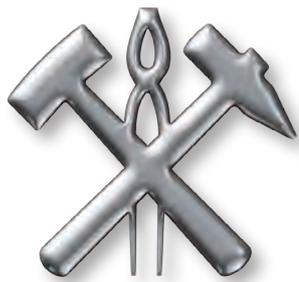


ROČNÍK/VOL. LXX
ROK/YEAR 2017

4

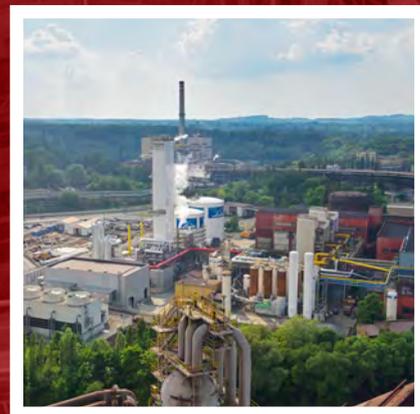


Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

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

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069



TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY



ET ENERGETIKA TŘINEC
AKCIOVÁ SPOLEČNOST



**STROJÍRNY A STAVBY
TŘINEC**

KVALITA PROVĚŘENÁ ČASEM QUALITY THROUGH THE AGES



KONTISLITKY	BLOKY	BRAMY	SOCHORY	KOLEJNICE	DROBNÉ KOLEJIVO
ÚHELNÍKY ROVNORAMENNÉ	KRUHOVÁ, ČTVERCOVÁ A ŠESTIHRANNÁ OCEL				
TYČE TAŽENÉ A LOUPANÉ	PLOCHÁ A ŠIROKÁ OCEL	VÁLCOVANÝ DRÁT			
TAŽENÝ DRÁT	OCELOVÉ BEZEŠVÉ TRUBKY				

CAST BLOOMS AND BILLETS	BLOOMS	SLABS	BILLETS	RAILS
RAILWAY ACCESSORIES	EQUAL ANGLES	ROUND, SQUARE, AND HEXAGONAL STEEL		
DRAWN AND PEELED BARS	FLAT BARS AND UNIVERSAL PLATES			
WIRE ROD	DRAWN WIRE	SEAMLESS STEEL TUBES		



TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY

TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a. s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec
tel.: +420-558-531 111, fax: +420-558-331 831

WWW.TRZ.CZ

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

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

Podkladová fotografie / Underlying photograph

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

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairman

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika

Členové / MembersIng. Michal Baštinský
Ing. Karel Hala
prof. dr. hab. inž. Leszek Blacha
prof. dr. hab. inž. Henryk Dyja
prof. Ing. Vojtěch Hrubý, CSc.
Ing. Henryk Huczala
prof. Ing. František Kavička, CSc.
Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.
prof. Ing. Karel Matocha, CSc.
prof. Ing. Ludovít Parířák, CSc.
Ing. Jiří Petřela, Ph.D.
Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.
Ing. Vladimír Toman
prof. Ing. Karel Tomášek, CSc.
Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s., Ostrava, Česká republika
U. S. Steel Košice, s.r.o., Košice, Slovenská republika
Politechnika Śląska, Katowice, Polsko
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
Univerzita obrany, Brno, Česká republika
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
VÍTKOVICE, a.s., Ostrava, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
Hutnictví železa, a.s., Praha, Česká republika
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika
ArcelorMittal Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika

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

Časopis vychází 6x ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné základní 1190 Kč, studentské 20 % sleva proti potvrzení o studiu. K předplatnému se připočítává poštovné vycházející z dodávek každému odběrateli. Po dohodě se zahraničními odběrateli je možno stanovit cenu v Euro (€) jako souhrnnou včetně poštovného. Předplatné se automaticky prodlužuje na další období, pokud je odběratel jeden měsíc před uplynutím abonentního období písemně nezruší prostřednictvím listinné nebo elektronické pošty. Objednávky na předplatné přijímá redakce nebo SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9-Horní Počernice, Česká republika (+420 225 985 225, send@send.cz). Informace o podmínkách publikace, inzerce a reklamy podává redakce.

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

© OCELOT s.r.o., 2017

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.

© OCELOT s.r.o., 2017

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

- Ing. Jan Czudek* 4
Quo vadis české a evropské hutnictví?

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

- Dr. Ing. Zdeněk Kuboň; Ing. Miroslav Liška, CSc.; Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.* 5
Development of a New Type of Chromium Modified Steel
Vývoj nového typu chromové modifikované oceli
- Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Ing. Šárka Stejskalová* 11
Evaluation of Material Properties of Welded Joint of Component for Nuclear Power Stations of the type MIR 1200
Hodnocení vlastností svarového spoje pro komponenty jaderných elektráren typu MIR 1200
- Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Ing. Zdeněk Kuboň* 17
Utilization of Potential Method for Measurement of Kinetics of Crack Growth Rate for Materials in Power Industry
Využití potenciálové metody měření kinetiky růstu trhlin pro materiály v energetice
- Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Jan Špička* 24
Utilization of Neural Networks for Evaluation of Material Properties of Structural Steels based on SPT Results
Využití neuronových sítí pro identifikaci materiálových vlastností konstrukčních ocelí z výsledků SPT

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

- Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Ing. Zdeněk Carbol, Ph.D.
prof. Ing. Jiří Bažan, CSc.; doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.* 30
Nitrogen in Chromium Melt during Use of Oxygen-nitrogen Nozzle at Low Pressure, Preparation of the Experiment
Dusík v chromové tavenině během používání kyslíko-dusíkové trysky za sníženého tlaku, příprava experimentu
- Ing. Petr Klus, Ph.D.; Ing. Roman Szturc; Ing. Petr Faruzel; Ing. Radek Hermann
doc. Ing. Róbert Findorák, PhD.; prof. Ing. Mária Fröhlichová, CSc.; doc. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.* 35
Vliv antracitu na proces spékání a kvalitu aglomerátu
Effect of Anthracite Coal on Sintering and Sinter Quality
- Ing. Petr Klus, Ph.D.; Ing. Jan Kufá; Ing. Petr Faruzel; Ing. Roman Taska; Ing. Radek Hermann* 40
Vliv prosazování koksu hrášku na provozní parametry vysokých pecí
Effect of Nut Coke Charging on Operational Parameters of Blast Furnaces

Ing. Zdeněk Solowski; Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.; Ing. Milan Plevko; Ing. Karel Milan Čmiel, Ph.D. 45
Ing. Radek Cieslar

Možnost predikce povrchové kvality vývalku z automatové oceli 9MnS28 pomocí laserové triangulační metody

Current Possibilities of Prediction of Surface Quality of the Rolled Product Made of Free-Cutting Steel 9MnS28 with the use of Laser Triangulation Method

Mgr. Marek Vindyš; Ing. Miroslav Melkus 50

Porovnání laboratorních výsledků a numerické simulace tahové zkoušky řetězu

Comparison of Experimental Results and Numerical Simulation of the Chain Tensile Test

Informační články / Informative Articles

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

Ondřej Štec 56

Hutní výroba v ČR a SR. Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2017

Ing. Vladimír Toman 58

Vybrané ekologické aspekty rozvoje v odvětví hutnictví železa

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

Ing. Jan Čepec 62

Obnova kompresoru na Vodárně 3 ve společnosti ENERGETIKA TŘINEC, a.s.

Revamping of Compressor at the Water Tower No. 3 in the company ENERGETIKA TŘINEC, a.s.

Ing. Grzegorz Podolewski 64

Bruska sochorů BBS 16

Ze života škol / Information on Activities of Universities

doc. Ing. Iveta Vasková, PhD. 67

Košická Hutnícka fakulta má nové meno

Historie hutnictví / History of metallurgy

Ing. Ladislav Jílek, CSc., Ing. Jan Počta, CSc. 68

Historie výroby kovů a její obraz v bibli. 6. část: Damascénské meče

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části

- TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. • MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.
- Energetika Třinec, a.s. • Strojírny a stavby Třinec, a.s. • Technická univerzita v Košiciach
- Ocelářská unie a.s. • redakce

Inzerce

- TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.



Quo vadis české a evropské hutnictví?



Ing. Jan Czudek

Evropské ocelářství je pod tlakem a roste riziko, že se výroba oceli v Evropě bude nadále snižovat, což ponese ohrožení tisíců pracovních míst nejen přímo v hutnictví, ale také v navazujících a obslužných odvětvích. Nejen ocelárny, rafinérie či cementárny se obávají nových regulačních opatření Evropské komise. Boj s dumpingem je nepružný. Evropské hutnictví je tak poškozováno importem čínské oceli, což je důsledek nadbytečných výrobních kapacit v Číně. V minulém roce sice k určitému poklesu importu oceli z Číny do Evropské unie došlo, nicméně již ve druhé polovině roku 2016 vzrostl téměř o desetinu import oceli z dalších zemí – zejména Íránu, Indie, Jižní Koreje nebo Turecka. Evropská unie (EU) naštěstí začala vnímat důležitost uplatnění nástrojů na ochranu trhu a vážně uvažuje o zrušení pravidla nižšího cla (LDR) tak, jak je Evropská komise v minulosti navrhla. To by mělo postupně obnovit férové obchodní podmínky, které naše odvětví potřebuje ke své existenci. V souvislosti s těmito záležitostmi projednávají orgány Evropské unie legislativu modernizace nástrojů ochrany trhu (TDI), k čemuž dochází také v souvislosti s možným udělením statutu tržní ekonomiky Číně v rámci Světové obchodní organizace (WTO).

Dalším fenoménem, na kterém je budoucnost evropského ocelářství silně závislá, je systém obchodování s emisními povolenkami. Čeští, stejně jako evropští oceláři samozřejmě podporují ambice EU v boji proti změnám klimatu. Oni sami však již vynakládají nemalé finanční prostředky na výzkum a vývoj, což se projevuje v neustálém snižování emisí CO₂, nemluvě o projektech na snižování emisí skleníkových plynů, které využívají ocel jako nezbytný materiál. Návrh na revizi evropského systému obchodování s povolenkami (EU ETS) pro období let 2021 – 2030, neboli tzv. čtvrtá obchodovací etapa, však představuje pro oceláře v Evropě velké ohrožení. Stále ještě nevíme, jak bude obchodování s emisními povolenkami v tomto období probíhat, protože jednání mezi institucemi EU a hutníky, na němž se měly zúčastněné strany pokusit dohodnout na určitém kompromisu, ani nezačalo. Dosavadní návrh prodeje emisních povolenek je pro ocelářství velmi nepříznivý a znamenal by pro české oceláře navýšení nákladů v tomto období o více než o 18 mld. Kč. Tak nad námi visí hrozba ničivého vlivu dodatečných nákladů, což doposud nebylo zohledněno ani ze strany Rady, ani ze strany Evropského parlamentu. V případě, že nebude současný návrh revize emisních povolenek EU ETS upraven, dojde k zavírání hutí po celé Evropě. Tento problém se netýká pouze ocelářů; i další energeticky náročná odvětví průmyslu se stávají existenčně ohroženými. Cíle pro ochranu globálního klimatu tak mohou být vykoupeny zavíráním firem, propouštěním, ztrátou technologického know-how a dovozem oceli ze třetích zemí, při jejíž výrobě se do ovzduší vypustí mnohem více CO₂ než dnes souhrnně v celé Evropě. Taková je, bohužel, realita. Není, myslím, třeba zdůrazňovat, že zde skutečně jde o přežití našeho odvětví v České republice.

Další aktuální otázkou je čtvrtá průmyslová revoluce, respektive módně nazývaná Průmysl 4.0, která je dominantním tématem dneška i budoucích let. Není pouze předmětem techniky, má i další dimenze, a to zaměřením na individuální potřeby zákazníka, řešení složitých otázek konkurenceschopnosti a zároveň reforma právních záležitostí spojených s technikou, ochranou dat a v neposlední řadě nedostatek kvalifikovaných pracovních sil. Pro zachování konkurenceschopnosti v hutním sektoru bude zapotřebí dále posouvat výrobu směrem ke konečnému produktu a vysokému stupni finalizace za současného snižování nákladů a zvyšování kvality výrobků. Pokračování v nastoupeném trendu automatizace a robotizace výroby, který je i reakcí na snižující se dostupnost lidských zdrojů, proto bude v následujících letech velmi důležité. Dlouhodobá strategie přežití ocelářství v ČR spočívá ve stabilizaci dodávek výrobků, umění je efektivně zhodnotit a neumožnění jakékoli deformace rovnocenných podmínek v obchodních vztazích. Proexportní aktivity vedoucí k setrvání v konkurenčním pásmu špičkových výrobců oceli jsou podstatným jmenovatelem našich ambicí.

Ing. Jan Czudek
předseda představenstva a generální ředitel
Třinecké železářny a.s.

Recenzované vědecké články

Development of a New Type of Chromium Modified Steel

Vývoj nového typu chromové modifikované oceli

Dr. Ing. Zdeněk Kuboň; Ing. Miroslav Liška, CSc.; Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.

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

The article outlines the development and verification of properties including the long-term creep strength of a new type of creep resistant chromium modified steel, which target material characteristic is 150 MPa of creep rupture strength at 650°C and that will find application in a pressure system of newly-built power plants (ultra-supercritical boilers). The development of this steel was initiated under the CRESTA project, where two modifications of chemical composition were set up in order to obtain either a steel without Z-phase or a steel with the modified Z-phase based on tantalum. Experimental melts were made and their properties and structure were analyzed in a comprehensive manner, including long-term creep tests. At the same time, filler metals and welding processes were developed, too.

The prospective results achieved under the project CRESTA are at present (2014-2018) followed-up by the project CRESTA 2, funded by the European Research Fund for Coal and Steel (RFCS).

Key words: Creep; chromium modified steels; pipe; material properties of steel and weldments

V článku je nastíněn postup vývoje a ověřování vlastností včetně dlouhodobé creepové pevnosti nového typu žárupevné oceli patřící do skupiny modifikovaných chromových ocelí, jejíž cílovou materiálovou charakteristikou je hodnota meze pevnosti při tečení při teplotě 650 °C ve výši 150 MPa a která nalezne uplatnění v tlakovém systému nově budovaných energetických kotlů velkých výkonů, tzv. ultra-superkritických kotlů (USC). Vývoj této oceli byl zahájen v rámci projektu CRESTA, kde se na základě poznatků o nepříznivém vlivu přítomnosti Z- fáze na bázi Cr(Nb,V)N na dlouhodobou creepovou odolnost modifikovaných chromových ocelí vyčlenily dva směry úpravy chemického složení s cílem získat buď ocel zcela bez Z-fáze, nebo ocel s modifikovaným složením Z-fáze na bázi tantalu, který nahradí niob. Byla vyrobena experimentální tavba oceli bez Z-fáze (Nb-free) a komplexně analyzovány její vlastnosti i struktura včetně dlouhodobých creepových zkoušek. Rovněž byl vyvinut přídavný svařovací materiál a postupy svařování. V článku jsou uvedeny výsledky creepových zkoušek základního materiálu trubky, prováděných při teplotě 600, 650 a 700 °C, a homogenního svarového spoje na tlustostěnné trubce při teplotě 600 a 650 °C, a to vše spolu s metalografickou analýzou creepového poškození v místě lomu, ke kterému došlo v jemnozrnné oblasti tepelně ovlivněné zóny (tzv. lom IV. typu). Dále článek uvádí výsledky proměření mikrotvrdosti přes svarový spoj v oblasti poškození. Na základě porovnání creepové pevnosti základního materiálu a svarového spoje byl stanoven redukční koeficient pevnosti svarového spoje (SRF faktor) ve výši 0,57, což je méně než pro oceli P 91 i P 92, u nichž tento parametr dosahuje hodnot nad 0,60.

