

Registrační číslo / Registration Number
MK ČR E 18087Mezinárodní standardní číslo / International Standard Serial Number
ISSN 0018-8069

Vydavatel / Publisher

OCELOT s.r.o.
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
IČ: 49245848, DIČ: CZ-49245848
Registrace v obchodním rejstříku Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 30879

Redakce / Editorial Office

OCELOT s.r.o.
Redakce časopisu Hutnické listy
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
Česká republika

Vedoucí redaktor / Chief Editor

Mgr. Šárka Seidlerová
tel.: +420 731 181 238
e-mail: seidlerovas@seznam.cz

Technický redaktor / Technical Editor

Ing. Jan Počta, CSc.
tel.: +420 596 995 156
e-mail: j.poceta@seznam.cz

Grafický redaktor / Graphic Editor

Ing. Dana Horáková
tel.: +420 777 047 666
e-mail: hutnicke.listy@seznam.cz

Tisk / Printing

Printo, spol. s r.o.
Gen. Sochora 1379
708 00 Ostrava-Poruba

Grafika titulní strany / Graphic design of the title page

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

Podkladová fotografie / Underlying photograph

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

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – 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 Páříšák, CSc.
Ing. Vladimír Toman
Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.
prof. Wei SunPolitechnika Śląska, Katowice, Polsko
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
USA
School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, China
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Trinec, Česká republika
Univerzita obrany, Brno, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
USA
ŽďAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
Hutnictví železa, a.s., Praha, Česká republika
ArcelorMittal Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika
Faculty of Engineering, University of Nottingham, UK

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

Časopis vychází 6× ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné základní 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 znění jsou povinni se řídit autoři, recenzenti i redakce. (Celé znění etického kodexu je zveřejněno na www.hutnickelisty.cz)

© OCELOT s.r.o., 2019

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

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

The journal is published 6 times a year. Price of a single issue is CZK 200 without VAT. Net price of basic annual subscription is CZK 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., 2019

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

Obsah / Content

Úvodník / Editorial

- prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.* 4
Výskumno-vývojové centrum s. r. o. ako príklad realizácie priemyselného výskumu

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

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

- Ing. Pavol Buček, PhD.; Ing. Karol Ondrejko, PhD.* 7
Využitie počítačového modelovania pri optimalizácii procesu plynulého odlievania ocele
v Železiarňach Podbrezová, a. s.
Utilization of Computer Modeling in Optimization of Continuous Casting Process of Steel
in Železiarne Podbrezová, a. s.
- prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.; Ing. Peter Burik, Ph.D.; Ing. Peter Bella, PhD.; Ing. Pavel Kejzlar, Ph.D.* 12
Vývoj textúry pri ťahaní presných oceľových rúr za studena
Texture Evolution During Cold Drawing of Precision Steel Tubes

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

- Ing. Vladimír Chomič ; Ing. Stanislav Turňa; Ing. Matej; Ing. Jozef Švantner; Ing. Pavol Veselovský
Ing. Marek Brižek; prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.* 17
Analýza životnosti ponorných trubíc ZPO v Železiarňach Podbrezová, a. s.
Analysis of Service Life Period of the Submerged Entry Nozzles Used for Continuous Casting of Steel
in Železiarne Podbrezová, a.s.
- Ing. Tomáš Vindt, PhD.; prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc.; prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.
Ing. Vladimír Chomič* 21
Laboratórium spracovania priemyselných odpadov – hydrometalurgické spracovanie EOP úletov
Industrial Waste Processing Laboratory – Hydrometallurgical Treatment of EAF Dust

Informační články / Informative Articles

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

- Ondřej Štec* 26
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

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

- Ing. Jan Počta, CSc.* 27
Diskuse k článku „Vliv výchozího strukturního stavu a parametrů ohřevu na tvařitelnost středně uhlíkové oceli“
autorů Kawulok Petr aj., publikovaného v Hutnických listech, 71 (2018) 5, 13-16

Historie hutnictví / History of Metallurgy

- Ing. Ladislav Jílek, CSc.* 31
Rozvoj hutnictví v souvislosti s vývojem železnic. Část 3 – Celistvá kola

Společenská kronika / Social Chronicle

Odešel významný ocelářský odborník Ing. František Zámečník, CSc. 35

Konference, veletrhy a výstavy / Conferences, Trade Fairs and Exhibitions

GIFA, METEC, THERMPROCESS a NEWCAST 2019 36
Hotspot světové slévárenské a metalurgické techniky

Hutnictví ve světě / Metallurgy in the World

37

Obsah Hutnických listů 2018 / Content of the Metallurgical Journal 2018

43

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části

- VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická • Ocelářská unie a.s. • redakce

Inzerce

- CNT VŠB – TUO, Ostrava • MÉDEA, a.s., Praha • TANGER, spol. s r.o., Ostrava

Úvodník

ŽP Výskumno-vývojové centrum s. r. o. ako príklad realizácie priemyselného výskumu

prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.

ŽP Výskumno-vývojové centrum s. r. o., Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová, Slovenská republika



V roku 2018 sme si pripomenuli 10 rokov činnosti ŽP VVC s. r. o. Z pohľadu organizácie je to relatívne krátka doba, ale na druhej strane je to rozhodujúce obdobie, ktoré má potvrdiť, že boli naplnené všetky zámery, ciele a predstavy formulované pri vzniku spoločnosti, a zároveň má potvrdiť životaschopnosť novej výskumnej organizácie definovaním hlavných cieľov činnosti do budúcnosti. V príspevku sa zameriam práve na skutočnosti, či boli naplnené predstavy a zámery za 10 rokov činnosti ŽP VVC s. r. o. a zároveň uvediem zámery činnosti do budúcich rokov. Som veľmi rád, že sa s týmito myšlienkami môžem podeliť s čitateľmi najvýznamnejšieho odborného časopisu v oblasti metalurgie a materiálového inžinierstva v ČR a SR.

Úvodom si dovoľím krátku reminiscenciu k založeniu ŽP VVC s. r. o. Hlavným nositeľom myšlienky zabezpečiť vlastný výskum a vývoj v podmienkach ŽP a. s. je Ing. Vladimír Soták, generálny riaditeľ ŽP a. s. S touto myšlienkou ma oslovil v apríli 2007. Túto ponuku som prijal ako výzvu a 1. decembra 2007 som po 36-ročnom pôsobení na ÚMV SAV v Košiciach nastúpil do zamestnania v ŽP a. s. Po diskusiách

v predstavenstve ŽP a. s., osobitne s generálnym riaditeľom a výrobným riaditeľom ŽP a. s. Ing. Vladimírom Zvarikom som v apríli 2008 predložil predstavenstvu ŽP a. s. koncepciu budovania výskumno-vývojového centra. Táto koncepcia bola prijatá a 1. augusta 2008 vznikla nová dcérska spoločnosť pod názvom ŽP Výskumno-vývojové centrum s. r. o. Pri spätnom hodnotení tohto rozhodnutia môžeme povedať, že išlo o značne experimentálny krok, ktorý vychádzal z veľmi slabej reakcie univerzitných pracovísk, ale aj pracovísk SAV pri riešení naliehavých výskumno-vývojových činností pre potreby ŽP a. s.

Pre naplnenie výskumných a vývojových zámerov bolo potrebné vybudovať príslušnú personálnu štruktúru, prístrojové zabezpečenie a v neposlednom rade budovať kooperačné vzťahy. Vo všetkých týchto oblastiach predstavenstvo ŽP a. s. vytváralo maximálne podmienky pre naplnenie týchto úloh. Nechcem sa vraciť do jednotlivých detailov koncepcie činnosti ŽP VVC s. r. o., pretože tá bola podrobne popísaná na Odbornej konferencii ŽP VVC v roku 2015. Uvediem len najdôležitejšie východiská. Činnosť ŽP VVC s. r. o. musí zabezpečiť komplexný výskum a vývoj pre realizáciu výrobného programu ŽP a. s. a nadväzne aj v rámci ŽP Group. Z hľadiska vedeckého prístupu je naša činnosť orientovaná na mikroštruktúrnú a chemickú koncepciu pevnostných, plastických a lomových vlastností materiálov so zameraním na valcované a presné rúry. Tento prístup sa prednostne neorientuje len na dosahovanie mechanických vlastností, ale aj na docelenie presného stavu mikroštruktúry pri danom chemickom zložení, ktorá garantuje tieto žiadané mechanické vlastnosti. Všetky úlohy v tejto oblasti boli splnené a máme definované a matematicky spracované požiadavky na stav a parametre feriticko-perlitických, bainitických, feriticko-bainitických, ale aj martenzitických typov ocelí, a to vždy pre predom požadované mechanické vlastnosti.

Druhá významná oblasť je problematika tvárnenia za tepla a za studena. Osobitne v oblasti tvárnenia za tepla, s priamou interpretáciou na výrobu valcovaných rúr v podmienkach ŽP a. s. boli prakticky všetky úlohy splnené. S využitím teórie plastickej deformácie aplikovanej na austenit, znalostí rozpadových diagramov pre jednotlivé ocele, modelovania termicko-deformačných procesov v každom technologickom uzle od karuselovej pece cez dierovací lis až po výbehový úsek na ťahovej redukčnici a v spolupráci s valcovňou vieme riadiť valcovanie širokého spektra vyrábaných rúr. Teoretické aj technologické analýzy viedli k priamym úpravám pri riadení valcovania, ktoré smerovali nielen k dodržaniu kvality vyrábaných valcovaných rúr, ale aj k zvýšeniu produktivity a k zavádzaniu nových typov ocelí. Tu spomeniem napríklad reguláciu ochladzovania valcov ťahovej redukčnice, priebežnú kontrolu termicko-

deformačného režimu na redukovní od krokovej pece cez jednotlivé úbery v stojanoch až po riadenie dovalcovacích teplôt. Ďalej je to implementácia špičkových nástrojových ocelí, respektíve spekaných karbidov, ktoré umožňujú až 10násobné zvýšenie životnosti príslušných nástrojov.

V oblasti teórie tvárnenia za studena dôsledne využívame princípy dislokačnej teórie plasticity s cieľom definovať vplyv stavu mikroštruktúry na plastické pretvorenie pri všetkých troch spôsoboch ťahania presných rúr, ktoré sa využívajú v podmienkach ŽP a. s. Mikroštruktúrny prístup kombinujeme s modelovaním príslušného napätového stavu, čo sú základné východiská pre následnú optimalizáciu celého procesu výroby presných rúr. V nadväznosti na teóriu dislokácií pri optimalizácii procesu tvárnenia za studena sme začali využívať textúrne analýzy, ktoré majú viesť k definovaniu intenzity plastických deformácií v jednotlivých kryštalografických rovinách mriežky K8. Tento prístup pri ťahaní presných rúr je ojedinelý v celosvetovom meradle.

Veľká pozornosť bola venovaná kvalite výroby kontizliatkov v podmienkach ŽP a. s. Boli dosiahnuté významné výsledky v spolupráci so SJF STU v Bratislave v oblasti modelovania celého procesu kryštalizácie. K tomu bolo vytvorené spoločné pracovisko KONTILAB. V spolupráci s oceliarňou sme sa podieľali na optimalizácii výroby ocele, až po jej kontinuálne odlievanie, a to aj v podmienkach rekonštruovaného ZPO. Intenzívne pracujeme na precizovaní dynamického modelu riadenia ZPO. Veľkú pozornosť venujeme aj problematike prúdenia taveniny v medzipanve, ktoré sa rieši v spoločnom pracovisku SimCont s Fakultou materiálov, metalurgie a recyklácie TU v Košiciach (FMMR TU Košice) so zameraním na vodný model. S využitím poznatkov o procesoch kryštalizácie pri odlievaní kontizliatkov a ich následného tvárnenia za tepla došlo pri valcovanej rúre k zmene geometrie a rozmeru kontizliatku.

Od samotného vzniku sme venovali veľkú pozornosť environmentálnym otázkam. Boli vyriešené otázky briketizácie rafinačnej trosky. Na spoločnom pracovisku LSPO na FMMR TU Košice boli vyriešené základné postupy hydrometalurgického spracovania odpraškov z EOP, až po poloprevádzkovú výrobu dvoch produktov na báze zinku. Riešime otázky využitia trosky z EOP a komplexne posudzujeme a garantujeme dodržanie minimálnych dopadov výrobného procesu ŽP a. s. na životné prostredie.

Môžeme si položiť otázku, akým spôsobom ovplyvnili výsledky výskumu ŽP VVC s. r. o. kvalitu, produktivitu a konkurenčnú schopnosť výroby ŽP a. s. v oblasti valcovaných aj presných rúr. Konečné hodnotenie, ktoré je samozrejme odrazom stability a konkurencieschopnosti ŽP a. s. v medzinárodnom meradle a hodnotenie výsledných ekonomických ukazovateľov prislúcha skôr predstavenstvu ŽP a. s. Uvediem len niektoré príklady:

Ak sme na začiatku nášho pôsobenia cca 70 % pracovnej doby riešili priame zadania a problémy vo výrobnom cykle ŽP a. s., tak v roku 2017 to bolo len v troch prípadoch a naopak, v posledných rokoch riešime hlavne úlohy, ktoré smerujú k výrobnej a technologickej inovácii v ŽP a. s.

Vieme vyrobiť valcované rúry s feritickou matricou a s rôznym typom mikroštruktúry podľa želaní zákazníka. V prípade kotlových rúr vyrábame celý sortiment, pričom sme vyvinuli technológiu valcovania novej ocele 9CrNB a bimetalickej, feriticko-austenitickej rúry. Podobne to platí pri výrobe presných rúr, pričom sme prispeli k osvojeniu si technológie výroby rebrovaných rúr. Z pohľadu kvality výroby uvediem len jeden údaj: od roku 2010 klesli materiálové nepodarky (napríklad na valcovní rúr) prakticky 5násobne. Podobne výmety rúr, ktoré sú kontrolované ultrazvukom klesli priemerne 3násobne.

Tieto výsledky dosiahol pracovný kolektív, ktorý postupne vzrástol zo 4 na 20 zamestnancov, pracujúcich v štyroch výskumných oddeleniach: Fyzikálnej metalurgie, Tvárnenia kovov, Materiálového inžinierstva a Modelovania a simulácie procesov. Prakticky všetci zamestnanci sú alebo boli zaradení do doktorandského štúdia. Produkciu výskumno-vývojovej činnosti môžeme zhodnotiť prezentáciou 207 publikácií a vypracovaním 291 výskumných správ. Výskum a vývoj bol realizovaný prostredníctvom firemných projektov pre priamu potrebu ŽP a. s. Ale riešime aj 5 projektov APVV a boli sme zapojení do riešenia projektu v rámci štrukturálnych fondov EÚ a projektu RFCS. Vzhľadom na mladý vedecko-výskumný kolektív je to veľmi dobrá produkcia, pričom naše prednášky odzneli aj na odborných konferenciách v Anglicku, Nemecku, Rakúsku, Poľsku, Maďarsku, Rusku, Mexiku, Číne a Japonsku.

V spolupráci s jednotlivými prevádzkami ŽP a. s. sme schopní zabezpečiť vo vysokej kvalite odlievanie kontizliatkov a výrobu valcovaných a presných rúr podľa požiadaviek zákazníka. Pred nami však stoja nové, o stupeň náročnejšie úlohy, ktoré by sme mohli zhrnúť do troch zásadných oblastí:

1. výrobová a technologická inovácia s vysokou pridanou hodnotou a produktivitou práce;
2. zabezpečenie transferu výsledkov výskumu priamo do riadiacich procesov v jednotlivých technologických uzloch, v konečnom dôsledku až po on-line procesy s dôsledným využívaním princípov Industry 4.0;
3. cielená orientácia výskumu na riešenie tých úloh, ktoré prispievajú ku konkurencieschopnosti v globálnom meradle a ekonomickej prosperite ŽP a. s., respektíve ich dcérskych spoločností.

K naplneniu všetkých úloh ŽP VVC s. r. o. je nutná premyslená kooperácia s univerzitami a s ostatnými výskumnými organizáciami. Počas celých 10 rokov sme túto spoluprácu veľmi aktívne vyhľadávali. Na základe týchto rokovaní, ale aj dosiahnutých výsledkov pri riešení spoločných projektov sme pristúpili k budovaniu spoločných laboratórií alebo riešiteľských pracovísk. V spolupráci so SjF STU v Bratislave spoločné pracovisko KONTILAB, s FMMR TU Košice spoločné pracoviská LSPO a SimConT, s MTF STU v Bratislave so sídlom v Trnave združenie OPTTECHFORM. V štádiu prípravy je vytvorenie spoločného pracoviska TRIBOTECH na pôde Fakulty výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove a v stave rozpracovanosti je príprava spoločných pracovísk pre oblasť hutníckej keramiky a pre oblasť korózie valcovaných rúr na FMMR TU Košice.

Pri budovaní a rozvíjaní ŽP VVC s. r. o. predpokladáme personálne posilnenie a zabezpečenie výskumu v oblasti riadiacich a regulačných systémov pre zabezpečenie logistiky výroby a algoritimizáciu až po on-line riadenie celého výrobného cyklu. Naďalej budeme prehlbovať kooperáciu s našimi partnermi, a to hlavne formou budovania spoločných výskumných pracovísk, ktoré budú priamo riešiť naše výskumné úlohy formou spoločných riešiteľských kolektívov a projektov, pričom našim zámerom je ich prechod na externé pracoviská ŽP VVC s. r. o. Tým sa vytvorí synergický efekt s účinkom na orientáciu výskumu, ale aj vzdelávania na príslušných fakultách s priamou implementáciou v prax v ŽP a. s., respektíve ŽP Group. Záleží len na prístupe našich partnerov; som však presvedčený, že tento unikátny model spolupráce zabezpečí úspešnú kooperáciu univerzitného a priemyselného výskumu.

Chcem sa osobne poďakovať všetkým, ktorí prispeli k úspešným 10 rokom činnosti ŽP VVC s. r. o. Poďakovanie patrí osobne generálnemu riaditeľovi Ing. Vladimírovi Sotákovi, všetkým členom predstavenstva a dozorných rád ŽP a. s., vedúcim jednotlivých prevádzok ŽP a. s., ale osobitne inžinierskym a technickým pracovníkom na jednotlivých prevádzkach, bez ktorých by dosiahnuté výsledky nemohli byť realizované. Zvlášť chcem poďakovať všetkým partnerským organizáciám s ktorými sme spolupracovali: VÚZ Bratislava, FMMR TU Košice, SjF STU v Bratislave, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, MTF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Moje poďakovanie patrí aj za spoluprácu FSI VUT Brno a FMT VŠB–TU Ostrava. Ďalej sú to partneri, s ktorými sme riešili konkrétne domáce aj zahraničné projekty: ÚMV SAV Košice, COMTES FHT a. s. Príkladné pracovné kontakty máme aj so spoločnosťou Materiálový a metalurgický výzkum s. r. o. v Ostrave. Za významný podiel na spolupráci ďakujeme aj priemyselným partnerom ŽĎAS a. s., Žiaromat Kalinovo, Transmesa Španielsko, ŽPEKO QELET, a. s. Samozrejme najväčšie poďakovanie patrí všetkým zamestnancom ŽP VVC s. r. o., ktorí vlastnou prácou a aktívnym prístupom k riešeniu všetkých náročných úloh prispeli k budovaniu ŽP VVC s. r. o. a k jeho dosiahnutým výsledkom.

Recenzované vedecké články

Využitie počítačového modelovania pri optimalizácii procesu plynulého odlievania ocele v Železiarňach Podbrezová, a. s.

Utilization of Computer Modeling in Optimization of Continuous Casting Process of Steel in Železiarne Podbrezová, a. s.

Ing. Pavol Buček, PhD.; Ing. Karol Ondrejko, PhD.

ŽP Výskumno-vývojové centrum s.r.o., Kolkáreň 35, 976 81, Podbrezová, Slovenská republika

Prezentované koncepty softwarovej podpory na optimalizáciu procesu plynulého odlievania ocele OPTIexpert a OPTIcontrol sa opierajú o solidifikačný model s detailným opisom okrajových podmienok, mapujúci vypočítané a merané veličiny priamo na virtuálny prúd zariadenia plynulého odlievania. Výpočtovo efektívne modely sú geometricky redukované s využitím symetrie modelovanej oblasti a okrajových podmienok. Procedúry nastavovania výpočtov a vyhodnocovania výsledkov sú plne automatizované. Zatiaľ čo koncept OPTIexpert predstavuje nástroj pre statickú optimalizáciu pri ustálených podmienkach, koncept OPTIcontrol predstavuje nástroj pre dynamickú optimalizáciu pri neustálených podmienkach. V simulačnej štúdii OPTIexpert boli vyhodnotené vybrané materiálové vlastnosti s využitím fyzikálnej simulácie spolu s vypočítanými solidifikačnými trajektóriami za účelom previazania mechanizmu tvorby prasklín pri odlievaní vo väzbe na teplotné polia.

Kľúčové slová: plynulé odlievanie ocele; počítačové modelovanie; optimalizácia modelov; fyzikálna simulácia

Numerical modelling of metal processing technology by means of industry-oriented, commercially available software products has been widely used in industrial R&D for many years. A typical software suite fully utilizes processing and data storage power of today's computers and places no principal constraints regarding model complexity of technology in focus. Presented computer modeling frameworks OPTIexpert and OPTIcontrol for optimization of continuous casting of steel rely on solidification model outputs with detailed boundary conditions for one-to-one mapping of computed or measured values onto a virtual strand surface. Computationally efficient models are further geometrically downsized utilizing the symmetry of computational domains and boundary conditions. Model set-up procedures are also fully automated and post-processed to avoid human-induced errors. While OPTIexpert presents a static optimization tool for continuous casting in steady-state conditions, the OPTIcontrol presents a dynamic optimization tool under transient casting conditions. In OPTIexpert case study, selected material properties of a given steel grade are evaluated in physical simulations along with solidification trajectories in order to link the mechanical properties and crack formation mechanisms to the temperature field in a casting strand. The unbending process that occurs within the pinch-roll unit section (TRS_1 – TRS_3) is adjusted to match with the higher ductility temperature region (T_{1H} – T_{2L}) for a given steel grade. This is achieved by manipulating the casting speed (input parameter) while observing the temperature field through the columnar crystal zone (output parameter). Iteratively evaluated temperature fields are then utilized in OPTIcontrol as the references, designed to handle transient control problems, e.g. change of casting speed, temperature, cooling water

Key words: continuous casting of steel; computer modeling; model optimization; physical simulation

Výskum technológie plynulého odlievania ocele v Železiarňach Podbrezová, a. s. (ŽP) predstavuje jedinečnú formu synergie aktivít riešiteľských kolektívov zo Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Technickej univerzity v Košiciach a ŽP Výskumno-vývojového centra s.r.o. v rámci spoločných pracovísk Kontilab a SimConT. Riešiteľské kolektívy z uvedených inštitúcií sa zaoberajú témami počítačových simulácií procesu plynulého odlievania, fyzikálneho a počítačového modelovania

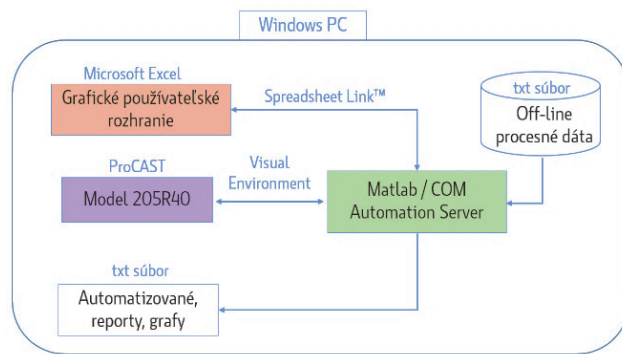
prúdenia ocele v medzipanve, ďalej spracovaním dát a návrhom algoritmov riadenia v procese výroby. Očakávaným efektom spoločného úsilia je širokospektrálna optimalizácia výroby ocele, zameraná na jednotlivé technologické celky, ktorej výsledkom má byť odliatok s vysokou pridanou hodnotou v zmysle jedinečného chemického zloženia, homogenity a čistoty, slovom – vysokej kvality. Jedným z optimalizačných nástrojov procesu plynulého odlievania je výpočtovo efektívny numerický model tuhnutia ocele. Výpočtové modely

predstavujú alternatívu k priamym meraniam povrchových teplôt odliatku, pričom poskytujú pohľad aj na procesy tuhnutia v jeho vnútri. V procese návrhu je však potrebné ich algoritmy verifikovať a v rámci implementácie na zariadenie plynulého odlievania (ZPO) ich výstupy validovať meraniami počas ostrej prevádzky. Napokon je možné tieto modely využívať ako softwarové senzory pri statickej optimalizácii procesu (off-line), alebo v režime dynamickej optimalizácie procesu (on-line). softwarové senzory poskytujú korektné a nezašumené údaje pre aktuálny okamih, ako aj predpoveď ich vývoja v blízkej budúcnosti. Prakticky pri nich neexistujú obmedzenia na výber algoritmov časovej syntézy riadenia pri dynamickej optimalizácii. V odborných publikáciách nájdeme príklady aplikácií riadenia teplotného poľa v zóne sekundárneho chladenia s využitím PID, MPC ako aj fuzzy regulátorov [1]. Tie môžu využívať aktuálnu alebo aj budúcu informáciu o teplote z diskrétného umiestnenia, napr. bezprostredne za zónami sekundárneho chladenia alebo aj z priestorovo ohraničenej oblasti pôsobenia [2]. Softwarové senzory sú spravidla postavené na báze numerického riešenia parabolickej rovnice s časovo závislou okrajovou podmienkou – tepelným tokom. Pri experimentálnej identifikácii okrajových podmienok prirodzene vznikajú rozdiely medzi skutočnými a identifikovanými hodnotami. Z toho dôvodu je žiaduce modely okrajových podmienok priebežne kalibrovat' pomocou dát z meraní, ktoré sú však obvyčajne nedostupné alebo len riedko rozmiestnené [3]. Dá sa však predpokladať, že s postupným vývojom autonómne pracujúcich technologických celkov sa výrobcom meracej techniky v spolupráci s výrobcami ZPO podarí vyvinúť unikátne riešenia na prekonanie týchto prekážok.

