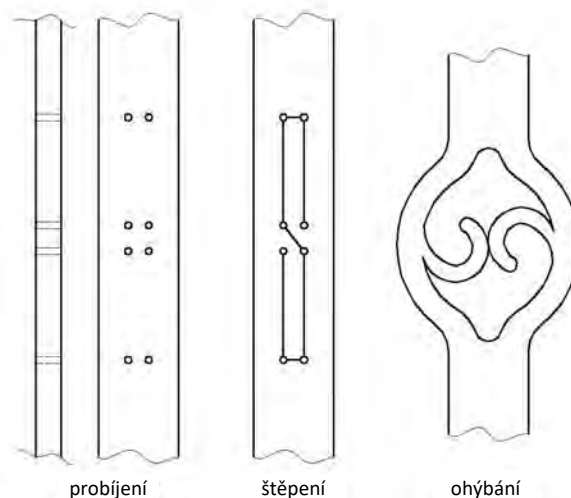
Při vytahování má pracovní část nástroje, tj. jeho styčná plocha působící na tvářený materiál, tvar úzkého obdélníku orientovaného kolmo k ose protahovaného tělesa. Materiál, jak známo, teče ve směru nejmenšího

odporu, tedy do délky. Při rozkování je styčná plocha nástroje orientována rovnoběžně s osou kovaného kusu a materiál teče do šířky. Větší kusy se obvykle vytahují na pružinovém či pneumatickém bucharu, jak ukazuje obr. 2.



Obr. 2 Vytahování na pneumatickém bucharu

Dalšími, často užívanými operacemi je *probíjení* a *štěpení*. Příklad použití těchto operací je uveden na obr. 3.



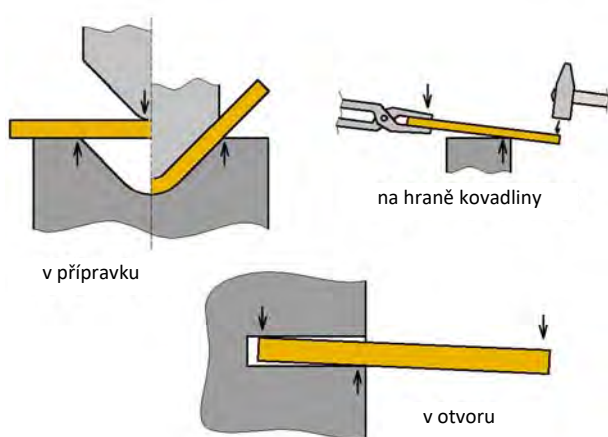
Obr. 3 Příklad kování ozdobného prvku v mříži nebo plotu

Při probíjení se vytvářejí průbojníkem otvory. Při štěpení se materiál rozděluje pomocí sekáče, přičemž hranice štěpení se většinou prvně probíjí průbojníkem. Štěpení pak probíhá mezi dvěma probíjými otvory nebo mezi probíjým otvorem a okrajem. Štěpení na okraji je možné provádět i bez předchozího probíjení, jak ukazuje obr. 4.



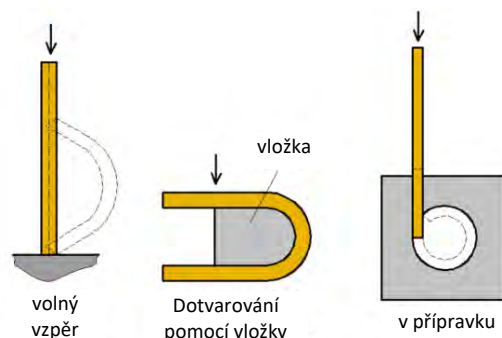
Obr. 4 Jeden ze způsobů štěpení konce výkovku

Velmi častou operací je *ohýbání*, které lze provádět několika způsoby. Nejčastěji se používá tzv. *tříbodový ohyb* (obr. 5).



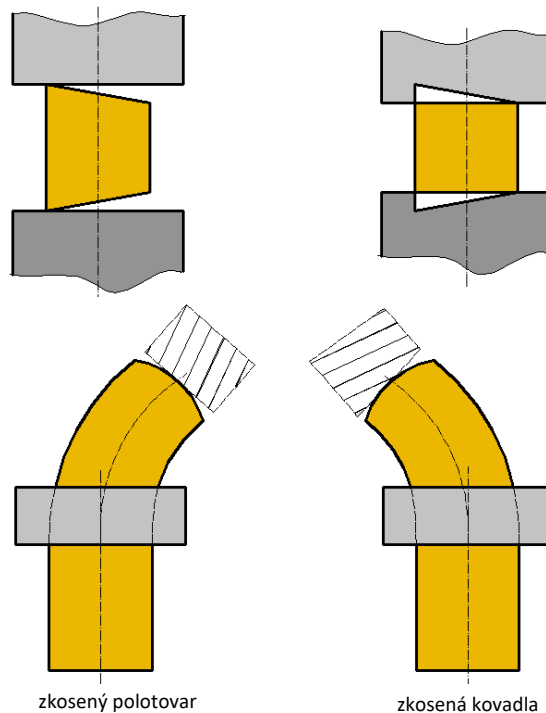
Obr. 5 Různé varianty tříbodového ohybu

Ohýbat lze za tepla i za studena. Volba teplotního režimu závisí na velikosti příčného průřezu ohýbaného kusu a poloměru ohybu. Někdy se při ohybu užívá *vzpěr* (obr. 6). Tento způsob je výhodný pro výkovky s menším průřezem.