Na nadějně výsledky, které byly v rámci projektu CRESTA získány, navazuje v současné době (2014-2018) pokračovací projekt New Creep Resistant Stable Steel for USC Power Plant (CRESTA 2) financovaný evropským fondem Research Fund for Coal and Steel (RFCS).

Klíčová slova: Creep; chromové modifikované oceli; trubka; vlastnosti oceli a svarových spojů

The degradation of long-term creep strength and oxidation resistance with increasing temperature limit the capability and lifetime of components fabricated from ferritic-martensitic steels. The strategy for improvement of temperature capability of these materials is to engineer microstructure for an optimum performance by knowledge-based modelling approaches, i.e. to optimize compositions and heat

treatment in order to stabilize microstructures over an extended time period. This should be based on improved understanding of degradation processes including the detailed knowledge of Z-phase precipitation and coarsening. The development of these new steels started within the frame of CRESTA (New Creep Resistant Stable Steel for USC Power) project sponsored by EU Commission in 2008-2012) [1].

From this project, two types of 11 – 12 % Cr modified steels emerged, which showed very promising results:

- *Nb-free steel*; a steel with a long-term stable MX (VN) precipitates, which will provide good creep strength. The idea was to remove elements, which promote Z-phase precipitation, such as Nb, to reduce the Co content to save cost and to optimize the boron and nitrogen contents to improve the properties of welded joint and reduce the type IV cracking sensitivity;
- *Z-phase strengthened steel*; a steel that exploits tantalum addition and formation of fine and dispersed tantalum based Z-phase (CrTaN) that replace the strengthening effect of the unstable MX precipitates.

The paper describes the properties of the semi-industrial heat made of Nb-free steel.

1. Z-phase in chromium modified steels

Z-phase of Cr(V,Nb)N type is thermodynamically the most stable nitride in 9 – 12 % Cr steels alloyed with V, Nb and N but was never observed in these steels in the as-tempered state. In a 12 % Cr steel the Z-phase was found to replace nearly all MN nitrides after 12,000 hours at 660°C, but an accelerated heat treatment at temperature 725°C up to 1,000 hours on the same steel in the normalized and tempered condition could not provoke the Z-phase formation due to the solution temperature of the Z-phase being close to 800°C [2]. Modelling of the Z-phase transformation using MatCalc software showed that the VN dissolution accelerates after 3,000 hours at 650°C and confirmed an excellent correlation between VN removal from the steel and the loss of creep rupture strength [3]. The best known commercial example of such breakdown is the 12Cr-2W steel (T/P122) widely used for construction of power plants in Japan, but it is now being completely replaced by 9 wt.% Cr steels, such as grade P 91.

Z-phase was long known to precipitate in austenitic steels as CrNbN type. In contrast to the Z-phases in martensitic chromium modified steels, the Cr(Nb,V)N precipitates very rapidly in low carbon austenitic steels as small and finely distributed rod-like particles, and it has a pronounced strengthening effect, being thermally stable with a very low coarsening rate [4]. According to classical nucleation theory the Z-phase could be expected to nucleate already during tempering, since it is the most stable nitride. However, the MN nitrides are found to nucleate much faster, and once formed they lower solid solution concentrations of V, Nb and N, which are necessary for the Z-phase formation. The Z-phase does not nucleate according to the classical process, i.e. through the formation and growth of critical embryos, but it is created by Cr-diffusion from the ferrite matrix into the pre-existing MN nitrides having face cubic centered (FCC) unit cell, where CrMN FCC unit cell is formed. Later on, nitrogen and chromium

atoms are ordered into the layered tetragonal unit cell structure of the Z-phase [5]. This complicated nucleation process is not yet completely understood and no good model of the nucleation process of the Z-phase exists. This complicates a prediction of maximum acceptable Cr content of the V and Nb containing martensitic steels, and evaluation of long-term stability of existing chromium modified steels.

2. Nb-free steel, production and properties

The long-term creep strength of the 9 – 12 wt.% Cr martensitic steels relies primarily on precipitation strengthening by small and finely distributed particles of (V,Nb)N. Even though these particles have a very low coarsening rate, they are not thermodynamically stable and will in time be replaced by a nitride known as the Z-phase, Cr(V,Nb)N, which is the cause of the microstructure instabilities [2, 3]. It was found that the Z-phase precipitated as large and coarsely distributed particles that did not contribute to strengthening and consumed the MX particles during their growth, causing a significant drop in creep strength. This replacement process is very slow and can even last decades at service temperatures. However, an increase in the overall Cr content from 9 wt.% to 12 wt.% causes a critical acceleration of this process from decades to years. This causes a breakdown in creep strength within the lifetime of the power plants.

2.1 Production and properties of steel pipe

One way how to cope with this problem is to completely avoid niobium addition into Cr-modified steels. This so-called Nb-free steel was produced in the form of semi-industrial melt on vacuum-pressure induction melting (VPIM) device with the capacity of 1.7 ton in Materials and Metallurgical Research, Ltd., Ostrava. The heat was melted in argon atmosphere and refined in vacuum, then the ingot was refined by electroslag remelting process (ESR) and the final pipe of $\varnothing 219 \times 25$ mm was produced by piercing and pilgrim rolling, Fig. 1. Then the pipe was normalized at 1060°C, cooled in air and tempered at temperature 750°C for 6 hours.



Fig. 1 Sawing of ends of pipe after rolling on the pilgrim mill
Obr. 1 Řezání konců trubky po vyválnování na poutnické stolici

The target chemical composition of Nb-free steel is stated in Tab.1 together with the composition of manufactured pipe. Yield stress (YS), ultimate strength (UTS), elongation (A) and reduction of area (RA) tested

at room temperature (RT), as well as at 550, 600 and 650°C in transverse direction are summarized in Tab. 2 together with hardness HV.

Tab. 1 Chemical composition of Nb-free steel, target and that of pipe (wt.%)

Tab. 1 Chemické složení Nb-free oceli, cílové a trubky (hm. %)

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
target	0.10-0.12	0.47-0.53	0.35-0.40	≤0.02	≤0.01	10.80-11.20	0.12-0.16
pipe	0.12	0.46	0.35	0.010	0.004	10.60	0.16
	W	Co	V	Ti	Al	B	N
target	2.40-2.60	2.80-3.00	0.20-0.25	≤0.05	≤0.05	0.0050-0.0080	0.020-0.030
pipe	2.31	2.6	0.25	<0.10	0.025	0.0044	0.027

Tab. 2 Mechanical properties of manufactured pipe

Tab. 2 Mechanické vlastnosti vyrobené trubky

Temperature (°C)	YS (MPa)	UTS (MPa)	A (%)	RA (%)	HV
RT (+20)	615	785	25	66	258
550	387	448	29	80	-
600	307	365	31	85	-
650	210	271	34	91	-

The produced pipe exhibited a homogeneous microstructure through wall thickness consisting of tempered martensite with very few islands of delta ferrite phase, with size in the range 2 – 10 μm present at mid-wall and outer surface, see Fig. 2. Quite similar grain size distribution through the wall thickness was also observed with mean austenite grain size (AGS) in the range 32 – 35 μm (G = 6.5), Fig. 3.

Dilatometer test has been performed on the Nb-free steel pipe in order to determine the phase transformation temperatures. The change in length as a function of temperature is shown in Fig. 4. It was found that the Ac₁ and Ac₃ temperatures are 860 and 915°C, respectively, and M_s and M_f are 325 and 165°C, respectively.



Fig. 2 Microstructure at the outer surface of the pipe
Obr. 2 Mikrostruktura na vnějším povrchu trubky



Fig. 3 Austenite grain structure at the outer surface of the pipe
Obr. 3 Zrna austenitu u vnějšího povrchu trubky

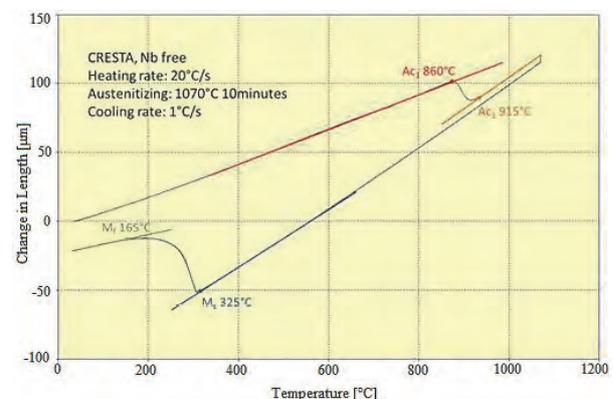


Fig. 4 Results of dilatometry test on pipe material
Obr. 4 Výsledek dilatometrické analýzy materiálu trubky

2.2 Welding and welded joints

Various multi-pass fusion arc welding methods are employed in USC plants for headers and pipework fabrication. Welding of 11 % Cr-class steels can be accomplished with GTAW, SAW, SMAW and FCAW methods. SAW process offers significant productivity potential where it can be used (i.e. PA position), with FCAW following next. GTA welding is most often successfully employed for performing root pass in joining pipes, while SMAW is often the preferred method for repair or for welding in-field in locations with difficult access. Similar to the base materials, the weld metal microstructure consists after PWHT of a tempered martensite. This has to be obtained also in multilayer weldments. For design purposes, weld metal has to have comparable tensile (short-term) and creep rupture strength as the parent steel, sufficient ductility, and impact toughness, ferritic matrix that promotes similar thermal expansion behaviour, which limits thermal fatigue damage of thick-walled welded components during high temperature service.

As the principal application of Nb-free steel is intended for headers and piping, the welding programme was performed according to WPQR requirements of EN ISO 15 614 [6] for thick walled components. The circumferential butt weld was manufactured by using GTAW method (141) of welding in position PA with limited grinding between the layers. Wires with diameter 2.4 and 3.2 mm with matching chemical composition were used as a filler metal. Preheating at the temperature range 200 – 250°C and maximum interpass temperature 250°C were applied. Necessary post weld heat treatment was subsequently performed in accordance with requirements for grade P 92.

Material analyses according to EN ISO 15614-1 were performed on weld joint including NDT, tensile testing at ambient and elevated temperature, side bend tests, impact tests of weld metal and heat affected zone, hardness testing at cover and root pass cross to the weld, analyses of macrostructure and microstructure across to the weld (HAZ, weld and base metals). All the performed tests have confirmed good material properties of welded joints.

2.3 Creep testing of pipe and welded joints

As the developed material is intended for high temperature use in USC blocks, one of the principal characteristics is the creep resistance of base material, as well as weld joints. Therefore, creep testing program of the base metal has been launched at temperatures of 600, 650 and 700°C and at temperatures 600 and 700°C in the case of welded joint. All stress rupture tests were performed in accordance with the standard ISO 204 [7]. The results of the base metal and weld joint are illustrated in Fig.5 recalculated as the stress dependence of Larson-Miller parameter P_{LM} according to the Eq. (1) [8]:

$$P_{LM} = T \cdot [\log(t) + C] \quad (1)$$

with the usual meanings of the variables. Constant C equals to 26.8, which is the value calculated by the method of least squares from data stated in [9] and valid for P 92 steel.

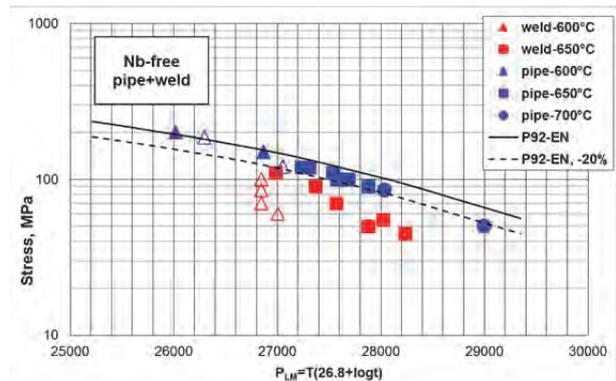


Fig. 5 Stress dependence of Larson-Miller parameter of base material and weld joint of the steel Nb-free

Obr. 5 Závislost napětí na Larson-Millerově parametru pro základní materiál a svarový spoj oceli Nb-free

Full points in Fig. 5 represent the ruptured specimens, while empty points are still running creep tests. The solid line labelled P92-EN represents the standardized mean creep strength of the steel P 92 according to [9] and the dashed line the lower -20% tolerance limit. All the results confirmed slightly worse creep resistance compared to the P 92 steel and very pronounced drop of creep strength of welded joint at least at 650°C.

2.4 Rupture location analysis of creep specimens of Nb-free steel weldment

Macrostructure and microstructure of the ruptured creep specimens of Nb free-steel weldment was analysed using optical microscopy with the special attention to identification of the failure location, the extent of creep cavitation damage and hardness profile measurement through the weldment. The failure locations in all analysed creep tests were practically identical, the rupture occurred in the fine-grained heat affected zone (FG-HAZ), as it can be seen in Fig. 6, when the macro-etch of the stress rupture specimen exposed at temperature 650°C and stress 70 MPa for 1,186 hours is shown.

Microstructure analysis then revealed that all the fine-grained parts of HAZ were heavily cavitated, while neither in the coarse-grained HAZ (CG-HAZ) nor in the weld metal and/or base material revealed any signs of cavitation damage, compare Figs. 7 to 10.