1. Systém OPTIexpert

Solidifikačný model plynulého odlievania ocele v ŽP a. s. je realizovaný v podobe numerického modelu nosného odlievacieho formátu 205R40 mm. Z pohľadu softwarovej architektúry je umiestnený v kontexte systému OPTIexpert, vyvíjanom za účelom automatizovaného nastavovania a správy výpočtov (obr. 1). Cieľom systému je rekonštruovať ľubovoľnú teplotnú históriu pre formát 205R40 podľa odlievacieho záznamu za minimálny čas a navrhnuť úpravu množiny procesných parametrov odlievania pre ustálený stav.

Koncept pozostáva zo špecializovaného softwaru pre výpočtové úlohy v zlievarstve (ProCAST, ESI Group), softwaru pre inžinierske výpočty (Matlab) a správu a spracovanie dát (Microsoft Office Excel). V súčasnej podobe ide o pracovný koncept, postavený na komerčných softwarových prostrediach. Výhodou je, že nie je potrebné verifikovať algoritmy riešenia numerických úloh, ale spoľahnúť sa na prácu profesionálnych vývojárov a ich dlhoročné skúsenosti v odbore. Takto zostáva priestor na budovanie znalostnej databázy problémov spolu s analýzami možných príčin ich vzniku, na laboratórne skúšky a na fyzikálne simulácie dynamických režimov pri odlievaní.

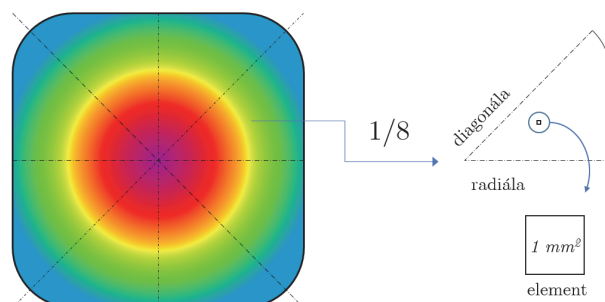


Obr. 1 Architektúra systému OPTIexpert pre vyšetrovanie ustálených podmienok pri plynulom odlievaní nosného formátu 205R40 mm

Fig. 1 OPTIexpert system architecture for investigation of steady-state conditions in continuous casting of square billet 205R40 mm

1.1 Solidifikačný model

Cieľom počítačovej analýzy je upriamiť pozornosť na statické a dynamicke veličiny, vyjadrujúce priebeh tuhnutia odliatku v čase a priestore vo forme stavových $X(x, t)$, resp. výstupných $Y(x, t)$ veličinových polí. Je možné ich získať z rozmerovo redukovaného solidifikačného modelu, ktorý pokrýva fázové premeny materiálu bez uvažovania príspevku z termomechaniky tuhej fázy. Formátu odliatku 205R40 zodpovedá maximálna prípustná redukcia rozmerov vplyvom osovej symetrie, ako aj symetrie okrajových podmienok v tvare 1/8, namiesto pôvodnej 1/1 v priečnom reze (obr. 2). Ďalšia redukcia rozmerov úlohy nie je možná, čo dobre ilustruje nerovnomerné rozloženie teplotného poľa odliatku v čase, podložené vysokými hodnotami Biotovho čísla (200 – 2000) pre rôzne intenzity ochladzovania.



Obr. 2 Redukcia rozmerov výpočtovej oblasti vplyvom osovej symetrie odliatku ako aj symetrie okrajových podmienok ochladzovania

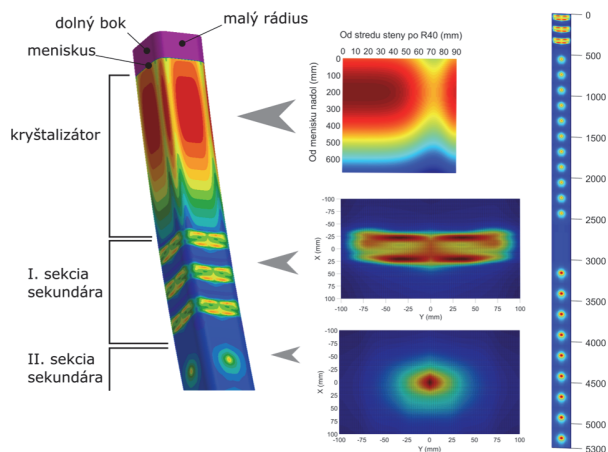
Fig. 2 Dimensional reduction of computational domain due to axial symmetry of the casting as well as boundary condition symmetry.

Model rieši nelineárnu parciálnu diferenciálnu rovnicu vedenia tepla s časovo závislou okrajovou podmienkou – tepelným tokom. Nelinearita je inherentne daná teplotne závislými materiálovými vlastnosťami a okrajovými podmienkami pri súčasnom uvoľňovaní latentného tepla tuhnutia. Vzhľadom na rozmerovú redukciu je možné použiť výpočtovú sieť s veľmi jemným priestorovým rozlíšením ($\sim 1 \text{ mm}^2$), čo dovoľuje presne zachytiť polohu

dvojfázovej oblasti pri zachovaní priaznivých hodnôt výpočtových časov (rádovo minúty).

1.2 Okrajová podmienka

Okrajová podmienka tepelného toku v sebe zahŕňa pôsobenie primárneho a sekundárneho chladenia. Presné vyčíslenie jej pôsobenia na povrch odliatku má význam pri určovaní relácií medzi kvalitou odliatku a nastavenými technologickými parametrami, resp. pri návrhu automatickej regulácie chladenia na spojitostnej oblasti pôsobenia. Na obr. 3 je možné vidieť aplikáciu okrajovej podmienky tepelného toku na odliatku formátu 205R40.



Obr. 3 Aplikácia okrajovej podmienky tepelného toku s vysokým priestorovým rozlíšením na povrch odliatku formátu 205R40

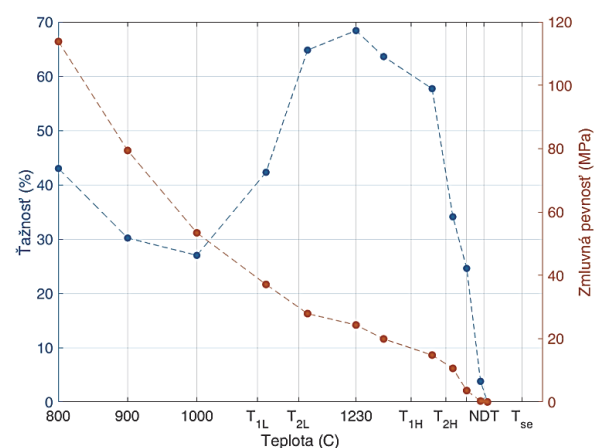
Fig. 3 Application of high-resolution heat flux boundary conditions onto surface of the 205R40 casting domain

Primárne chladenie je možné bilančne stanoviť s ohľadom na kontinuálne meranie oteplenia chladiacej vody pri obtekaní vložky kryštalizátora. Tento údaj figuruje v každom odlievacom zázname. Priestorové rozloženie takto generovaného tepelného toku je už potrebné rozumne odhadnúť alebo naladiť podľa bezkontaktných meraní povrchových teplôt pod kryštalizátorom. Pre tento účel bola v systéme OPTIexpert vytvorená váhová funkcia, ktorá umožňuje zohľadniť zmenu magnitúdy tepelného toku po obvode vložky ako aj v smere liatia, pričom bilančná hodnota celkového výkonu primárneho chladenia zostáva zachovaná. Vo výpočte je ochladzovacia podmienka implementovaná ako mapa čísiel s priestorovým rozlíšením ($\sim 1 \text{ mm}^2$). Pôsobenie sekundárneho chladenia nie je možné stanoviť bilančne, nakoľko sa jedná o otvorený systém. Vodovzdušný kužel generovaný dýzou sekundárneho chladenia zasahuje žeravý povrch lejacieho prúdu, pričom časť z neho sa odparí (spotrebuje sa) a časť sa odrázi od parnej vrstvy na povrch odliatku. Odparená voda je odvetraná, pričom nešpecifikovateľné množstvo kondenzuje na konštrukcii a stenách komory sekundárneho chladenia. Kondenzát spolu s odrazenou vodou postupne prepadáva do filtračného zariadenia a vracia sa späť do obehu. V súčasnosti je možné spoliehať sa na laboratórne merania chladiacich účinkov vybraných

typov dýz v starostlivo zvolených pracovných bodoch, medzi ktorými je pre iné pracovné body potrebné namerané hodnoty interpolovať a prepočítavať na tepelný tok. Meranie chladiacich účinkov dýz vykonáva podľa zadania Laboratór prenosu tepla a proudění Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně (ČR) na jednoúčelovom experimentálnom zariadení, ktoré fyzikálne simuluje podmienky ostreku odliatku dýzami sekundárneho chladenia. Vyčíslenie jednotlivých mechanizmov ochladzovania zvlášť je užitočné najmä z dôvodu ladenia procesu plynulého odlievania a nie je možné ho vykonať inak ako numericky.

1.3 Expertné analýzy

Systém OPTIexpert je priebežne dopĺňaný dátami z laboratórnych experimentov a fyzikálnych simulácií, ktorými sa vypočítané výsledky ďalej spresňujú alebo sa premietajú v reláciách fyzikálnych vlastností materiálu, napr. ťažnosť vs. teplota. V rámci riešenia jednej etapy projektu APVV-14-0244 bola pre vybrané akosti vykonaná plastometrická deformačná skúška za tepla, ktorej výsledok je vidieť na obr. 4. V prípade, že sú pri laboratórnom experimente zadané rovnaké podmienky ako pri plynulom odlievaní, daný experiment sa nazýva aj fyzikálnou simuláciou. Konkrétne podmienky je možné vyčísliť pomocou výpočtov na numerickom modeli. Počítačová a fyzikálna simulácia sa teda navzájom dopĺňajú. Na obrázku je možné pozorovať polohu teploty nulovej ťažnosti NDT pod teplotou solidu T_{se} . Nasleduje vysokoteplotná prechodová oblasť $T_{1H} - T_{2H}$, v rámci ktorej stúpa ťažnosť materiálu spolu so zmluvnou pevnosťou. Nasleduje oblasť najvyššej nameranej ťažnosti s ďalším prudkým prepadom.



Obr. 4 Údaje z plastometrickej skúšky za tepla pre vybranú značku ocele a podmienky ochladzovania

Fig. 4 Data from high-temperature plasticity tests for selected steel grade and cooling conditions

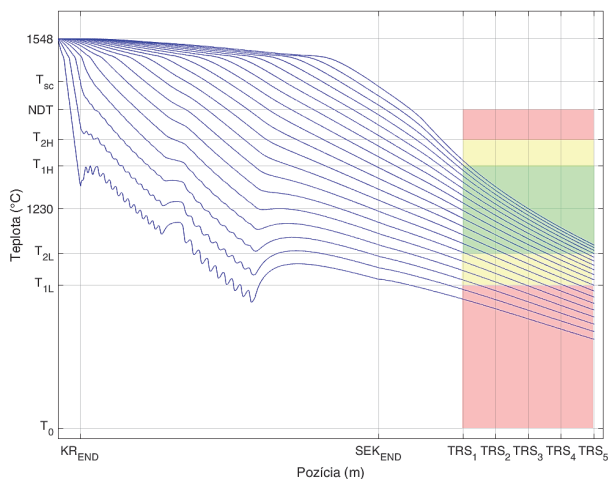
Pri odlievaní na radiálnom ZPO je vhodné oblasť zvýšenej ťažnosti materiálu vysunúť až k ťažným stoliciam, kde zároveň dochádza aj k postupnému rovnaniu lejacieho prúdu.

1.4 Výsledky

Do skupiny štandardných výsledkov plynúcich z výpočtu na solidifikačnom modeli je možné zaradiť veličiny:

- doba fázevej premeny (s)
- teplotný gradient ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{mm}^{-1}$)
- teplotné pole ($^{\circ}\text{C}$)
- relatívny podiel tuhej fázy (-)

Na základe týchto parametrov je možné vyvodit' potrebné závery ku kvalitatívnemu hodnoteniu procesu tuhnutia materiálu. Doba fázevej premeny stanovuje celkový čas danej lokality lejacieho prúdu, strávený v dvojfázevej oblasti, t. j. medzi teplotami likvidu a solidu. Dlhšie časy môžu zvyšovať riziko vzniku trhlín za tepla. Teplotné gradienty sú zodpovedné za teplotné pnutia v objeme materiálu, ako aj za rýchlosť posuvu solidifikačného frontu. Teplotné pole v objeme lejacieho prúdu definuje tvar a dĺžku tekutého jadra. Napokon, relatívny podiel tuhej fázy, ako odvodená veličina, dobre ilustruje polohu dvojfázevej oblasti v reze naprieč odliatkom. V kombinácii s výsledkami z plastometrických skúšok je možné skupinu modelových výsledkov premietnuť aj do reálnych podmienok na ZPO. Napríklad pri stanovovaní optimálnej rýchlosti liatia pre konkrétnu akosť je možné premietnuť údaje z diagramu ťažnosti materiálu (obr. 4) na teplotné pole odliatku v úseku ťažno-rovnacích stolíc (TRS). Obr. 5 ukazuje záznamy z teplôt v oblasti kolumnárných (stĺpovitých) kryštálov pri nižšej rýchlosti liatia po celej dĺžke lejacieho prúdu. Farebne sú vyznačené hranice ťažnosti materiálu zo skúšky ťažnosti za tepla.

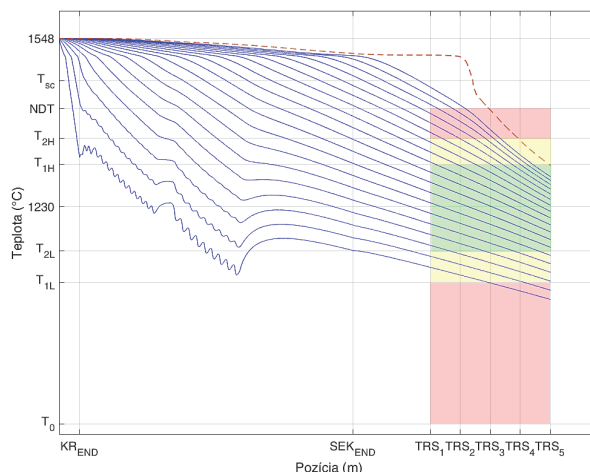


Obr. 5. Záznamy z teplôt v oblasti kolumnárných kryštálov pri nižšej rýchlosti liatia s vyfarbenými úrovňami ťažnosti v oblasti rovnania na ZPO

Fig. 5 Temperature evolution in the columnar zone under the lower casting velocity. Ductility regions of a given steel grade in CCM straightening zone are shown in color

Pozície KR_{END} a SEK_{END} označujú konce primárneho a sekundárneho chladenia. Pozície TRS_1 až TRS_5 označujú polohy ťažno-rovnacích stolíc. Zelený pás predstavuje oblasť najvyššej nameranej ťažnosti, žlté pásy prudko sa znižujúcu ťažnosť, ako to znázorňuje aj obr. 4,

a červené pásy predstavujú oblasti zníženej ťažnosti. Cieľom je zvýšiť rýchlosť liatia tak, aby došlo k prehriatiu stredy odliatku s rešpektovaním technologických obmedzení. Obr. 6 znázorňuje zmenu pomerov po úprave rýchlosti, pri ktorej sa očakáva zníženie rizika podpovrchových prasklín v dôsledku mechanického namáhania pri rovnaní. Prerušovaná čiara označuje priebeh teploty zo stredy odliatku.



Obr. 6. Záznamy teplôt v oblasti kolumnárných kryštálov pri upravenej rýchlosti liatia s vyfarbenými úrovňami ťažnosti v oblasti rovnania na ZPO

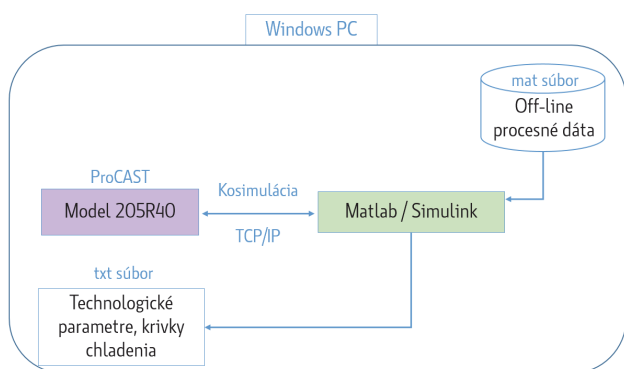
Fig. 6 Temperature evolution in the region of columnar crystals after adjustment of casting speed with colored levels of ductility in straightening area of CCM

Výsledkom analýz sú nájdené teplotné polia vo väzbe na procesné parametre, ktoré predstavujú vstupný údaj dynamickej optimalizácie v systéme OPTIcontrol.

2. Systém OPTIcontrol

Nájdené teplotné polia pri numerických analýzach v systéme OPTIexpert a k nim prislúchajúce technologické parametre je možné považovať za nominálne pracovné režimy ZPO. V ideálnom prípade sa celá tavba (panva) odlieva pri konštantných podmienkach. V skutočnosti je vždy potrebné technologické parametre mierne prispôbovať, nakoľko napr. teplota odlievanej ocele v medzi-panve postupne klesá. K tejto teplote je naviazaná rýchlosť odlievania a k rýchlosti odlievania sú naviazané aj ostatné parametre, ako sú prietoky vody v primárnej a sekundárnej sekcii chladenia. Pri pomalých zmenách technologických parametrov prechádza odliatok kvázirovnovážnymi stavmi. Pre tento spôsob regulácie sa bežne používajú chladiace krivky, ktoré prispôbujú prietoky chladiacej vody k aktuálnej rýchlosti liatia. Pri výraznejších alebo náhlych zmenách nastáva nežiadúci prechodový jav, kedy teplotné pole nie je vo fáze s aktuálnymi technologickými parametrami. Na rýchlu stabilizáciu tohto poruchového stavu v úseku primárneho a sekundárneho chladenia je potrebné poznať skutočný stav, t. j. teplotné pole, a technologické parametre regulovať v priamej väzbe na neho. Ak sa tak nestane, prechodový

jav nebude pod kontrolou a úseky odliate počas tohto intervalu môžu byť preklasifikované do nižšej kategórie kvality. Na kvalifikovaný odhad aktuálneho stavu teplotného poľa sa používajú validované numerické modely ako softwarové senzory. Druhým prípadom môže byť požadovaná zmena teplotného poľa na povrchu odliatku v úseku sekundárneho chladenia, napríklad pri vytváraní novej sady technologických parametrov sekundárneho chladenia. Takto je možné vytvoriť jedinečné relácie medzi teplotným poľom a technologickými parametrami, ktoré umožňujú v konečnom dôsledku definovať kvalitu v priamej väzbe na aktuálne teplotné pole.



Obr. 7 Architektúra systému OPTIcontrol pre vyšetrovanie neustálených podmienok pri plynulom odlievaní nosného formátu 205R40 mm

Fig. 7 OPTIcontrol system architecture for investigation of transient conditions in continuous casting of main casting billet size 205R40 mm.

Na rozdiel od systému OPTIexpert je OPTIcontrol postavený na dynamických modeloch systému primárneho a sekundárneho chladenia s priamym výpočtom akčného zásahu vo väzbe na aktuálne teplotné pole. Systémy chladenia sú modelované v prostredí Simulink® a riadený tepelný systém (objekt) v prostredí ProCAST. Oba modely sú navzájom prepojené medzi-procesným komunikačným rozhraním (TCP/IP), pričom kosimuláciou sa

nazýva beh súbežne idúcich výpočtov (simulácií) v odlišných softwarových prostrediach pri súčasnej výmene užívateľom definovanej množiny dát cez daný komunikačný protokol.

Záver

Numerické modelovanie technologických procesov pri spracovaní kovov s využitím komerčne dostupných softwarových balíkov je v priemyselnej praxi prítomné už mnoho rokov. Vďaka výpočtovej sile a schopnostiam hardwaru a softwaru nekladú dnes spomínané systémy nijaké principiálne prekážky na širokospektrálnu optimalizáciu procesu plynulého odlievania ocele.

Podakovanie

Autori ďakujú slovenskej grantovej agentúre APPV za podporu projektu APVV-14-0244 „Vývoj softvérovej podpory s využitím fyzikálnej simulácie pre optimalizáciu procesov plynulého odlievania ako systémov s rozloženými parametrami pre Železiarne Podbrezová, a. s.

Literatúra

- [1] KLIMES, L., STETINA, J. Unsteady Model-based Predictive Control of Continuous Steel Casting by Means of a Very Fast Dynamic Solidification Model on a GPU. *Materiali in tehnologije / Materials and Technologies*, 48 (2014), 4, 525–530.
- [2] JADACHOWSKI, L., STEINBOECK, A., KUGI, A. State Estimation and Advanced Control of the 2D Temperature Field in an Experimental Oscillating Annealing Device. *Control Engineering Practice*, 78 (2018), 116–128. 10.1016/j.conengprac.2018.06.011, dostupné na <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066118301874>.
- [3] PETRUS, B., CHEN, Z., BENTSMAN, J., THOMAS, B.: Online Recalibration of the State Estimators for a System with Moving Boundaries Using Sparse Discrete-in-Time Temperature Measurements. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 63 (2017), 4, 1090–1096. 10.1109/TAC.2017.2736950.

Bezešvé nákrúžky pro letectví a kosmonautiku / Seamless Rings for Aviation and Aerospace

SMS group Newsletter 03/2018, str. 123.

Společnost SMS group dostala kontrakt na dodávku další válcovny nákrúžků od firmy Avic Guizhou Anda Aviation Forging Co., Ltd. Nová válcovna nákrúžků, typ RAW 400(500)/200/(250) – 2500/800 DM, má být postavena v závodě, který je provozován v čínském Anshunu. Výroba je plánována od poloviny roku 2019.

Nová válcovna nákrúžků může válcovat bezešvé nákrúžky o průměru do 2500 mm a maximální výšce 800 mm. Anda plánuje použití válcovny pro výrobu nákrúžků pro tryskové motory, které jsou vyrobeny ze slitin na bázi titanu a niklu a používají se v kosmonautice. Válcovna může být provozována s maximální radiální válcovací silou 500 tun a axiální silou do 250 tun.

Je to již druhá válcovna nákrúžků, kterou firma Anda objednala u SMS group. První válcovna typu RAW 500/400 – 3000/700 byla dodána už v roce 2003.

Vývoj textúry pri ťahaní presných ocelových rúr za studena

Texture Evolution During Cold Drawing of Precision Steel Tubes

prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.^{1,2}; Ing. Peter Burik, Ph.D.¹; Ing. Peter Bella, Ph.D.¹; Ing. Pavel Kejzlar, Ph.D.³

¹ ŽP Výskumno-vývojové centrum s.r.o., Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová, Slovenská republika

² Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so sídlom v Prešove, Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovenská republika

³ Technická univerzita v Liberci, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Studentská 2, 461 17 Liberec, Česká republika

V príspevku je analyzovaná kryštalografická orientácia na vzorkách ťahaných rúr za studena akosti E235. Hlavným cieľom bolo definovanie súvisu vývoja kryštalografickej orientácie zŕn a napäťovo-deformačného stavu pri trňovom a prievlačnom ťahaní. Napäťovo-deformačný stav materiálu rúry pri jednotlivých spôsoboch ťahania bol vypočítaný pomocou softwaru založenom na metóde konečných prvkov – DEFORM-3D. Kryštalografická orientácia bola meraná pomocou EBSD (Electron BackScatter Diffraction) analýzy v rastrovanom elektrónovom mikroskope. Vývoj textúry jednotlivých zŕn a napäťovo-deformačný stav bol sledovaný v troch rôznych smeroch cylindrického koordinačného systému vzhľadom na smer ťahania. Taktiež bola odhadnutá hodnota napätia vyvolá rotáciu kryštalografickej mriežky, a teda zmenu podielu prednostných kryštalografických rovin pri ťahaní v danom smere. Táto štúdia umožní získať poznatky pre dosiahnutie optimálnej kryštalografickej orientácie ťahanej rúry s vlastnosťami bližiacimi sa parametrom hlbokoťažných materiálov.

Kľúčové slová: presné ocelové rúry; prievlačné ťahanie; ťahanie na trni; kryštalografická textúra; metóda konečných prvkov

Cold drawing of tubes is a metal forming process that allows manufacturers to produce high precision tubes. The dimensions of the tube are reduced by drawing it through a drawing die, using the plug (i.e. plug drawing) or without the plug (i.e. hollow sinking). Therefore, the main objective was to determine the difference in the development of the crystallographic texture and also the difference in the stress-strain state between both drawing processes (plug drawing vs hollow sinking).