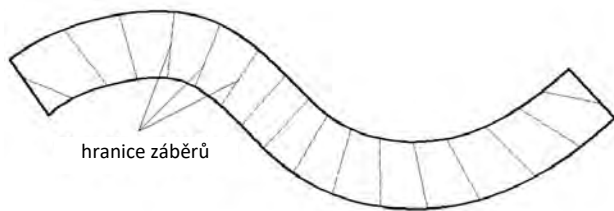
Obr. 6 Ohyb vzpěrem

Velmi vzácně se používá ohýbání *zkosením* podle obr. 7. Tato technologie je vlastně v podstatě vytahování, kdy se na jedné straně kovaného kusu provádí větší úběr. Vykovaný kus tak získává lichoběžníkový průřez. V průmyslových aplikacích se takto postupuje při kování jeřábového háku. V případě, že se použije polotovár lichoběžníkového průřezu, může mít výsledný výkovek průřez obdélníkový.



Obr. 7 Ohyb zkosením

Další způsob ohýbání je *vějířové kování* znázorněné na obr. 8. Tento způsob se v průmyslových aplikacích používá zřídka, ale uměleckým kovářům nic nebrání k jeho častějšímu využívání.



Obr. 8 Ohyb pomocí vějířového kování

Vějířové kování se někdy používá při vytahování na bucharu. Postupuje se tak, že se kovaný kus vkládá mezi kovádky šikmo, aby styčná plocha nástrojů s materiálem byla při prvním úderu trojúhelníková a při následujících úběrech lichoběžníková. To znamená, že se úhel mezi osou bucharu a osou polotovaru po každém úběru mění. Při tomto postupu se kus pravoúhlého průřezu ohne a výsledný výkovek má opět pravoúhlý průřez. Ovšem pokud je poloměr ohybu velký, je zvětšení tloušťky na vnitřní straně ohybu malé a lze ho snadno v těchto místech pýchováním odstranit. To se užívá např. při kování podkovy (obr. 9).



Obr. 9 Kování podkovy

Při výrobě rozměrnějších děl, jako jsou ploty, brány, mříže atd., se většinou vyžaduje, aby vždy několik dílů těchto předmětů bylo stejných. V tom případě se využívají různé šablony, z nichž jako příklad pro technologii ohýbání za tepla je uveden na obr. 13.



Obr. 13 Ohýbání za tepla podle šablony

Že taková práce vyžaduje rukodílnou dovednost i značnou fyzickou sílu, dokládá obr. 14, který znázorňuje ohýbání výkovek s využitím ručního přípravku na dlouhé páce. Ostatně bez vynaložení řemeslné dovednosti se u uměleckého výtvoru nedocílí žádaná vysoká úroveň.

Pýchování se většinou provádí jako místní pýchování. Většinou se pýchuje konec kovaného kusu, jak ukazuje obr. 15.

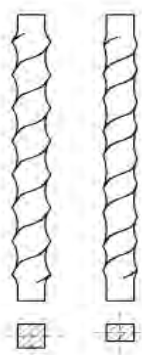


Obr. 14 Ohýbání pomocí čepového přípravku na páce



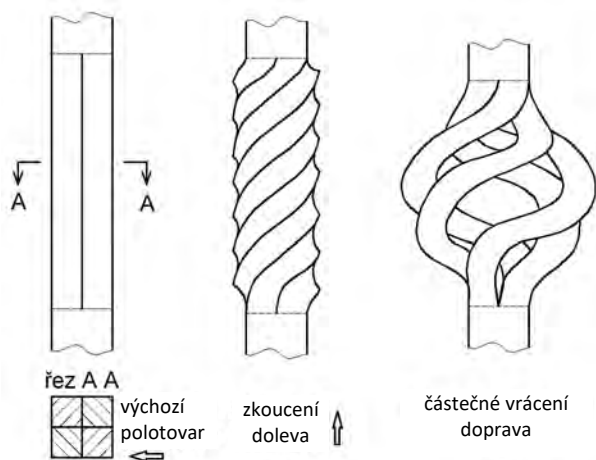
Obr. 15 Vytváření hlavičky na konci výkovek

Výkovek z kategorie uměleckého řemesla se vyznačují tím, že obsahují různé zdobné prvky, které někdy mají jen dekorativní účinek, jindy přispívají i ke zpevnění a stabilizaci celé kované konstrukce. Např. prvky mříží, zábradlí a plotů se často zdobí *zkrucováním*. Většinou se zkrucují tyče čtvercového průřezu, někdy se používají i tyče obdélníkového průřezu (obr. 16). Je zcela jasné, že tato technologie se provádí za tepla, a to z důvodu rovnoměrné deformace po celé délce výkovek. Při zkrucování za studena lze na dané délce provést jen omezený počet zkrutů.



Obr. 16 Zkroucení tyče čtvercového a obdélníkového průřezu

Zkroucování se používá i při výrobě ozdoby zvané šiška. Postup je znázorněn na obr. 17. Výchozím polotovarem je čtyřhranná tyč, která se v požadovaném místě přeruší a svařením se do tohoto místa v osové směru vloží čtyři krátké tyče – prameny, jejichž průřezová strana má poloviční rozměr ve srovnání s příčným rozměrem výchozího děleného polotovaru. V tomto místě se tyč zkrátí například o dvě otáčky jedním směrem, pak se o jednu otáčku vrátí nazpět opačným směrem a tím se rozevře. Je možné vytvořit šišku i na tyči kruhového průřezu. V tomto případě lze použít i pět nebo šest pramenů. I výroba šišky se provádí za tepla po lokálním ohřevu, jak ukazuje obr. 18.