Fig. 6 Macrostructure of the stress rupture specimen exposed at 650°C/70 MPa/1,186 h

Obr. 6 Makrostruktura creepové zkoušky po expozici 650°C/70 MPa/1186 h



Fig. 7 Heavy cavitation in the fine-grained HAZ of the specimen creep exposed at 650°C/70 MPa/1,186 h
Obr. 7 Rozsáhlá kavitace jemnozrné oblasti TOO po creepové zkoušce po expozici 650 °C/70 MPa/1186 h

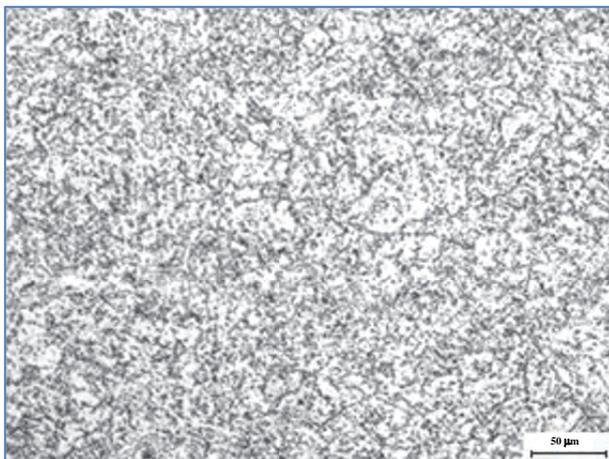


Fig. 8 Cavity free microstructure of the coarse-grained HAZ of the specimen creep exposed at 650°C/70 MPa/1,186 h
Obr. 8 Mikrostruktura hrubozrné oblasti TOO bez kavit po creepové zkoušce po expozici při 650 °C/70 MPa/1186 h

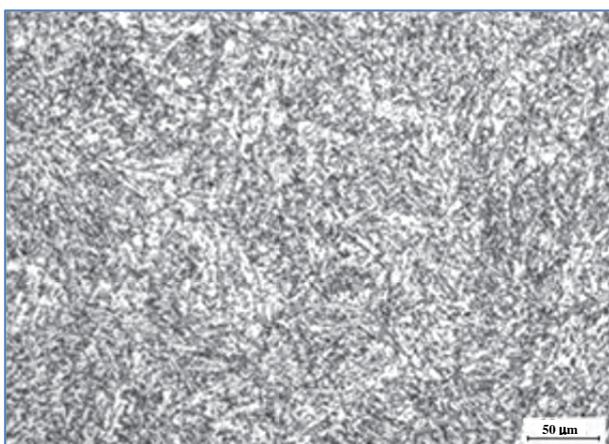


Fig. 9 Cavity free microstructure of the weld metal of the specimen creep exposed at 650°C/70 MPa/1,186 h
Obr. 9 Mikrostruktura svarového kovu bez kavit po creepové zkoušce po expozici při 650 °C/70 MPa/1186 h

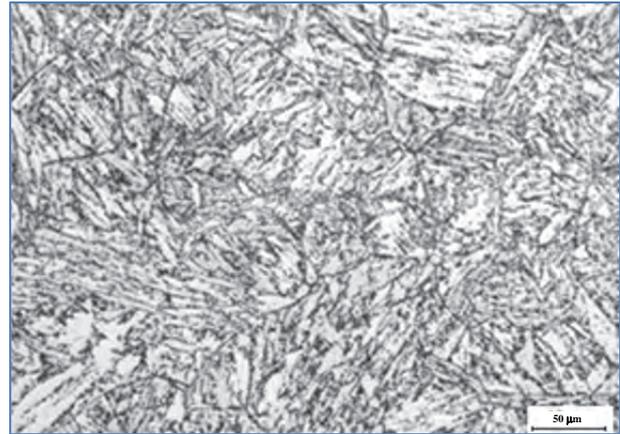


Fig. 10 Cavity free microstructure of the base metal of the specimen creep exposed at 650°C/70 MPa/1,186 h
Obr. 10 Mikrostruktura základního materiálu bez kavit po creepové zkoušce po expozici při 650 °C/70 MPa/1186 h

Microstructural analysis was complemented by microhardness measurements HV 1 across the whole weldment. The hardness profile is shown in Fig. 11 through the individual parts of weldment, as well as with marked location of the failure. It is clear that failure did not occur in the place with the minimum hardness, that is in the base metal, but in HAZ when the hardness fluently dropped down from the fusion line towards the base metal.

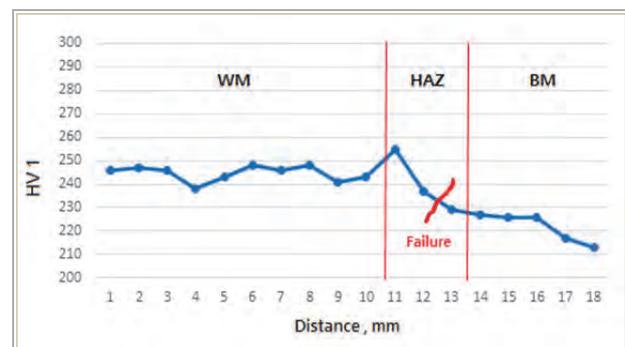


Fig. 11 Hardness profile of creep exposed specimen at 650°C/70 MPa/1,186 h
Obr. 11 Profil mikrotvrlosti HV 1 přes svarový spoj creepové zkoušky po expozici 650 °C/70 MPa/1186 h

Heat affected zone or, more precisely its fine-grained part thus again proved as the weakest part of the welded joints of chromium modified steels.

3. Discussion of results

Although significant improvements in high temperature properties of ferritic steels have been achieved by alloy modification, creep properties of the weld joints have been found to be inferior to those of the base material and the weld metal. This is due to the problem of Type IV cracking, a fracture in the HAZ close to the base metal during high service temperature or during a creep test. The inter-critical HAZ (IC-HAZ) is heated to a maximum temperature between A_{c1} and A_{c3} and the

FG-HAZ is heated to just above A_{c3} [10, 11]. Both these zones have therefore essentially a very fine structure. In both FG-HAZ and IC-HAZ the previous fine austenite grains formed during welding thermal cycle transform, depending on the chemical composition, to martensite/bainite during cooling. In IC-HAZ, not all the ferrite transforms to austenite during heating and hence some ferrite remains untransformed throughout the welding thermal cycle. As the peak temperatures, to which these zones are heated, are not very high and duration of heating is short, many of the precipitates do not dissolve in the austenite matrix, but they rather coarsen. In contrast to this, in the CG-HAZ, the transformations of the matrix and the dissolution of precipitates is almost complete and hence the structure is similar to that of the normalized steel at the end of the welding thermal cycle.

Although Type IV cracking is a well-known problem in ferritic steels, its significance is greater in the newly developed grades, because the difference in the rupture strength of the base metal and the weld joint is higher for these steels than for conventional CrMo steels [12]. Further it is reported that there is a significant evidence to indicate that Type IV cracking in advanced fossil power plants may become a problem of concern at temperatures above the temperature of 565°C [13]. It has been found that in some of the new generation steels, the rupture life for the weld joint can be as low as 20 % of that of the base metal at high temperatures and long rupture times [14].

The best way how to compare the creep rupture strength of the base material and welded joints is to analyse the results of parallel long-term creep tests of both weld joints and base material, i.e. the pipe used for preparation of the welded joint. In this case, the strength reduction factor (SRF) can be expressed in the form:

$$SRF = \frac{R_{mT}(weld)}{R_{mT}(pipe)} = f(t_r, T) \leq 1 \quad (2)$$

where $R_{mT}(weld)$ and $R_{mT}(pipe)$ are the creep rupture strengths of weldment and of the base material (pipe).

As the stress rupture tests of both welded joint, as well as of the base material were performed simultaneously, it was possible to calculate the SRF factor at least for the temperature of 650°C and 10,000 hours. The calculated SRF is 0.57, which is even less than in the case of the formerly tested and calculated SRF on P 91 (0.70) and P 92 (0.68) steels for 650°C/10⁵ h [15, 16].

Conclusions

The results and know-how acquired at the testing of material Nb-free in the frame of CRESTA project are at present exploited for development of a new generation of microstructurally stable very high chromium martensitic steels for components in advanced ultra-supercritical (A-USC) power plants with steam operating temperature in the range of 650 – 700°C that

are under development in the follow-up project “New Creep Resistant Stable Steel for USC Power Plant” (CRESTA 2).

Acknowledgement

Authors of the paper thank to for the received funding from the Research Fund for Coal and Steel in the frame of the project RFS-CT-2014-00032 “New Creep Resistant Stable Steel for USC Power Plant” (CRESTA 2).

Literature

- [1] HASEGAWA, Y., OHGAMI, M., OKUMARA, Y. *Quantification of the factors for Type IV softening of tungsten containing creep resistant steel ASME Gr.92*. Proc. of Third Conference on Advances in Materials Technology steel tubes with specified elevated temperature properties, CEN, 2002, 42 p.
- [2] Di GIANFRANCESCO, A. et al. *New Creep Resistant Stable Steel for USC Power (CRESTA)*. Final report, 2014, ISBN 978-92-79-35039-9.
- [3] STRANG, A., VODÁREK, V. Z phase formation in martensitic 12CrMoVNb steel. *Materials Science and Technology*, 12 (1996) 7, 552–556.
- [4] DANIELSEN, H. K., HALD, J. Behaviour of Z phase in 9–12%Cr Steels. *Energy Materials*, 1 (2006) 1, 49–57.
- [5] VODÁREK, V. Creep behaviour and microstructural evolution AISI 316LN+Nb steels at 650 °C. *Materials Science and Engineering A*, 528 (2011) 4232–4238.
- [6] DANIELSEN, H. K. Review of Z phase precipitation in 9–12 wt-%Cr steels. *Materials Science and Technology*, 32 (2016), 126–137.
- [7] EN ISO 15614-1:2004+A2:2012. *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys*. It replaces EN 288-3 which only covered steel. CEN. 2012.
- [8] ISO 204. *Metallic materials - Uniaxial creep testing in tension - Method of test*. CEN. 2009.
- [9] LARSON, F. R., MILLER, J. Time-Temperature Relationship for Rupture and Creep Stresses. *Trans. ASME*, 74 (1952), 765–775.
- [10] EN10216-2:2002 *Seamless steel tubes for pressure purposes – Technical delivery conditions, Part 2: Non-alloy and alloy for Fossil Power Plants*. Viswanathan R., Bakker W.T, Parker J.D, Eds. London: The Institute of Metals. 2001, pp. 457–466.
- [11] TABUCHI, M., et al. Creep crack growth behavior in the HAZ of weldments of W containing high Cr Steel. *Int. J Pressure Vessel Piping*, 78 (2001), 779–784.
- [12] LAHA, K. et al. *Comparative evaluation of the creep behaviour of plain and modified 9Cr–1Mo weld joints*. In 1st International Conference on Advanced Structural Steels, Tsukuba, Japan; 2002. pp. 167–168.
- [13] MIDDLETON, C. J., BREAR, J. M., MUNSON, R., VISWANATHAN, R. *An assessment of the risk of Type IV cracking in welds to header, pipework and turbine components constructed from the advanced ferritic 9% and 12% chromium steels*. see [10], pp. 69–78.
- [14] ABE, F., KERN, T. U., VISWANATHAN, R. *Creep-resistant Steels*. Cambridge. Woodhead Publishing Limited, 2008, 678 p. ISBN 978-1-84569-178-3.
- [15] KIMURA, K. et al. Long-term creep strength and strength reduction factor for welded joints of ASME Grades 91, 92 and 122 type steels. *Int. J. Microstructure and Materials Properties*, 6 (2011) 1/2, 72–90.
- [16] MOHYLA, P., KUBON, Z., CEP, R., SAMARDZIC, I. Evaluation of creep properties of steel p92 and its welded joint. *Metallurgija*, 53 (2014) 2, 175–178. ISSN 0543-5846.

Evaluation of Material Properties of Welded Joint of Component for Nuclear Power Stations of the type MIR 1200

Hodnocení vlastností svarového spoje pro komponenty jaderných elektráren typu MIR 1200

Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Ing. Šárka Stejskalová

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

Material & Metallurgical Research Company Ltd. has been working on the project focused on the evaluation of metallurgical and mechanical properties of both homogeneous and heterogeneous weld joints used in the recent type of nuclear power stations MIR 1200. The main goal of the project is to verify welding technology, filler materials and heat treatment from the point of view of mechanical properties, structure and also unconventional materials (stress corrosion cracking, low-fatigue tests etc.). Numerical simulation of fracture behaviour and modelling of the critical condition of crack growth is also included in the project. The paper summarizes results of experimental work and numeric simulation carried out within the project TA04021746 "Research, development and verification of production technology of selected welded joints for pressure vessels of the primary circuit of nuclear power plants of the type MIR 1200". Effect of welding technology, both for homogeneous, as well as for heterogeneous weld joints including simulation of heat treatment soaking time on mechanical, fatigue and fracture properties, has been studied. Heterogeneous weld joint 08Ch18N10T – 10GN2MFA has been prepared for the experimental program and this paper deals with the results obtained for this type of weld since the results obtained for homogeneous welds were already published elsewhere. Conventional mechanical properties, as well as unconventional mechanical properties (fracture mechanics in the terms of R-curves in the air and in a water environment, low-cycle fatigue and stress corrosion cracking in water environment at elevated temperature), have been studied. Effect of elevated working temperature on structure, material properties, and corrosion resistance has been evaluated. Resistance against stress corrosion cracking in real water environment at working temperature has been studied. Experimental data have been compared with a numerical simulation using FEM.

Key words: MIR 1200; heterogeneous weld joint; low cycle fatigue; fracture behaviour; stress corrosion cracking

Článek shrnuje výsledky experimentálních prací a numerických simulací provedených při řešení projektu TA04021746 Výzkum, vývoj a ověření výrobní technologie vybraných svarových spojů pro tlakové nádoby primárního okruhu jaderných elektráren typu MIR 1200. Zabývá se studiem konvenčních a nekonvenčních vlastností heterogenního svarového spoje 08Ch18N10T – 10GN2MFA. Hlavním cílem provedených experimentů bylo posouzení výrobní technologie těchto komplikovaných heterogenních svarů a ověření jejich užitných vlastností vzhledem k předepsaným podmínkám. Rovněž bylo provedeno ověření nekonvenčních vlastností (lomová houževnatost, nízkocyklová únava, náchylnost ke koroznímu praskání při pracovní teplotě). Získané výsledky byly porovnány s numerickou simulací metodou konečných prvků.

Klíčová slova: MIR 1200, heterogenní svarový spoj; lomové chování; korozní praskání; nízkocyklová únava

In connection with the increasing consumption of electricity, the building of additional blocks of our nuclear power plants, especially in Temelín, is becoming more and more important to. Although the topic of completion of nuclear power plants is a topic that raises the public debate and becomes a pre-election issue for many politicians, it is indisputable that in the near future the realization of a central and stable source of electric power that will not burden the transmission system with sudden peaks, as is the case of supplies from renewable sources, will be necessary. The increase in the output and efficiency of nuclear power plants is currently realized by the MIR 1200 design, which

approved itself at the power plant built in Novovoronezh. The MIR 1200 design is a follow-up design of reactor of the type VVER 1000, but it eliminates some technical deficiencies and includes new technical solutions. **The primary circuit** has 4 loops and it includes a reactor, 4 horizontally positioned steam generators (type PVG-1000MKP), 4 main circulation pumps (type GCNA-1391) and a volume compensation system. The safety systems comprise, for example, the passive system of emergency cooling of the active zone and the emergency gas discharge system. The pressure in the primary circuit is 16.2 MPa and the flow rate is 86,000 m³·h⁻¹. The inlet water temperature in the

primary circuit is 298.2 °C and output 328.9 °C. **The secondary circuit** consists of steam generators, turbine, condensers, the system of low pressure and high pressure reheating of condensate water, feed and condensate pumps. The steam generator has an output of 1,602 tons of steam per hour. The turbine consists of one high-pressure and four low-pressure parts. The

steam escapes from the steam generator under a pressure of 7 MPa, its dryness is less than 0.2%. Tab. 1 shows a comparison of the main technical parameters of the existing VVER 1000 reactors after modernization and MIR 1200 [1]. The work is based on the experiments already carried out on several model homogeneous weld joints [2 - 4].