The input feedstock of E235 steel grade after the recrystallization annealing was cold drawn either by plug drawing or hollow sinking, using a single drawing pass. The crystallographic orientation was measured by EBSD (Electron BackScatter Diffraction) analysis using the scanning electron microscope. The stress-strain state in the tube material during drawing was calculated by FEM (Finite Element Method) software DEFORM-3D. Texture development of individual grains and the stress-strain state was evaluated in three different directions using cylindrical coordinates with respect to the drawing direction. The stress values that caused rotation of the crystal lattice were estimated. Stress in the tube material during drawing causes a change in the ratio of preferred crystallographic planes for a given direction in a cylindrical coordinate system. For example, a significant difference in preferred crystallographic plane ratio between plug drawing and hollow sinking was recorded for radial direction. In conclusion, this study will serve as a valuable basis for further optimization of the technological process of tube drawing in Železiarne Podbrezová.

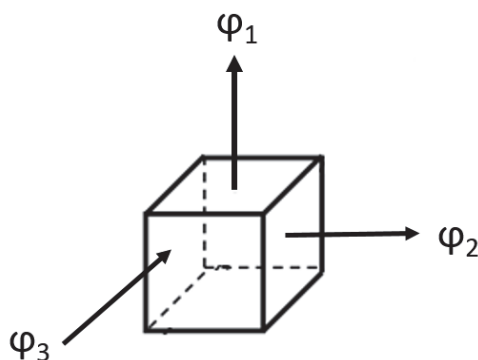
Key words: precision steel tube; hollow sinking; drawing with fixed plug; crystallographic texture; finite element method

V polykryštalickom materiáli má každé individuálne zrno odlišnú kryštalografickú orientáciu od susedného zrna. Pri výrobnom procese je len výnimočné, že zrná majú náhodnú kryštalografickú orientáciu. Pri odliatkoch sa počas tuhnutia môžu tvoriť stĺpcové zrná pozdĺž špecifického kryštalografického smeru. Počas následnej plastickej deformácie sa kryštály otáčajú smerom k určitej stabilnej orientácii. Po rekryštalizácii vzniknú nové kryštály na úkor deformovaných zŕn. Všetky tieto procesy vedú k vzniku určitých preferovaných orientácií v polykryštalickom materiáli. Vývoj textúry alebo zmeny

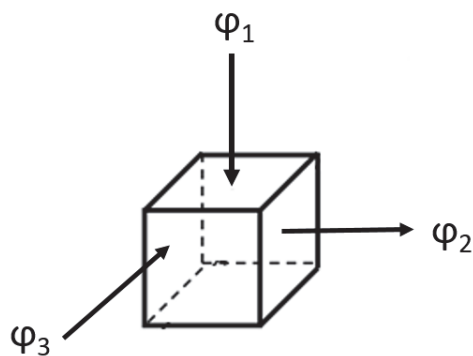
textúry v materiáli sa zvyčajne vyskytuje v dôsledku kombinácií nasledujúcich faktorov: tuhnutie, plastická deformácia, žihanie a fázová transformácia [1, 2, 3]. Tento príspevok sa venuje vývoju deformačnej textúry počas ťahania ocelových rúr za studena.

Ťahanie rúr za studena je široko používaný spôsob výroby bezšvových rúr, ktoré sa používajú na rôzne mechanické aplikácie. Ťahanie rúr je nehomogénny proces s anizotropným tokom materiálu. Rúry môžeme ťahať nasledujúcimi spôsobmi: ťahanie na trni, ťahanie na tyči

(pohyblivom tŕni), ťahanie prievlačným ťahom (bez tŕňa). Taktiež, špecifický spôsob ťahania na rebrovanom tŕni bol popísaný v práci [4]. Jednotlivé spôsoby sa rozlišujú podľa toho, ako sa vymedzuje vnútorný priemer rúry. Preto aj smer pretvorenia, resp. deformácie pri jednotlivých spôsoboch bude odlišný (obr. 1 a 2) [5–8]. φ_1 je pretvorenie v radiálnom smere a spôsobuje zmenu hrúbky steny rúry. φ_2 je pretvorenie v axiálnom smere a spôsobuje zmenu dĺžky rúry. φ_3 je pretvorenie v tangenciálnom smere a je stanovené zmenou priemeru rúry.



Obr. 1 Schéma pretvorenia pri ťahaní na tŕni
Fig. 1 Scheme of strain during drawing with fixed plug

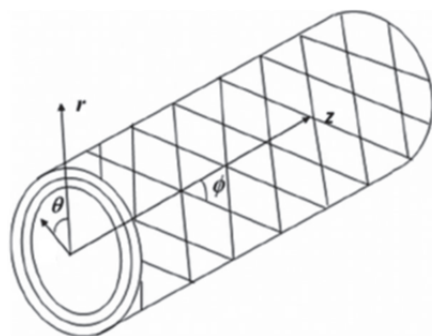


Obr. 2 Schéma pretvorenia pri prievlačnom ťahaní
Fig. 2 Scheme of strain during hollow sinking

Hlavným cieľom je určiť vývoj kryštalografickej textúry počas ťahania bezšvových oceľových rúr pomocou EBSD

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]}, \text{ (MPa)} \quad (1)$$

kde $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ sú normálové napätia, τ_x, τ_y, τ_z sú šmykové napätia.



Obr. 3 Znáznornenie cylindrických súradníc na rúre [9]
Fig. 3 Cylindrical coordinate system as applied on a tube [9]

analýzy a stanoviť rozdiely medzi tŕňovým a prievlačným ťahaním.

1. Experimentálny materiál a metóda

Použitý materiál bola oceľ E235 s feriticko-perlitickou mikroštruktúrou. Chemické zloženie ocele je uvedené v tab. 1. Vstupný materiál bola rekryštalizačne žihaná rúra, ktorá sa ťahala za studena nasledujúcim spôsobom:

- ťahaním na pevnom tŕni z rozmeru $\Phi 25,00 \times 1,50$ mm na rozmer $\Phi 22,00 \times 1,25$ mm (redukcia 26,42 %),
- prievlačným ťahom z rozmeru $\Phi 18,00 \times 0,90$ mm na rozmer $\Phi 12,00 \times 0,95$ mm (redukcia 31,79 %).

Tab. 1 Chemické zloženie ocele E235 (hm. %)

Tab. 1 Chemical composition of E235 steel grade (wt. %)

C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	N
0,078	0,43	0,22	0,014	0,006	0,13	0,03	0,07	0,021	0,008

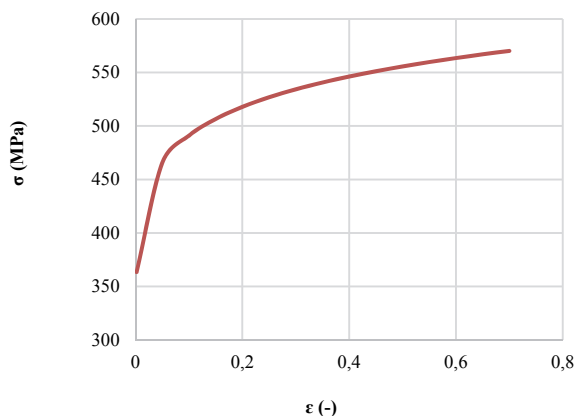
EBSD analýza bola realizovaná pred a po ťahaní za studena na celom priereze hrúbky steny rúry v pozdĺžnom smere pomocou mikroskopu UHR FE-SEM Carl Zeiss Ultra Plus pri urýchľovacom napätí 20 kV, ktorý bol vybavený detektorom OXFORD Nordlys Nano, s použitým krokom $1 \mu\text{m}$ a sklonom vzorky 70° . Záverečná príprava metalografického výbrusu pre EBSD analýzu bola realizovaná pomocou mechanicko-chemického leštenia na koloidnej suspenzii SiO_2 . Získané dáta boli analyzované pomocou softwaru HKL Channel 5.

Vývoj textúry jednotlivých zŕn a napäťovo-deformačný stav bol sledovaný v troch rôznych smeroch cylindrického koordinačného systému vzhľadom na smer ťahania. V postprocesore softvéru Deform 3D boli vyhodnotené deformačné stavy ustálených polí (steady state) pri ťahaní daným spôsobom. Vzhľadom k tomu, že dosiahnuť ustálený napäťový stav je obtiažne, z tohto dôvodu sú uvedené priemerné hodnoty napätí z oblasti deformačného pásma v danom cylindrickom smere, pri ktorých došlo k zmene rozmeru a taktiež k rotácii kryštalografickej mriežky. Pre efektívne napätie σ_i platí vzorec:

Základné vstupné podmienky, ktoré sa použili na modelovanie procesu ťahania sú v tab. 2. Koeficienty trenia boli overené prostredníctvom zhody hodnôt ťažnej sily [9]. Materiálové dáta boli stanovené pomocou ťahových skúšok a následne bola použitá extrapolácia pre stanovenie vyšších deformácií (obr. 4 a 5).

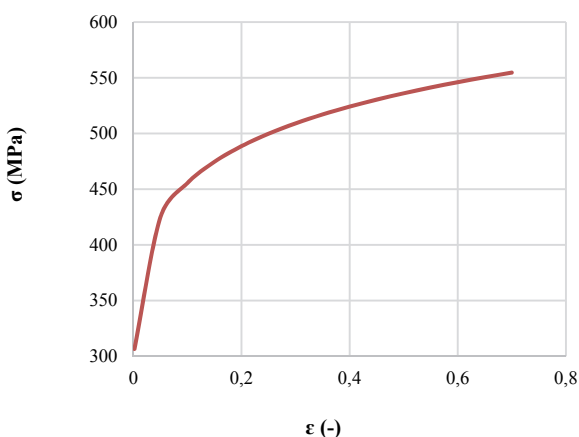
Tab. 2 Základné vstupné dáta do modelu ťahania
Tab. 2 Basic input data to the model of drawing

Ťah. rozmeru (mm)	Uhol prievlaku	Koef. trenia	Rýchlosť ťah. (mm·s ⁻¹)	Ťažný uhol trňa
Φ25,00 × 1,50 → Φ 22,00 × 1,25	26°	0,08	400	0°8′
Φ 18,00 × 0,90 → Φ 12,00 × 0,95	R35	0,06	500	



Obr. 4 Deformačný odpor pre rúru: Φ 25,00 × 1,50 mm

Fig. 4 Deformation resistance for tube Φ 25,00 × 1,50 mm



Obr. 5 Deformačný odpor pre rúru Φ 18,00 × 0,90 mm

Fig. 5 Deformation resistance for tube Φ 18,00 × 0,90 mm

2. Výsledky experimentu a diskusia

EBSD analýza bola realizovaná s cieľom pochopiť vývoj kryštalografickej textúry počas ťahania presných rúr. Textúra je zobrazená pomocou inverzných pólových obrazcov (Inverse Pole Figure – IPF). Intenzita IPF obrazcov je vyjadrená pomocou násobkov jednotkovej hustoty (Multiple of Uniform Density – MUD). Ak je hodnota MUD vyššia ako 1, tak existuje viacej dátových bodov určitej orientácie, ako by sa dalo očakávať od vzorky, ktorá má náhodnú kryštalografickú orientáciu.

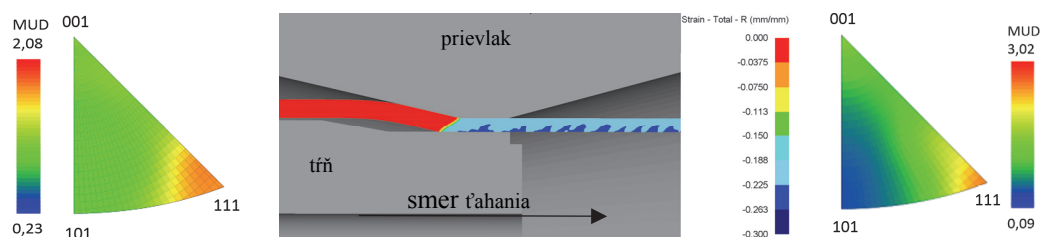
Ako môžeme vidieť na obr. 6–11, pri ťahaní rúry je nerovnomerné rozloženie deformácie po hrúbke steny rúry, ktoré sa mení aj v závislosti od jednotlivých deformačných pásiem.

2.1 Ťahanie na trní

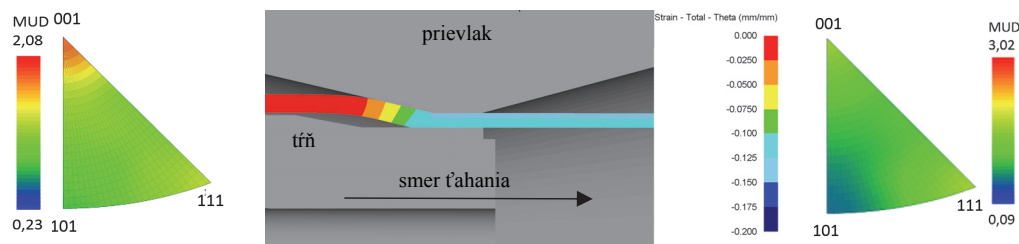
Rúra, ktorá vstupovala do ťahu bola rekryštalizačne žíhaná (bez ochrannej atmosféry), následne morená v HCl, ďalej fosfátovaná a posledným krokom úpravy bolo ponorenie do reaktívneho mydla. Ťahanie bolo realizované technológiou ťahania na tvarovom trní, ktorý je upevnený na trňovej tyči. Na obr. 6–8 je vidieť rozloženie deformácie pri trňovom ťahaní v danom cylindrickom smere. V radiálnom a tangenciálnom smere je materiál rúry pri ťahaní deformovaný tlakovou deformáciou (obr. 6 a 7). Z numerických simulácií bolo vypočítané, že tlakovú deformáciu vyvolalo tlakové napätie, ktorého priemerná hodnota z pásma deformácie bola $\sigma = -451$ MPa v radiálnom smere a $\sigma = -375$ MPa v tangenciálnom smere.

Inverzné pólové obrázky ukazujú, že vplyvom tlakového napätia došlo k zmene hustoty pólov v jednotlivých rovinách. V radiálnom smere bola pred ťahaním najvyššia hustota pólov v (111) a po ťahaní sa táto hustota pólov ešte navýšila. V tangenciálnom smere počas ťahania dochádza k rotácii kryštálu, pričom dochádza k zmene textúry z (001) do (001)/(111).

V axiálnom smere je materiál rúry pri ťahaní rúry deformovaný ťahovou deformáciou (obr. 8). Prostredníctvom simulácie bolo vypočítané, že túto deformáciu spôsobila dominantná ťahová zložka napätia, ktorého priemerná hodnota bola $\sigma = 352$ MPa v stene rúry tesne za prievlakom. Vplyvom ťahového napätia sa zvyšuje hustota pólov v (101).

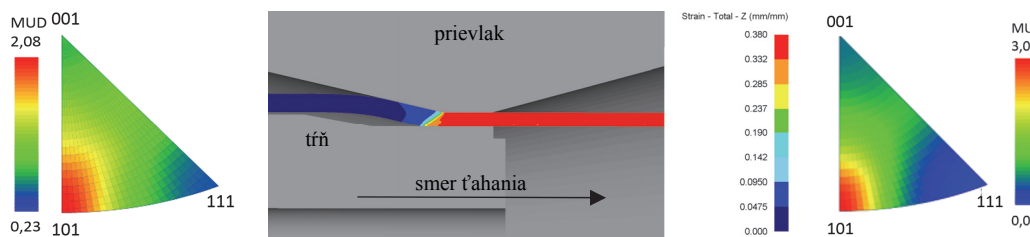


Obr. 6 Ťahanie na trní: rozloženie deformácie pri ťahaní v radiálnom smere (v strede) a inverzný pólový obrázok pred (vľavo) a po ťahu (vpravo)
Fig. 6 Plug drawing: distribution of effective strain in the radial direction during drawing (centre) and IPF before (left) and after drawing (right)



Obr. 7 Ťahanie na tŕni: rozloženie deformácie pri ťahaní v tangenciálnom smere (v strede) a inverzný pólový obrázok pred (vľavo) a po ťahu (vpravo)

Fig. 7 Plug drawing: distribution of effective strain in the tangential direction during drawing (centre) and IPF before (left) and after drawing (right)



Obr. 8 Ťahanie na tŕni: rozloženie deformácie pri ťahaní v axiálnom smere (v strede) a inverzný pólový obrázok pred (vľavo) a po ťahu (vpravo)

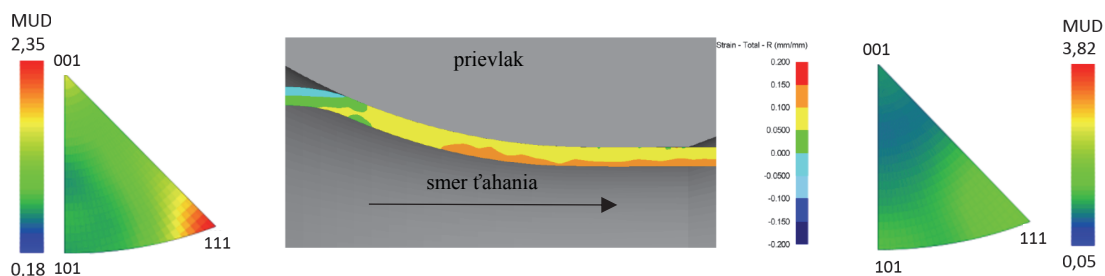
Fig. 8 Plug drawing: distribution of effective strain in the axial direction during drawing (centre) and IPF before (left) and after drawing (right)

2.2 Prievlačné ťahanie

Rúra, ktorá vstupovala do ťahu bola rekryštalizačne žíhaná (bez ochrannej atmosféry) a následne ťahaná prievlačným spôsobom na reakčnom oleji. Na obr. 9 – 11 je znázornené rozloženie deformácie v pozdĺžnom reze hrúbky steny rúry pri prievlačnom ťahaní. V radiálnom smere sú pozorované nízke hodnoty ťahových deformácií, pretože nedochádza k redukcii hrúbky steny rúry (obr. 9). Z numerických simulácií bolo vypočítané, že ťahovú deformáciu spôsobilo ťahové napätie, ktorého priemerná hodnota z pásma deformácie bola $\sigma = 102$ MPa. Táto ťahová zložka napätia vyvolaná geometriou prievlaku v tvárniacom pásme spôsobila zvýšenie hrúbky steny o 0,05 mm. Zhrubnutie steny rúry bolo potvrdené aj výsledkom z numerických simulácií [9]. Z inverzných pólových obrázkov je vidieť, že vplyvom ťahového napätia došlo k rotácii kryštálu, kde pred ťahaním bola najvyššia hustota pólov v (111) a po ťahu došlo k zmene textúry, ktorá je v (101)/(111).

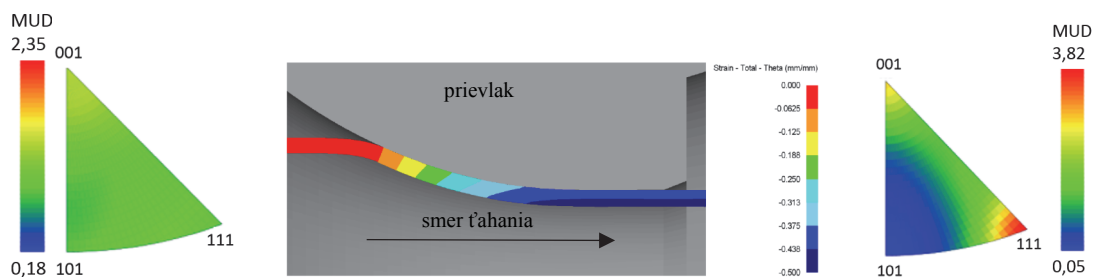
V tangenciálnom smere, podobne ako pri tŕňovom ťahaní, pôsobí dominantná tlaková deformácia, pričom pomocou numerických simulácií bolo vypočítané, že túto deformáciu spôsobilo dominantné tlakové napätie, ktorého priemerná hodnota z pásma deformácie bola $\sigma = -458$ MPa (obr. 10). Inverzné pólové znázornenie (obr. 10) ukazuje, že vplyvom tlakového napätia došlo k zmene hustoty pólov v jednotlivých rovinách, kde pred procesom ťahania bola rovnomerná hustota pólov a po ťahaní sa zvýšila hustota pólov v (111).

V axiálnom smere bol materiál rúry pri prievlačnom ťahaní deformovaný ťahovou deformáciou (obr. 11). Túto ťahovú deformáciu spôsobilo ťahové napätie, ktorého priemerná hodnota bola $\sigma = 353$ MPa v stene rúry tesne za prievlakom. Inverzné pólové obrázky ukazujú, že po prvom ťahu došlo k miernej zmene hustoty pólov v jednotlivých rovinách, a teda navýšením hustoty pólov v rovine (101) po ťahaní.



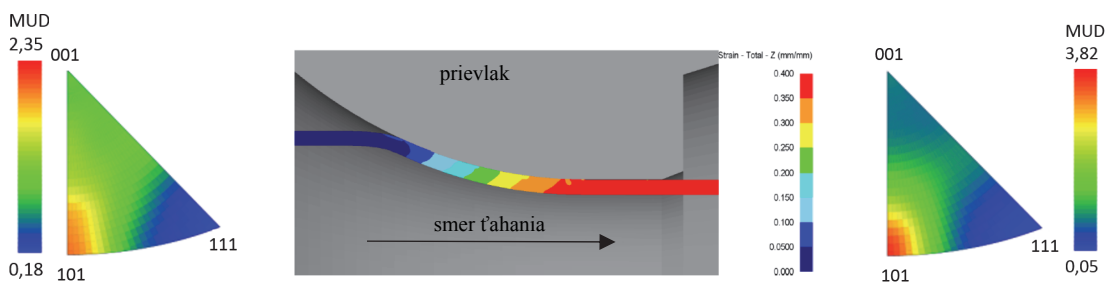
Obr. 9 Prievlačné ťahanie: rozloženie deformácie pri ťahaní v radiálnom smere (v strede) a inverzný pólový obrázok pred (vľavo) a po ťahu (vpravo)

Fig. 9 Hollow sinking: distribution of effective strain in the radial direction during drawing (centre) and IPF before (left) and after drawing (right)



Obr. 10 Prievlačné ťahanie: rozloženie deformácie pri ťahaní v tangenciálnom smere (v strede) a inverzný pólový obrázok pred (vľavo) a po ťahu (vpravo)

Fig. 10 Hollow sinking: distribution of effective strain in the tangential direction during drawing (centre) and IPF before (left) and after drawing (right)



Obr. 11 Prievlačné ťahanie: rozloženie deformácie pri ťahaní v axiálnom smere (v strede) a inverzný pólový obrázok pred (vľavo) a po ťahu (vpravo)

Fig. 11 Hollow sinking: distribution of effective strain in the axial direction during drawing (centre) and IPF before (left) and after drawing (right)

4. Záver

Na základe textúrnej charakteristiky ocelových rúr z E235 ocele pomocou EBSD analýzy riešiteľa dospeli k nasledujúcim záverom:

- Pri ťhňovom ťahu v axiálnom smere dominantne pôsobí ťahové napätie, ktoré vyvoláva rotáciu kryštalografickej mriežky do stabilnej polohy, ktorá je v rovine (101) v mriežke BCC. V radiálnom a tangenciálnom smere pôsobia dominantné zložky tlakového napätia, ktoré spôsobujú rotáciu kryštalografickej mriežky do stabilnej polohy, ktorá je v rovine (111) v mriežke BCC [10].
- Pri prievlačnom ťahaní v axiálnom a radiálnom smere pôsobí dominantné ťahové napätie, vplyvom ktorého kryštalografická mriežka rotuje do stabilnej polohy, ktorá je v rovine (101) v mriežke BCC. V tangenciálnom smere pôsobí dominantné tlakové napätie, ktoré vyvoláva rotáciu kryštalografickej mriežky do stabilnej polohy, ktorá je v rovine (111) v mriežke BCC [10].

Literatúra

- [1] HSUN, H. Texture of Metals. *Texture*, Gordon and Breach Science Publishers Ltd., Veľká Británia, (1974) 1, 233–258.
- [2] PARK, H., LEE, D. N. Deformation and Annealing Textures of Drawn AlMgSi Alloy Tubes. *Journal of Materials Processing Technology*, (2001) 113, 551–555.

- [3] GULLBERG, D. *Influence of Composition, Grain Size and Manufacture Process on the Anisotropy of Tube Materials*. (Doctoral thesis) Uppsala University, 2010, 54 p.
- [4] BELLA, P., BUČEK PRIDZOŇ, M., MOJŽIŠ, M., PARILÁK, E. Numerical simulation of multi-rifled tube drawing – finding proper feedstock dimensions and tool geometry, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 179 (2017), doi: 10.1088/1757-899X/179/1/012008.
- [5] LOHARKA P. K., PRADHAN, M. K. *Modeling and Analysis of Cold Drawing Process*. Handbook of Research on Manufacturing Process Modeling and Optimization Strategies, ed. R. Das, M. Pradhan. 2017. s. 40–53, DOI: 10.4018/978-1-5225-2440-3.ch003.
- [6] BOUTENELA, F., DELHOMMED, M., VELAYA, V., BOMANC, R. Finite Element Modelling of Cold Drawing for High Precision Tubes. *Comptes Rendus Mécanique*, 348 (2017) 8, 665–677.
- [7] RAJI, N. A., OLUWOLE, O. O. Influence of Degree of Cold-Drawing on the Mechanical Properties of Low Carbon Steel. *Materials Sciences and Applications*, 11 (2011) 2, 1556–1563.
- [8] BROKMEIER, H. G. et al. Texture Gradient in a Copper Tube at Maximum and Minimum Wall Thickness. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (2015) 82. doi:10.1088/1757-899X/82/1/012102.
- [9] BELLA, P., RIDZOŇ, M., MOJŽIŠ, M., PARILÁK, E. The Technology of Cold Drawing of Seamless Steel Tubes Using Numerical Simulation, *Hutnik-Wiadomości Hutnicze*, 84 (2017) 8, 356–358, ISSN 1230-3534.
- [10] HOSFORD, W. F. *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge University Press, 2010. ISBN-13 978-0-521-19569-0.