Obr. 17 Postup kování šišky



Obr. 18 Zhotovení šišky na stroji pro zkroucování

Spojování složitých a rozměrných konstrukcí

Většina uměleckých výkolků z kategorie užitého umění se vyrábí spojováním více kusů. Vykovat mříž, bránu, zábradlí či díl plotu, což jsou nejčastější práce uměleckého kováře, není ani jinak možné.

Jednotlivé části je možné spojovat několika způsoby. Předně je to *svařování*. Kovářské svařování se provádí tak, že se nejdříve dva spojované kusy ohřejí v místě požadovaného svaru na horní kovací teplotu, přiloží se k sobě a důkladně se prokovou (docílení převažujícího tlakového stavu napjatosti). Je přitom třeba dbát na dokonalé odstranění okují v místě spoje. Někdy se k tomu používá posypu boraxu, u něhož se s výhodou využívá jeho vlastnosti, že snadno rozpouští kovové oxidy na povrchu kovaného předmětu a slouží jako tavidlo. Jednodušší je svařovat části většího průřezu elektrickým obloukem a při svařování částí zhotovených z plechu použít kyslíko-acetylenový hořák. Toto však nejsou tradiční kovářské postupy, a neměly by se tudíž používat při zhotovování replik nebo při opravách památkově chráněných a historických artefaktů.



Obr. 19 Spojovací nýty na konstrukci plotu (foto spoluautor článku)



Obr. 20 Spony na detailu mříže (foto spoluautor článku)

Dále se běžně používá *nýtování* (obr. 19) a spojování pomocí *objímek* a *spon* (obr. 20). Někteří kováři jsou

vynalézaví a jednotlivé prvky spojují *zkroucením* či *proplétáním*. Toto jsou postupy, které si různé řemeslné obory předávají jeden druhému (např. použití ve výrobě konopných nebo kovových lan). V tomto případě plní spojovací prvky zároveň dekorativní úlohu.

Výše uvedené příklady uměleckých výtvorů vycházejí v zásadě z technologie volného kování. Mnozí kovářští mistři jsou velmi vynalézaví při hledání vhodných postupů. Některé další, méně běžné postupy jsou uvedeny v [2]. U výroby výtvorů z kategorie uměleckých řemesel, kam se řadí především užité kované předměty s uměleckým zpracováním (mříže ploty, brány, nábytek, lustry, svícny aj.), se uplatňují především známé kovářské postupy, které jsou shodné s průmyslovými technologiemi, nebo se od nich liší jen malými úpravami a detaily postupů. Při tvorbě uměleckých artefaktů jsou však kováři daleko vynalézavější a uplatňují i jiné technologie a kombinují i různé materiály.

Umění a dovednosti kovářů jsou někdy zneužívány objednateli jejich prací. Jejich díla jsou pak jen obrazem nevkusnosti nebo nadbytku peněz, často obojího. Obr. 21 ukazuje, jak majitel domu postaveného ve vcelku jednoduchém a moderním architektonickém stylu zcela nevkusně umístil složité kované zábradlí komponované do tématu rostlinných prvků, laděných do kýčovitých barev popírajících přirozenou povahu kovu. Zábradlí je součástí stejně nevhodně vysoce leštěného mramorového schodiště.



Obr. 21 Příklad zneužití kovářské zručnosti pro zhotovení nevkusného díla

Literatúra

- [1] JÍLEK, L., POČTA, J. Historie výroby kovů a její obraz v Bibli. *Hutnické listy*, 70 (2017) 4, 68-72; 70 (2017) 5, 45-48; 70 (2017) 6, 85-89; 71 (2018) 1, 15-21.
- [2] JÍLEK, L. Výroba tvarově složitých výtvorů volným kovááním. *Kovárenství*, (2010) 37, 44-48 a 52-56.
- [3] <https://www.kovozoo.cz/zvirata-a-jine-zajimavosti/>
- [4] <https://www.jean-pierre-augier.com/index.php/fr/>

(Pokračování)

Dovoz oceli do České republiky již druhým rokem klesá

ocelocel (Newsletter Ocelářské unie), únor 2021, s. 2

Celková výše dovozu ocelových výrobků do České republiky dosáhla loni 6,6 mil. tun. Oproti roku 2018, kdy byl dovoz do České republiky nejvyšší za deset let, jde o pokles o bezmála 1 mil. tun. Zlom v trendu rostoucích dovozů od roku 2009 je důsledkem aplikace ochranných opatření na dovoz ocelových výrobků do Evropské unie a poklesu poptávky. Hodnota dovezených výrobků z oceli činila v roce 2020 celkem 122 mld. korun. Objem vývozu byl loni 4,4 mil. tun, což je ve srovnání s předchozím rokem mírný nárůst. Hodnota vývozu dosáhla 89 mld. korun.

Společenská kronika

Život s vlní oceli aneb RNDr. Jaroslav Raab slaví 80 let

Letos v únoru se dožil 80 let dlouholetý reprezentant českého ocelářství RNDr. Jaroslav Raab. Jako Moravák, původem ze Znojma, se po absolvování matematiky na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity dostal v roce 1963 do Vítkovických železáren, a tak spojil svůj další osud s výrobou oceli.

Ve Vítkovicích skupina oborových inženýrů právě zakládala oddělení operačního výzkumu podle britského vzoru. Šlo o používání zajímavých matematických metod v ocelářství a v tehdejší těžkém průmyslu. Jeden z jeho prvních projektů se týkal použití síťových grafů pro zakladače v uhelných dolech. Výstupy tohoto projektu pak publikoval v časopisech *Hutník* a *Hutnické listy*.

Ve Vítkovicích se pak jako matematik dostal do výzkumného centra, dnes společnost MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. Pracoval ve skupině u profesora Žídka a v *Hutnických listech* pak společně publikovali.