Tab. 1 Combination of evaluated welds

Tab. 1 Kombinace hodnocených svarových spojů

Parameter	VVER-1000	MIR.1200	Change (%)
Heat output (MWt)	3,000	3,200	+ 6.7
Electrical output (MWe)	1,070	1,200	+ 10.8
Average duration of shutdown (days)	40	25	- 37.5
Annual production of electric power (TWh)	7.5	9	+ 20.0
Coefficient of utilization of the installed power	0.8	0.92	+ 15.0
Volume of spent nuclear power (t/TWh)	5.5	3.5	- 36.4
Project service life of nuclear power plant (years)	30	60	+ 100

Experimental methods

The research working site (MATERIAL AND METALLURGICAL RESEARCH Ltd.) received for material analyses, two identical model heterogeneous weld joints No. 5 (Fig. 1). Both pieces were welded at the project co-researcher (VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a.s.) and they were inspected visually and subjected to other NDT (capillary tests and X-ray inspection).



Fig. 1 Welded joint No. 5

Obr. 1 Svarový spoj č. 5

Austenitic sockets were made from forgings made of CrNi stabilized steel 08Ch18N10T with dimensions $\varnothing 450/\varnothing 300 \times 160$ mm. The forgings were for testing in the state after solution annealing.

Sockets from the steel 10GN2MFA with dimensions $\varnothing 660/\varnothing 340 \times 300$ mm were in the state after hardening and tempering. A 2-layer transient weld deposit was welded after machining on both sockets by the method ROS (SMAW) with the use of the electrodes EA 395/2 and EA 400/10T (positions 2, 3). Subsequently, a 2-layer anti corrosive weld deposit was welded on the inner diameter by the method ROS (SMAW) with the use of the electrodes CL-25/1 and EA 898/21B

(positions 4, 5). After welding, the sockets with weld deposits were heat treated by the mode a 650 °C/10h. The detailed execution with positions is presented in drawing 3-N-804-096.

Weld joints of the sockets were made by the APT method using the wire Sv04Ch19N11M3 with the welding flux OF-6.

The framework process for the production of both model welds is the following:

- Mechanical machining of the sockets, incl. flaw detection of welding and weld deposit edges.
- Overlaying of the transition layers 1 and 2 on the socket 10GN2MFA by the ROS method with application of the prescribed heat treatment mode, incl. measurement.
- Flaw detection and repair of the layers 1 and 2 of the weld deposit.
- Welding of the layers 1 and 2 of anti corrosive welding on the socket 10GN2MFA sleeve by the ROS method with application of the prescribed heat treatment mode, incl. measurement.
- Flaw detection and machining of layers 1 and 2 of the weld deposit.
- Heat treatment of the overlaid sockets 10GN2MFA with the use of the mode 650°C/10h with controlled heating and cooling, incl. measurement.
- Welding of the sockets 08Ch18N10T with overlaid sockets 10GN2MFA, weld root by MIG (GMAW), method, weld joint filler by APT (SAW) method.
- Flaw detection of the weld joint.

Within the frame of the experimental program, the chemical composition of the heterogeneous weld joint along its width was also verified in individual layers of weld deposits (Fig. 2). The results of tests of mechanical properties are summarized in Tab. 2.

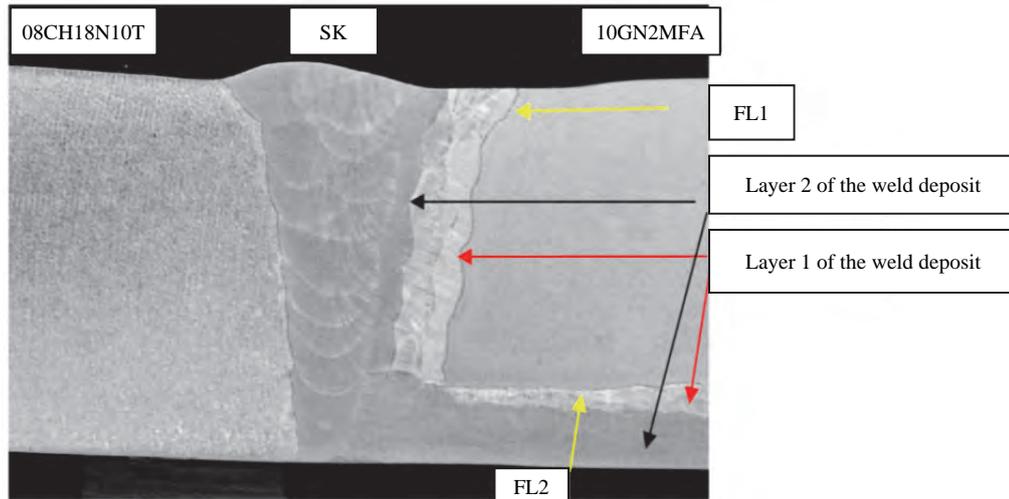


Fig. 2 Welded joint - detail
Obr. 2 Svarový spoj - detail

Tab. 2 Results of testing of mechanical properties of the welded joint and of weld deposit
Tab. 2 Výsledky zkoušek mechanických vlastností svarového spoje a návaru

		Measured values		PNAEG-7-010-89 resp. RTD 2730.300.02-91	
		Weld joint	Anti-corrosive weld deposit	Weld joint	Anti-corrosive weld deposit
	Filler material	Sv04Ch19N11M3 with welding flux OF 6	EA 898/21B	Sv04Ch19N11M3 with welding flux OF 6	EA 898/21B
20 °C	Rm	597 – 612	649 – 670	min. 491	min. 539
	Rp0.2	406 – 471	449 – 479	min. 245	min. 343
	A %	28.0 – 38.0	33.6 – 40.4	min. 25	min. 16
	Z %	59.8 – 64.1	39.8 – 42.8	min. 35	min. 30
350 °C	Rm	408 – 418	477 – 487	min. 343	min. 441
	Rp0.2	286 – 336	352 – 379	min. 196	min. 245
	A %	18.8 – 25.2	16.8 – 20.8	min. 15	min. 10
	Z %	65.7 – 75.2	28.6 – 35.6	min. 25	min. 20

Intercrystalline corrosion

The evaluation of the complex properties of the heterogeneous weld joint comprised also the assessment of its resistance to intercrystalline corrosion, which was tested according to GOST 6032-2003 by AM method.

A total of 4 corpuscles were always removed from the weld joint surface and from the anticorrosive weld deposit, which were then subjected to an initiation of the intercrystalline corrosion according to the above-mentioned norm in a defined acid solution, and which were consequently bent on the mandrel and checked for the presence of cracks. No cracks were detected.

All test corpuscles met the requirement for resistance to intercrystalline corrosion (Fig. 3).

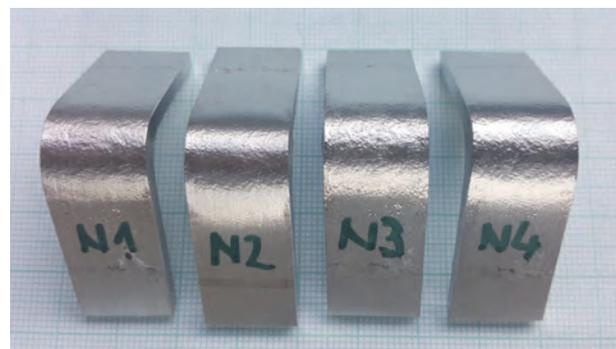


Fig. 3 Samples after IGC test
Obr. 3 Vzorčky po zkoušce MKK

Low cycle fatigue

For evaluation of resistance to low cycle fatigue, smooth test specimens with "button end" with a diameter of the loaded section of 8 mm were manufactured (Fig. 4). The test specimens were taken in the transverse or in the tangential direction of the base materials and across the weld joint.

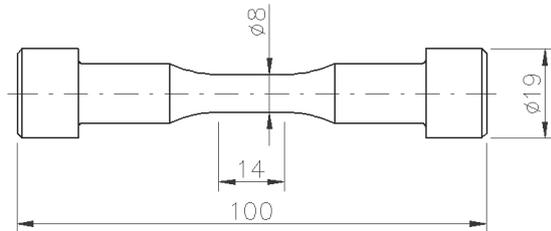


Fig. 4 LCF specimen

Obr. 4 Zkušební těleso pro zkoušky NCÚ

Test specimens for determination of the Manson-Coffin curve and of the strain hardening curve were manufactured from the experimental material. The tests of low cycle fatigue were conducted in accordance with the standard ASTM E 606 [5] at the laboratory temperature and at the temperature of 350°C on the MTS 100 kN servo-hydraulic testing device in the mode of control of axial deformation by an alternate load tension-compression. During these tests, the constant amplitude of the total strain ϵ_{ac} was maintained. Low cycle fatigue tests were performed at a constant velocity of the total strain $\dot{\epsilon}_{ac} = 4.10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Longitudinal deformation of the test bodies was read by a sensor with the 12 mm base. For a complex assessment of the material response to a plastic deformation, a cyclic stress-strain curve characterizing plastic response of material for major part of the fatigue service life was determined in the form

$$\sigma_a = k \cdot \epsilon_{apl}^n,$$

Where k is the cyclic reinforcement factor and n is the cyclic strain hardening exponent.

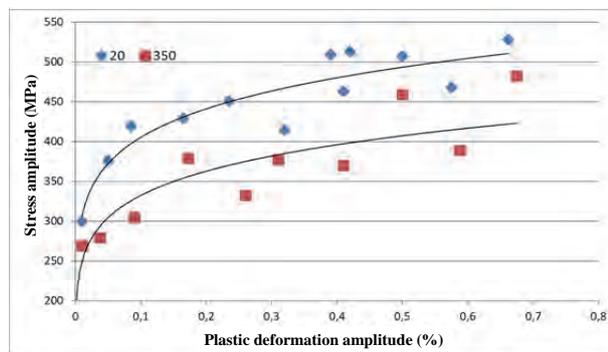


Fig. 5 Effect of temperature on cyclic stress-strain curve

Obr. 5 Vliv teploty na cyklickou křivku napětí-deformace

In this way, it was possible to construct the Manson-Coffin curve of service life and the cyclic curve of the strain hardening from the saturated values (Fig. 5),

which characterize the deformation behaviour of the material over the major part of its fatigue service life, and which are therefore material characteristics.

Evaluation of fracture behaviour and corrosion cracking

Evaluation of fracture behaviour of the steel 10GN2MFA-A was made on the basis of fracture toughness parameters at 290°C in accordance with the ASTM E1820-09 [6]. For this purpose, test specimens of type C (T) were taken with thickness $B = 12.5 \text{ mm}$ and width $W = 25 \text{ mm}$ so that the fatigue crack would propagate through the interface 10GN2MFA – weld deposit layer 1. The test specimens were then loaded at a constant speed of movement of the piston rod of the servo-hydraulic testing machine of $0.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. The heating was ensured by a three-zone furnace. The specimen temperature was measured with a NiCr-Ni thermocouple spot welded to the test specimen in the area of the fatigue crack. During each test, it was possible to detect a crack opening in the load axis using a specially developed jig.

For each test specimen, a record of the force-notch opening in the load axis was thus obtained. The fracture behaviour of the steel 10GN2MFA at 290°C is characterized by a steady growth of a ductile crack. To describe this behaviour, it is appropriate to use the concept of the so-called R-curves interpreting the dependence of the fracture toughness parameter (J -integral, critical opening of the crack δ) on a stable increment of the crack Δa . After unloading, the test specimens were fully broken in a liquid nitrogen and the initial length of the fatigue crack a_0 and its stable increment Δa were measured on the fracture areas using a microscope.

Figure 6 shows the R-curve determined at the calculation temperature, or at a temperature corresponding to the operating state on the hot collector. Remote points are caused by swerving of a crack, which should have been located at the interface of the material 10GN2MFA and the first weld deposit layer. After testing, all test specimens were subjected to fractography analysis of fracture areas in order to determine precisely the location, in which the crack propagated.

Corrosion cracking is defined as the process of initiation and subcritical growth of the macroscopic crack due to the simultaneous action of tensile stress (from external strain or stress) and corrosive environment. Learning of the regularities of corrosion cracking and corrosion fatigue consists therefore in understanding the complex interaction between the properties of the material, the properties of the environment and the manner of strain. Corrosion cracking occurs only if the stress level, properties of the corrosion environment and material properties achieve simultaneously the limit values necessary for its occurrence.

Special attention is during experiments devoted to the stage of sub-critical growth of the macro-crack, mainly because it is based on practical experiments performed on materials of really manufactured components where it is no longer possible to influence the manufacturing process itself or the technology or operating conditions that are dictated by the technical conditions of the operation of the given nuclear power plant.

Due to the fact that the sub-critical growth of cracks takes place with respect to the operating conditions (temperature) and material parameters (tough steel) by the mechanism of stable growth of the ductile crack, it is necessary to quantify it by the relevant parameters of the fracture mechanics. Stable growth of cracks can be described on the basis of the parameters of linear fracture mechanics, which is usually the stress intensity factor K ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) or the elastoplastic fracture parameter δ (mm) - the opening of the crack face or J -integral ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$).

In principle, two methods are used for assessment of corrosion cracking. The first one is based on slow tests in the uniaxial tension of cylindrical test specimens when the factor used for the assessment is the value of contraction. The second method uses a slow loading of test specimens with crack for evaluation of the fracture behaviour when the effects of the environment and temperature are reflected by a reduction of the initiation value for stable growth of the crack, or by the occurrence of an intercrystalline fracture on fracture surfaces.

Evaluation of resistance of the material of a heterogeneous weld joint made of low-alloyed bainitic steel 10GN2MFA and austenitic steel 08Ch18N10T to corrosion cracking was made on the test specimens of type C(T) with thickness $B = 12.5$ mm and width $W = 25$ mm with initial fatigue crack. Test specimens were loaded at a constant speed of movement of the piston rod $1.8\cdot 10^{-4}$ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, while even in this case, the evolution of the force- piston displacement was recorded. After loading to the selected value of the piston displacement, the test specimens were fully broken in liquid nitrogen and the lengths of the initial fatigue cracks and their stable increments were measured with the use of the measuring microscope. For the evaluation of the results, the concept of the fracture mechanics was used and the opening of the crack face δ (mm) was chosen as its parameter.

Fig. 6 shows the effect of the aquatic environment with elevated temperature and pressure on the change in fracture behaviour in comparison with the air. The change, especially in the area of the R-curve, which illustrates an intense ductile growth of the crack, is well noticeable in Fig. 6.