Recenzované výzkumné články

Analýza životnosti ponorných trubíc ZPO v Železiarňach Podbrezová, a. s.

Analysis of Service Life Period of the Submerged Entry Nozzles Used for Continuous Casting of Steel in Železiarne Podbrezová, a.s.

Ing. Vladimír Chomič¹; Ing. Stanislav Turňa¹; Ing. Matej²; Ing. Jozef Švantner²; Ing. Pavol Veselovský²; Ing. Marek Brižek²; prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.¹

¹ ŽP Výskumno-vývojové centrum s.r.o., Kolkáreň 35, 97 681 Podbrezová, Slovenská republika

² Železiarne Podbrezová, a. s., Kolkáreň 35, 97681, Podbrezová, Slovenská republika

Prevádzka oceliarne podniku Železiarne Podbrezová, a.s. hľadá cesty pre zlepšenie ekonomických ukazovateľov a plánovania výroby na jednotlivé dni so zvýšením doterajších maximálne 15-tavbových sekvencií odlievania oceli na 18-tavbové sekvencie. Preto zadala riešenie úlohy životnosti ponorných trubíc medzipanvy u zariadenia plynulého odlievania ocele. Novo navrhnutou a prevádzkovo overenou metódou zistenia miesta najväčšieho opotrebenia ponorných trubíc pomocou jednoduchých a technicky nenáročných meraní bolo možné štatisticky posúdiť možnosti predĺženia maximálneho počtu odlievajúcich taviieb v jednej sekvencii. Následné rozsiahle štatistické analýzy merania hrúbky steny ponorných trubíc v mieste s najväčším opotrebovaním umožnili celý proces degradácie kvalitatívne i kvantitatívne opísať.

Kľúčové slová: plynulé odlievanie ocele; medzipanva; ponorná trubica; životnosť; hutnícka keramika

In steel plant Železiarne Podbrezová (ZP), 15-heat casting sequences have been considered optimal for continuous casting machine regarding both caster productivity and operational safety. This long-term practice was based on the observed service life of submerged entry nozzles (SENs) used for casting. Increasing the number of heats per casting sequence would cause caster productivity to increase considerably. Yet, the risk of nozzle failure has been a strong point against a possible increase in the number of heats per sequence. The research task was thus clear: by long-term measurement and statistical evaluation of material state and degradation of SENs used for continuous casting, determine a new safety margin for a maximum number of heats per sequence. The ultimate goal was to estimate the possibility of 18-heat sequences to be cast safely and reproducibly. This would not only increase the caster productivity but at the same time enhance the production planning process in ZP steel plant. The research method was based on statistical evaluation of key dimensions of hundreds of SENs; based on this, a model of SEN degradation process has been proposed. The results obtained confirm that the implementation of VK 00819-type SEN for casting of 10–15-heat sequences of 205R40 square billets in ZP steel plant is correct. Analysis of used SENs dimensions along with physical and chemical analyses unambiguously concludes that the primary parameter for an assessment of the SEN service life is the overall casting time, not the number of heats in a sequence; the latter being of secondary importance. Nevertheless, the research of SEN service life presented here is unique in the whole history of continuous casting in ZP steel plant. It gives us priceless statistical data for further research, including the confirmation/rejection of various hypotheses regarding SEN failure mechanisms, an assessment of the SEN service life and so on.

Key words: continuous casting of steel; tundish; submerged entry nozzle; lifespan; refractories

Dennú výrobu ocele v Železiarňach Podbrezová, a. s. (ŽP, a.s.) tvorí 21 až 22 taviieb, pričom pri odlievaní 18-tavbových sekvencií je naplánovaná jednodňová produkcia tak, že sa odleje jedna krátka, max. 4-tavbová a jedna dlhá, 18-tavbová sekvencia. Pri výrobe niektorých značiek oceli u ktorých je potrebné použiť na legovanie väčšie množstvo prísad, dochádza z toho dôvodu ku skráteniu času potrebného na spracovanie v pánvovej peci LF. Preto ich odlievame max. ako štvortavby. Tieto

značky sú vyrábané za prítomnosti technologov, ktorí kontrolujú dodržiavanie technologických postupov. Pracujú iba v 1. zmene, a preto je výroba plánovaná tak, aby mohli byť prítomní pri spracovaní týchto taviieb. Skrátením počtu taviieb pri dlhých sekvenciách na maximálny počet 15 bolo potrebné do týždenného plánu výroby zaradiť viac kratších sekvencií. Tým sa znížila sekvenčnosť – množstvo taviieb odliatych bez prerušenia do jednej medzipánvy. Bolo nutné pripraviť na liatie viac

medzipánví, použiť viac pomocného materiálu, čo má negatívny dosah na ekonomické výsledky oceliarne ŽP, a.s. Z toho dôvodu boli štatisticky vyhodnotené všetky prípady zaťažovania a odtavenia ponorných trubíc (PT) a to od zavedenia príkazu odlievať maximálne 15tavbové sekvencie.

1. Ciele prevádzkového experimentálneho programu

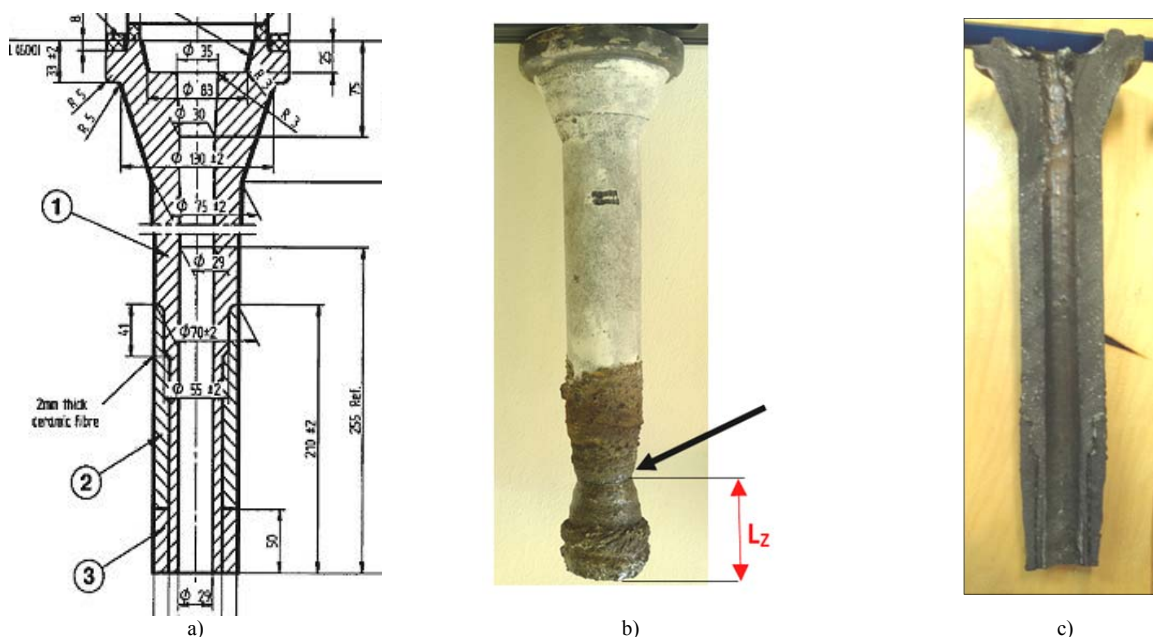
Za cieľ si riešiteľský kolektív stanovil určiť mieru degradácie PT vzhľadom na počet tavieb v sekvencii z pohľadu lejacieho prúdu a počtu tavieb v sekvencii a analyzovanie prípadov najväčších opotrebení, ktoré sú charakterizované extrémnou degradáciou hrúbky steny PT. Súčasťou riešenia bola kvantifikácia týchto prípadov a objasnenie ich príčiny pre konkrétny technologický proces.

2. Metoda hodnotenia životnosti ponorných trubíc

Merania degradácie PT boli realizované po ukončení liatia pre jednotlivé sekvencie, po zložení PT z kaziet posúvačových uzáverov a ich následnom vychladnutí v odkladacích stojanoch [2 – 10]. V tab. 1 sú znázornené hlavné parametre, ktoré boli merané a sledované. Zber a evidencia všetkých údajov súvisiacich s parametrami ovplyvňujúcimi životnosť PT pre vyrábané formáty sa realizuje nepretržite. Výkres použitej PT s presnými geometrickými parametrami znázorňuje obr. 1a. Obr. 1b uvádza konkrétne miesto merania sledovaných parametrov na PT. Navrhovaná metóda merania degradácie vnútorného a vonkajšieho priemeru steny PT sa jednoznačne osvedčila. Merania sú technicky aj časovo nenáročné. Hodnota L_z je definovaná, ako vzdialenosť miesta s najväčším opotrebovaním steny PT od výtokovej časti PT. Na obr. 1c) je zobrazený rez PT VK 00819, na ktorom je vidieť stav PT po odliatí jednotlivej tavby.

Tab. 1 Sledované parametre opotrebovaných ponorných trubíc
Tab. 1 Monitored parameters of the worn out submerged entry nozzles

Por.	Dátum	č. tavieb od - do	Formát	Sekv.	Akosť	Typ Lp	Číslo prúdu	Typ PT	OD použitej PT (mm)
ID použitej PT (mm)	Vypočítaná hrúbka stény s nárastom (mm)	Hrúbka nárastu (mm)	Hrúbka stény bez nárastov vypočítan á (mm)	Min. hrúbka stény s nárastom odmeraná (mm)	Min. hrúbka stény bez nárastov odmeraná (mm)	Rozdiel medzi vyp. a odmeranou hrúbkou stény bez nárastov (mm)	Najväčšie opotrebenie od spodku PT (mm)	Čas odlievania [min.]	Pozn.



Obr. 1 a) Rozmery PT VK 00819; b) Opatrebovaná PT VK 00819; c) pozdĺžny rez VK 00819
Fig. 1 a) Dimensions of the SEN VK 00819; b) The worn-out the SEN VK 00819, c) Longitudinal section of SEN VK 00819

3. Dosiahnuté výsledky prevádzkového experimentu

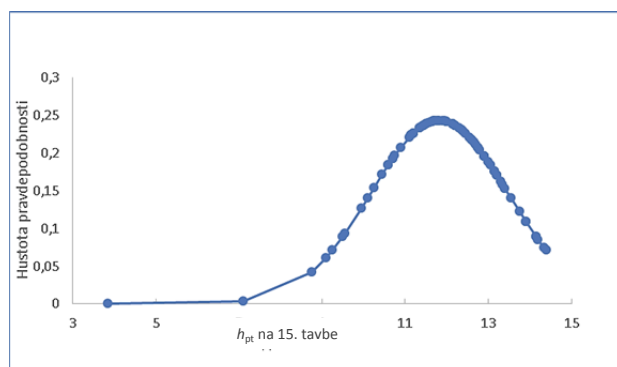
Na základe metódy popísanej v správe [1] bola sledovaná funkčnosť PT a miera ich degradácie opotrebovaním vnútorného a vonkajšieho povrchu. Takýmto spôsobom bolo vyhodnotených 295 kusov PT. V tab. 2 sú uvedené počty meraní parametrov PT pre jednotlivé prúdy a počty sekvencií v závislosti na množstve tavieb.

Tab. 2 Počty analyzovaných kusov PT VK 00819 pri jednotlivých prúdoch a sekvenciách, priečny prierez sochoru: kvadrát 205R40

Tab. 2 Number of the analysed VK 00819 SENs, cross section of billet: square 205R40

Počet hodnotených sekvencií na jednotlivých prúdoch pro VK00819						
Lejací prúd	Sekvencia	10 tavieb	11 tavieb	12 tavieb	13 tavieb	14 tavieb
1.		11	9	17	12	25
2.		12	6	16	11	25
3.		11	8	16	10	25
Spolu		34	23	49	33	75
						SPOLU
						295

V roku 2017 došlo v 10 prípadoch k zaťahovaniu s PT VK 00819. V šiestich prípadoch došlo k odtaveniu PT, z toho k deštrukcii steny PT v mieste L_z došlo u PT typu VK 00819 v troch prípadoch. Jedným z cieľov bolo stanovenie štatistickej významnosti vplyvu konkrétneho lejacieho prúdu na priemernú hrúbku steny PT. Prevádzkové výsledky ukázali, že vplyv lejacieho prúdu je štatisticky nevýznamný. Druhotným cieľom bolo stanovenie výskytu prípadov extrémneho opotrebovania s využitím štatistického testu. Ako hrubé chyby boli definované všetky prípady opotrebovania, ktoré sa nachádzali mimo intervalu $\mu \pm 2\sigma$, kde μ označuje priemernú hrúbku steny a σ je smerodajná odchýlka normálneho rozdelenia pravdepodobnosti. (obr. 2) Nakoľko bolo uvažované iba s degradáciou hrúbky steny PT, ako hrubé chyby, boli definované iba záporné hodnoty. Štatistický test hrubých chýb stanovil početnosť extrémnych prípadov opotrebovania PT pre jednotlivé sekvencie (tab. 3). aj z pohľadu vplyvu chemického zloženia ocele. Aj v tomto prípade sa vplyv javí ako štatisticky nevýznamný.



Obr. 2 Hustota pravdepodobnosti zostatkovej hrúbky steny h_{PT}
Fig. 2 Function of the density of probability for normal distribution

Tab. 3 Počty meraní extrémnych prípadov opotrebovania pre jednotlivé sekvencie podľa chemického zloženia

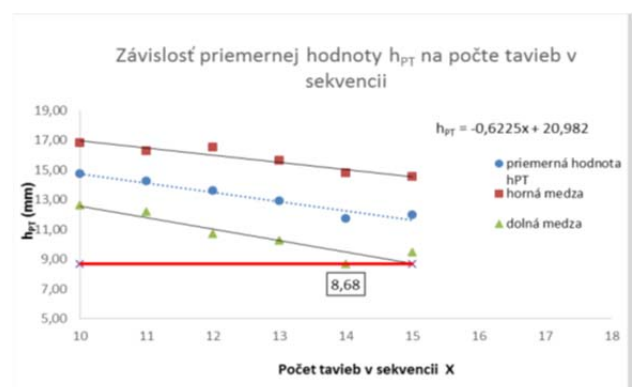
Tab. 3 Number of extreme cases of SEN degradation according to chemical composition and given casting sequence

Vplyv chemického zloženia na počet vylúčených meraní pre kvadrát 205R40 a ponornú trubicu VK 00819								
Akosiť	10 tavieb	11 tavieb	12 tavieb	13 tavieb	14 tavieb	15 tavieb	Spolu	% podiel
Akosti C < 0,18% a Mn < 1%	31	11	39	27	63	68	239	100,00
Počet vylúčených meraní	1	1	0	1	6	2	11	4,60
Akosti C > 0,18% a Mn > 1%	3	12	10	6	12	13	56	100,0
Počet vylúčených meraní	1	0	0	0	1	0	2	3,57
Všetky	34	23	49	33	75	81	295	100,00
Počet vylúčených meraní	2	1	0	1	7	2	13	4,41

Výsledky analýz degradácie 295 kusov PT preukázali, že 4okrem dvoch prípadov odtavenia PT nedošlo ani na jednom z lejacích prúdoch ZPO k strate funkčnosti PT. Analýzy [11] ukázali, že miera opotrebovania PT v jednotlivých sekvenciách má štatistický charakter odpovedajúci Gaussovej krivke. Analýza hrubých chýb nameraných veličín (zameraná na prípady výrazného opotrebovania PT, t. j. dosiahnutí veľmi nízkych hodnôt h_{PT}) ukázala, že iba v 13 prípadoch došlo k výskytu „hrubých chýb“. Výnimkou sú sekvencie so 14 tavbami, kde v 7 prípadoch nastalo zrýchlené opotrebovanie PT (tab. 3). Fyzikáno-metalurgickými analýzami vyššie vymenovaných skutočností sa nepodarilo jednoznačne identifikovať príčinu zrýchleného opotrebovania PT. Aj v prípadoch zrýchleného opotrebovania PT totiž nedošlo k strate ich funkčnosti. Výskyt týchto prípadov však vedie k opatrnosti pri predikcii kritickej hodnoty opotrebovania PT. Po odstránení prípadov extrémneho opotrebovania PT (hrubých chýb) z analyzovaných súborov boli prepočítané nové výsledky, ktoré sú uvedené v tab. 4.

Tab. 4 Priemerné zostatkové hodnoty z nameraných dat
Tab. 4 Average residual values of the measured data

Priemerné výsledky zostatkových hodnôt hrúbky stien PT - VK 819 podľa sekvencií (po teste X^2)									
Počet tavieb v sekvencii	10	11	12	13	14	15			
Priemerná dĺžba liaty	594,41	670,59	722,96	781,78	834,13	897,15			
Priemerná hĺbka ponoru PT	106,47	100,86	107,76	108,19	109,09	115,90			
Priemerná hrúbka steny [mm]	14,72	14,23	13,60	12,93	11,74	11,98			
Max. hodnota [mm]	17,30	16,55	16,95	15,65	14,80	14,40			
Min. hodnota [mm]	13,15	12,85	10,35	10,15	7,75	8,75			
Smerodajná odchýlka [mm]	1,06	1,03	1,46	1,34	1,53	1,28			
Rozptyl	1,11	1,06	2,14	1,79	2,34	1,64			
Medián [mm]	14,40	14,18	13,65	12,93	11,88	12,00			
Modus [mm]	14,65	16,00	14,40	12,80	13,15	12,90			
Dolná medza [mm]	12,61	12,17	10,68	10,26	8,68	9,43			
Horná medza [mm]	16,83	16,29	16,52	15,61	14,81	14,54			
Kritická medza [mm]					8,68				
Počet tavieb v sekvencii kritický					19,76				



Obr. 3 Závislosť vyhodnotených priemerných hodnôt h_{PT} na počte tavieb v sekvencii
Fig. 3 Dependence of the average h_{PT} value on the number of heats per sequence

Obr. 3 uvádza analýzu popisujúcu priemerné hodnoty h_{PT} pre jednotlivé sekvencie s rozptylovým pásmom týchto hodnôt (hornou, resp. dolnou medzou h_{PT}). V prvom priblížení sa môže za spoľahlivú hodnotu funkčnosti PT predpokladať hrúbka steny 8,68 mm, čo je hodnota tzv. dolnej medze pri 14tavovej sekvencii. Extrapoláciou odvodennej funkcie pre priemernú hrúbku steny h_{PT} by sa hodnota 8,68 mm dosiahla po cca 19 tavbách. Tejto úvahe odpovedá predpoklad, že celkové opotrebovanie PT v kritickom mieste O_{PT} môže dosiahnuť hodnotu až 12 mm. Z pohľadu analýzy vplyvu doby liatia na opotrebovanie PT by sa táto hodnota opotrebovania dosiahla po cca 1200 minútach. Následne boli analyzované závislosti opotrebovania hrúbky stien PT od jednotlivých faktorov. Doba liatia je v našom prípade veľmi dôležitá, lebo len pri optimálnych rýchlostiach liatia je možné uvažovať len s počtom tavieb v sekvencii. V prípade znižovania liacich rýchlostí sa doba pobytu oceli v PT predĺži a dôjde k jej väčšiemu opotrebovaniu.

4. Záver

Bola navrhnutá a overená metóda hodnotenia najväčšieho opotrebovania PT formou merania vzdialenosti miesta maximálneho úbytku hrúbky steny ponorných trubíc od ich ústí do ocelevej taveniny. Následné rozsiahle štatistické analýzy merania hrúbky steny PT v mieste s najväčším opotrebovaním h_{PT} umožnili celý proces degradácie kvalitatívne i kvantitatívne opísať. Dosiahnuté výsledky jednoznačne potvrdzujú správnosť implementácie PT VK 00819 pri odlievaní kontislietkov formátu 205 R40 v ŽP, a. s., a to pre všetky 10 až 15tavoové sekvencie. Z predložených výsledkov a z fyzikálno-chemického hľadiska opotrebovania PT jednoznačne vyplýva, že pre hodnotenie životnosti PT je určujúcim parametrom celková doba liatia a až v druhom rade počet tavieb. Výskum životnosti PT medzipanvy ZPO bol svojím rozsahom v ŽP, a. s. unikátny a jeho výsledkom je cenná štatistika pre ďalší výskum v danej oblasti, prijímanie alebo zavrhovanie hypotéz príčin poškodenia, odhady životnosti apod. Po realizovaní prevádzkového experimentu boli stanovené dve odporúčania.

- 1) Pri opatrnom prístupe zvýšiť maximálny počet odlievajúcich tavieb v jednej sekvencii na 16 a v prípade pozitívnych výsledkov postupne zvyšovať sekvenčnosť o jednu tavbu, čiže 17.
- 2) Pripúšťame možnosť realizácie novej overovacej skúšky, kde by sa v sekvencii odlievali až 18 tavieb, tak ako bol stanovený cieľ výskumu. Táto skúška by samozrejme zvyšovala mieru rizika výskytu straty funkčnosti PT v priebehu liatia.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol ako súčasť riešenia výskumnej úlohy ŽP VVC s.r.o.: Optimalizácia riadenia plynulého odlievania ocele – OPTICON.

Literatúra

- [1] PARILÁK, L., TURŇA, S., CHOMIČ, V. Štatistické vyhodnotenie životnosti ponorných trubíc medzipanvy ZPO za účelom možnosti zvýšenia sekvenčnosti – 1. etapa. (Výskumná správa č. 2/ŽPVVC/2017) Podbrezová: ŽP VVC s.r.o. 2017.
- [2] BUČEK, P. et al. Optimalizácia riadenia plynulého odlievania ocele – OPTICON. Téma 3: Expertízy pre Vo ŽP, a. s. v oblastiach primárnej a sekundárnej metalurgie, plynulého odlievania ocele a hutníckej keramiky [Optimisation of control of continuous casting of steel – OPTICON. Theme 3: Expertise for Vo ŽP, a.s. with. in the fields of primary and secondary metallurgy, continuous casting of steel and metallurgical ceramics] (VÚ ŽP VVC č. 6/2018, návrh VÚ 6 na rok 2018), Podbrezová: ŽP VVC, a.s., 2018.
- [3] MICHALEK, K., TKADLEČKOVÁ, M., GRYC, K., CUPEK, J., MACURA, M. Physical and Numerical Modelling of a Non-stationary Steel Flow through a Subentry Shroud with an Inner Metering Nozzle. *Materials in technolgy*, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 47 (2013) č. 6, s. 807-814. ISSN 1580-2949.
- [4] OGIBAYASHI, S., et al. Mechanism and Countermeasure of Alumina Buildup on Submerged Nozzle in Continuous Casting. In: *75th ISS Steelmaking Conf.*, Toronto, Canada, April 1992.
- [5] LONG, M., ZUO, X., ZHANG, L., CHEN, D. Kinetic Modeling on Nozzle Clogging during Steel Billet Continuous Casting, *ISIJ International*, 50 (2010) 5, 712
- [6] STAROŇ, J., TOMŠŮ, F. Žiaruvzdorné materiály; výroba, vlastnosti a použitie. Banská Bystrica: MEDIA, 2000, 148 s.
- [7] SVENSSON, J. K. S., MEMARPOUR, A., BRABIE, V., JÖNSSON, P. G. Studies of the Decarburisation Phenomena during Preheating of Submerged Entry Nozzles (SEN) in Continuous Casting Processes. *Ironmaking and Steelmaking*, 44 (2017) 2, 108.
- [8] TOULOUSE, C., PACK, A., ENDER, A., PETRY, S. Stable Oxygen Isotopes for Tracing the Origin of Clogging in Continuous Casting Submerged Entry Nozzles. *Steel Research International*, 79 (2008) 2, 149.
- [9] TSUKAMOTO, N., et al. Improvement of Submerged Nozzle Design Based on Water Model Examination of Tundish Slide Gate. In: *74th ISS Steelmaking Conf.*, Washington, D.C., April 1991.
- [10] SVENSSON, J. K. S., MEMARPOUR, A., EKEROT, S., BRABIE, V., JÖNSSON, P. G. Studies of New Coating Materials to Prevent Clogging of Submerged Entry Nozzle (SEN) during Continuous Casting of Al Killed Low Carbon Steels. In: *Ironmaking and Steelmaking*, 44 (2017) 2, 117.
- [11] PARILÁK, L., TURŇA, S., CHOMIČ, V., BRIŽEK, M., ŠVANTNER, J., VESELOVSKÝ, P., BRENKUS, M. Analýza životnosti ponorných trubíc medzipanvy v ŽP a. s. – 2. etapa (Výskumná správa č. 13/ŽPVVC/2017), Podbrezová: ŽP VVC, a.s., 2017.