V té době poznal svou ženu Olgu, která pochází z Třince a studovala pedagogickou fakultu Ostravské univerzity. Spolu mají tři děti a čtyři vnoučata.

Operační výzkum se úspěšně zaváděl i v ostatních československých hutích a v Třineckých železárnách hledali odborníka na tuto problematiku. Proto Jarovi, tehdy už bydlicímu v Třinci, nabídli místo. Od roku 1970 se tak stal zaměstnancem třinecké hutě.

Spoluzakládal koordinační skupinu pro aplikaci matematických metod v hutnictví. Tato skupina pod vedením profesora Hučovského z Bratislavy organizovala pravidelné semináře a později i konference. Od roku 1970 pak externě vyučoval matematické metody na Vysoké škole báňské a aktivně se věnoval i činnosti v České hutnické společnosti.

V osmdesátých letech se Jaroslav stal členem Rady pracovního kolektivu a během roku 1989 i jejím předsedou. Po vzniku akciové společnosti Třinecké železářny byl jmenován předsedou představenstva. V představenstvu Třineckých železáren zůstal i po privatizaci.

V roce 1998 je jmenován výkonným ředitelem a předsedou představenstva českého svazu ocelářských společností Hutnictví železa a.s. V této funkci pak setrval až do svého odchodu do penze v roce 2017.



Podílel se na zapojení českého ocelářství do evropských a světových struktur, Třinecké železářny byly prvním členem organizace worldsteel (tehdy IISI) ze Střední a Východní Evropy. Na přelomu tisíciletí se podílel na restrukturalizaci českého ocelářství, díky níž se bezproblémově transformovalo na podmínky Evropské unie.

Jako velmi společenský člověk stál u zrodu mnoha akcí, byl dlouholetým předsedou České hutnické společnosti, organizoval mezinárodní ekologické soutěže, reprezentoval Třinecké železářny i české ocelářství na mnoha mezinárodních konferencích, publikoval články o transformaci českého ocelářství v řadě evropských časopisů. Za svou publikační i prezentační aktivitu byl oceněn mnoha mezinárodními cenami v Belgii, Francii, Chorvatsku a Polsku. Jednou z jeho oblíbených akcí byly Pivní slavnosti, kde byl dlouhou dobu v čele jako tzv. Velké a neomylné prezidium.

I v důchodu je Jaroslav Raab však nadále aktivní, měl několik prezentací a přednášek. Doma se pak stará o hospodářství, slepice, ovce a malé políčko. Jako člověk z Jižní Moravy je také příznivcem dobrého vína. Do dalších let mu přejeme hlavně hodně zdraví, energie, a také tu nepostradatelnou radost ze života.

Redakce časopisu Hutnické listy

Odešel prof. Ing. Miroslav Tvrdý, DrSc.

Dne 9. 4. 2021 nás ve věku nedožitých 75 let opustil pan prof. Ing. Miroslav Tvrdý, DrSc. Celá jeho bohatá profesní kariéra byla spojena s metalurgií a materiálovým inženýrstvím. V roce 1968 získal na VŠB Ostrava, Fakultě hutnické, inženýrský titul v oboru Nauka o kovech, tváření kovů a slévárenství. V období 1968 – 2001 pracoval v různých odborných a vedoucích pozicích v MATERIÁLOVÉM A METALURGICKÉM VÝZKUMU s.r.o. v Ostravě (původně Výzkumný ústav VÍTKOVICE). Během tohoto



období si postupně doplňoval odborné vzdělání a zvyšoval kvalifikaci: v roce 1974 obhájil na VŠB Ostrava kandidátskou disertační práci na téma *Mechanicko-metalurgické charakteristiky vysokopevných martenzitických ocelí* a v roce 1989 úspěšně obhájil doktorskou disertační práci na ÚFM ČSAV v Brně. V přímé spolupráci se strojírenskými a metalurgickými provozy Vítkovic se věnoval výzkumu a vývoji především vysokopevných, nerezavějících a nástrojových ocelí. Podílel se na vývoji materiálů pro extrémní podmínky namáhání, ocelí pro petrochemický průmysl, unikátních těžkých odlitků a výkovek, ocelí pro speciální techniku. Aktivně se zapojil do rozvoje jaderné energetiky, byl členem mezinárodních pracovních týmů IAEA. Detailně se věnoval problematice lomové houževnatosti, destruktivního a nedestruktivního zkoušení konstrukčních materiálů. Ve své výzkumné činnosti aktivně uplatňoval nejmodernější poznatky z oblasti fyzikální metalurgie a mezních stavů materiálů. Úspěšně se podílel na řešení řady podnikových, oborových a státních výzkumných úkolů aplikovaného i základního výzkumu. Za vynikající výsledky dosažené v oblasti materiálového výzkumu obdržel řadu ocenění a postupně se stal uznávaným odborníkem nejenom v České republice, ale i v zahraničí.