What is significant, however, is that the initiating values for the realisation of the ductile growth are relatively close to each other. For the value of stable increment of 0.2 mm, the value of opening of the crack on air at

290°C is equal to $\delta = 0.17$ mm. In the aquatic environment, the crack opening is then reduced to the value $\delta = 0.15$ mm, which, expressed by the stress intensity factor K , means a drop from the value of $171 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ for air to the value of $158 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ for the aquatic environment.

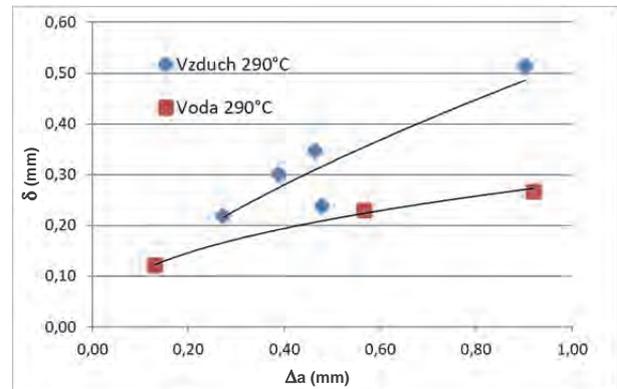


Fig. 6 Effect of water environment and working temperature on fracture behaviour of heterogeneous welded joint

Obr. 6 Vliv vodního prostředí a pracovní teploty na lomové chování heterogenního svarového spoje

The finding, that fractographic analysis of fracture surfaces of the specimens exposed to corrosion in an aquatic environment at elevated temperature and pressure did not confirm an occurrence of intercrystalline fracture, is also of great importance. It can be therefore assumed that the technological and material execution of the evaluated weld joint has a high resistance to corrosion cracking in the environment of boiler water.

Conclusions

This paper deals with the study of conventional and unconventional properties of a heterogeneous weld joint made from low alloyed bainitic steel 10GN2MFA and from austenitic stainless steel 08Ch18N10T intended for pressure vessels of the primary circuit of nuclear power plants of the type MIR 1200. The paper summarizes the results of the basic mechanical properties and compares them with the requirements of the PN AEG directive.

It follows from the obtained values that both the yield strength and the strength limit are significantly higher than the requirements, while the plastic properties (ductility and contraction) also met.

It follows from the performed chemical analyses of individual layers of the heterogeneous weld joint, that the requirements for chemical composition in the individual layers of the weld joint are also met. What concerns the unconventional properties, special attention was paid mainly to the assessment of the low cycle fatigue at the project temperature, to which the nuclear power plant components are dimensioned, as well as to the assessment of the fracture behaviour at

operating temperature and to the assessment of resistance to corrosion cracking in an aquatic environment.

The experiments have shown that the chosen material and the technological process for producing a heterogeneous weld joint can be considered optimal from the point of view of the structure and material properties.

Acknowledgements

This work was created within a solution of the project TA04021746 Research, development and verification of production technology of selected welded joints for pressure vessels of the primary circuit of nuclear power plants of the type MIR 1200 funded by the Technology Agency of the Czech Republic.

Literature

- [1] <https://cs.wikipedia.org/wiki/MIR.1200>
- [2] KANDER, L. *Research, Development and Verification of Production Technology of Selected Welded Joints for Pressure Vessels of Primary Circuits of Nuclear Power Plants of Type MIR 1200*. Report D-11/2015, Ostrava: Materiálový a metalurgický výzkum, s.r.o., December 2015.
- [3] KANDER, L., ČÍŽEK, P., HERMANOVÁ, Š., ŘÍHA, Z. Structure and Mechanical Properties of Welded Joints for Nuclear Power Plants of Type MIR 1200. In *Metallography 2016*, p. 201, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [4] KANDER, L. *Výzkum, vývoj a ověření technologie výroby vybraných svarových spojů pro tlakové nádoby primárních okruhů jaderných elektráren MIR 1200*. (Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2016) [Research, development, and verification of technology for production of selected welded joints for pressure vessels of the primary circuits of nuclear power plants of the type MIR 1200 (Expert report on work progress and achievements in the year 2016)]. Ostrava: Materiálový a metalurgický výzkum s.r.o., December 2016.
- [5] ASTM E 606
- [6] ASTM E 1820

Začíná se nedostávat oceli

Die Welt

11.04.2017

Radost a žalost leží v ocelářském odvětví často blízko sebe. Ještě před několika málo měsíci se výrobci oceli kvůli přílivu oceli z Číny a pádu cen viděli krátce před propastí. Nyní se situace naprosto otočila. Alespoň německé hutě pracují s vytížením přes 90 % na hranici svých možností, navíc EU svými antidumpingovými opatřeními dovozy oceli z Dálného východu omezila, a tím se postarala o zvýšení cen. Zotavení ocelářského průmyslu vhná ovšem do problémů jiné odvětví: zpracovatelské. „Vývoj cen oceli žene do likviditních problémů první subdodavatele“, varuje například průmyslový svaz tváření plechů (IBU). „Situace je dramatická,“ podtrhuje jednatel IBU Bernhard Jacobs v rozhovoru s novinami „Die Welt“. Ohrožuje to mimo jiné velké výrobce automobilů. Další problém vzniká u ploché oceli, přesněji řečeno u širokých pásů, válcovaných za tepla, u níž v uplynulých několika měsících stoupla cena o téměř 75 %. Na spotovém trhu stojí dnes za tepla válcované plechy kolem 570 € za tunu a to je o 240 € víc, než před rokem. Ceny zde příkře stoupají od listopadu 2016 na nejvyšší hodnotu za posledních 6 let. Zatížení pro mnohé subdodavatele jde tak do milionů. Kupuje-li dnes podnik například 7000 tun za tepla válcovaných plechů, leží vícenáklady u 1,8 mil. € Pro středostavovské podniky je to dramaticky mnoho. Cenové skoky zvyšují požadavky na likviditu a přetěžují úvěrové limity. Výsledkem jsou insolvence. Postiženo je zatím kolem 500 firem, které dodávají tvářené díly z oceli především výrobcům automobilů a systémovým dodavatelům, ale také elektrotechnickému průmyslu, strojírenství a výrobcům lékařské techniky, praček, ledniček, zámků a kování.

Schoeller Werk vyrábí přímé roury o délce 36 m

marketsteel.de

18.04.2017

Chladicí systém je centrální součástí elektrárny. Horká pára, která je nutná pro výrobu proudu, musí být za turbínou ochlazená a následně znovu přivedena do systému. Se stoupajícím výkonem elektráren se zvětšuje také sekundární okruh k chlazení systému a tam používané roury jsou delší. Ty musí současně odolávat zvýšeným požadavkům, protože jsou vystaveny silným zátěžím vysokých teplot a tlaku a každý defekt může vést ke škodám na zdraví, životnímu prostředí a věcným škodám. „Větší efektivita a větší výkonnost při maximální bezpečnosti. Tato devíza platí v energetickém odvětví již dlouho. My s našimi cennými řešeními problémů trub podporujeme naše zákazníky při optimalizaci funkční bezpečnosti jejich elektráren“, říká Markus Zimmermann, šéf týmu u Schoeller Werk. „Podle specifikace zákazníka mají naše roury průměr od 15 do 25,4 mm a sílu stěny od 0,8 do 2,11 mm. Pro jejich výrobu se používá široká paleta austenitických a feritických ocelí. Ty jsou nejen obzvlášť korozivzdorné, ale také odolné proti vysokým teplotám.“

Utilization of Potential Method for Measurement of Kinetics of Crack Growth Rate for Materials in Power Engineering

Využití potenciálové metody měření kinetiky růstu trhlin pro materiály v energetice

Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň

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

The paper summarizes results of experimental work carried out within the project TH02020071 „Research of the method of potential measuring system for monitoring initiation, stable and unstable crack growth for new industry applications”. The paper and project deal with the study of possibilities of the method of potential measuring system for measurement of crack growth rate and initiation of stable crack growth of metallic materials in high-pressure hydrogen environment, where the application of other measuring method is difficult. The main goal of this project is research and development of the method of potential measuring system that can be used for measurement of crack growth rate of fatigue cracks in high-pressure hydrogen environment and for initiation and growth measurement of creep cracks in operating power plants. Use of the measuring system will be extended to a new area of material testing and for new industry application, where creep and fatigue crack growth influencing the service life should be taken into account. Other aims of the above-mentioned project are proposal and certification of the new methodologies for measurement of crack growth rate of the fatigue cracks for special industry application, initiation, and growth of the creep cracks and evaluation of the fracture toughness of the structural steels and welds in a high-pressure environment. Theoretical background of potential methods is presented in the introductory comparison of recent methods, including the proposal of placement of electrodes that used in engineering practice. After theoretical review description of experimental works is presented, including results of measurement of crack growth rate in structural steels used for manufacturing of cylinders. The results obtained show relative high resistance against hydrogen embrittlement of the investigated steel as well as a change in fracture mechanisms in fracture surfaces in hydrogen compared to the air. All the results were obtained in newly developed High-pressure hydrogen autoclave that was built in our company.

Key words: potential method; crack growth rate; fracture toughness; high-pressure hydrogen environment

Článek shrnuje výsledky prací provedených při řešení projektu TH02020071 Výzkum měřicího systému potenciálové metody pro sledování iniciace, stabilního a nestabilního růstu trhlin pro nové průmyslové aplikace. Článek a projekt se zabývá studiem možností aplikace měřicího systému potenciálové metody pro měření kinetiky růstu trhlin a lomové houževnatosti kovových materiálů v prostředí vysokotlakého vodíku, kde je použití jiných měřících metod pro sledování růstu únavových trhlin obtížné. Využití potenciometrické metody v průmyslové praxi pro měření délek trhlin je poměrně malé. Pro širší nasazení v průmyslu doposud schází dostatek relevantních dat, geometrických kalibrací a dalších konkrétních parametrů pro optimální nastavení citlivosti snímání signálu, které se případ od případu liší. Článek sumarizuje doposud získané výsledky při řešení projektu.

Klíčová slova: potenciálová metoda; kinetika růstu trhlin; lomová houževnatost; prostředí vysokotlakého vodíku

At present, the use of the potential method in the industrial practice for measuring crack lengths is relatively small. Although numerous industrial applications exist, for which the potential method of tracking the growth of sub-critical defects would undoubtedly be a good choice, there is still a lack of relevant data, geometric calibrations, and other concrete parameters for an optimal setting of the sensitivity of the signal reading, which differ from case to case. The lack of calibration curves for individual types of materials is also limiting. For practical industrial

applications, such as measuring the growth of creep cracks in the power engineering, or measurement of the growth of cracks in enclosed pressure systems with different environments (hydrogen, water, steam, etc.), different measuring systems are still in use, but they do not enable a measurement of crack growth in situ. The article summarizes the theoretical aspects of measurement by the potential method and it summarizes also the evaluation of some initial experiments. Application of high pressure hydrogen cylinders was chosen for the first series of experimental works.

Principle of potential method

Methods using alternating potentials are methods that have been developed and proven for many decades and used for measuring surface defects, cracks, for evaluation of material properties (conductivity, permeability) and for determination of material of the sample. The main advantages of these methods include low measuring current, the smaller size of the instrument, relatively distinct measured signals, theoretically higher sensitivity to surface defects, a linear dependence of the crack length on the measured signal. The disadvantages include, in particular, rather difficult measurement of ferromagnetic materials and influencing of the measurement by the power supply conductors.

The basic principle of the method using alternating potentials, as well as of all other potential methods, is the introduction of electrical current into the investigated material and the measurement of the generated electric field. In the case of the known conductivity of the material, it is then possible to assess the presence of defects or cracks. The measurement is most often performed by a four-point method using a probe or by welding of the measuring electrodes to the material sample by spot welding (Fig. 1). The outer electrodes serve for introduction of an alternating current and for the creation of an electric field. The inner electrodes detect the difference of potentials on the material surface.

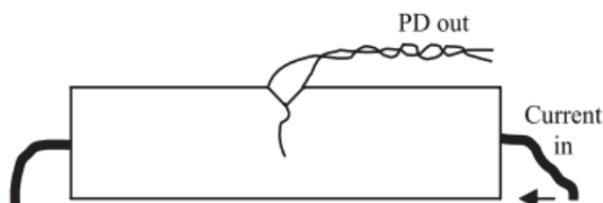


Fig. 1 Schematic diagram of the 4-point connection of electrodes for potential method [1]

Obr. 1 Schématické znázornění čtyřbodového připojení elektrod pro potenciálovou metodu [1]

The principal difference between the methods of alternating current potential drop (ACPD) and direct current potential drop (DCPD) consists in the fact that alternate methods use the skin effect described above for determination of the depth of penetration of electric field and thus for determination of the effective cross-section through which the electric current runs. Properties of the skin effect are advantageously used for measurement with the use of relatively low currents, which can produce a sufficiently large potential difference over a small cross-section without affecting the measurement by heating of material and for an increase in sensitivity to the surface defects (Fig. 2). Another advantage of the skin effect is the linear dependence between the crack size and the change in

the specific resistance of the material, which can be determined, for example, by a reference measurements at the place without defects. If the probe is situated above the material defect, the distance from the probe to the defect, which the current must overcome, is extended, which causes a greater difference in potentials of the measuring electrodes as shown in Fig. 2 [2, 3]. The measurement frequencies of alternate potential methods fluctuate commonly in the order of tens of kHz. When selecting lower frequencies, a greater depth of penetration of the generated electric field is achieved, and thus also the possibility of detecting subsurface defects. At the same time, the sensitivity to surface defects decreases.

Thanks to the long time development and high sensitivity of the methods based on eddy currents, numerous possible applications were discovered, such as measuring the sample thickness, measuring of the distance between the sample and the coil, measuring of thickness of non-conductive material on a conductive sample, detection of cracks and unevenness, and changes in conductivity and permeability.

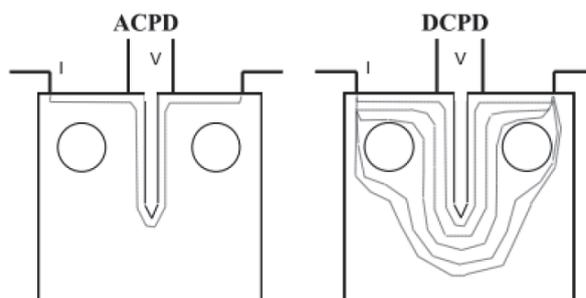


Fig. 2 Paths of current running through the crack with the use of AC potential method (left) and DC potential method (right) [2]

Obr. 2 Cesty protékajícího proudu přes trhlinu střídavou (vlevo) potenciálovou metodu a stejnosměrnou potenciálovou metodu (vpravo) [2]

Direct current potential drop methods belong to the oldest, most accurate and most widely used methods of nondestructive testing for detection of initiation, tracking of growth, and measurement of crack geometry in both laboratory and industrial tests. In addition to their simplicity and the possibility of complete automation, they have a number of advantages over other electromagnetic methods of nondestructive testing. The independence of DCPD methods on the material permeability makes it possible to measure accurately also ferromagnetic materials where both ACPD methods and methods based on eddy current fail. Other advantages include a simpler design of the direct current source, lower susceptibility to induced noise in the conductors. On the contrary, the problems related to those methods include the namely use of high currents and related possibility of heating of the sample, nonlinear calibration, and errors caused by thermoelectric voltages.