Laboratórium spracovania priemyselných odpadov – hydrometalurgické spracovanie EOP úletov

Industrial Waste Processing Laboratory – Hydrometallurgical Treatment of EAF Dust

Ing. Tomáš Vindt, PhD.¹; prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc.¹; prof. Ing. Ľudovít Parilák, CSc.²; Ing. Vladimír Chomič²

¹ Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

² ŽP Výskumno-vývojové centrum s.r.o., Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová, Slovenská republika

Spolupráca medzi ŽP Výskumno-vývojovým centrom s.r.o. a Ústavom recyklačných technológií FMMR TU Košice v oblasti recyklácie EOP úletov začala v roku 2010. V období rokov 2010 – 2013 sa orientovala na základný laboratórny výskum, zaoberajúci sa hydrometalurgickým spracovaním EOP úletov. Výsledkom tejto spolupráce bolo založenie Laboratória spracovania priemyselných odpadov dňa 4. 6. 2013 a jej prvotným cieľom bolo vybudovanie poloprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie EOP úletov. Predkladaný príspevok prezentuje výsledky tohto úsilia, t. j. súčasný stav poloprevádzkového zariadenia, pričom sa zameriava na jeho technické vybavenie a tiež na samotný proces recyklácie EOP úletov, ktorého výsledkom je získanie predajných produktov na báze zinku – ZnO a $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Kľúčové slová: recyklácia; zinok; poloprevádzkové recyklačné zariadenie; EOP úlety; hydrometalurgia

The cooperation between ŽP VVC, Podbrezová and Institute of Recycling Technologies FMMR TU in Košice in the field of EAF fly ashes recycling started back in 2010. In 2010 – 2013 the cooperation effort was focused on basic laboratory research in the hydrometallurgical treatment of EAF dust. The main outcome of this period was the foundation of LSPO – Industrial Waste Treatment Laboratory as of 4th June 2013. The key mission of this project was to design and develop a pilot hydrometallurgical plant for EAF dust recycling process. This ranked the project among the very unique ones not only in Slovakia but in Europe as well. The dust processing experiments started in 2014, with continuous development and optimization of the pilot processing line. As of 2019, the LSPO plant consists of two pilot processing lines: the first one has a 35l glass reactor vessels whereas the second one has a 100l glass reactor vessels. The hydrometallurgical processing of EAF dust in LSPO plant takes a single material flow line with particular occurring physical processes and chemical reactions taking place, such as neutral leaching in water, basic leaching in ammonium carbonate, and acidic leaching in sulphuric acid. The EAF dust that was processed by basic and acidic leaching and by water solutions treatment is finally transformed into the Zn-based products: zinc oxide (ZnO) and zinc sulphate n-hydrate ($\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). The ability to produce these Zn compounds in a single processing line with both acidic and basic branches is a novel, and unique feature in EAF dust recycling.

Key words: recycling; zinc; pilot recycling plant; EAF dust; hydrometallurgy

Podľa World Steel Association dosiahla svetová produkcia ocele za rok 2017 objem 1,6 mld. t, pričom na Slovensku sa v danom roku vyprodukovalo 4,8 mil. t ocele [1]. Z uvedeného množstva sa približne 7 % ocele vyrobilo v elektrických oblúkových peciach (EOP). V súčasnosti jediným producentom ocele v EOP na Slovensku sú Železiarne Podbrezová, a. s. Výroba ocele je spojená aj so vznikom tuhých odpadov, najmä oceliarskej trosky a oceliarských úletov. Odhaduje sa, že pri výrobe jednej tony ocele vznikne 10 – 20 kg úletov [2]. Samotné zloženie oceliarských úletov závisí hlavne od vsádzky

a procesov prebiehajúcich v EOP. V dôsledku toho predstavujú EOP úlety z chemického, ako aj z mineralogického hľadiska značne heterogénny materiál. Z dôvodu oxidačnej atmosféry v peci sú EOP úlety tvorené prevažne oxidmi železa a oxidmi ťažkých neželezných kovov, ako je Zn, Pb, Cr, Cd a iné [3]. Práve z tohto dôvodu sa úlety z EOP zaraďujú medzi nebezpečný odpad v súlade s vyhláškou Ministerstva životného prostredia SR č. 365/2015 Z.z., (klasifikácia vybraných odpadov z metalurgie železa a ocele je uvedená v tab. 1), ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov [4].

Hlavné dôvody spracovania EOP úletov sú nasledovné:

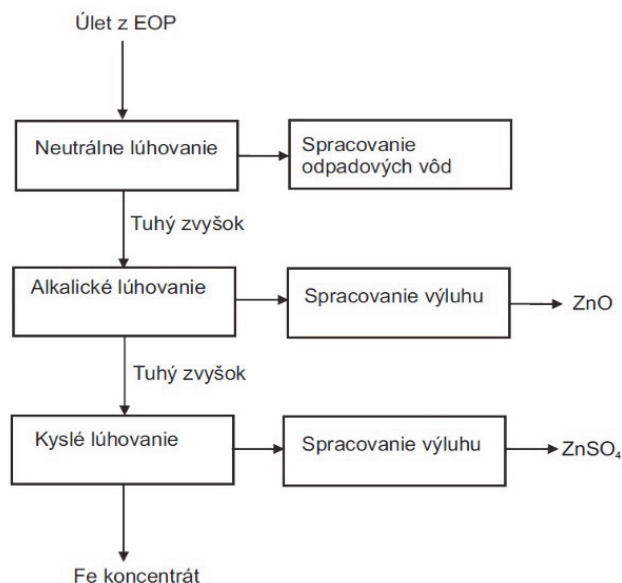
- materiálový potenciál z pohľadu obsahu Zn (obsah Zn v rozmedzí 8 – 35 %);
- možný zisk bohatého železonosného koncentrátu (napr. vhodne upravené vysokopecné pelety s obsahom Fe nad 55 %);
- zníženie produkcie nebezpečného odpadu, príp. tiež jeho premena na ostatný odpad (z dôvodu zníženia poplatku za skládkovanie odpadu);
- šetrenie primárnych surovín získaných kovov, resp. ich zlúčenín.

Tab. 1 Klasifikácia vybraných odpadov z metalurgie železa a ocele podľa Katalógu odpadov [4]

Tab. 1 Classification of selected waste coming from iron and steel metallurgy according to [4]

Číslo skupiny, podskupiny a druhu odpadu	Názov skupiny, podskupiny a druhu odpadu	Kategória odpadu
10	ODPADY Z TEPELNÝCH PROCESOV	
10 02	ODPADY ZO ŽELEZIARSKÉHO A OCELIARSKÉHO PRIEMYSLU	
10 02 01	odpad zo spracovania trosky	O
10 02 02	nespracovaná troska	O
10 02 07	tuhé odpady z čistenia plynu obsahujúce nebezpečné látky	N
10 02 08	tuhé odpady z čistenia plynu iné ako uvedené v 10 02 07	O
10 02 11	odpady z úpravy chladiacej vody obsahujúce olej	N
10 02 13	kaly a filtračné koláče z čistenia plynu obsahujúce nebezpečné látky	N
10 02 14	kaly a filtračné koláče z čistenia plynov iné ako uvedené v 10 02 13	O
10 02 15	iné kaly a filtračné koláče	O

Na základe spolupráce medzi Ústavom recyklačných technológií FMMR TU v Košiciach (ÚRT) a ŽP VVC s.r.o., týkajúcej sa možnosti recyklácie EOP úletov bolo v roku 2013 založené Laboratórium spracovania priemyselných odpadov (LSPO), ktoré sa nachádza v priestoroch ÚRT. Súčasťou LSPO je aj pilotné poloprevádzkové zariadenie na hydrometalurgické spracovanie EOP úletov, ktorého systematická výstavba bola realizovaná na základe výsledkov laboratórneho výskumu danej problematiky prebiehajúceho medzi kooperujúcimi pracoviskami v rokoch 2010 – 2013. Technologická schéma hydrometalurgického spracovania EOP úletov pomocou modelu poloprevádzkového zariadenia je zobrazená na obr. 1. Spracovanie EOP úletov sa realizuje pomocou zásaditého a kyslého lúhovania, pričom sa v závislosti od typu lúhovacieho média získavajú predajné produkty na báze zinku – ZnO a $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.



Obr. 1 Technologická schéma spracovania EOP úletov [5]

Fig. 1 Material flow in EAF dust processing [5]

Popis pilotného poloprevádzkového zariadenia

S výstavbou pilotného poloprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie EOP úletov sa začalo v roku 2013 na základe výsledkov laboratórneho výskumu v danej problematike. Samotné experimenty spracovania EOP úletov na poloprevádzkovom zariadení sa začali realizovať v roku 2014, pričom súbežne s tým pokračovalo budovanie poloprevádzkovej linky a zaobstarávanie ďalších zariadení pre zvýšenie efektivity procesu recyklácie. Výsledky ďalšieho výskumu za účelom optimalizácie hydrometalurgického spracovania EOP úletov, prebiehajúceho paralelne v laboratórnych podmienkach aj v podmienkach poloprevádzkového zariadenia, boli každoročne uvádzané v záverečných správach a prezentované na pôde ŽP VVC s.r.o.

V súčasnosti pozostáva pilotné poloprevádzkové zariadenie z dvoch liniek. Prvá linka disponuje skleneným reaktorom o objeme 35 l a druhá linka je vybavená reaktorom o objeme 100 l. Zostava oboch liniek je nasledovná:

1. obehový termostát,
2. príslušný sklenený reaktor s miešaním o objeme 35 alebo 100 l;
3. automatická aparátúra na meranie a reguláciu pH;
4. sklenený zásobník pracovných roztokov o objeme 100 l;
5. filtračné zariadenie s čerpadlom [6].

Súčasťou poloprevádzkových liniek sú aj príslušné zariadenia potrebné k technologickým procesom: kryštalizátor, elektrické pece, sušiarne a čerpadlá.

Počas realizácie experimentov sa všetky kvapalné vzorky analyzovali pomocou atómovej absorpčnej spektrometrie (AAS), tuhé vzorky sa analyzovali röntgenovou difrakčnou analýzou (RTG) a röntgenovou fluorescenčnou analýzou (XRF).

EOP úlet (ktorého priemerné prvkové zloženie je uvedené v tab. 2), najskôr vstupuje do procesu neutrálneho lúhovania za účelom odstránenia chloridov a zníženia obsahu vápnika vo vzorke. Po následnej filtrácii (ako filtračné zariadenie sa používal kalolis s čerpadlom), postupuje tuhý zvyšok z neutrálneho lúhovania do procesu zásaditého lúhovania pomocou roztoku uhličitanu amónneho $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (experimenty sa realizovali pri koncentráciách $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 50 až $300 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, pri teplote v rozsahu 20 až 80°C a pomere K:P 5 až 20), za účelom selektívneho vylúhovania zinku (predovšetkým zo zložky ZnO prítomnej v úlete) pri minimálnom prechode Fe do roztoku. Nasleduje opäť proces filtrácie za účelom oddelenia tuhého zvyšku (nakoncentrované Fe a zvyšok Zn v zložke ZnFe_2O_4) a zásaditého výluhu s obsahom Zn. Výluh zo zásaditého lúhovania postupuje do procesu cementácie práškovým Zn za účelom vyčistenia roztoku od nečistôt, najmä Pb, Cu, Cd, príp. Fe (študovalo sa množstvo práškoveho Zn v rozmedzí $0,5$ až $5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, pri teplote v rozsahu 20 až 80°C , a doby cementácie 10 až 60 min.). Vyčistený roztok po opätovnej filtrácii prechádza do kroku kryštalizácie a následne kalcinácie (študoval sa rozsah teplôt 250 až 900°C), za účelom odstránenia chemicky viazanej vody a získania koncového produktu vo forme ZnO.

Tab. 2 Prvkové zloženie EOP úletu

Tab. 2 The chemical composition of the EAF dust

	Fe	Zn	Ca	Mn	Pb	Si	Mg
(%)	31,5	23,9	5,5	1,9	1,26	1,34	1,52

Tuhý zvyšok oddelený filtráciou po procese zásaditého lúhovania postupuje do procesu kyslého lúhovania pomocou roztoku H_2SO_4 za účelom prevodu zvyšného zinku (zastúpeného v zložke ZnFe_2O_4) do výluhu (experimenty sa realizovali pri koncentracii H_2SO_4 0,5 až 2 M, pri teplote 20 až 80°C a pomere K:P 5 až 20). Po kyslom lúhovaní a následnej filtrácii nasleduje proces čistenia roztoku, keďže pri kyslom lúhovaní prechádza do výluhu aj isté množstvo železa a iných prvkov. Železo sa z kyslého výluhu zráža tzv. goethitovým procesom, ktorý možno z ekonomického a technologického hľadiska považovať za najvýhodnejší. Pri ňom sa neutralizačné činidlo do skleneného reaktora pridáva pomocou automatickej jednotky regulácie pH, čím sa zabezpečia potrebné podmienky k vyzrážaniu Fe z roztoku. Kyslý roztok zbavený Fe sa po filtrácii cementuje pomocou práškoveho Zn za účelom odstránenia Cu a Pb a po

opätovnej filtrácii postupuje do procesu kryštalizácie, pričom sa získava produkt vo forme $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Na obr. 2 sú znázornené finálne produkty hydrometalurgického spracovania EOP úletov na pilotnom poloprevádzkovom zariadení.



Obr. 2 Výsledné produkty pilotnej poloprevádzkovej linky LSPO: oxid zinočnatý (hore), síran zinočnatý (dole)

Fig. 2 The resulting products: zinc oxide (top), zinc sulphate (bottom)

Na obr. 3 a 4 sú vyobrazené kľúčové technologické uzly pilotného poloprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie EOP úletov.



Obr. 3 Systém automatickej regulácie pH (vľavo) a lúhovací reaktor (vpravo)
Fig. 3 Automatic pH control system (left) and leaching reactor (right)



Obr. 4 Kryštalizátor (vľavo) a kalolis (vpravo)
Fig. 4 Crystallizer (left) and filtration press (right)

Záver

V Slovenskej republike sa ročne vyprodukuje 6000 až 8000 ton EOP úletu. Vzhľadom na tieto množstvá vyprodukovaných EOP úletov možno hydrometalurgický spôsob spracovania považovať z ekonomického hľadiska za najperspektívnejší. Vyhláska Ministerstva životného

prostredia SR č. 365/2015 Z.z., ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov, zaraďuje EOP úlety do kategórie nebezpečného odpadu. Ich spracovaním sa okrem ekonomického profitu v podobe získania cenných komerčných zložiek dosiahla aj úspora nákladov formou zníženia poplatkov za skládkovanie tohto nebezpečného odpadu.

Realizovaný laboratorný výskum hydrometalurgického spracovania EOP úletov v rámci LSPO preukázal potenciál navrhnutých metód. Na základe toho sa zrealizovala výstavba pilotného poloprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie EOP úletov. Spracovaním úletov na tomto zariadení pomocou zásaditého a kyslého lúhovania s príslušnými operáciami čistenia roztokov sa získali produkty na báze Zn v podobe ZnO a $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Uvedená technológia spracovania EOP úletov pomocou hydrometalurgie je v súčasnosti v patentovom konaní.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-14-0591.

Literatúra

- [1] Statistics archive [online], Dostupné na:
www.worldsteel.org/statistics-archive.html [cit. 29.07.2018].

- [2] MARUŠKINOVÁ, G., HAVLÍK, T., KUKURUGYA, F., KOBIALKOVÁ, I. Výroba ZnO hydrometalurgickým spracovaním oceliarskych úletov. In *Jubilejná odborná konferencia k 175. výročiu Železiarni Podbrezová a.s.*, Zborník z konf., ŽP VVC s.r.o., Tále, 21.-23. Sept. 2015, s. 152–157, ISBN 978-80-972091-4-8.
- [3] KUKURUGYA, F., VINDT, T., HAVLIK, T. Behavior of Zinc, Iron and Calcium from Electric Arc Furnace (EAF) Dust in Hydrometallurgical Processing in Sulfuric Acid Solutions: Thermodynamic and Kinetic Aspects. In *Hydrometallurgy*, 154 (2015) April, 20–32.
- [4] Vyhláška MŽP SR č. 365/2015 Z.z., ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov.
- [5] VINDT, T., TUREK, P., MARUŠKINOVÁ, G., HAVLÍK, T. Model poloprevádzkového zariadenia na hydrometalurgické spracovanie úletov z EOP. In *Materiálová recyklácia priemyselnych odpadov*, zborník z odbor. seminára, Tále, 22.-23.9.2016, s. 115–127, ISBN 978-80-553-2597-2.
- [6] HAVLÍK, T., MIŠKUFOVÁ, A., VINDT, T., TAKÁČOVÁ, Z. Materiálová recyklácia úletov z elektrických oblúkových pecí. In *UVP TECHNICOM*, zborník z konf., Spoločenský pavilón Košice, 23.-24.5.2018, s. 144–147, ISBN 978-80-8086-268-8.



V dubnu se uskuteční již 35. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli

Oceláři 2019

Ve dnech 4. - 5. dubna 2019 se ve wellness hotelu Energetic v Rožnově pod Radhoštěm uskuteční již 35. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli Oceláři 2019. Jen pro zajímavost, loňského 34. ročníku se v dubnu 2018 v Rožnově pod Radhoštěm zúčastnilo 76 účastníků z České republiky, ze Slovenska, z Polska a z Rakouska, kteří celkem přednesli 23 příspěvků.

Termín pro podání přihlášek je do 30. 3. 2019 na adrese:

<https://www.ocelari.cz/cz/registrace-prihlaseni/>

Zprávy z Ocelářské unie a.s.

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	prosinec	leden	leden-leden	prosinec 2018		leden		leden-leden	
	2018	2019	2019	2017	2018/17	2018	2019/18	2018	2019/18
	(tis. t)			(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)
KOKS									
ČR	147,23	143,73	1 831,26	139,57	105,48	153,88	93,40	1 842,48	99,39
AGLOMERÁT									
ČR	437,38	484,94	5 721,40	457,80	95,54	501,89	96,62	5 510,79	103,82
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	302,59	327,36	4 005,35	286,85	105,49	325,45	100,59	3 691,04	108,52
SUROVÁ OCEL									
ČR	390,31	432,61	4 966,30	340,36	114,68	382,65	113,05	4 552,94	109,08
KONTISLITKY									
ČR	359,36	379,84	4 603,71	321,03	111,94	356,73	106,48	4 222,84	109,02
BLOKOVNY									
ČR	51,98	54,07	627,92	17,63	294,84	34,41	157,12	448,89	139,88
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	411,16	324,59	5 069,30	371,25	110,75	340,73	95,26	4 643,68	109,17
TRUBKY									
ČR	42,60	28,87	460,90	38,73	109,98	36,31	79,50	458,34	42,60
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	18,85	11,70	217,29	18,27	103,16	13,55	86,36	224,16	96,94
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,19	0,65	14,25	0,98	121,04	0,87	74,14	15,07	94,54

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha - Ondřej Štec

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť

Diskuse k článku „Vliv výchozího strukturního stavu a parametrů ohřevu na tvařitelnost středně uhlíkové oceli“ autorů Kawulok Petr aj., publikovaného v Hutnických listech, 71 (2018) 5, 13-16

Ing. Jan Počta, CSc.^{1,2}

¹ OCELOT s.r.o., Pohraniční 693/1, 706 02 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² CSM Ostrava, Česká republika

Autoři článku porovnávali tvařitelnost středně uhlíkové oceli za tepla s využitím tahové zkoušky. Sledovali, jak se liší tvařitelnost vzorků s lící a předem protvářenou strukturou. V obou případech správně volili identické vstupní termodynamické parametry experimentů. Výsledky experimentů, tj. stanovení meze pevnosti a tažnosti v jednotlivých variantách zkoušení, potvrzují dosavadní zkušenosti, přinášejí i nové výsledky a zejména jsou v článku kvalifikovaným způsobem fyzikálně vysvětleny. Jsou zde však uvedeny i výsledky, které se vymykají z původně očekávaných předpokladů, tj. z očekávání, že výchozí hrubozrná lící struktura negativně ovlivní tvařitelnost oceli ve srovnání s jejím jemnozrným, předem protvářeným stavem. Tato očekávání vycházejí z toho, že by hrubozrná struktura, tj. velké vzdálenosti pro translační mechanismy plastické deformace, měla relativně zpomalovat nukleační fázi rekrystalizace, a přispívat tak ke křehkému interkrystalickému lomu. Podle autorů se však tento předpoklad naplnil jen při nejvyšších teplotách (nad teplotou 1300 °C) při rychlosti deformace 10^3 s^{-1} nebo nad teplotou 1200 °C při rychlosti deformace 10^{-1} s^{-1} . Za určitých, v článku popsáných termodynamických podmínek tedy dosáhly vzorky s lící strukturou vyšší tvařitelnost, zde představovanou měřenou, resp. vypočítanou normovanou poměrnou tažností $A_r = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 (\%)$.

V grafické interpretaci výsledků tahových zkoušek byl pro průběh tahové síly použit parametr prodloužení zkušební tyčky ΔL_0 .

Uvedený rozporuplný poznatek o tvařitelnosti hrubozrné lící struktury nebyl v článku s jistotou zdůvodněn. Zde autor diskusního příspěvku vidí ještě široké pole pro další bádání. Velký vliv na vývoj mechanických parametrů při zkouškách plastičnosti i v provozních technologiích má **historie deformace** čili její časový průběh a popis procesů v něm probíhajících. Tohoto tématu se autorský kolektiv diskutovaného článku dotkl zmínkou o kinetické rekrystalizaci. Za pozornost by dále stálo přiklonit se k **objektivnímu vyjádření parametrů tahové zkoušky**,

tj. skutečného napětí a skutečné deformace, příp. dalších parametrů vysledovaných z tahových zkoušek. V 70. a 80. letech minulého století byla provedena řada prací, která na základě rozboru stavu napjatosti a stavu deformace u tahové zkoušky definovala tyto parametry. Souhrnné výsledky byly zveřejněny např. v [1 – 4] a později v [5, 6].

Pro vyjádření skutečné podélné deformace byly délkové míry na vzorcích přepočteny s využitím zákona o zachování objemu a s uvážením kruhového průřezu vzorků na příčné rozměry (průměry). To platí jak pro etapu tahu do dosažení meze pevnosti, tj. pro homogenní deformaci v celém objemu vzorku (do meze stability deformace), tak i pro etapu tahu po dosažení meze pevnosti až do porušení soudržnosti (za meze stability deformace). V pásmu homogenní deformace se počítá s celým objemem vzoru, takže pro skutečnou podélnou deformaci platí

$$\delta_1 = 2 \ln \frac{d_0}{d_1}, \quad (1)$$

příp. pro deformaci přímo v bodě meze pevnosti platí

$$\delta_{1p} = 2 \ln \frac{d_0}{d_p}, \quad (2)$$

kde je d_0 průměr zkušební tyčky před deformací, d_1 je průměr zkušební tyčky při deformaci do meze stability a d_p je průměr zkušební tyčky přímo při dosažení meze pevnosti.

Za meze stability je plastická deformace po délce vzorku rozdělena nerovnoměrně a soustřeďuje se v krčku. Výpočty skutečné podélné deformace se tak omezují na objem vzorku, z něhož krček vzniká. Pásmo soustředěné deformace se v čase postupně zkracuje (efektivní délka l_{ef} krčku se zkracuje), takže se plastická deformace soustřeďuje na stále kratší úsek zkušební tyčky kolem budoucí lomové plochy. Skutečná podélná deformace tak dosahuje hodnotu

$$\delta_{1K} = 2 \ln \frac{2d_0}{d_p + d_K} \quad (3)$$

kde je d_K průměr zkušební tyčky v nejužším místě krčku. Toto je výsledek časového průběhu deformace, v němž probíhá vzájemné působení zpevňovacích a uzdravovacích procesů.



Obr. 1 Tahové vzorky z oceli Cr18Ni10Mo2 seřazené podle velikosti deformace až do mezního stavu; teplota 800 °C, počáteční rychlost deformace $2 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Obr. 1 ukazuje tahové vzorky seřazené podle velikosti deformace až do mezního stavu. Vzorek 5 byl namáhán jen do meze pevnosti. Vzorek 6 přibližně odpovídá dosažení meze pevnosti. U vzorku 7 až 14, 21 a 20 došlo již k postupně se zvyrazňující nestabilitě deformace, přičemž u posledních dvou vzorků (21 a 20) se projevilo výrazné zkrácení efektivní délky pásma deformace l_{ef} . U vzorku 1, 3, 2, 18 a 4 bylo dosaženo mezního stavu plastičnosti a přetržení. Tvar krčku u vzorku 21 a 20 je typický pro austenitické oceli, u nichž převládají v průběhu deformace zpevňovací mechanismy. Na rozdíl od nich mívají feritické nebo nízkouhlíkové oceli efektivní délku krčku daleko delší a v oblasti krčku dochází k redukci průřezu zkušební tyčky velmi plovlně.

Uvedeným vyjádřením deformace při tahové zkoušce v logaritmické formě a po přepočtu délkových měr na příčné, snadno měřitelné rozměry se metoda vyhodnocování tahových zkoušek podle [1] liší od metody autorského kolektivu diskutovaného článku nebo konvenční, resp. normované metody. Poměrné prodloužení, ani poměrné zúžení není používáno.

Metoda vyhodnocování tahových zkoušek podle [1] navíc uvádí nehomogenitu napjatosti $\Delta\sigma$ (%), ke které dochází v průběhu rozvoje nestability deformace za meze pevnosti. Do dosažení meze pevnosti přirozeně platí $\Delta\sigma = 0$ %. Dále se nehomogenita $\Delta\sigma$ s rostoucí deformací exponenciálně zvětšuje a maximální hodnoty dosahuje v mezním stavu při přetržení vzorku.