V roce 1999 byl jmenován profesorem pro obor Materiálové inženýrství a od roku 2001 působil na plný úvazek na Katedře materiálového inženýrství, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB–TUO. Byl vedoucím Ústavu fyzikální metalurgie, kde se zabýval studiem fyzikálně-metalurgických charakteristik kovových materiálů

určených pro náročné provozní aplikace. Dlouhodobě zastával funkci zástupce vedoucího katedry. Přednášel řadu předmětů na Fakultě metalurgie a materiálového inženýrství, ale i na Fakultě strojní VŠB–TUO. Během své odborné kariéry publikoval více než dvě stě padesát příspěvků v odborných časopisech a na vědeckých konferencích, byl spoluautorem šesti patentů. Aktivně se zapojil do činnosti odborných organizací, např. České vědecké společnosti pro nauku o kovech, ČSNMT, ČVTS, AKI, Evropské společnosti pro integritu konstrukcí,

Evropské korozní společnosti. Ve svých výzkumných aktivitách pokračoval i na VŠB–TUO, kde byl řešitelem nebo spoluřešitelem řady projektů MPO a MŠMT. Z pozice člena Akreditační komise MŠMT se aktivně podílel na rozvoji terciárního vzdělávání. Z oblasti odborné spolupráce se zahraničím je třeba zmínit aktivity na MISISu v Moskvě, Sheffield University a École Centrale Paris. Na Katedře materiálového inženýrství pravidelně organizoval mezinárodní semináře *Bezpečnost a spolehlivost materiálů za extrémních podmínek provozování*, které byly místem nejen odborných diskuzí, ale i příjemného společenského setkávání našich i zahraničních odborníků. Svě hluboké znalosti a dovednosti, které získal dlouholetou spoluprací s průmyslovými podniky i s významnými výzkumnými pracovišti, předával studentům ve všech formách studia.

Odchodem pana prof. Ing. Miroslava Tvrdeho, DrSc. jsme přišli nejen o významného a uznávaného odborníka, ale i o velmi milého kolegu a vzácného člověka s ryzím vztahem k rodnému Moravskoslezskému regionu, k regionu Lašska, jeho přírodním krásám a lidové tvořivosti.

Čest jeho památce!

*Kolektiv Katedry materiálového inženýrství
FMT, VŠB–TUO*

Představujeme vám ...

Viktor Mácha: „Nic krásnějšího, než vysoká pec zalitá září žhavého železa zkrátka neexistuje“

Na obálkách časopisu Hutnické listy už několik let zveřejňujeme unikátní snímky fotografa Viktora Máchy. Vystudovaný teolog a religionista z Prahy se rozhodl zasvětit veškerý svůj volný čas dokumentaci dohasínající průmyslové revoluce na našem kontinentu. Za hutěmi, koksovny, slévárnami, válcovnami, ocelárnami a doly ročně nacestuje tisíce kilometrů napříč celou Evropou. Od hutí v Ostravě, Třinci až po horkem rozpálených jihoitalských sléváren a zamrzající vysoké pece západní Sibíře. To vše na vlastní náklady a z vlastní iniciativy a s jediným cílem: zanechat komplexní obraz pomalu mizějícího světa těžkého průmyslu svým dvěma dětem a dalším generacím.

Pane Mácho, když se dívám na vaše výjimečné snímky z hutí, napadají mne vždy stejné otázky: Jak jste se vlastně k fotografování hutí dostal? Vystudoval jste nějaké speciální školy?

Asi to vaše čtenáře překvapí, ale na všechny otázky mám stejnou odpověď: Ne. Vystudoval jsem teologii v kombinaci s religionistikou, tedy obory snad nejvíce vzdálené těžkému průmyslu. Ten jsem ale miloval už od dětství. Byla to upřímná fascinace tou dunící masou oceli. Nedávalo mi to vůbec žádný smysl, o to víc ale přitahovalo. A když začaly lesy komínů na horizontu viditelně řídnout, pořídil jsem si po maturitě svůj první fotoaparát a vydal se do nejbližšího dolu. Jednoduše jsem nemohl nechat tenhle kouzelný svět těžních věží a železáren jen tak odejít. Nebylo to možné.

Co je na industriálních místech tak skvělého, že jste se je rozhodl fotit?

Spíše co není? Těžký průmysl mne fascinuje od malička. Stačí, že vidím na horizontu vysokou pec a hned se mi po těle začne rozlévat hřejivý pocit štěstí. Je to něco, jako když si prohlížíte stará rodinná alba a narazíte na fotografie z Vánoc. Víte, mě focení jako takové vlastně ani moc nebaví a nezajímá. Fotografie je pro mne pouze médiem, jak ten svůj milovaný průmysl uchovat pro sebe a třeba i pro další generace.

Jaký je váš vztah k tomuto průmyslu, a proč zrovna ocel?

Platonický. Výroba a zpracování kovů má v sobě něco elementárního, něco bezčasého. Koneckonců jako jakákoliv jiná rutinní lidská činnost. Fascinuje mne kontrast křehkosti lidského bytí v kulisách brutální, mrtvé



hmoty. Nejsem příliš technicky založený člověk, tudíž mé znalosti procesů v těžkém průmyslu jsou spíše rudimentárního charakteru. Vše, co o hutnictví vím, jsem odkoukal přímo z provozů, nebo odposlechl od výrobních mistrů. I po těch deseti letech v ocelárnách přijdu i dnes do licí haly a jen žasnu.

Jaká specifika má tento typ fotografie?

Jelikož nemám zkušenosti s žádnými jinými žánry, tak nemohu porovnávat. Specifika jsou hlavně ta, že máte helmu, ochranné brýle, špunty do uší, na objektiv se vám v lepším případě neustále prší, v tom horším ho zalévají spršky jisker, tělo fotoaparátu máte rozpálené do ruda, všechno se klepe, hučí, vibruje a na záda vám dýchá netrpělivý bezpečák a kontroluje každý záběr kvůli nežádoucí průmyslové špionáži nebo porušení

bezpečnosti práce. Jak závidím krajinářům, že nemusí své fotografie zasílat k autorizaci. V archivu mám stovky fotografií, které nesmím nikdy publikovat. Bohužel.

Inspiroval vás nějaký konkrétní fotograf nebo umělec?