The basic principle of DCPD methods is, similarly in the case of ADPD methods, the measurement of voltage on the surface of the sample, through which passes electric current and the calculation of the specific resistance of the material. The measurement is most often performed by a four-point method, where the two outer electrodes serve to introduce the current into the measured sample and the inner electrodes serve to measure the difference of potential of the crack. The electrodes can be spot welded onto the sample (Fig. 1) or they can be applied by a measuring probe. With the extended length of the crack, the resistance of the material increases since the cross-section of the sample decreases, and the difference in potentials on the measuring electrodes increases. Crack parameters can be evaluated in the following manner:

- 1) on the basis of experimentally obtained calibration curves; this is the most commonly used method; the disadvantage is the necessity of calibration against another measuring device,
- 2) by the finite element method,
- 3) analytically – only for simple geometries.

In comparison to the ACPD methods the DCPD methods are characterized by significantly higher currents in the order of tens of A. In order to avoid an excessive and undesirable heating of the sample, pulse measurement is used. In the pulse mode, the current is introduced into the material only for the time necessary for one measurement followed by a relatively long gap before the next measurement. In the case of material tests, it is suitable to ensure synchronization with the testing (loading) equipment in order to start the measurement precisely within the load cycle when the crack is open (Fig. 3). [1]

The layout of the electrodes shown in Fig. 2 is appropriate particularly for observation of the initiation and growth of cracks in material samples.

The DCPD methods are well suited for the detection and analysis of cracks on the reverse side of the investigated material. Unlike ACPD methods, the depth of penetration of the generated electric field does not depend on the material permeability. This can be, in dependence also on the geometry of the used measuring probe, created even deep in the material. Since the density of the electric current considerably decreases with the depth, the voltage drops in comparison with the same surface crack are also smaller – see Fig. 4. Particularly in thick-walled materials, it is necessary to apply considerable measurement currents for the achievement of the required sensitivity, which, on the other hand, with use of the measuring probes can produce noise caused by transition resistances at the point of contact.

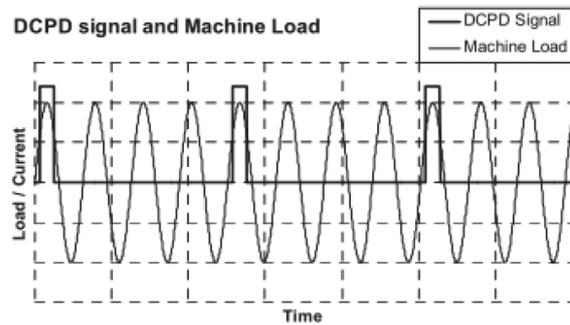


Fig. 3 Pulse DCPD method synchronized with the load cycle [1]

Obr. 3 Pulzní stejnosměrná metoda synchronizovaná se zatěžovacím cyklem [1]

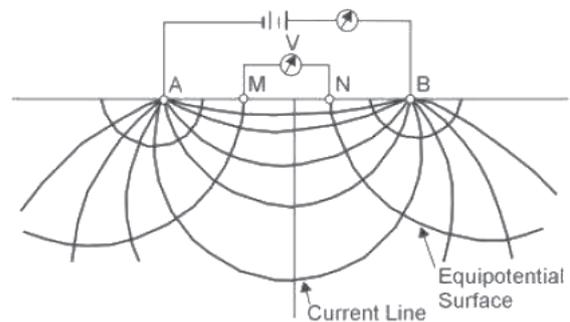


Fig. 4 Visualisation of current and equipotential lines in spatial electric field [4]

Obr. 4 Vizualizace proudových a ekvipotenciálových čar v prostorovém elektrickém poli [4]

The DCPD methods are susceptible to errors associated with the generation of thermoelectric stresses on the signal electrodes. Under ideal conditions where the sample material and the electrodes are completely homogeneous and the temperature in the measurement area is locally and temporally constant, the thermoelectric voltages are automatically read. In practice, however, the materials are non-homogeneous, the environment temperature may fluctuate over time and may not be the same in all places (temperature gradients). The solution to the problem is to a certain extent the use of the so-called quasi-DC mode when first the measurement of the difference of potentials is made with the introduced measuring current, burdened by errors from the thermoelectric voltages and immediately afterwards a measurement is performed with a zero measuring current, which measures purely the thermoelectric voltages. Error correction is made by simple subtraction of these two values. The measurement in an environment with rapid temperature changes still presents a problem. The double time of measurement, which can last even several seconds depending on the thickness and permeability of the material, is another disadvantage. The DCPD methods are used for detection of both internal and external cracks, for tracking of initiation and growth of cracks, for recognition of materials including alloys, for measurement of thickness, for measurement of conductivity (including also the poorly conductive materials such as semiconductors), for measurement of soil properties (density, porosity, resistivity), for their

identification and for creation of sub surface 2D and 3D profiles. The potential method modified by Ing. Korec, CSc. [5] from Techlab, s.r.o., is essentially a combination of the advantages of the above-mentioned AC and DC potential drop methods. It finds its application mainly in the detection and measurement of the geometry of cracks, in the monitoring of corrosion, in the measurement of thickness and of plastic deformation on steam and other pipelines and of material samples during loading tests. It took over the positive features of the DCPD methods, such as the ability to measure also the materials that cannot be measured by the ACPD methods, good repeatability, the ability to measure deep defects and cracks on the inner sides of the pipe and independence on the position of the power supply conductors. Positive properties of the ACPD methods comprise namely use of a low measuring current (typically 1A), which allows the use of lighter power supply conductors, continuous measurements without the risk of overheating, battery operation and associated improved mobility of the instrument. The method uses different properties of geometrically different potential fields formed around the current electrodes. The courses of electric potential $U(x)$ in dependence on the distance x from the current electrode, are the following [5]:

- 1) Linear – the field is deformed by the final diameter of the material. It is created, for example, in test rods or pipes of small diameters. The dependence of the electrical potential on the distances from the current electrode in the linear electric field can be expressed by the following relation:

$$U(x) = I_M \cdot \frac{\rho}{S} \cdot x, \quad (1)$$

where I_M is the measuring current, ρ is the material specific electrical resistance, S is material cross-section an x is the distance from the power supply electrode.

- 2) Planar – the field is deformed by the final thickness of the material. It is created, for example, in the vessel shells and in pipes of larger diameter. The dependence of the electrical potential on the distance from the current electrode in the planar electric field can be expressed by the following relation:

$$U(x) = I_M \cdot \frac{\rho}{t} \cdot (-\ln x), \quad (2)$$

where t is material thickness.

- 3) Spatial – the field is not affected by the final dimensions of the material. It is created mainly in thick-walled vessels and pipelines. The dependence of the electrical potential on the distance from the current electrode in the spatial electric field can be expressed by the following relation:

$$U(x) = I_M \cdot \rho \cdot \frac{1}{x}, \quad (3)$$

Parameters in the equation (3) are the same as in the previous equations (1) and (2).

Characteristic courses of potential between two electrodes are formed by superposition of the fields of the positive and negative electrode. The shape of the electric field depends on the geometry of the investigated sample and on the choice of the distances of the current electrodes. For the spatial electric field, the distance between the current electrodes a must be less than the thickness of the material t [5]. For the planar electric field, the distance between the current electrodes a must be greater than three times the thickness of the material t . [5]

The measurement is most often arranged as a *pair of four-electrode systems*, where the outer electrodes of each system serve for the introduction of the measuring current and the inner electrodes serve for measuring the difference of potentials. Both systems are located in the same place, but with different spacing so that one forms a spatial electric field serving for the measurement of the specific resistance of the material, and the other forms a flat electric field used for measurement of the thickness. The advantage of this arrangement is the independence of results on the actual temperature or on the accuracy of the measuring current. It finds its use mainly in the measurement of thicknesses and plastic deformations in steam and other pipelines [6].

Other possible configurations include a *four-electrode* system, used for measurement of crack propagation rate, especially in fatigue tests. The electrodes are situated symmetrically around the crack. The test current flows through the test sample and the difference of potentials is measured at the point of the crack. Assuming that the current is evenly distributed in the sample and that the crack size is much smaller than the sample width, it is possible to evaluate the rate of crack propagation [6].

Another possible arrangement is a *six-electrode* arrangement, which is analogous to the previous one. It serves for measurement of the geometry of the known cracks. The pair of electrodes serves for the introduction of the I_M current into the material sample. The other two pairs are symmetrically positioned over the crack but with different spacings y . On the basis of the measured differences of potentials, it is possible to evaluate the crack length. This arrangement is characterized by very good long-term stability and by suppression of the influence of material properties and temperature fluctuations on the measurement accuracy.

The *four-electrode arrangement* of the potential method in the form of a hand-held probe can be used for detection of both external and internal cracks. The evaluation is based on the relation of the individual measurements from the area of interest to the reference measurement carried out on a near location without defects, or on the same material without defects at the same temperature.

Experimental methods, results of measurements

The connection of the electrodes at the measurement of the crack growth on test specimens 1/2CT was tuned and practically tested at the measurement of the resistance of the material of the pressure cylinders to the corrosive action of high-pressure hydrogen. As a test material, the steel 34CrNiMo6 designated for production of hydrogen storage cylinders was chosen as a test material.

The test results according to the valid ISO 11114-4 [7] in high-pressure hydrogen under pressure of 15 MPa are presented in Tab. 1. The load on the test specimens was calculated on the basis of numerical simulation (Fig. 5) and it was set to $P_{max} = 346 \text{ MPa}$ [8], to which corresponded the maximum value of the stress intensity factor $K_{max} = 27 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. The coefficient of asymmetry of the cycle R was determined with respect to practical applications in industrial practice to be $R = 0.63$. The range of the stress intensity factor was calculated to be $\Delta K = 9.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. The testing frequency in the environment of pressurized hydrogen was 7 Hz.

Tab. 1 Results of the test of 34CrNiMo6 steel
Tab. 1 Výsledky zkoušek materiálu 34CrNiMo6

Specimen ID	Crack length at the start	Crack length at the end	Number of cycles	Note
	a_0	a_t		
	(mm)			
L8	10.96	10.96	50,000	not failed
	10.83	10.83		
L9	11.10	11.10	50,000	not failed
	11.15	11.15		
L10	11.13	11.13	50,000	not failed
	11.20	11.20		
L11	11.30	11.52	150,000	not failed
	11.30	11.47		
L13	11.25	11.38	150,000	not failed
	11.55	11.76		
L14	11.10	11.29	150,000	not failed
	11.10	11.22		

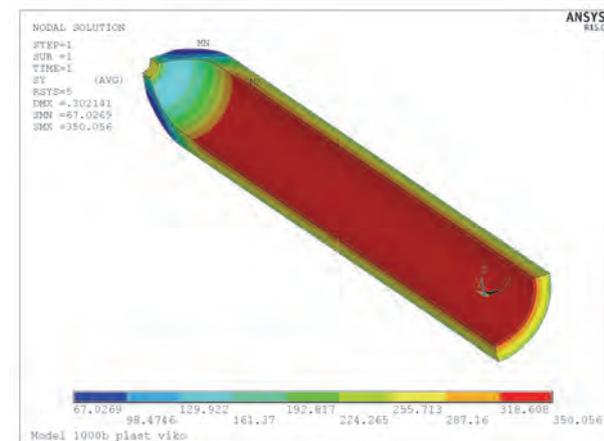


Fig. 5 Numeric simulation of evolution of stresses in the pressure cylinder [8]

Obr. 5 Numerická simulace průběhu napětí v tlakové láhvi [8]

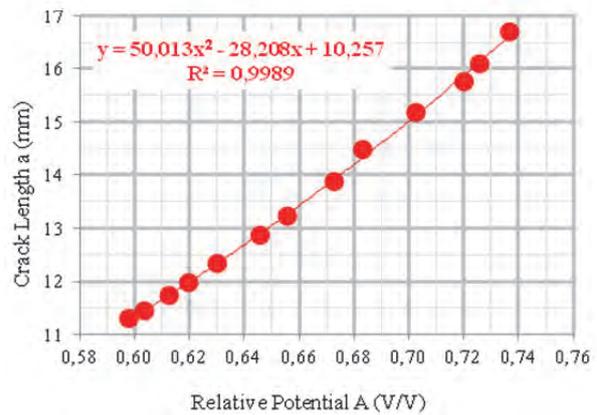


Fig. 6 Calibration curve of the ACPD method for CT specimen [9]
Obr. 6 Kalibrační křivka ACPD metody pro CT vzorek [9]

Tab. 2 Results of measurement of crack growth rate in high-pressure hydrogen environment

Tab. 2 Výsledky měření kinetiky růstu trhliny v prostředí vysokotlakého vodíku pro definovaný růst trhliny

Spec.	Average crack length at the start	Average crack length at the end	Number of cycles	Note
	a_0	a_t		
	(mm)		(-)	
L16	11.48	12.98	192,528	not failed

Table 2 shows the result of measurement of the kinetics of the fatigue crack growth in the phase of sub-critical growth when the maximal length of the defect of 1.5 mm is considered to be the limit value of permissible indication in the pressure cylinder. The testing was performed with the same parameters as in the case of results shown in Tab. 1. The crack length measurement was performed by a potential method on the basis of the calibration curve shown in Fig. 6. It is evident from Tab. 2 that for the given material, cycle asymmetry and high-pressure hydrogen environment, the number of cycles necessary for reaching the maximal permissible defect size is given by approx. 200,000 cycles. No unstable propagation took place reaching the permissible defect size.

Figures 7 to 9 show a fractographic analysis of the fracture area of the sample L16. Fig. 7 shows the visible difference between the areas of pre-cycling in the air and the actual measurement of the crack growth kinetics in the high-pressure cylinder. Details of fractographic characteristics and differences are shown in Figs. 8 and 9.