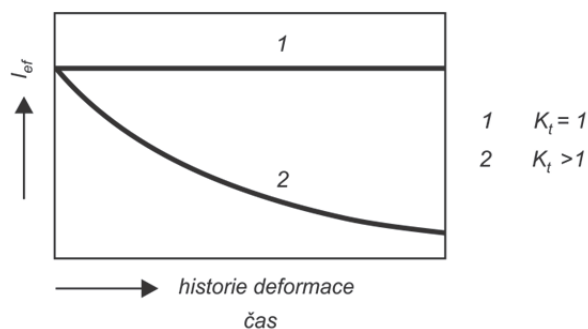
Výpočtově je nehomogenita napjatosti definovaná rozdílem maximálního podélného napětí $\sigma_{1\max}$ (v ose zkušební tyčky) a středního podélného napětí σ_{1s} (vypočítaného z parabolického průběhu podélného napětí po průřezu vzorku) takto:

$$\Delta\sigma = \left(\frac{\sigma_{1\max}}{\sigma_{1s}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Pro případ, kdy se už plastická deformace soustřeďuje jen v části vzorku, tedy kdy nastává nestabilita deformace po dosažení meze pevnosti, byl zaveden tzv. tvarový součinitel K_t , který vychází z lineární aproximace tvaru krčku. Lineární aproximace má výhodu ve snadném měření geometrických parametrů na zkušební tyčce. Tvarový součinitel charakterizuje tvorbu krčku v čase, postupné soustřeďování plastické deformace do stále kratšího úseku, až do nejbližšího okolí budoucí lomové plochy. Charakterizuje tedy zkracování efektivní délky krčku l_{ef} . Implicitně tak vyjadřuje nerovnováhu mezi zpevňováním a uzdravovacími mechanismy. Je definován vztahem

$$K_t = \frac{(d_p + d_K)^2}{4d_p d_K} \quad (5)$$

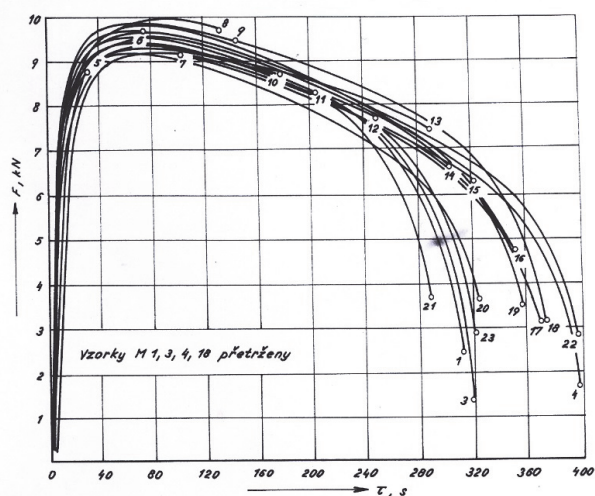
a nabývá hodnot $K_t \geq 1$. Je-li $K_t = 1$, rozvíjí se plastická deformace po celou dobu zatěžování vzorku téměř v celé délce krčku, jehož efektivní délka l_{ef} se tedy nemění. Materiál je přiveden do značně plastického stavu a zpevňování působí jen minimálně. Tento stav platí zhruba do poloviny lineárního úseku křivky $\sigma_{1s} - \delta_{1K}$ (za předpokladu, že pro vyjádření závislosti napětí a deformace byl použit analytický popis, sestávající postupně z parabolického, lineárního a exponenciálního úseku [1]). V případě popisu křivky $\sigma_{1s} - \delta_{1K}$ metodou postupné vícenásobné lineární regrese, kterou se dospěje k sestavení polynomu 3. stupně [3], připadá okamžik počátku zvyšování hodnoty K_t nad 1 na inflexní bod na křivce. Jestliže je tvarový faktor $K_t > 1$, dochází postupem času ke značnému zpevňování, plastická deformace se soustřeďuje do stále kratšího úseku zkušební tyčky a efektivní délka pásma intenzivní deformace l_{ef} se v čase stále zkracuje, až je soustředěna na bezprostřední okolí budoucího lomu. Jak se historie deformace projevuje na tvaru krčku u materiálu s probíhajícím a neprobíhajícím zpevňováním, schématicky ukazuje obr. 2.



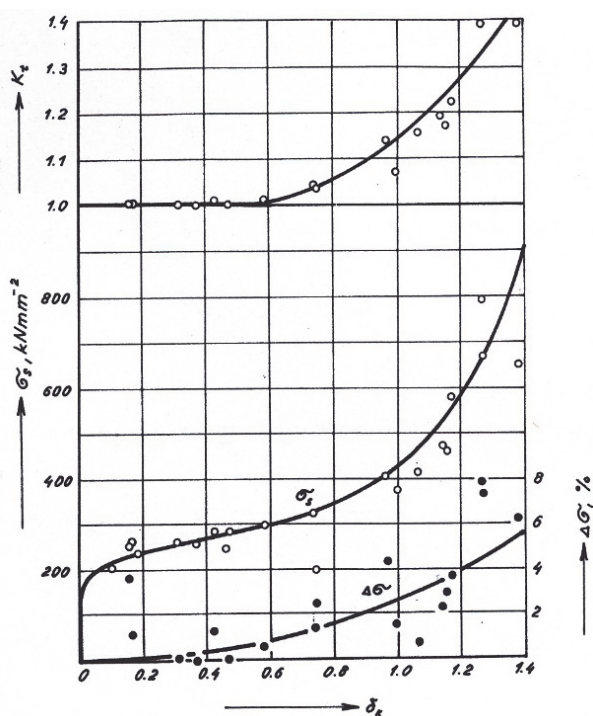
Obr. 2 Schématické znázornění závislosti efektivní délky pásma deformace na čase

Mezi všemi parametry z rov. (1) až (5) byly experimentálně potvrzeny **zákonité korelace**. Na rozdíl od diskutovaného článku, který prezentuje výsledky tahových zkoušek jako závislost tahových sil a poměrného prodloužení, byly v lit. [1 – 6] výsledky tahových zkoušek prezentovány formou průběhu tahových sil v čase, který koresponduje se závislostí tahových sil a deformace

(obr. 3), a zejména formou závislosti středního skutečného podélného napětí σ_s a skutečné podélné deformace v krčku δ_K . Do diagramů $\sigma_s - \delta_K$ byly vyneseny i průběhy nehomogenity napjatosti $\Delta\sigma$ a tvarového součinitele K_t .



Obr. 3 Průběh zatěžovacích sil u tahových zkoušek oceli Cr18Ni10Mo2 při teplotě 800 °C a počáteční deformační rychlosti $2 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$



Obr. 4 Křivka závislosti středního skutečného napětí σ_s , nehomogenity napjatosti $\Delta\sigma$ a tvarového součinitele K_t na skutečné deformaci v krčku δ_K v podmínkách podle obr. 3

Obr. 4 uvádí takový příklad pro austenitickou ocel Cr18Ni10Mo2 s chemickým složením (hm. %): C 0,012, Mn 1,26, Si 0,19, P 0,029, S 0,011, Cr 17,8, Ni 11,22, Mo 2,03, Cu 0,08. Příklad platí pro teplotu 800 °C a počáteční rychlost deformace $2 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Čtenáři jistě prominou dnes nezvyklé uvádění jednotek napětí a hlavně nedodržení konstantní deformační rychlosti v tahových experimentech. Tyto práce byly totiž prováděny řádově již před 40 lety, kdy nebylo k dispozici relevantní zku-

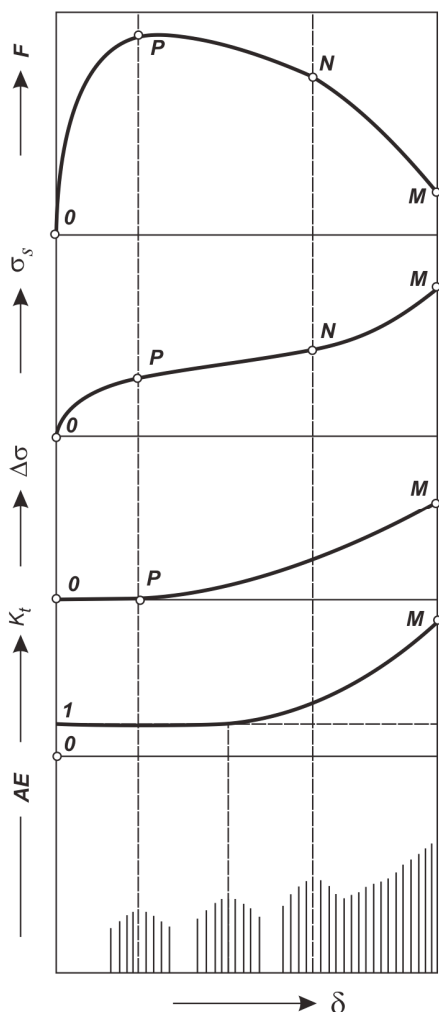
šební zařízení – plastometr. Kromě této oceli byly prozkoušeny další vysokolegované austenitické, feritické i dvoufázové oceli nebo nízkouhlíkové oceli s odstupňovaným poměrem Mn/S. Pro demonstraci výsledků tahových zkoušek byla zde volena ocel Cr18Ni10Mo2 z toho důvodu, že vzorky byly prosté okují a měly čistý povrch pro bezchybné měření geometrických parametrů.

Znalost nově zavedeného tvarového součinitele K_t dovolu-
je na rozdíl od konvenčního vyhodnocování tahových zkoušek usuzovat na historii deformace, na její časový průběh zahrnující vliv dynamického zpevnění. Znalost nehomogenity napjatosti $\Delta\sigma$ dovolu-
je usuzovat na dynamiku stavu napjatosti, v jehož důsledku vzniká a dále se až k povrchu vzorku šíří příčná středová trhlinka. Vznik a růst trhliny byl dokladován v jiném diskusním příspěvku uveřejněném v Hutnických listech, 65 (2012) 3, 54-56. Na rtg snímku v tomto odkaze (obr. 5) je vidět středovou trhlinu ve značném stupni rozvoje, kolmou k ose tahu, kdy její čelo dospělo téměř k povrchu. Je to stav, kdy tahová zkouška byla zastavena těsně před přetržením vzorku. Jiný případ detekce vnitřní makrotrhliny uvnitř tahového vzorku z mědi za studena byl rtg metodou zjištěn v [7], u aluminiových slitin a některých druhů oceli ve stavu po tažení za studena ultrazvukově a pomocí magnetických prášků v [8] a u plochých vzorků přímo vizuálně v [9].



Obr. 5 RTG snímek příčné makrotrhliny při skutečné deformaci $\delta_K = 1,06$ před úplným přetržením vzorku v podmínkách podle obr. 3

Ověření parametrů z rov. (1) až (5) bylo provedeno jednak statisticky a jednak s využitím snímání **akustických emisí** (AE) zaznamenávaných on-line (metoda AE) v průběhu tahových zkoušek [3, 4]. Metoda AE pro tahové zkoušky byla převzata z kontroly jakosti strojních dílů při výstavbě investičních celků, v té době např. [10, 11], a zejména z metodiky kontroly detekce vnitřních vad, která byla ve Vítkovických železárnách využívána při dodávkách vysoce exponovaných strojních dílů a zařízení. Již před dobou provádění zmíněných prací byla tato metoda aplikována také na tahových zkouškách v jiných pracovištích. Byly to však tahové zkoušky jen za studena a prováděné na slitinách k tomu speciálně vyrobených [12 – 17]. Na průmyslově vyráběných ocelích a při experimentech za tepla, kdy se metoda zkoušení musela vypořádat s technickým řešením vyvedení AE signálu ze vzorku uzavřeného v ohřívací pícce (při současném odstínění šumu při měření), a při termodynamických parametrech, odpovídajících provozním podmínkám průmyslových tvářecích procesů, byly tyto práce prováděné poprvé.



Obr. 6 Schématické znázornění průběhu tahové síly F , středního skutečného napětí σ_{1s} , nehomogenity napětí $\Delta\sigma$, tvarového součinitele K_t v závislosti na skutečné deformaci v krčku δ_K , a to v korelaci s akustickými emisemi AE

Akustické emise jsou zvukovým obrazem probíhajících mechanismů plastické deformace, především translačních pochodů probíhajících v mikrostruktuře kovu. Jejich zaznamenávání on-line v průběhu zkoušek dovoluje přesně detekovat dosažení meze pevnosti, okamžik, kdy se tvarový součinitel K_t odchyluje od hodnoty 1 nebo nehomogenita napjatosti $\Delta\sigma$ od hodnoty 0 % a kdy oba parametry počínají po té exponenciálně růst, nebo dále okamžik, kdy se, jak výše zmíněno, čelo trhliny přiblížilo povrchu vzorku a pak již následuje lom. Tento okamžik odpovídá zhruba bodu, kdy přímková část křivky $\sigma_s - \delta_K$ přechází do exponenciální části (i zde se předpokládá analytický popis křivky $\sigma_s - \delta_K$). Doprovodné strukturní analýzy dále potvrdily, že on-line záznam akustických emisí umožňuje predikovat okamžik koalescence mikrotrhlin, vznik středové příčné makrotrhliny a počátek jejího šíření k povrchu vzorku. Na obr. 3 to je okamžik, kdy se pokles zatěžovací síly F výrazně zrychluje; u zmíněných experimentů k tomu došlo v čase nad 280 – 360 s. Ve znázornění výsledků tahové zkoušky v systému $\sigma_{1s} - \delta_{1K}$ (obr. 4) je to místo, kdy $\delta_K \sim 0,6$. Právě v tomto bodě křivky $\sigma_{1s} - \delta_{1K}$, resp. u vzorku M14 počíná tvarový součinitel K_t růst nad hodnotu 1. Při analytickém popisu

křivky $\sigma_{1s} - \delta_{1K}$ zde končí její lineární úsek a začíná exponenciální úsek trvající až do lomu. Jednotlivé korelace mezi průběhy tahové síly F , středního skutečného napětí σ_{1s} , nehomogenity napětí $\Delta\sigma$, tvarového součinitele K_t a akustických signálů AE schématicky ukazuje obr. 6. Bod P (mez pevnosti), N (tvorba a šíření makrotrhliny) a M (lom), představují význačné body křivek, které jsou v průběhu tahové zkoušky signalizovány prostřednictvím záznamu maxim při snímání AE.

Závěr

Pro stanovení tvařitelnosti oceli za tepla pomocí tahové zkoušky se konvenční vyhodnocování těchto zkoušek jeví z hlediska historie deformace jako nedostatečné. Konvenční vyhodnocování spočívá v identifikaci stavu deformace pomocí smluvních poměrných geometrických parametrů, ať už je to poměrné prodloužení nebo poměrné zúžení, a to v konečném stavu po porušení soudržnosti. Chybí zde pohled na časový vývoj plastické deformace. Doporučuje se využít výše zmíněných výpočtových metod ke stanovení stupně deformace a dále i přes přístrojovou a metodickou náročnost doprovázet tahové experimenty doplňkovými metodami zkoušení (např. metodou AE), které dovolí sledovat průběh fyzikálně metalurgických dějů probíhajících uvnitř zkušebních těles v průběhu plastické deformace. Autor tohoto diskusního příspěvku proto doporučuje řešitelskému kolektivu, který publikoval dotčený diskutovaný článek, aby se pokusil obohatit své výzkumy o výše zmíněný badatelský směr.

Literatura

- [1] POČTA, J. Hodnocení tvařitelnosti oceli za tepla tahovou zkouškou. *Hutnické aktuality*, 22 (1981) 8, 51 s., vyd. INFORMETAL, VÚHŽ Dobruška.
- [2] POČTA, J. Využití regresní výpočtové metody pro hodnocení tahové zkoušky za tepla. *Hutnické listy*, 26 (1985) 5, 343–348.
- [3] POČTA, J. Identifikace mezního stavu plastičnosti oceli u tahové zkoušky za tepla pomocí akustické emise. *Hutnické aktuality*, 32 (1991), 6, 29 s., vyd.: INFORMETAL VÚHŽ Dobruška.
- [4] POČTA, J., CRHA, J. Identifikace mezního stavu plastičnosti u tahové zkoušky za tepla pomocí akustické emise. *Hutnické listy*, 32 (1991) 1–2, 68–73.
- [5] POČTA, J. Komplexní hodnocení tvařitelnosti oceli tahovou zkouškou za tepla. In: *THER – TECH – FORM '96*, 1. mezinárodní sympozium TU v Košicích, katedra tváření kovů, Tále, 1996
- [6] POČTA, J. Identifikace mezního stavu u jednoduchých zkoušek plastičnosti. In: *CO – MAT – TECH '97*, Mezinárodní konference STU v Bratislavě, Materiálovětechnická fakulta v Trnavě, Trnava, 1997
- [7] NÁDAI, A. *Theory of Flow and Fracture of Solids*. New York: McGraw-Hill Book Comp., Engineering Societies Monographs, 1950.
- [8] SCHNEEWEIS, G., TRČKA, P.: *Steel Research*, 56 (1985) 1, 51–56.
- [9] VELES, P. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*. Bratislava: Alfa, Praha: SNTL, 1989, 401 s.
- [10] KELLER, H. P. aj. *Steel Research*, 57 (1986) 8, 393–401.
- [11] PILOUS, V. aj. *Kovové materiály*, 26 (1987) 4, 468–481.
- [12] POLAKOVIČ, A. *Kovové materiály*, 22 (1984) 1, 48–60.
- [13] MINÁR, P. aj. *Kovové materiály*, 22 (1984) 1, 80–91.
- [14] KENNEDY, R. J. *Metal Science*, 18 (1984) June, 286–288.
- [15] POLAKOVIČ, A. *Kovové materiály*, 24 (1984) 1, 114–127.
- [16] KOTOUL, M. aj. *Kovové materiály*, 27 (1989) 2, 228–239.
- [17] PŘIBÁŇ, M. aj. *Kovové materiály*, 27 (1989) 2, 240–252.

Historie hutnictví

Rozvoj hutnictví v souvislosti s vývojem železnic

Část 3 – Celistvvá kola

Ing. Ladislav Jílek, CSc.

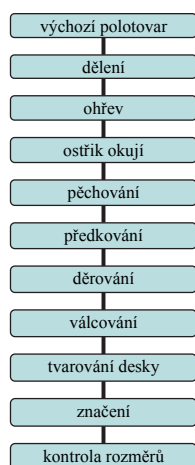
Svaz kováren České republiky, z.s., Ostrava, Česká republika

Železniční kola jsou značně namáhána. Jsou vystavena vysokému tlaku od hmotnosti vagonu či lokomotivy a ještě větší pnutí v nich vzniká při brzdění, kdy tlakem brzdných špalků na jízdní plochu kola vzniká teplo, které způsobuje roztažení obvodu kola. Proto se kola nejrychleji opotřebovávají u posunových lokomotiv, které sice jezdí pomalu, ale daleko nejčastěji brzdí. U vlaků pro velké rychlosti se často používají kotoučové brzdy, a tak se kola chrání před namáháním.

Předchozí část tohoto seriálu uvádí (Hutnické listy, 72 (2018) 6, 136-141), že ve druhé polovině 19. století byla zvládnuta výroba skládaných kol s bezešvými obručemi, které vyhovovaly tehdejšímu požadavkům železniční dopravy. Od konce 19. století se na různých místech Evropy a hlavně v USA konaly pokusy vyrobit celistvé kolo neboli monoblok. Očekávalo se, že tato výroba bude méně pracná, a tedy i levnější.

1. Rámcové schéma technologického postupu

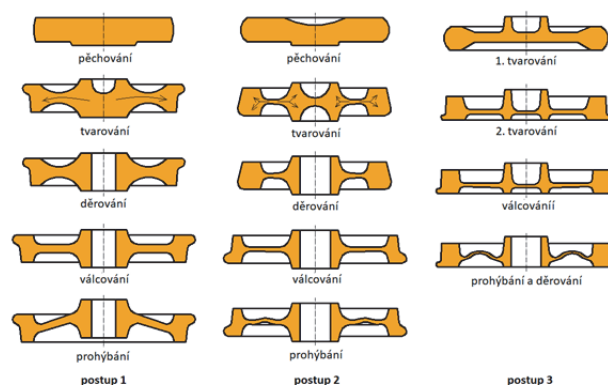
Při vývoji postupu výroby monobloků se vyšlo z myšlenky, že hrubý tvar kola se vyrobí kováním a válcováním se kolo pouze dotvaruje. Tato myšlenka se ukázala jako správná a využívá se dodnes. Postupně se vyvinul postup znázorněný na obr. 1.



Obr. 1 Dnešní postup výroby celistvých kol

Jako výchozí polotovár se dnes používají kontislitky nebo ingoty; vhodné jsou štíhlé ingoty. K dělení se používají převážně kotoučové pily. Je možné využívat i lámání nebo dělení plamenem. Ohřívá se většinou v karuselových pecích. Předkovává se na jednom nebo na dvou hydraulických lisech. Válcování se provádí na speciální válcovačce. Tvarování desky a značení se provádí na dvou dalších lisech. Pro kontrolu rozměrů jsou dnes k dispozici automatická laserová měřidla, která změří profil kola za tepla. Pak následuje vychlazení, tepelné zpracování, zkoušení a obrábění.

V popsaném postupu mají jednotliví výrobci různé odchylky. Děrování se často provádí až po vyválnování kola; na některých linkách se po předkování provádí přihřev. Vlastní tvářecí postup se pomalu vyvíjel. Na obr. 2 je znázorněn jeho vývoj na příkladu tří postupů, které se v praxi osvědčily.



Obr. 2 Tři příklady postupu výroby celistvého železničního kola

Při prvním postupu je první operací pčhování. Horní nástroj je plochý, dolní je opatřen malým vybráním, které má průměr rovný průměru výchozího špalku a slouží k jeho správnému vystředění. Druhou operací je tvarování, při němž se vytváří okolek, náznak desky a otvoru. Třetí operací je děrování. Všechny tři operace se provádějí na stejném hydraulickém lisu o síle okolo 50 MN. Mezi jednotlivými operacemi se přesunují nástroje, protože hydraulický lis nesnáší asymetrické zatížení. Pak následuje

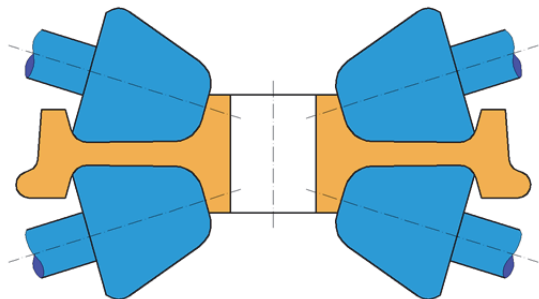
duje válcování na válcovačce a po něm se tvaruje deska, která v tomto případě získává kuželový tvar.

Při druhém postupu se při pýchování ztenčí střední část předkovku. Při následném tvarování je pak třeba menší síla a lze vytvořit předkovek s menší tloušťkou desky. Je to způsobeno tím, že při tvarování plochého předkovku, což je první případ, je rozhraní toku materiálu v ose a materiál teče od tohoto rozhraní na obě strany. Ve druhém případě, kdy je při pýchování ztenčený střed, je rozhraní toku materiálu zhruba v jedné polovině poloměru napřechovaného rozkovku; od tohoto rozhraní teče materiál jednak směrem k ose a jednak směrem ven, jak ukazují šipky. Takovýto tok materiálu vyžaduje menší sílu, a je tak možné získat desku o menší tloušťce. Po vyděrování následuje válcování a pak tvarování desky, v tomto případě na prohnutý tvar, což je výhodnější. Deska musí být tvarovaná proto, že se u většiny železničních vozů následkem vývoje tepla při brzdění roztahuje obvod, a hrozí tak nebezpečí vzniku trhlin v přechodu věnce do desky. Prohnutá deska pruží a tím se eliminuje nebezpečí vzniku trhlin.

Při třetím postupu se již při první operaci tvaruje jedna strana náboje. Tvarování se dokončuje ve druhé operaci. První operace se provádí na lise o síle 50 MN, druhá se provádí na lise o síle 100 MN. Rozdělením předkování na dva lisys se zvyšuje výkon linky. Následuje válcování a pak prohýbání desky spolu s děrováním náboje. Třetí postup dosahuje nejvyšší výkon.

2. Vývoj válcovaček

Prvé pokusné válcovačky byly zkonstruovány již koncem 19. století [1]. Byly velmi jednoduché, jedna z nich je znázorněna na obr. 3. Byla tvořena dvěma dvojicemi kuželových válců, které pouze zmenšovaly tloušťku desky. Byla po mechanické stránce značně složitá, protože byla poháněna parním strojem. Nebylo na ni možné vyválcovat železniční kolo potřebné velikosti.



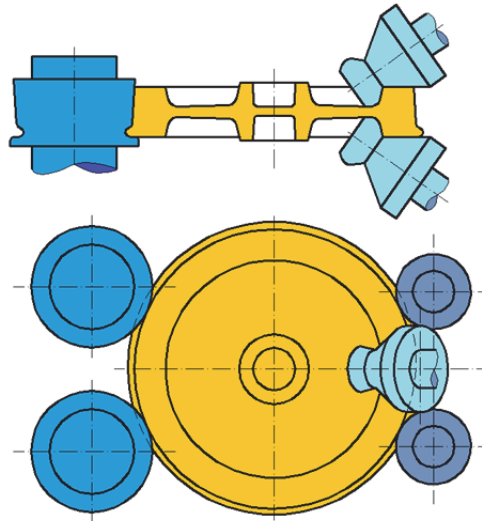
Obr. 3 Schéma jednoduché válcovačky železničního kola

Po čtyřech letech práce a pokusů se válcovačku podařilo natolik zdokonalit, že se u americké firmy Shoen Brake Co. (s dnešním názvem McKees Rocks) podařilo válcovat použitelná kola [2]. Jelikož byla cenově dražší než litá nebo skládaná kola, byla výroba zastavena.