V roce 2007 mi naprosto učarovala výstava Václava Jiráskova "Industria". Ze zahraničních pak samozřejmě manželé Bernd a Hilla Becherovi a celá düsseldorfská škola. Obecně ale fotografickou scénu moc nesleduji. Zajímám se více o jiné formy výtvarného umění. Z českých autorů velice miluji suché jehly Vladimíra Silovského a dřevoryty Ferdiše Duši. Pokud bych měl opět sáhnout do zahraničí, pak jednoznačně oleje německého Ericha Merckera a ukrajinského Grigoryho Ivaščenka.

Jaké jiné náměty vás lákají?

Žádné. Jen doly a hutě. Ano, je to trapné a omezené, ale nic jiného mi nedává smysl.

Co dělá fotografa dobrým fotografem?

Možnost, že na tom, co dělá, nezávisí jeho živobytí.

Musíte rozumět i odborným termínům, vzděláváte se nějak v této oblasti?

To málo, co o průmyslové výrobě vím, mám pouze odkoukáno a odposlechnuto přímo z provozů. Jednou jsem si zkusil nějakou odbornou knihu o hutnictví otevřít,

ale usnul už v polovině druhé stránky. Je to jednoduché, neumím fotit cokoliv jiného. Nic krásnějšího, než vysoká pec zalitá září žhavého železa, zkrátka neexistuje.

Kterých snímků si ceníte nejvíce a proč?

Těch, které už zachycují minulost. Bohužel jich s postupem času začíná dramaticky přibývat.

Změnilo se v poslední době něco ve vaší tvorbě?

Jestli se něco změnilo, by asi mohli posoudit spíš diváci. Já se snažím pouze dál rozšiřovat svůj archiv zdokumentovaných závodů. V podstatě dělám posledních čtrnáct let pořád to samé. Alespoň doufám.

Doba nepřeje osobním kontaktům a výstavám, můžou zájemci vidět vaše fotky on-line?

Je to bohužel tak, nicméně má dokumentární práce je k stále k vidění na stránkách www.viktormacha.com.

Až se situace zklidní, připravujete nějakou zajímavou výstavu, na kterou bychom mohli pozvat čtenáře?

Momentálně se chystá kolektivní výstava v rumunské Kluži, a pokud situace dovolí, na příští rok plánuji obsáhlejší autorskou výstavu o hornictví. Vloni připravovanou a covidem zrušenou výstavu v americkém Pittsburghu se snad podaří realizovat později.

Mgr. Šárka Seidlerová



Foto: archiv Viktor Mácha

Obsah Hutnických listů 2020

Hlavní recenzované články / Main Reviewed Articles

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

| Název článku | Autoři | HL | strana |
|---|--|-----|--------|
| Diagramy anizotermického rozpadu austenitu oceli 21MnNiMo Continuous Cooling Transformation Diagrams of 21MnNiMo Steel. | <i>prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.;</i> <i>Ing. Petr Kawulok, Ph.D.;</i> <i>Ing. Stanislav Ruzs, Ph.D.;</i> <i>Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.;</i> <i>Ing. Petr Opěla, Ph.D.;</i> <i>prof. Dr. Ing. Jaroslav Sojka</i> <i>Bc. Michal Sauer;</i> <i>Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.;</i> <i>Ing. David Chmiel;</i> <i>Ing. Vratislav Bártek, Ph.D.</i> <i>Ing. Miroslav Melkus</i> | 1-3 | 6–11 |
| Numerické modelování vyplouvání vměstků za stacionárního stavu proudění oceli v mezipánvi Numerical Modelling of floating out of Inclusions under Steady State Steel Flow in a Tundish | <i>doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.;</i> <i>Ing. Josef Walek;</i> <i>prof. Ing. Karel Michalek, CSc.;</i> <i>Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.</i> | 4-6 | 8–18 |

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

| | | | |
|---|---|-----|-------|
| Antiprůvalový systém pro zařízení plynulého odlévání v konceptu průmyslu 4.0 Antibreak-out System for Continous Casting Machine in the Concept of Industry 4.0 | <i>Ing. Miroslav Klus;</i> <i>Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.;</i> <i>Ing. Miroslav Plachta Ph.D.;</i> <i>Ing. Adam Rucki;</i> <i>Ing. Martin Papoušek</i> | 1-3 | 12–16 |
| Nová pánvová pec v elektroocelárně Třineckých železáren, a.s. New Ladle Furnace at EAF Plant in Třinecké železárně, a.s | <i>Ing. Bohuslav Chmiel;</i> <i>Ing. Jaromír Kaleta;</i> <i>Ing. Michal Sikora;</i> <i>Ing. Miroslav Pustowka;</i> <i>Ing. Vladimír Troszok</i> | 1-3 | 17–20 |
| Vývoj technologie výroby odlitků ve Slévárnách Třinec, a.s. Development of Technology for Production of Castings in the Foundry Slévárny Třinec, a.s. | <i>Ing. Ervín Marko</i> | 1-3 | 21–24 |
| Využití skenovacího elektronového mikroskopu v procesu výroby oceli pro monitoring vývoje nekovových vměstků Using of Scanning Electron Microscope in the Steel Production Process for Monitoring of Non-Metallic Inclusions | <i>Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.;</i> <i>Ing. Petr Kučírek;</i> <i>Ing. Jaromír Kaleta;</i> <i>Ing. Michal Sniegoň;</i> <i>doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.</i> | 4-6 | 19–25 |

| Název článku | Autoři | HL | strana |
|--|--|-----|--------|
| Research of Handling of Waste, Materials and Other Products from Metallurgical and Related Process Plant Výzkum nakládání s odpady, materiály a vedlejšími produkty hutních a souvisejících provozů | <i>doc. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.;</i> <i>doc. Ing. Vlastimil Matějka, Ph.D.;</i> <i>doc. RNDr. Bruno Kostura, Ph.D.</i> | 4-6 | 26–30 |
| System detekce strusky pro kontinuální lití – sledování vibrací Slag detection system for continuous casting – vibration detection | <i>Ing. David Stoniš;</i> <i>Ing. Martin Papoušek</i> | 4-6 | 31–33 |