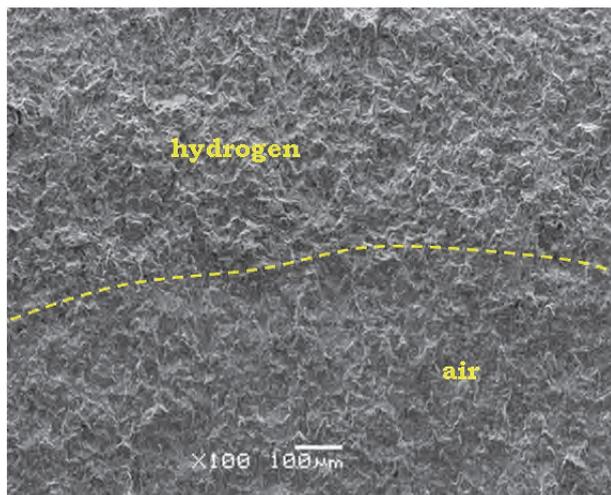


Fig. 7 Fracture surface, transition between pre-cycling area (air) and measurement of the crack growth kinetics (hydrogen)

Obr. 7 Lomová plocha, přechod mezi oblastí předcyklování (vzduch) a vlastního měření kinetiky růstu (vodík)

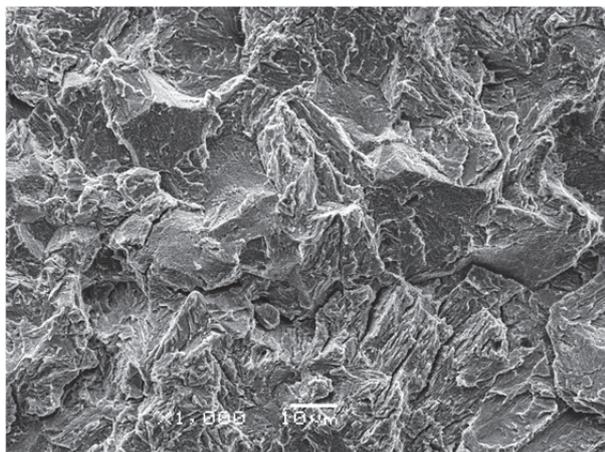


Fig. 8 Detail of pre-cycling area (air)

Obr. 8 Detail oblasti předcyklování (vzduch)

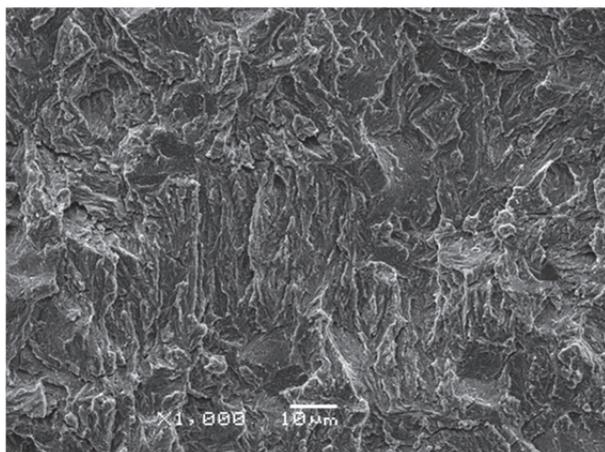


Fig. 9 Detail of the area of measurement of crack growth rate kinetics (hydrogen)

Obr. 9 Detail oblasti měření kinetiky růstu (vodík)

Conclusions

The paper deals with the study of possibilities of using the potential method for measuring the kinetics of crack growth in the CT test specimens. The paper presents a theoretical summary of aspects and possibilities of various configurations of the potential method. Parameter optimisation for individual geometries of test specimens results in significantly higher sensitivity. Wider use of this method as hitherto has been prevented by lack of knowledge of calibration curves for individual geometries of test specimens and for individual materials. This issue is addressed by the project TH02020071, which will continue until 2020. The direct practical realization output is the realised measurement of the kinetics of the fatigue crack growth in the test specimen $\frac{1}{2}$ CT in a high-pressure hydrogen environment where another method for measurement of the crack growth rate in situ is not possible.

The conducted measurements show the high sensitivity of the potential method, as well as the fact that the evaluated material for the production of the pressure cylinders shows a very good resistance to degradation caused by high-pressure hydrogen.

It follows from realised fractographic analysis that the degradation effect of high-pressure hydrogen changes the character of the fracture surface, although the rate of crack growth in the selected cycle asymmetry corresponding to real operation is very low.

Acknowledgements

This work was created within a solution of the project TH02020071 Research of the Potential Method Measurement System for the Monitoring of Initiation, Stable and Unstable Crack Growth for New Industrial Applications funded by the Technology Agency of the Czech Republic.

Literature

- [1] CLÁUDIO, R. A., MAIA, V., DIAS PEREIRA, J. M., BAPTISTA, R., BRANCO, C. M., BYRNE, J. Development of a DC Potential Drop System Controlled by Computer. In *9th Portuguese Conference on Fracture*. 2004.
- [2] SPOSITO, G. *Advances in Potential Drop Techniques for Non-destructive Testing*. London: Imperial College. 2009.
- [3] SPOSITO, G. CAWLEY, P., NAGY, P. B. An approximate model for three-dimensional alternating current potential drop analyses using a commercial finite element code. *NDT&E International*. 43 (2009), 134–140, ISSN 0963-8695.
- [4] *Resistivity Methods. Environmental Geophysics*. [Online] U.S. Environmental protection agency, Graz University of Technology, 2011. [Cit. 06. 04. 2014] http://www.epa.gov/esd/cmb/GeophysicsWebsite/pages/reference/methods/Surface_Geophysical_Methods/Electrical_Methods/Resistivity_Methods.htm
- [5] KOREC, L. *Měření deformace při tečení materiálu potenciálovou metodou [Measurement of deformation at material creep by potential method]*. Praha: Techlab, 2014.

- [6] KOREC, L. *Odečítací jednotka pro měření potenciálovou metodou Techlab SRT-4K [Reading unit for measurement by potential method Techlab SRT-4K]*. Praha: Techlab, 2007.
- [7] *ISO 11114-4: 2005 Transportable Gas Cylinders – Compatibility of Cylinder and Valve Materials with Gas Contents – Part 4: The Test Methods for Selecting Metallic Material Resistant to Hydrogen Embrittlement*.
- [8] PŘICHYSTAL, I. *Analýza bezešvých tlakových nádob na uskladnění vodíku – stanovení velikostí obvodového napětí ve*
- válcové části [Analysis of seamless pressure vessels for hydrogen storage - determination of the size of hoop stress in the cylindrical part]. Report V3141/15, Ostrava: VITKOVICE-UAM, July 2015, Brno.
- [9] KANDER, L., STEJSKALOVÁ, Š., ČÍŽEK, P. *Effect of High Pressure Hydrogen Environment on Fatigue Crack Growth Rate Properties of Structural Steel Used for Cylinders*. In *METAL 2017*, will be published

Strojírna ArcelorMittal v Ostravě vyrobí nápravy pro tramvaje na fotbalové mistrovství světa v Rusku v roce 2018

Tramvaje, které budou příští rok přepravovat fanoušky i hráče na fotbalovém mistrovství světa ve fotbale 2018 v Rusku, v sobě ponosou ocel z Ostravy. Strojírna ArcelorMittal Engineering Products Ostrava, dceřiná společnost hutí ArcelorMittal Ostrava, získala zakázku na výrobu téměř 1000 náprav pro nový typ tramvají.

„Ve výrobě tramvajových náprav máme už více než šedesát let zkušeností. Výrobu všech náprav pro nový typ tramvaje, který se bude používat na fotbalovém mistrovství světa 2018, dokončíme letos v listopadu, aby se vše stihlo včas dodat a zkompletovat,“ říká Daniel Doležal, manažer pro prodej a marketing ArcelorMittal Engineering Products Ostrava.

Nápravy jsou určeny pro nový typ moderních tramvají 71-931M "Vityaz-M", které budou během fotbalového šampionátu přepravovat fanoušky i hráče. Jedná se o vylepšenou verzi tramvaje 71-931 "Vityaz", která je zcela nízkopodlažní a pojme až 265 cestujících. Nápravy vyrobené ostravskou strojírnou ArcelorMittal budou použity pro přibližně 150 tramvají.

Strojírna ArcelorMittal Engineering Products Ostrava dodává tramvajové nápravy především svým tuzemským partnerům. Hotové tramvaje pak kromě tuzemska putují na Slovensko, do Maďarska, Francie, Turecka, Ruska a na Ukrajinu.

- z tiskové zprávy -

Inovace oceli určují budoucnost

Stahl und Eisen

4/2017

Na 21. výročním jednání deníku Handelsblatt „Ocelářský trh 2017“ v únoru v Düsseldorfu byly kromě témat a diskusních okruhů k aktuální strukturální a politickohospodářské situaci ocelářského průmyslu představeny také inovativní řešení s ocelí. Přednáškový blok prezentoval aktuální projekty a inovace týkající se vysoce výkonného materiálu ocel. Německo disponuje jedinečnou výzkumnou sítí, zabývající se ocelí, která zahrnuje univerzitní, mimouniverzitní a průmyslový vývoj a výzkum. Výzkumná síť ocelářského výzkumu sahá od dobývání rudy až k užitému produktu a zapojeny jsou všechny články řetězce tvorby hodnot. Výzkumná agenda má tři těžiště: technologie k omezování a využívání CO₂, optimalizace procesních řetězců (strategie nulových chyb, průmysl 4.0) a přidaná hodnota díky používání oceli. V Evropě se dnes vyrábí kolem 2500 normovaných ocelí. Každý rok je ca 150 ocelí v jejich vlastnostech vylepšeno a nově vyvinuto. Výkonnost oceli se dobře ukazuje na těchto čtyřech příkladech: a) karoserie z vysokopevných ocelí zachycují v průběhu několika milisekund výraznou pohybovou energii, a optimálně chrání cestující ve vozidle. Strukturální prvky z inovativních ocelí mají až o 30 % vyšší schopnost přijímat energii a to při snížené deformaci, b) písty pro diesellové motory osobních aut z vysokopevných zušlechťených ocelí mají díky vyšší mechanické a tepelné zatížitelnosti až o 30 % menší konstrukční výšku než hliníkové písty. Ocelové písty poskytují podstatný příspěvek k plnění stále náročnějších předpisů k emisím CO₂, c) potravinářské plechovky jsou vyráběny z ultratenkého bílého plechu o tloušťce 0,13 mm. Při stejném plnicím množství je tak plechovka o polovinu tenčí a těžká. Recyklační kvóta je s 90 % největší na světě, d) oba vnitřní podvozky Airbusu A380 vydrží díky použití vysokopevných zušlechťených ocelí zátěž 520 tun při přistání. To odpovídá váze 400 aut VW Golf.

Utilization of Neural Networks for Evaluation of Material Properties of Structural Steels based on SPT Results

Využití neuronových sítí pro identifikaci materiálových vlastností konstrukčních ocelí z výsledků SPT

Ing. Ladislav Kander, Ph.D.¹; Ing. Jan Špička²

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

² Výzkumný a zkušební ústav Plzeň, s.r.o., Tylova 1581/46, 301 001 Plzeň, Czech Republic

Tato práce shrnuje výsledky experimentálních prací a numerického modelování, které byly provedeny v rámci řešení projektu TAČR č. TE01020068 Centrum výzkumu a experimentálního vývoje spolehlivé energetiky, pracovního balíčku WP 8 Výzkum a vývoj nových zkušebních metod pro hodnocení materiálových vlastností. Tento projekt se zabývá využitím penetračních testů pro hodnocení degradace materiálů kritických komponent klasických elektráren ve společnosti ČEZ, a.s. Hlavním záměrem řešení uvedeného pracovního balíčku WP8 je zpřesnění empirických korelací vybraných materiálů používaných v energetice pro výrobu kritických komponent jako jsou parovody, rotory turbin atd. Mimoto se činnosti realizované v rámci pracovního balíčku rovněž zaměřují na využití metody konečných prvků (MKP) a neuronových sítí (NN) pro stanovení mechanických vlastností (meze kluzu, meze pevnosti a lomové houževnatosti) při laboratorní teplotě z výsledků penetračních testů. Konečným cílem experimentálních prací prováděných v rámci tohoto projektu je vytvoření softwaru, který by na základě již provedených experimentů SPT (small punch test), tahovou zkoušku a zkoušku lomové houževnatosti dokázal pro nově provedený SPT predikovat materiálové parametry bez nutnosti provádět tahovou zkoušku a zkoušky lomové houževnatosti a tyto parametry z výsledku SPT identifikovat.

Klíčová slova: penetrační testy; neuronové sítě; lomové chování; oceli pro energetiku

This paper summarizes results of experimental work and numerical simulations carried out within the project TE01020068 "Centre of research and experimental development of reliable energy production, work package 8: Research and development of new testing methods for evaluation of material properties". This project deals with the utilization of the small punch test for evaluation of material degradation of critical components of a power station in the company ČEZ. The main goal of the WP8 activities is an improvement of empirical correlation of selected materials used in power industry for manufacturing of the critical components (rotors, steam-pipes, etc.). Moreover, WP8 activities are also focused on utilization of FE method and neural networks (NN) for evaluation of mechanical properties (yield stress, tensile strength, and fracture toughness) at a room temperature, based on SPT results. Neural networks are computing systems inspired by the biological neural networks that constitute animal brains. Such systems learn to perform tasks by considering examples, generally without task-specific programming. They have found most use in applications difficult to express in a traditional computer algorithm using rule-based programming. Neural networks have been used on a variety of tasks, including computer vision, speech recognition, machine translation, social network filtering, playing board and video games, medical diagnosis and in many other domains. The aim of the experimental work in this project presented in this paper is to develop a software for prediction of mechanical properties (yield stress, tensile strength and fracture behaviour in the term of $J_{0,2}$) of the new materials used in the power industry. Such investigation is based only on built database and SPT results. Additional experimental tests, such as tensile and fracture toughness, requiring quite large volume of experimental material taken from operating components, are not desirable here.

Key words: small punch test; neural networks; fracture behaviour; steel for power engineering

In connection with the effort to maximize the service life of almost worn out operating components while maintaining the conditions for reliable and safe operation, the use of new test methods for evaluation of residual service life, or for determination of the actual strength values and brittle fracture properties of the

exploited components is becoming more and more accentuated.

One of the methods that was used on a long-term basis to evaluate the current state of mechanical properties is the small punch test (SPT). This method is used both for assessing the current condition of the material used by

operating power plants, as well as for evaluating the so-called zero states of newly manufactured components for power plants with ultra super critical parameters (USC), in order to map their initial state during commissioning. The aim of this work is to create a program, which, on the basis of already performed experiments for penetration test (SPT) and tensile test, will be able in the future for the newly performed SPT experiments to estimate material parameters without necessity to perform the tensile test and to identify from it these parameters. This procedure could facilitate identification of the actual material parameters of steel used in turbines in a timely and economical manner. These materials degrade during the process of their exploitation and they lose their original properties. For ensuring the safe operation, it is necessary to test the actual values of the material parameters. Use of the results of this work would avoid the necessity to perform a costly tensile test, since it would be sufficient to perform just a penetration test and, using a suitable mathematical apparatus, to estimate/identify the mechanical parameters that would otherwise be obtained from the tensile test.

A neural network (NN) was chosen as a suitable mathematical apparatus. The neural network is a computational system originally inspired by nature and the human brain. Dr. Robert Hecht-Nielsen defined the neural network as follows:

"...a computing system made up of a number of simple, highly interconnected processing elements, which process information by their dynamic state response to external inputs."

In "Neural Network Primer: Part I" by Maureen Caudill, AI Expert, Feb. 1989 [1]

The original intention of NN was to solve the problems in a way that human brain solves them, but over time many other applications were also found. The basic idea, however, is that this network can be trained/taught using input and output data to give reasonable outputs for new inputs. The structure of the neural network is in the so-called layers (Figure 1), where the first layer is the input; the last layer is the output and between them is (any) number of suitable hidden layers. Each layer contains mutually connected nodes, and these are further connected to other nodes in the next layer. In this way, we get to the last layer, i.e. to the output data. However, it is necessary to properly train the network in order to create suitable connections between the layers and the nodes. Ideally, several hundred to several thousand input/output pairs would be needed to properly train the network [2, 3].