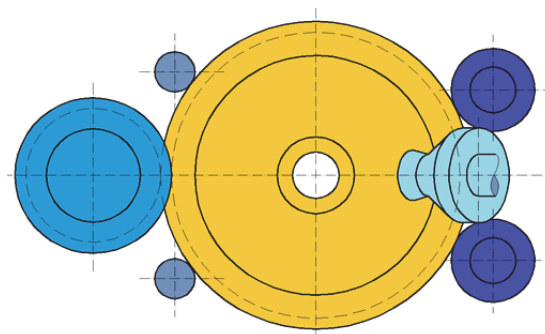
Úspěšnější výsledky byly dosaženy v meziválečném období u německých firem Keller & Banning Maschinen-

fabrik und Eisengießerei a Wagner Maschinenfabrik. Ty dnes již neexistují. Jejich konstrukce se však stala základem válcovaček vyráběných po 2. světové válce [3].

V provozu se osvědčily válcovačky o šesti a více tvarovacích válcích. Schéma šestiválcové válcovačky je znázorněna na obr. 4, sedmiválcovou válcovačku ukazuje obr. 5.



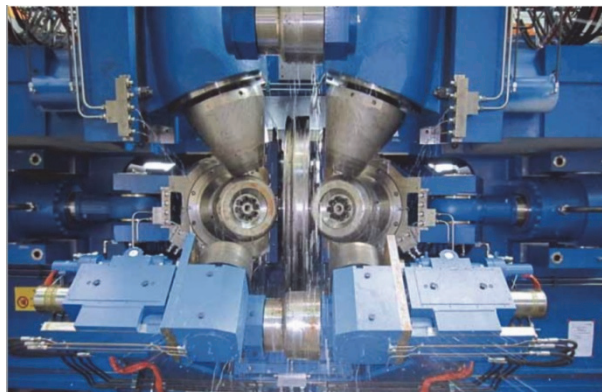
Obr. 4 Schéma šestiválcové válcovačky železničních kol



Obr. 5 Schéma sedmiválcové válcovačky železničních kol

Obě válcovačky tváří kolo v poloze na ležato. Hlavní tvářecí práci vykonávají dva šikmo uložené válce tvaru hříbu, které tvarují desku a zároveň tvarují boční plochy věnce. Tyto válce jsou uloženy letmo a jsou nejvíce silově namáhané.

Devítiválcová válcovačka je znázorněna na obr. 6 a 7.



Obr. 6 Devítiválcová válcovačka [4]



Obr. 7 Pohled na rozkovek v devítiválcové válcovačce

Zatímco u pěti a šestiválcové válcovačky vykonává hlavní práci jeden pár hříbových válců, u devítiválcové válcovačky je hlavní tvářecí práce rozdělena na jeden pár kuželových válců, které tvarují bok vřence a jejichž osy leží ve svislé rovině, a na druhý pár válců, které tvarují desku kola a jejichž osy leží ve vodorovné rovině. Tím se snížily tlaky na jednotlivé válce, a zvýšil se výkon válcovačky a zároveň se zvýšila přesnost vyráběných kol. Svislá orientace kola při tváření na devítiválcové válcovačce zlepšuje odpadávaní okují, čímž se zlepšuje také povrchová jakost výkovku. Použitím tohoto typu válcovačky ve spojení se třetím postupem podle obr. 2 se vytváří linka vyrábějící kvalitní kola s nejvyšším výkonem. Příklady celistvého kola jsou uvedeny na obr. 8 a 9.



Obr. 9 Průřez celistvého kola



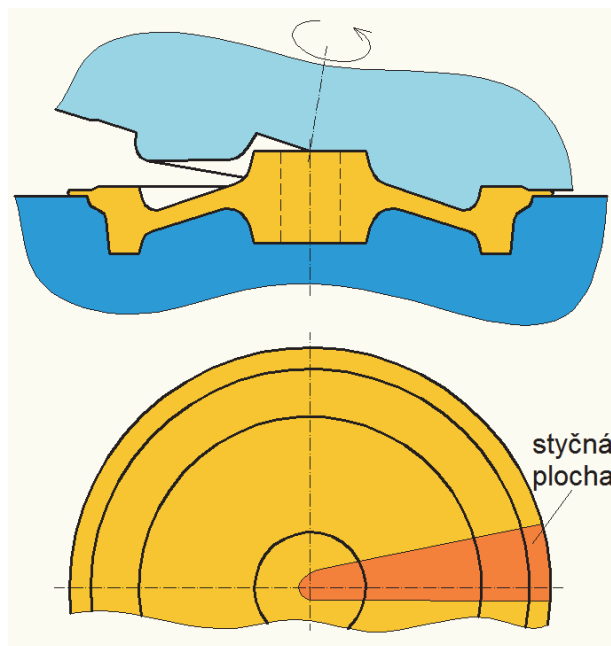
Obr. 8 Celistvé kolo

3. Výroba méně běžných typů kol

Kromě kol pro vagony, lokomotivy a tramvaje se vyrábí ještě řada dalších typů kol pro kolejovou dopravu: například kola pro úzkorozchodné dráhy, jeřáby, speciální kolejová vozidla a mnohé další. Většinou jde o kola menších průměrů, určená pro stroje, které se pohybují malými rychlostmi.

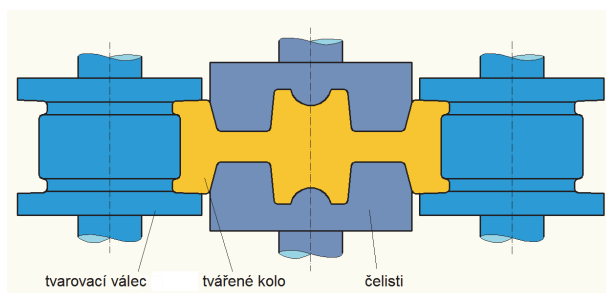
Menší kola je možné vyrábět kováním v zápustkách. Výkovky kol mají podobný tvar jako polotovary pro ozubená kola. Velikost takto vyráběných kol je limitována silou tvářecího stroje a nosností obsluhujících manipulatorů.

Jelikož kolo je koncentrický výkovek, lze ho vyrábět i orbitálním tvářením, jak ukazuje obr. 10. Dolní nástroj je u tohoto postupu obdobný jako při zápustkovém kování, horní nástroj je odkloněný od svislé osy. Oba nástroje vykonávají rotační pohyb nebo kombinaci rotačního a kývavého pohybu. Díky tomu styčná plocha horního nástroje s tvářeným materiálem tvoří jen výseč na půdorysu tvářeného kola. Tím se významně snižuje tvářecí síla. Maximální velikost kola vyráběného orbitálním tvářením je opět omezena silou příslušné válcovačky.



Obr. 10 Schéma výroby kola pro kolejové vozidlo orbitálním tvářením

Po kolejích se pohybují i mostové jeřáby. U nich se používají kola se žlábkem. Jsou to kola se dvěma okolky. Jejich tvar je vynucen jeřábovou konstrukcí, která představuje most, v jehož okně operuje jeřábová kočka. Konstrukce mostu proto nemůže mít úhlopříčné výztuhy a může dojít k jeho zkřížení, což by mohlo vést až k vykojení. Pro výrobu jeřábových kol je k dispozici válcovačka podle obr. 11. Válcovačka má dvě rotující čelisti a dvě kola pro tvarování obvodu. Na lise se v záпустce vytvaruje předkovek a ten se vloží do válcovačky. Sevře se čelistmi a válce vytvarují obvod kola [5]. Existují i další provedení podobných válcovaček, například válcovačka, která má navíc jeden pár válců, které u vyráběného kola ubírají tloušťku desky [6].



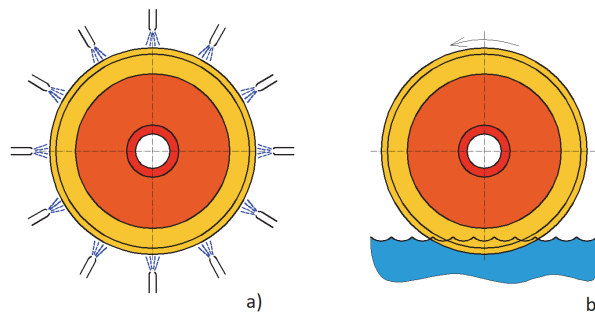
Obr. 11 Princip válcovačky jeřábových kol

4. Zajištění kvality kol

Na kvalitu železničních kol se kladou vysoké požadavky, poněvadž jejich selhání za provozu může ohrozit lidské životy a způsobit velké materiální škody. Kola se vyrábějí z oceli obsahující 0,6 nebo 0,7 % uhlíku. Některé oceli mají obsah Mn zvýšený například na 0,7 %. Kola pro vysoké rychlosti mohou být vyrobena z ocelí, které obsahují i další legury. Tepelné zpracování se volí podle požadovaných vlastností. Užívají se následující režimy [2, 7, 8]:

- normalizace,
- normalizace s pomalým ochlazováním,
- normalizace a popouštění,
- dvojnásobná normalizace s popouštěním,
- normalizace s následným kalením celého kola (většinou v roztoku polymeru) a popouštění,
- kalení obvodu kola.

Poslední postup je nejčastější. Způsob provádění je znázorněn na obr. 12.



Obr. 12 Kalení obvodu kola a) pomocí trysek, b) ve vodní lázni s otáčením kola

V některých případech, hlavně u kol z legovaných ocelí, se používají i další režimy tepelného zpracování.

Závěr

Monobloková kola nahrazují kola vyráběná jinými technologiemi a díky jejich kvalitě se stále zvyšuje jejich výroba. V posledních letech byly postaveny linky pro válcování těchto kol v USA, Číně a Turecku. Následkem toho narůstá podíl tvářených železničních kol i v Americe a Asii, kde dosud převažovala litá kola.

Literatura

- [1] LIETZMANN, K. D., SCHLEGEL, J., HENSEL, A. *Metallformung, Geschichte – Kunst – Technik*. Leipzig: VEB Deutsche Verlag für Grundstoffindustrie, 1987
- [2] PATRIC, D. K. Revitalized Forging Copany. *Industrial Hetaing*, (1997) May, 55-60
- [3] <https://www.sms-group.com/de/pressemedien/pressemitteilungen/presseinformationen/als-konsortialfuehrer-liefert-sms-group-schlusselfertige-produktionsanlage-zur-herstellung-von-eisenbahnraedern-an-rinl-644-1/>
- [4] webové stránky firmy SMS-Group
- [5] New Technology and Mill for Gross Rolling of Crane Wheel. Firemí literatura VNIIMETMASH.
- [6] PARŠIN, V.A., GANAGO, O.A. VALETOV, M.S. Svěšenstvovaniye proizvodstva i povyšeniye kačestva krupnogabaritnykh stalnykh izdelij. *Kuzněčno-štamпово́чные прооизводство*, (1997) 12, 30-34.
- [7] DEMILLY, F. Aplication des avers spéciaux aux roues et essieux-axes de chemin de fer. *La Revue de Métallurgie – ATS – JS97*, s. 88–89.
- [8] Full Steam Ahead. *Industrial Heating*, (2007) August, 24

Společenská kronika

Odešel význačný ocelářský odborník Ing. František Zámečník, CSc.

Dne 16. listopadu 2018 zasáhla celou ocelářskou veřejnost smutná zpráva – ve věku 90 let zemřel významný představitel československého hutnictví Ing. František Zámečník, CSc.

Jeho profesionální i soukromý život byl úzce spjat s výrobou a zpracováním oceli, zejména s Třineckými železárnami. V hutnictví působil v období, kdy výroba oceli procházela významnými změnami v technologii a současně v neustálém tlaku na kvalitu, ekonomiku, životní prostředí a bezpečnost práce, zejména pak na zaměstnance. Patrně proto bylo jeho životním krédem spojení teoretických přístupů s praxí, jakož i cílevědomé a systematické předávání teoretických i praktických zkušeností a znalostí v hutnictví novým generacím.

Ing. Zámečník se narodil v Místku dne 9.5.1928, kde také získal středoškolské vzdělání. Byl aktivním skautem, turistou a propagátorem krás Beskyd. Studoval na Vysoké škole báňské v Ostravě, kterou absolvoval v roce 1952. Během studia i po jeho ukončení působil jako asistent profesora Kašpara na Hutnické fakultě. S VŠB spolupracoval i v dalších letech, již jako pracovník Třineckých železáren. Vědeckou hodnost kandidáta technických věd získal v roce 1964.

V Třineckých železárnách prošel řadou výkonných i řídicích funkcí na ocelárnách i na podnikové úrovni. Po mnoho let byl vedoucím oblasti oceláren, vedoucím racionalizace řízení a správy a podnikového dispečinku. Jeho zásluhou bylo zavedení exaktních metod při návrzích ocelářských technologií, zejména aplikace matema-

tických metod používaných ve výpočetním středisku. Osobně si vzpomínám na řešení úpravy technologie výroby oceli 55 SiCr, kterou Třinecké železárny vyráběly pro další zpracovávání ve Válcovnách trub v Chomutově. Příkladná spolupráce s vrcholovým vedením Třineckých železáren, zejména s podnikovým ředitelem Ing. Miroslavem Boublíkem, CSc. a technickým náměstkem Ing. Josefem Libříckým, vedla postupně k zásadní změně ve výrobě oceli – k výstavbě kyslíkové konvertorové ocelárny.

V závěru své profesní kariéry se Ing. Zámečník ve funkci vedoucího technického odboru věnoval problematice nových žáruvzdorných materiálů a návrhům nových technologických postupů při jejich výrobě s ohledem na inovaci technologického zařízení, snižování energetické náročnosti výroby, stejně jako novým, přísným požadavkům na kvalitu oceli a maximální dodržování zásad ochrany životního prostředí. I ve vysokém věku se velice zajímal o současné trendy ve vývoji ocelářství v České republice i v celosvětovém měřítku.

Odešel ocelář, technik, teoretický odborník a dobrý člověk – rozhodně významný představitel československého hutnictví.

Čest jeho památce!

*RNDr. Jaroslav Raab
Ocelářská unie a.s.*

Výstavy, veletrhy, konference



GIFA, METEC, THERMPROCESS a NEWCAST 2019

Hotspot světové slévárenské a metalurgické techniky

Düsseldorf se pod heslem „The Bright World of Metals“ stane opět po čtyřech letech centrem světové slévárenské a metalurgické techniky: přibližně 2.000 vystavovatelů se od 25. do 29. června 2019 představí na předních mezinárodních oborových veletrzích GIFA, METEC, THERMPROCESS a NEWCAST. Toto veletržní kvarteto pokrývá celé spektrum slévárenské techniky a odlitků, metalurgie a tepelného zpracování v celosvětově jedinečné šířce a hloubce záběru. Právě toto téměř kompletní pokrytí trhu je jedinečnou předností veletrhů v Düsseldorfu. „Global players“ a přední společnosti trhu jsou zastoupeni stejně jako malé, inovativní podniky. Ve dvanácti halách prezentují vystavovatelé aktuální megatrendy, inovace a nejnovější technologie. Tak obsáhlý přehled přes dění v oboru nezískají odborní návštěvníci pravděpodobně na žádném jiném veletrhu světa. Odpovídající bude v roce 2019 i mezinárodní dosah veletrhů: více než polovina z očekávaných sedmdesáti osmi tisíc odborných návštěvníků přijede na tento komplex veletrhů ze zámoří a Evropy. V Düsseldorfu můžete na čtyřech předních světových veletrzích získat kompletní přehled, vyměnit si názory s experty a dodavateli a spoluutvářet aktuální trendy pro trhy budoucnosti.

Druhým důležitým pilířem úspěchu veletrhů, známých též pod sloganem: „The Bright World of Metals“, je jejich odborný doprovodný program s mezinárodními kongresy a oborovými setkáními, např. GIFA-Treff, European Steel Technology and Application Days/ESTAD, European Metallurgical Conference/EMC, sympóziu THERMPROCESS nebo NEWCAST FORUM. Velkou roli hrají i udílené ceny jako NEWCAST Award a specializované výstavy, jako například expozice výzkumného společenství Industrieofenbau e.V. pro různé průmyslové obory.

Svou premiéru má specializovaná výstava Additive Manufacturing na veletrhu GIFA v hale 13. Ať už ve výrobě modelů, forem a jader či v oblasti přímého tisku kovů – slévárnám a jejich subdodavatelům se díky aditivním technologiím otevírají nové možnosti. Z veletrhu GIFA vzejdou silné impulzy především pro e-mobilitu a oblast lehkých konstrukcí pro automobilový průmysl.



ecoMetals & ecoMetals Trails

S kampaní ecoMetals se kvarteto düsseldorfských veletrhů ujímá aktuálního a stále důležitějšího tématu. V ohnisku pozornosti stojí efektivní využívání zdrojů a energií, ochrana klimatu a inovativní technologie a produkty. Vystavovatelé, kteří prezentují produkty, řešení nebo technologie k alespoň jednomu z těchto témat, mohou své exponáty přihlásit u příslušných pracovníků veletrhů. Návštěvníci se o nabídce vystavovatelů k tématu ecoMetals mohou informovat prostřednictvím speciální brožury k tomuto tématu nebo přímo online. Kromě toho mohou návštěvníci se zájmem o speciální exponáty stejně jako v roce 2015 využít komentovaných prohlídek.

Další informace – a také vstupenky – lze získat na adresách www.gifa.de, www.metec.de, www.thermprocess.de a www.newcast.de, resp. na stránkách www.tbwom.com.

Hutnictví ve světě

Třinecké železárny nasadily robota místo ručního způsobu nástřiku žáruvzdorné hmoty

Tisková zpráva z 28.2.2019, www.trz.cz

Náročnou lidskou práci při procesu nanášení žáruvzdorné hmoty na stěny mezipánví nahradil v Třineckých železárnách robot.

Mezipánve jsou součástí strojní výbavy každého kontiliti (ZPO) a umožňují distribuci tekuté oceli do jednotlivých licích proudů. Vnitřní povrch mezipánve tvoří vrstva žáruvzdorné hmoty, která se pravidelně znovu nanáší po opotřebení. Čas nástřiku všech vrstev je ovlivněn více faktory a pohybuje se průměrně kolem tří hodin. Během této doby jsou na stěny pánve nanášeny přibližně 2 tuny hmoty.

Nástřik mezipánve žáruvzdorným materiálem má přímý vliv na kvalitu odlévané oceli, protože nesmí docházet k odpadávání takto nanášené žáruvzdorné hmoty a jejímu vtahování do odlévané oceli. Nekvalitně provedené žáruvzdorné ošetření mezipánve může vést až k přerušení odlévání, resp. v krajním případě i k technologické havárii v důsledku protavení mezipánve.

Nasazení robota do procesu torkretování v podmínkách těžkého hutního provozu je zcela unikátní. Jeho přínos spočívá ve zlepšení pracovních podmínek zaměstnanců, odstranění namáhavé práce při ručním nástřiku, zkrácení nanášecího cyklu a dosažení vysoké rovnoměrnosti nástřiku po celém vnitřním povrchu. Významně se tak prodlouží životnost mezipánve při současné úspoře torkretovacích hmot.

Kompletní systém řízení torkretovacího pracoviště včetně řízení vlastního robota byl vyvinut zaměstnanci hutě. Automatické systémy řízení jsou dnes součástí prakticky každé nové investice směřující do technologie výroby.

Společnost Ma Steel objednává kontiliti u firmy Danieli

Ma Steel orders continuous caster from Danieli

*www.danieli.com, *Steel Times International*, May/June 2018 – Vol.42 No.4, p.4.*

Společnost Ma Steel (Maanshan Iron and Steel) objednala u italského výrobce zařízení hutních závodů Danieli dvouproudé kontiliti s poloměrem ohybu 12 m. Uvádí se,

že toto zařízení bude vyrábět největší tvarové kontislitky pro výrobu nosníků na světě.

Největší ze tří odlévaných tvarových nosníkových kontislitek bude mít rozměry 1300×510×140 mm a může se pochlibit metrovou hmotností 2700 kg/m.

Kontiliti bude dodáno se dvěma dvojíty krystalizátory, které umožní odlévání bloků o rozměrech 550×280 mm ve čtyřech proudech.

Nové kontiliti u Ma Steel bude vybaveno moderními technologickými řešeními firmy Danieli, jako je například oscilátor Q-INMO se dvojíty válci, který podepírá velké profily a poskytuje dostatečnou flexibilitu pro garantování nejvyšší povrchové jakosti.

Automatizace úrovně L1 a L2 je zajištěno Danieliho systémy, které zahrnují i řídicí systém pro přesné a vyvážené sekundární chlazení (Danieli Liquid Pool Control System). MaSteel si touto investicí konsolidoval své vedoucí postavení na čínském trhu s profily, s H-nosníky velikostí, které dříve nebyly k dispozici.

Tento projekt, který je součástí třicetipětileté strategie firmy MaSteel, je v posledních 15 letech třetím projektem v oblasti kontiliti dlouhých výrobků mezi Maanshanem a Danieli.

Broušení opěrných válců v ložiskách kapalinného tření typu X-Roll® u firmy Voest Alpine Grobblech GmbH zkracuje dobu potřebnou pro seřízení

Grinding of backup rolls in an X-Roll® oil bearing reduces setup times

SMS group newsletter 03/2018, p. 138.

Aby se zajistila požadovaná kvalita tlustého plechu, jsou opěrné válce u firmy Voest Alpine Grobblech GmbH jednou měsíčně přebroušovány. Tradiční způsob broušení s ohledem na dosažení potřebné soustřednosti vyžadoval pokaždé demontáž ložisek před broušením a pak jejich zpětnou montáž. Tato operace je časově velmi náročná (opěrný válec váží asi 230 tun) a je při ní nebezpečí poškození kuželové části válce, nebo částí ložiska. Z těchto důvodů se Voest Alpine Grobblech GmbH již před několika lety rozhodl pro broušení opěrných válců v ložiskách kapalinného tření.

Montáž a demontáž ložisek kapalinného tření opěrných válců tak může být prováděna jen jednou ročně při rutinní

inspekci komponentů ložisek. Základním požadavkem pro tento přístup je spolehlivá konstrukce ložiska kapalinného tření s ohledem na koncentricitu a trvanlivost těsnicího systému.

Oba tyto požadavky splňují ložiska kapalinného tření typu X-Roll® firmy SMS group. Precizně vyrobená pouzdra ložiskových čepů a špičkový upevňovací systém pro bezpečnou, řízenou a reprodukovatelnou montáž ložisek umožňují koncentricitu <10 μm, což není v žádném případě horší než hodnoty z původního způsobu broušení.

Životnost těsnicích těles koresponduje s provozní dobou v jednom roce, takže ložiska kapalinného tření mohou být používána na čepech opěrných válců nejméně po dobu jednoho roku. Ve srovnání s měsíční montáží a demontáží ložisek to znamená, že se ročně ušetří 365 hodin na seřizovacích časech.

Tata Steel Europe rozprodává svůj byznys

Tata Steel Europe in business sell-offs

Steel Times International, May/June 2018 – Vol.42, No.4, p.4.

Společnost Tata Steel Europe po strategické revizi svého portfolia rozprodává pět svých výrobních jednotek. Prodej se týká společnosti Cogent, která je výrobcem a zpracovatelem elektrotechnických ocelí; společnosti Kalzip, zabývající se hliníkovými střešními krytinami a plátováním hliníkem; společnosti Firsteel zabývající se povlákáním oceli; společnosti Tata Steel Istanbul Metals zabývající se povlákáním svitků; a společnosti Engineering Steels Service Centre. S výjimkou společnosti Kalzip, která je v Německu, a společnosti Tata Steel Istanbul Metals, která je v Adapazari v Turecku, jsou všechny zbývající společnosti v UK.

ArcelorMittal Ostrava a MG Odra Gas prodloužily smlouvu na dodávku technických plynů do roku 2030

www.arcelormittal.com/ostrava tisková zpráva z 21.11.2018, MF Dnes 12.12.2018, str.15, Firemní měsíčník AMO – říjen 2018, str. 3.

ArcelorMittal Ostrava a MG Odra Gas (společný podnik firem AMO a Messer) se dohodly na prodloužení smlouvy na dodávku technických plynů až do roku 2030. Dosaďadní smlouva platí jen do roku 2020. Prodloužená smlouva garantuje bezproblémové dodávky kyslíku, dusíku a argonu pro dalších 10 let s možností prodloužení i po roce 2030. Umožní se tím provoz tří tandemových

pecí na ocelárně a výroba až 2,7 mil. tun tekuté oceli ročně.

Vedení AMO považuje podepsaný kontrakt s MG Odra Gas za důležitý krok k zajištění dlouhodobé výroby v ostravské huti a zároveň za důkaz, že společnost má budoucnost i s novým vlastníkem.

Na straně dodavatele technických plynů MG Odra Gas/Messer je prodloužení smlouvy předpokladem pro nutné investice do obnovy výrobního zařízení. Významnou investicí bude výstavba nového Cold Boxu, což je centrální jednotka sloužící k dělení vzduchu a souvisejících technických zařízení. Dosáhne se tím vyšší efektivity a spolehlivosti potrubních dodávek do ostravské huti, což bude mít příznivý vliv na výrobní náklady a dodávky.

Součástí investice bude rovněž zvýšení výrobní kapacity technických plynů. Kapalný kyslík, dusík a argon z nového zařízení využije Messer pro distribuci svým zákazníkům, čímž posílí svou pozici renomovaného dodavatele technických plynů.

ArcelorMittal Ostrava podepsal smlouvu na modernizaci kontilití za 187 milionů Kč s firmou Primetals

www.arcelormittal.com/ostrava tisková zpráva z 18.12.2018, MF Dnes 5.1.2019, str.17.