Informační články / Information Articles

Úvodník / Editorial

| | | | |
|--|---|-----|---|
| Jaká je situace v časopise Hutnické listy? | <i>Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.;</i> <i>Mgr. Šárka Seidlerová</i> | 1-3 | 4 |
| Úspěšná cesta inovací... | <i>Ing. Henryk Huczala</i> | 1-3 | 5 |
| Jak dále v časopise Hutnické listy? | <i>Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.</i> | 4-6 | 4 |
| Cesta k uhlíkové neutralitě nebude snadná, ale je potřeba se po ní vydat | <i>Ing. Jan Czudek</i> | 4-6 | 5 |

Zprávy z Ocelářské unie a.s. / Information of Steel Union a.s.

| | | | |
|---|-------------------|-----|----|
| Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2019 a 2020 | <i>Jiří Dufek</i> | 1-3 | 25 |
| Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2019 a 2020 | <i>Jiří Dufek</i> | 4-6 | 34 |

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Information on Activities of Companies, Institutions and Research Working Sites

| | | | |
|---|---|-----|-------|
| Představení nových vědecko-výzkumných investic ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., pořízených v rámci programové výzvy Operačního programu výzkum, vývoj a vzdělávání Presentation of New Scientific-Research Investments in the company MATERIAL & METALLURGICAL RESEARCH, realised within the Operational Programme Research, Development and Education | <i>doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.;</i> <i>Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.;</i> <i>Ing. Ladislav Kander, Ph.D.;</i> <i>Dr. Ing. Zdeněk Kuboň;</i> <i>Ing. Petr Čížek, Ph.D.;</i> <i>Mgr. Marek Vindyš;</i> <i>Ing. Šárka Hermanová</i> <i>Ing. Gabriela Rožnovská, Ph.D.;</i> <i>Ing. Ondřej Kotásek</i> | 1-3 | 26–29 |
| Vývoj profilovaných za tepla válcovaných bezešvých ložiskových kruhů ve společnosti BOHEMIA RINGS Zámorsk | <i>Ing. Dušan Voříšek;</i> <i>Václav Horáček</i> | 1-3 | 30–31 |

| <i>Název článku</i> | <i>Autoři</i> | <i>HL</i> | <i>strana</i> |
|---|-----------------------------------|-----------|---------------|
| PRIMETALS TECHNOLOGIES pro dekarbonizaci ocelárenství | <i>Ing. Stanislav Tacina</i> | 1-2 | 32-33 |
| Zlepšování antikoročních vlastností výrobků ve společnosti D&D Drótaru Zrt. | <i>Ing. Radim Mrozek, MBA</i> | 1-3 | 34-35 |
| Vývoj šroubové pružiny s progresivní charakteristikou pro tlumení vibrací ve stavebnictví Development of a Helical Spring with a Progressive Characteristic for Absorbtion of Vibration in Civil Engineering | <i>Ing. Pavel Nekoksa</i> | 4-6 | 35-37 |
| Modernizace odsíření a denitrifikace na kotlích Teplárny E3 společnosti ENERGETIKA TRINEC, a.s. | <i>Ing. Jan Čepec</i> | 4-6 | 38-40 |
| Společnost ENVIFORM přichází s novou verzí systému MEDIC Bezpečí a zdraví zaměstnanců ohlídají „hodinky“ | <i>Jan Jakeš; Marek Ciosk</i> | 4-6 | 41-42 |
| Projekt Boost4BSO byl zahájen v dubnu 2020 | | 4-6 | 43 |
| Dekarbonizácia slovenskej ekonomiky 2020 | | 4-6 | 44 |

Z odborných společností/ From professional companies

| | | | |
|---|--|-----|-------|
| Z činnosti České hutnické společnosti v roce 2019 | <i>Ing. Jan Kobiélusz; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.</i> | 1-3 | 46-48 |
|---|--|-----|-------|

Ze života škol / Information on Activities of Universities

| | | | |
|---|---|-----|-------|
| Nabídka on-line setkávání i virtuální prohlídka FMT | <i>doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.; Ing. Ivana Kroupová, Ph.D.</i> | 4-6 | 49-50 |
|---|---|-----|-------|

Historie hutnictví / History of Metallurgy

| | | | |
|--|--|-----|-------|
| České stopy ve vývoji výroby a zpracování kovů | <i>Ing. Ladislav Jílek, CSc.; Ing. Jan Počta, CSc.</i> | 1-3 | 38-42 |
|--|--|-----|-------|

Společenská kronika / Social Chronicle

| | | | |
|---|--|-----|----|
| Odešel prof. Ing. Jaromír Pištora, CSc. | | 4-6 | 51 |
|---|--|-----|----|

Výstavy, veletrhy, konference / Exhibitions, Fairs, Conferences

| | | | |
|---|--|-----|----|
| European Integration 2020 ve virtuální podobě | <i>Petra Doleželová; Michaela Staníčková</i> | 4-6 | 52 |
|---|--|-----|----|

Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy

| | | | |
|--|--|-----|-------|
| | | 1-3 | 43-44 |
|--|--|-----|-------|

| | | |
|--|-----|-------|
| Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy | 4-6 | 53-55 |
| Obsah Hutnických listů 2019 / Content of the Metallurgical Journal 2019 | 1-3 | 45-51 |
| Humor s hutní tematikou od autora Rostislava Turoně | 1-3 | 52 |
| Humor s hutní tematikou od autora Rostislava Turoně | 4-6 | 56 |

VŠB-TUO Ostrava na Festivalu v ulicích

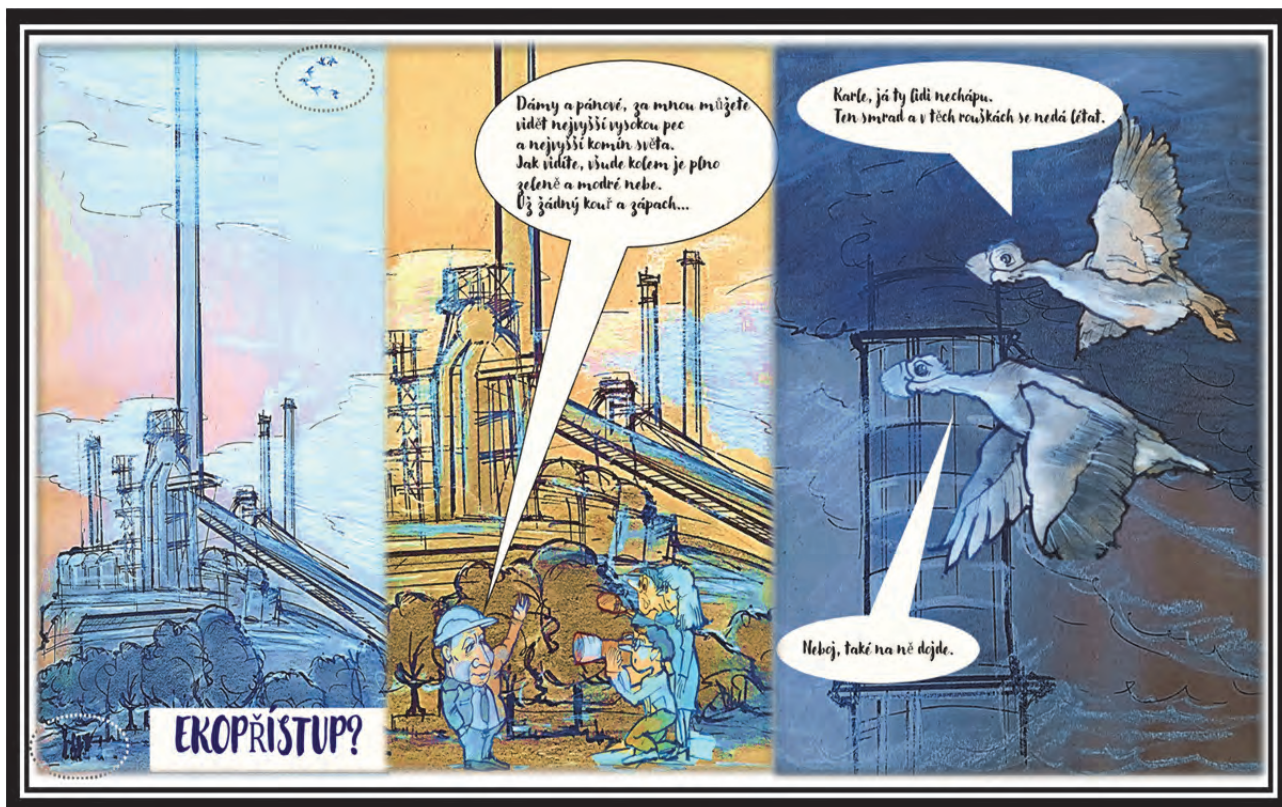
Na konci června se po dlouhé době představí VŠB-TUO Ostrava veřejnosti s programem na Masarykově náměstí v Ostravě na Festivalu v ulicích. Na stáncích VŠB-TUO mimo jiné poznáte, jak a kde používá člověk techniku v běžném životě. Např. ve stavitelství, při získávání zdrojů energie, v nanotechnologiích, materiálovém inženýrství a slévárenství. Dále zjistíte, jak nám pomáhají termokamery a 3D tisk. Nebude chybět oblíbený popkornovač, s vysvětlením principu spalování paliva ve fluidním kotli, běžně používaném v energetice. Ale tentokrát v něm budete mít upražený popkorn!

Přijďte si 25. a 26. června užít program s VŠB-TUO Ostrava plný zábavy, her a poznávání.

Humor s hutní tematikou

Vážení čtenáři,

chtěli bychom vám zpestřit odborné čtení, a tak vám přinášíme hutnický humor od autora Rostislava Turoně, pracovníka společnosti Třinecké železárny.





METALURGIA S.A.
RADOMSKO

Member of TRINECKÉ ŽELEZÁRNY - MORAVIA STEEL Group

We produce with passion for our customers



bare wires / galvanized wires / PVC coated wires / copper coated wires

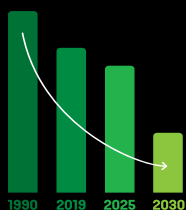
nails / knotted wire netting / barbed wires / rods

staple wire / welding wires / bookbinding wires

heat treatment services / surface treatment services of wires and wire rods

METALURGIA SA ul. Św. Rozalii 10/12, 97-500 Radomsko, POLAND,
tel. +48 44 685 41 66, fax. +48 44 685 41 61,
e-mail: metalurgia@metalurgia.pl / www.metalurgia.pl

OCEL PRO DALŠÍ GENERACE



NAŠÍM CÍLEM JE SNÍŽENÍ
EMISÍ OXIDU UHLIČITÉHO
DO ROKU 2030 O

55%



TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY

Každý rok dodáváme
50 000 tun oceli
pro větrné elektrárny