ArcelorMittal Ostrava zmodernizuje zařízení pro plynulé odlévání oceli – kontilití č. 2, které vyrábí bramy pro válcovnu pásů. Modernizací se zlepší spolehlivost zařízení a omezí se prostoje. Zvýší se také kvalita oceli, která bude mít lepší vnitřní charakteristiky. Zlepší se tak konkurenceschopnost AMO.

Modernizaci provede rakouská firma Primetals Technologies, která si touto spoluprací potvrzuje vedoucí pozici ve světě v technologických službách pro zařízení na odlévání oceli.

V současné době probíhá projektování a výroba součástí pro úpravu kontilití a v posledním čtvrtletí roku 2019 se začne na modernizaci pracovat v ostravské huti.

Společnost ArcelorMittal Ostrava má pro rok 2019 na investice a běžné opravy připravenou částku asi 2,4 mld. Kč. Hlavní investicí má být modernizace kontilití. Mezi další hlavní projekty patří také modernizace primárních chladičů na koksárenský plyn, modernizace výtlačných a vodicích vozů v koksovně, modernizace spékacích pásů v aglomeraci, renovace ohřívacích pecí válcoven, nové vysokorychlostní nůžky pro kontidráťovou trať a odprášení rovnaček na středoemné válcovně.

Pro srovnání lze uvést, že společnost Třinecké železářny má letos v plánu investovat do modernizace výroby 2,7 mld. Kč.

U.S. Steel Košice postaví novou linku na výrobu elektrotechnické oceli

Ocel' Východu, 16.1.2019, www.ussk.sk

Společnost U.S. Steel Košice oznámila, že v Košicích vybuduje novou linku na výrobu neorientované elektrotechnické oceli (NGO). Nová linka představuje investici v hodnotě 130 mil. USD a bude mít kapacitu 100 kt/r. Výstavba začne v polovině roku 2019 a spuštění linky je plánováno na 4. čtvrtletí 2020.

Nová linka umožní vyrábět moderní neorientované křemíkové elektrotechnické oceli a pomůže tak uspokojit rostoucí zájem o automobily a generátory. Linka doplní již existující linku pro zpracování NGO ocelí v U.S. Steel Košice a umožní USSK získat postavení prioritního dlouhodobého dodavatele elektrotechnických NGO ocelí klíčovými globálními partnerům.

Podle prezidenta U. S. Steel Košice Jamese Bruna se linka vybuduje jako reakce na rostoucí poptávku zákazníků po vysokokvalitních NGO ocelích. Investice je důležitou složkou dlouhodobé strategie zlepšování a diverzifikace výrobních kapacit. Podstatná část objemu výroby nové linky je už smluvně dohodnutá se strategickým zákazníkem.

HANNOVER MESSE 2019

Přehled o budoucnosti průmyslu

Od 1. do 5. dubna se na světovém průmyslovém veletrhu HANNOVER MESSE očekává 6 500 firem ze 75 zemí. Nadnárodní koncerny, firmy střední velikosti a startupy představí své komponenty a systémy řešení pro výrobní produkci a zásobování energií budoucnosti. Z oborů automatizace, robotika, průmyslový software, technika pohonů a fluidní technika, energetika, subdodávky, výzkum a vývoj budou zastoupeny všechny klíčové firmy. Partnerskou zemí je v letošním roce Švédsko.

„HANNOVER MESSE je světově jedinečnou platformou propojující komponenty a systémy strojírenství a elektrotechniky s digitálními technologiemi softwarových a IT firem“, říká Dr. Jochen Köckler, předseda představenstva Deutsche Messe AG. „Pouze v Hannoveru získají návštěvníci ze zpracovatelského průmyslu a z energetiky rozsáhlý přehled o budoucnosti průmyslu a najdou ta nejlepší technická řešení pro svoje podniky.“

Více než 100 uživatelských příkladů strojového učení

„Umělá inteligence (AI) má potenciál způsobit revoluci v průmyslu“, říká Köckler. „V budoucnosti budou technologie AI řídit propojená výrobní zařízení a zlepšovat systémy průběžně. Tím se zvýší standard kvality. Výrobní procesy budou flexibilnější a efektivnější z hlediska nákladů.“

Průmyslové podniky využívají stále více výhod inovativních digitálních technologií. Hlavní roli zde hrají strojní učení a umělá inteligence, přičemž dochází k propojení dat z různých zdrojů, předchází se chybám a odstraňují se problémy. „Na základě dat umožňuje AI průběžné zlepšování procesů“, dodává Köckler. „To přináší enormní výhody pro produktivitu a kvalitu. Je to velká šance i pro Německo. Neboť AI vytváří prostor pro nové nápady: mohou to být stávající produkty obohacené o digitální služby, nebo také zcela nové obchodní modely. Na HANNOVER MESSE bude k vidění více než 100 konkrétních případů využití strojního učení. Něco takového nemá ve světě obdoby.“

K vidění budou roboty, které řeší samostatně úkoly v továrně a předávají své poznatky dalším strojům. Nebo systémy AI, které při opravách poskytují detailní instrukce a doprovázejí technika při jejich provádění. Systém se v dialogu s člověkem stále vylepšuje, protože s každou novou otázkou a s každou zpětnou vazbou nabývá dalších poznatků.

5G pro průmysl

Od roku 2020 má nový standard mobilních sítí 5G v Německu položit základ pro rozsáhlou digitalizaci hospodářství a společnosti. 5G bude důležitým mezníkem zejména pro průmysl, protože technologie budoucnosti jako strojní učení ve výrobě nebo autonomní dopravní systémy tím budou připraveny k použití. Pro HANNOVER MESSE bude proto 5G centrálním tématem. Jak Köckler vysvětluje: „5G umožní průmyslu plně využít potenciál, který přináší Průmysl 4.0.“

Práce v budoucnosti

Vedoucí téma „Industrial Intelligence“ přináší ale ještě mnohem více než chytré technologie: a sice digitální propojení lidí a strojů ve věku umělé inteligence.

„Když hovoříme o přednostech umělé inteligence, neznamená to, že se můžeme zříci lidské inteligence – naopak“, říká Köckler. „Zodpovědnost, kreativita a vůdčí schopnosti – s těmito vlastnostmi bude člověk v budoucnu i nadále hrát nejdůležitější úlohu v průmyslu.“

– z tiskové zprávy –

Obsah Hutnických listů 2018

Hlavní recenzované články / Main Reviewed Articles

Název článku	Autoři	HL	strana
Pevná paliva, koksárenství / Solid Fuels, Coke Making			
Nová metoda pro predikci pevnosti koksu po reakci (CSR) New Method for Prediction of Coke Strength after Reaction (CSR)	prof. Ing. Zdeněk Klika, CSc.; Ing. Jana Serenčíšová	6	5–9
Výroba oceli / Steel Making			
Possibilities of Controlled Reduction of Chromium from the High-chromium Slag in Production of Steels Možnosti řízené redukce chromu z vysoce chromové strusky při výrobě oceli	doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Ing. Zdeněk Carbol; prof. Ing. Jiří Bažan, CSc.; doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.; prof. Ing. Zdeněk Adolf, CSc.; Ing. František Chowaniec, Ph.D.; Ing. Michal Sušovský; Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Ing. Oldřich Salva, Ph.D.	1	3–11
Effect of Chromium on the Surface Tension of Fe-C-Cr Model Alloys Vliv chromu na povrchové napětí Fe-C-Cr modelových slitin	Mgr. Vlastimil Novák; doc. Ing. Lenka Řeháčková, Ph.D.; doc. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.; Ing. Lubomíra Drozdová; prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.	5	3–8
Stanovení regresní rovnice pro výpočet teplot fázových přeměn oceli Determination of Regression Equation for Calculation of Phase Change Temperatures of Steel	doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.; prof. Ing. Karel Michalek, CSc.; Ing. Radim Miček; Ing. Michaela Strouhalová; Ing. Jana Sviželová; Ing. Josef Walek	6	10–14
Vliv výšky liciho kůlu na porozitu a segregace odlitého ingotu The Effect of the Height of Casting Pole on Porosity and Segregations of the Cast Ingot	Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.	6	94–98
Tváření / Forming			
Vliv výchozího strukturního stavu a parametrů ohřevu na tvařitelnost středně uhlíkové oceli Effect of the Initial Structural State and of the Heating Parameters on Formability of the Medium-carbon Steel	Ing. Petr Kawulok, Ph.D.; Bc. Michal Kempný; prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.; Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.; Ing. Stanislav Rusz, Ph.D.; Ing. Petr Opěla, Ph.D.; Ing. Vojtěch Ševčák	5	13–18
Hledání optimálních hodnot parametrů v modelech přirozeného deformačního odporu prostřednictvím umělých neuronových sítí a genetických algoritmů Searching for Optimal Values of Parameters in Natural Flow Stress Models Utilizing Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms	Ing. Petr Opěla, Ph.D.; prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.; Ing. Petr Kawulok, Ph.D.; Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.; Ing. Stanislav Rusz, Ph.D.; Ing. Vojtěch Ševčák	6	15–22

Název článku	Autoři	HL	strana
Studium vlivu deformace a vysokoteplotní austenitizace na transformační kinetiku oceli P620Q Study of Effect of Deformation and High-temperature Austenitization on the Transformation Kinetics of P620Q steel	Ing. Vojtěch Ševčák; Marek Benč; Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.; Ing. Petr Kawulok, Ph.D.; prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.; Ing. Petr Opěla, Ph.D.; Ing. Petra Turoňová, Ph.D.	6	23–28
Microstructure and Mechanical Properties of EN AW 6082 Aluminium Alloys after ECAP Mikrostruktura a mechanické vlastnosti slitiny hliníku EN AW 6082 po aplikaci ECAP	doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.; prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.; prof. Ing. Miroslav Kursá, CSc.	6	36–41
Vliv zvětšení teplosměnné plochy a jejího tvaru na průběh tuhnutí a tváření nového typu ingotu pomocí numerické simulace Influence of Enlargement of Heat Exchange Surface and its Shape on the Course of Solidification and Forming of the New Type of Ingot by Numerical Simulation	Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Mgr. Marek Vindyš; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.	6	99–106

Materiálové inženýrství / Material Engineering

Effects of Statistical Distribution of Micro-Cracks on Scatter of Fracture Toughness of Steels under Conditions of Brittle Failure Vliv statistické distribuce mikrotrhlin na rozptyl lomové houževnatosti ocelí za podmínek křehkého porušení	Ing. Vratislav Mareš; prof. Ing. Bohumír Strnadel, DrSc.; Ing. Martin Kraus, Ph.D.; Ing. David Dvořák	6	42–46
Vliv doby stárnutí na zpevnění tří typů vysokomanganových ocelí Influence of Ageing Time on Strengthening of Three High Manganese Steel Types	prof. Ing. Eva Mazancová, CSc.	6	47–50
Hodnocení zbytkové životnosti trubkové oceli 15 128 pomocí zkoušek malých vzorků Evaluation of Residual Life of Pipe Steel 15 128 by using Small Punch Tests	Dr. Ing. Zdeněk Kuboň; Ing. Jana Kosňovská	6	51–57
Fracture Toughness of High Strength Steels for Parts Prepared by Metal Injection Molding Lomová houževnatost vysokopevnostních ocelí pro díly vyrobené injektováním do formy	Ing. Martin Kraus, Ph.D.; Ing. Vratislav Mareš; Ing. Radek Tomášek; Ing. Mgr. Dědková Kateřina, Ph.D.; Lukáš Horský; Ing. David Dvořák	6	58–62
Lomové chování homogenních svarů z oceli HR3C během creepu při 650 a 700 °C Creep Rupture Behaviour of Homogeneous Welds Made of HR3C Steel at 650 and 700°C	Ing. Jakub Řehořek; prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň	6	63–67
Vliv lokality odběru na hodnocení lomového chování velkých výkovků používaných v energetickém strojírenství Influence of Place of Sampling on Evaluation of Fracture Behaviour of Large Forgings Used in Power Engineering	Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Ing. Šárka Stejskalová	6	68–72
Hodnocení vlivu povlakování hydroxyapatitem na smáčivost a korozní vlastnosti oceli 1.4404 Evaluation of Influence of Hydroxyapatite Coating on Wettability and Corrosion Properties of 1.4404 steel	Ing. Josef Hlinka, Ph.D.; Ing. Mgr. Kateřina Dědková, Ph.D.	6	78–83

<i>Název článku</i>	<i>Autoři</i>	<i>HL</i>	<i>strana</i>
Investigation of Fretting Fatigue Failure of Stud Bolt Analýza porušení svorníku kontaktní únavou	<i>Ing. Radek Tomášek; Ing. Adéla Podepřelová; Lukáš Horsák</i>	6	111–114
Vliv složení a způsobu přípravy biokeramických mikrokuliček na jejich velikost a strukturu Influence of the Composition and the Way of Preparation of Bioceramics Microspheres to their Size and Structure	<i>Ing. et Ing. Taťána Fenclová; prof. Ing. Zdeněk Jonšta, CSc.</i>	6	115–119

Koroze / Corrosion

Měření změny pH na čele trhliny a rozvoj korozního praskání pod napětím u vysocepevných martenzitických ocelí Measurement of pH Factor Change at the Crack Tip and the Development of Stress Corrosion Cracking of High Strength Martensitic Steels	<i>prof. Ing. Zdeněk Jonšta CSc.; doc. Ing. Petr Jonšta Ph.D.; Ing. et Ing. Taťána Fenclová</i>	5	8–12
Struktura a korozní vlastnosti vybraných magnetů typu NdRE-Fe-B s povlaky niklu a zinku Structure and Corrosion Properties of Selected NdRE- Fe-B Type with Ni and Zn Coatings	<i>doc. Ing. Lasek Stanislav, Ph.D.; Ing. Kateřina Konečná, Ph.D.; Ing. Josef Hlinka, Ph.D.; doc. Ing. Kateřina Skotnicová, Ph.D.</i>	6	73–78

Ekologie, recyklace, druhotné zpracování materiálu / Environmental Protection, Recycling, Secondary Material Processing

Procesy recyklace a využívání odpadů v šachtových pecích Processes of Waste Recycling and Utilization in the Shaft Furnaces	<i>doc. Ing. Silvie Brožová, Ph.D.; doc. Ing. Pavlína Pustějovská, Ph.D.; Ing. Monika Zbránková</i>	6	89–93
--	---	---	-------

Automatizace technologických procesů / Automation of Technological Processes

The Use of Data Mining for the Optimization of the Control Model of the Reheating Furnace Využití data miningu k optimalizaci řídicího modelu ohřívací pece	<i>Mgr. Ing. Tomáš Tykva; doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D.; Ing. Vendula Fialová</i>	2	3–6
Using of Weibull Distribution in Diagnostics of Technological Processes Využití Weibullova rozdělení při diagnostice technologických procesů	<i>Ing. Lucie Hořínová; doc. Ing. Jiří David, Ph.D.</i>	2	7–10
The Use of Data Mining for the Optimization of the Control Model of the Reheating Furnace Využití data miningu k optimalizaci řídicího modelu ohřívací pece	<i>Ing. Tomáš Plaček; doc. Ing. Jiří David, Ph.D.</i>	2	11–14
Selected Aspects of Modelling in the Metallurgical Industry Vybrané aspekty modelování v hutním průmyslu	<i>Ing. Dagmar Špičková; prof. Ing. Zora Košťálová Jančíková, CSc.; Mgr. Ing. Tomáš Tykva</i>	3	3–6
The Use of Data Mining for the Optimization of the Control Model of the Reheating Furnace Využití data miningu k optimalizaci řídicího modelu ohřívací pece	<i>Mgr. Ing. Tomáš Tykva; doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D.; Ing. Vendula Fialová</i>	4	3–6

Název článku	Autoři	HL	strana
Using of Weibull Distribution in Diagnostics of Technological Processes Využití Weibullova rozdělení při diagnostice technologických procesů	Ing. Lucie Hořínová; doc. Ing. Jiří David, Ph.D.	4	7–10
The Use of Data Mining for the Optimization of the Control Model of the Reheating Furnace Využití data miningu k optimalizaci řídicího modelu ohřívací pece	Ing. Tomáš Plaček; doc. Ing. Jiří David, Ph.D.	4	11–14

Řízení jakosti / Quality Management

Present Approaches to the Analysis of Repeatability and Reproducibility of the Measurement Systems Súčasný prístup k analýze opakovateľnosti a reprodukovateľnosti systémov merania	Ing. Pavlína Mikulová; prof. Ing. Jiří Plura, CSc.	3	7–12
Modulation of Magnetic Field by Steel Rope Defects Modulace magnetického pole vadami ocelových lan	doc. Dr. Ing. Michal Lesňák; prof. Ing. Jaromír Pištora, CSc.; Ing. Vladimír Vrabko; Ing. Jan Kroupa	6	84–88
Využití softwaru pro hodnocení segregací u ocelových drátů v podmínkách TŽ, a.s. Use of software for evaluation of segregation in steel wires in TŽ, a.s.	Ing. Jan Kufa	6	107–110

Výroba trubek / Tubes Production

Fyzikální simulace válcování a zušlechťování bezešvých trubek z nízkolegované Cr-Mo oceli AISI 4130 Physical Simulation of Rolling, Quenching and Tempering of Seamless Tubes Made from Low-Alloy Cr-Mo Steel AISI 4130	prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.; Ing. Petr Kawulok, Ph.D.; Ing. Stanislav Rusz, Ph.D.; Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.; Ing. Horymír Navrátil; Ing. Radek Jurča; Ing. Rostislav Turoň	6	29–35
--	---	---	-------

Ekonomika, organizace, řízení / Economy, Organization, Management

Analýza stability výrobního procesu prostřednictvím ukazatelů štihlé výroby Analysis of Stability of the Production Process by means Lean Production Indicators	doc. Ing. Petr Besta, Ph.D.; Ing. Andrea Sikorová, Ph.D.; doc. Ing. Kamila Janovská, Ph.D.	1	12–15
Optimization of Logistics Costs in Dispatch Processes of Metallurgical Enterprises Optimalizace logistických nákladů v expedičních procesech hutních společností	Ing. Tomáš Malčic; prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.; doc. Ing. Petr Besta, Ph.D.; Mgr. Martin Čech; Ing. Pavel Wicher, Ph.D.	2	15–21
Application of Activity Based Costing Method in Heat Treatment Processes Aplikace metody Activity Based Costing v procesech tepelného zpracování	Ing. Petr Balon; prof. Ing. Jana Buchtová, CSc.; Ing. Andrea Sušková	3	13–18
Optimization of Logistics Costs in Dispatch Processes of Metallurgical Enterprises Optimalizace logistických nákladů v expedičních procesech hutních společností	Ing. Tomáš Malčic; prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.; doc. Ing. Petr Besta, Ph.D.; Mgr. Martin Čech; Ing. Pavel Wicher, Ph.D.	4	15–21

Informační články / Information Articles

Název článku	Autoři	HL	strana
--------------	--------	----	--------

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

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2017 a 2018 vůči prosinci 2016	Ondřej Štec	1	16
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2017 a 2018	Ondřej Štec	2	19
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2017 a 2018	Ondřej Štec	3	22–23
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2017 a 2018	Ondřej Štec	4	44
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2017 a 2018	Ondřej Štec	5	19
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2017 a 2018	Ondřej Štec	6	120–122

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Information on Economical Activities of companies, Institutions and Research Workplaces

Vnější aspekty ovlivňující rozvoj metalurgie	doc. Ing. Václav Kafka, CSc.	2	20
Ekonomika pozdní fáze svého cyklu	RNDr. Pavel Sobišek	6	123–125
Měření chladicích účinků trysek sekundárního chlazení ZPO	Ing. Petr Petr Kotrbáček, Ph.D.; Ing. Tomáš Luks, Ph.D.; prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.	6	126–130

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

Konference „Teorie a praxe výroby oceli“		2	24
Hutníci si na dvacátých pívních slavnostech užili skvělou zábavu		3	25
Konference METAL 2018 se konala v květnu v Brně		3	27
HUTĚ - Unikátní výstava fotografií Viktora Máchy v Praze i v Ostravě		3	28
Brno hostilo 55. slévárenské dny	doc. Ing. Václav Kafka, CSc.	6	131–132
Česká hutnická společnost je členem elitního sdružení	Jaroslav Pindor	6	133

Ze života škol / Information on Activities of Universities

Ostravské Noci vědců se zúčastnilo osm tisíc návštěvníků		5	21
Študuj na fakultě budoucnosti		5	22
Osobnosti na Fakultě materiálů, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach		6	134
Šedesátiny prof. Ivo Schindlera. Dárek Dětskému domovu Úsměv ve Slezské Ostravě		6	135

Název článku	Autoři	HL	strana
--------------	--------	----	--------

Historie hutnictví / History of Metallurgy

Historie výroby kovů a její obraz v bibli. 9. část: Útočné zbraně, zbroj, bezpečnostní a obranné komponenty	Ing. Ladislav Jílek, CSc.	1	17–21
Historie a proměny vítkovické měďárny. 1. část: Výroba cementační mědi	Ing. Ludvík Tejzr; Mgr. Radomír Sed'a	1	22–27
Poznámka redakce k článku Historie a proměny vítkovické měďárny		1	28
Historie výroby kovů a její obraz v bibli. 10. část: Společenská úloha kovů	Ing. Ladislav Jílek, CSc.; Ing. Jan Počta, CSc.	2	25–29
Historie výroby kovů a její obraz v bibli. 11. část: Politická, mocenská a strategická úloha kovů	Ing. Ladislav Jílek, CSc.; Ing. Jan Počta, CSc.	3	29–32
Epilog k seriálu Historie výroby kovů a její obraz v Bibli publikovaném v Hutnických listech, roč. 69 – 71 (2016 – 2018)	Ing. Jan Počta, CSc.	4	45–47
Historie a současnost Nové šamotky Velké Opatovic	Ing. Ladislav Kašpar	4	48–51
Rozvoj hutnictví v souvislosti s vývojem železnic. Část 1 – Vývoj kolejnic	Ing. Ladislav Jílek, CSc.	5	23–25
Rozvoj hutnictví v souvislosti s vývojem železnic. Část 2 – Složená kola	Ing. Ladislav Jílek, CSc.	6	136–141

Nová literatura / New Literature

Rob Boom, Chris Twigge-Molecey, Frank Wheeler, Jack Young Metallurgical Plant Design	Recenze Ing. Josef Kuběna, CSc.	1	29–30
Poznámka redakce k recenzi knihy Metallurgical Plant Design		1	31
prof. Ing. Karel Tomášek, CSc. Zaniknuté hutnické technologie neželezných kovů na Slovensku,	Recenze prof. Ing. František Kavička, CSc.	1	32–34
Kulturní dědictví Vítkovických železáren (Recenze prof. RNDr. Ivo Kraus, DrSc., FEng.)	Miloš Matěj; Irena Korbelářová; Ludvík Tejzr	2	30

Společenská kronika / Social Chronicle

Odešel pan prof. Ing. Karel Stránský, DrSc.		1	35
K nedožitým 90. narozeninám prof. Ing. Longina Tomise, CSc.		4	52
Ing. Milan Hajduk, CSc. se dožil 90 let		5	26–27
Odešel prof. Ing. Karel Matocha, CSc.		6	142–143

Redakční článek / Editorial Article

Etický kodex časopisu Hutnické listy		1	44
--------------------------------------	--	---	----

Název článku	Autoři	HL	strana
Hutnictví ve světě / Metallurgy in the World		4	53–54
Hutnictví ve světě / Metallurgy in the World		5	28–30
Obsah Hutnických listů 2017 / Content of the Metallurgical Journal 2017		1	36–43



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU

Ministerstvo průmyslu a obchodu pořádá již třetí ročník soutěže Přeměna odpadů na zdroje. Přihlásit se můžete do konce března 2019.

Dejme novou šanci druhotným surovinám. To je motto již 3. ročníku soutěže Přeměna odpadů na zdroje, kterou v rámci osvěty a vzdělávání v oblasti oběhového hospodářství pořádá Ministerstvo průmyslu a obchodu. Soutěž je určena pro výrobní podniky, stavební firmy, provozovatele služeb, obcím, městům a dalším orgánům veřejné správy, také žákům a studentům všech typů škol a mimoškolních zařízení. Příjem soutěžních projektů, prací a návrhů byl zahájen a potrvá do 31. března 2019.

Zodpovědné a udržitelné využívání surovinových zdrojů, které máme jako lidstvo k dispozici, se stalo nutností. Nelze se vyhybat zodpovědnosti za způsob, jakým užíváme limitované přírodní zdroje. Jedním z pilířů surovinové politiky je tedy i odpovědné uvažování o tom, jak co nejefektivněji se surovinami zacházet a jak je udržet v hodnotovém řetězci co nejdéle.

Každým rokem se soutěže zúčastňuje stále více firem a škol s řadou zajímavých projektů, které ukázaly kreativitu a nápaditost ve využívání druhotných surovin v různých oborech podnikání a studia. Je to důkaz, že český průmysl, obce, města i vzdělávací instituce si umí rychle osvojit nové směry v různých oblastech a poskytnout tak příklady dobré praxe, jako je v tomto případě účinné využívání zdrojů.

Soutěžít o hodnotné věcné i zážitkové ceny lze celkem v 7 kategoriích. Všechny potřebné informace včetně přihlášky najdete na webu soutěže <https://druhotnasurovina.mpo.cz/>.

Slavnostní vyhlášení výsledků soutěže a ocenění vítězů se bude konat dne 6.6.2019 ve Valdštejském paláci Senátu PČR.