In this case, the network would have the data from the penetration test as input and one of the following material parameters as output: Young's modulus of elasticity E , yield strength $R_{p0.2}$, the strength limit R_m and possibly the Poisson number ν (Fig. 2).

The network thus created could be used just after the training namely for identification of the given material constant. For better functionality of the network, one network was always created for one output (parameter). We have therefore a total of 3 NN (The Poisson constant has not yet been solved in this case), where each network has the data from the penetration test as input (curve of Force versus Strain) and the output is always one material constant.

The procedure is described in the next paragraph.

The input data for this work were the curves measured from tensile and penetration test, altogether with three types of steel (materials P91, P92 and 14MoV6-3). In the first instance, it was necessary to identify the material characteristics of the steel from the tensile test.

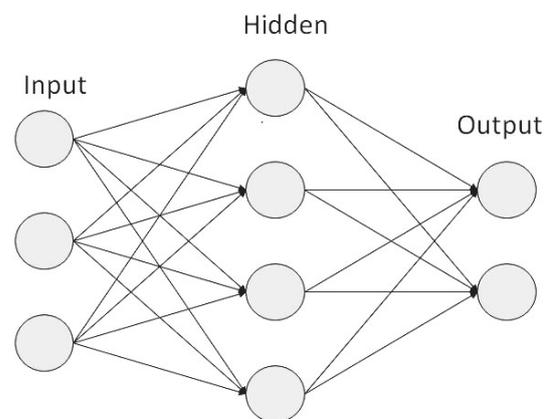


Fig. 1 Structure of the Neural Network
Obr. 1 Struktura neuronové sítě.



Fig. 2 Diagram of the program
Obr. 2 Schéma programu

For this purpose, a model based on finite element method (FEM) was created with the use of the ANSYS software, which simulated the tensile test. The Gurson-Tvergaard's material model was used in order to take into account also material failures. This model is characterized by 11 constants (including yield strength and strength limit), Young's modulus of elasticity, and the Poisson constant. Numerical optimization in the MATLAB software was used for identification of these constants. This program gradually varies these constants using the gradient method and it simulates the tensile test with the use of the ANSYS software. The aim was to achieve that response of the numerical simulation (MATLAB + ANSYS) matched most closely possible the curve of the tensile test experiment. The *Mean Square Error* was used as a target optimization function between the experiment curve and the simulation.

In this way, the material characteristics were identified for all the supplied test specimens.

The next step consisted of creation and training of the NN. The input, in this case, was directly the penetration test curve (Force vs. Strain) and material parameters (E , $R_{p0.2}$ a R_m) obtained by optimization were the output. Due to the fact that strain was a controlled variable, it was the same everywhere and we did not consider it; so only the values of the force vector served as our input. For better consistency of calculations, it was advisable to have the input vectors always of the same length and range. The curve was here taken from zero to its maximum, it was cut here and sampled for a given number of points. In the future, it would be advisable to consider the curve also beyond the value of its maximum.

The neural network must not only be trained, it is always necessary to test it with the use of some known pair of the input-output, which was not used in training. The largest number of samples - 18 was available for the material P91. We always took from these samples 17 pairs for network training and left one pair for testing. This was done gradually with all 18 values (each of which thus will become a test value).

Experimental methods

In order to obtain experimental data, the following structural steels were used that are exploited in power engineering: steel 15 128 (14MoV6-3), which is used on a long term basis and successfully particularly in the design parts for the power engineering, and also steels of type P91 (X10CrMoVNb9-1) containing 9% Cr, and 1% Mo, and steel P92, in which it was attempted to replace the expensive molybdenum by tungsten.

All of the above steels were subjected to simulation heat treatment procedures in order to achieve various levels of mechanical properties and to provide thus enough experimental data for the neural networks. In this way for each material six different levels of mechanical properties were thus achieved.

For every heat-treated state we then performed tensile tests with subsequent determination of the curve of actual stress-actual strain, SPT and fracture toughness tests that resulted in the R curves, since the characteristic feature of the fracture behaviour at the laboratory temperature for all of the above materials and their states after heat treatment was a stable crack growth.

Due to the fact that both tensile and fracture toughness tests are standardized and adequately described in the literature [4, 5], the next paragraph will deal only with the method of the SPT penetration tests.

The SPT method belongs to advanced testing methods that are developed on the long term basis in the company MATERIAL & METALLURGICAL RESEARCH LiD. This method makes it possible to

obtain a number of mechanical properties with the use of the relatively small size of the test specimen. The method is used mainly for evaluation of the actual level of mechanical properties of the components exploited in classical power engineering. In the recent past, this method was newly used also for determination of the effect of the sigma phase on the fracture properties of steels used for the USC parameters [6 – 8].

The main advantage of the SPT method lies in the low volume of the experimental material and also in the fact that it is possible to obtain from the conducted SPT tests a number of properties. The SPT principle is illustrated in Fig. 3. The test specimen is a disc with a diameter of 8 mm and a thickness of 0.5 mm, which is penetrated by a hemispherical puncher with a diameter of 2 mm till the failure. Record of the test result is shown in Fig. 4, from which it is then possible, on the basis of correlation relationships, to obtain the required values of mechanical properties [9].

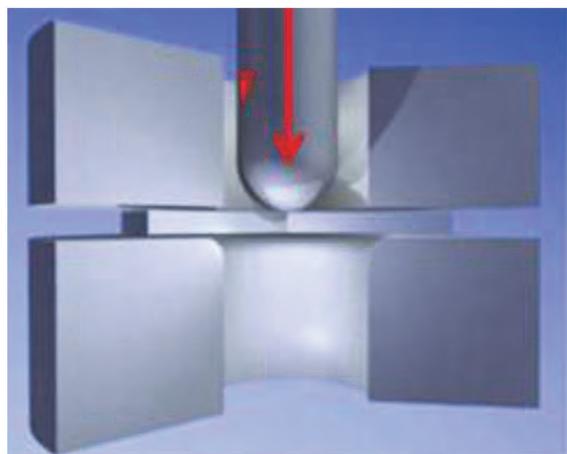


Fig. 3 Principle of small punch test
Obr. 3 Princip penetračního testu

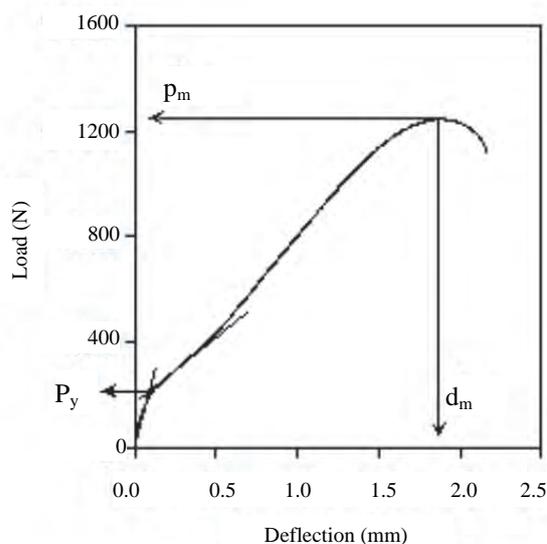


Fig. 4 Record of small punch test
Obr. 4 Záznam penetračního testu

Obtained results and their discussion

Due to the fact that presentation of all the data and outputs obtained during the solution of this project would significantly exceed the possibilities of this article, we will limit ourselves to the presentation of only the most important facts.

Figures 5 to 7 show the consistency between the experimental records of the tensile test and the model. As it can be seen from Figs. 5 and 6, in the case of materials exhibiting an indistinctive yield point ($R_{p0.2}$) the conformity is very good, unlike Fig. 7, valid for material 15 128, which shows a significant yield strength. Here, the model does not copy the record accurately, it can not handle the discontinuity and it interleaves it, similarly as in the two above cases, with a monotonous curve.

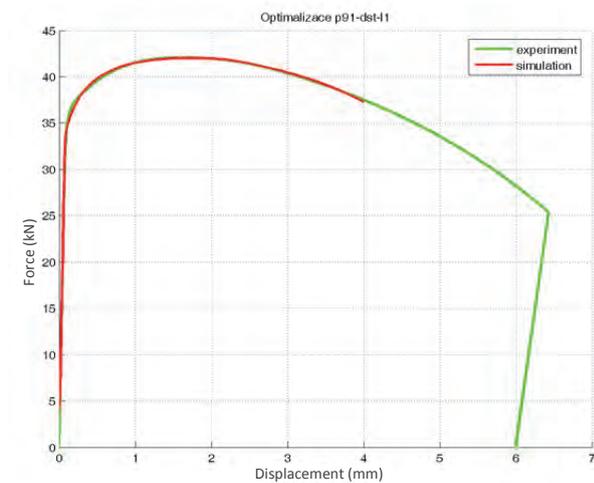


Fig. 5 Record of tensile test, experiment, and model, P91
Obr. 5 Tahová zkouška, experiment a model, P91

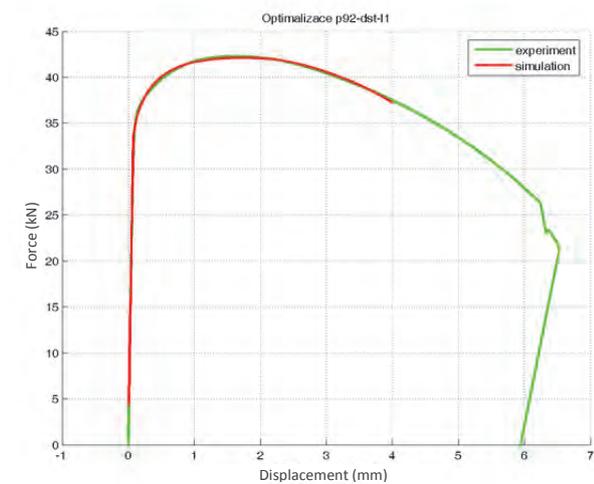


Fig. 6 Record of tensile test, experiment, and model, P92
Obr. 6 Tahová zkouška, experiment a model, P92

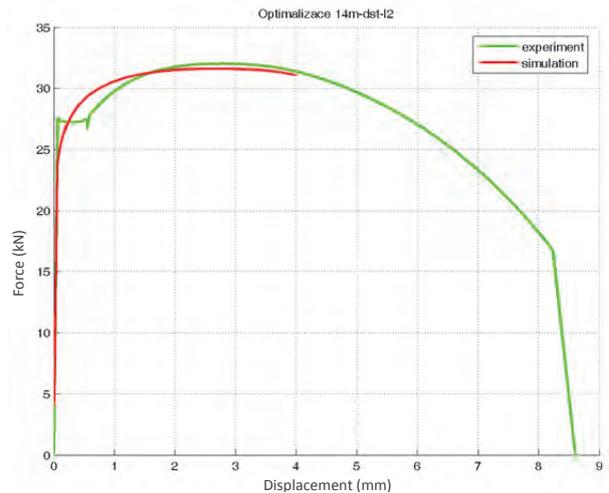


Fig. 7 Record of tensile test, experiment, and model 15 128 discontinuous yield strength

Obr. 7 Tahová zkouška, experiment a model, 15 128, nespojitá mez kluzu

Figure 8 illustrates a similar comparison of the experiment and the model for SPT, specifically for material P92, where relatively good agreement between the model and the experiment is evident. This agreement was recorded for all three investigated materials.

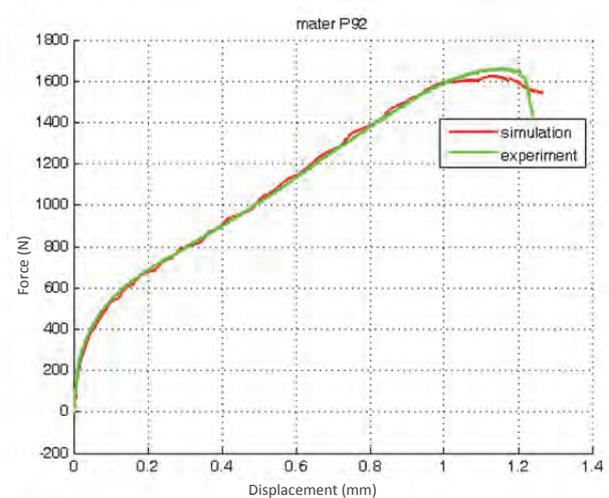


Fig. 8 SPT record, experiment, and model, P92

Obr. 8 Záznam SPT, experiment a model, P92

Table 1 presents the results of the simulation with the use of the neural network for the modulus of elasticity, yield strength and ultimate strength for all three investigated materials. The results obtained show a fairly good agreement for the modulus of elasticity, with variations of approx. units of per cent. However, the difference between the simulated and actual results and the overall error of the estimate for the yield strength and ultimate strength is high. For Young's modulus of elasticity the error (direct error and error of absolute values) is around -0.739, or 1.645%. For the values of $R_{p0.2}$ we have an error of -0.354, or 16.52%, and for R_m -0.265 and 8.712%.

Tab. 1 Results of NN simulation of mechanical properties

Tab. 1 Výsledky simulace mechanických vlastností neuronovými sítěmi

		delta rel round	delta rel round ABS	Max. error
		(%)		
P91	E	-0.07	1.65	3.18
	Rp02	-3.39	14.89	30.5
	Rm	-1.60	9.08	18.8
P92	E	-0.14	1.00	2.2
	Rp02	-1.50	11.01	38.6
	Rm	0.15	6.51	14
15 128	E	-0.34	4.65	8.41
	Rp02	0.34	8.65	15.8
	Rm	0.09	1.75	4.25

It was also tested various set-up, configuration and structure of NN, however no significant improvement was found. In the next step we try to use whole (extended) file of input force vector (without cutting off at the maximum). However neither this change in input

conditions caused any improvement in the results. Only small improvement has been found in yield stress test results if extended input force vector is used.

In absolute numbers we are within 10% of actual values.

Tab. 2 Results of NN simulation of fracture toughness

Tab. 2 Výsledky simulace lomové houževnatosti neuronovými sítěmi

J_{0.2}_sim	J_{0.2}_orig	delta rel	delta rel round	delta rel round ABS
		(%)		
341.5976	326.6	-4.592054283	-4.6	4.6
474.6676	342.6	-38.54862274	-38.55	38.55
338.3784	254.8	-32.80156127	-32.81	32.81
322.8736	341.1	5.343427442	5.35	5.35
		Average error	-17.6525	20.3275

For R_m , an increase of approx. 0.5% was achieved by means of an extended force vector (till the rupture). Tab. 2 summarizes the initial state of modelling of the initiating value J of the $J_{0.2}$ integral. This is the value considered to be the initial value, at which a stable growth of a ductile crack occurs. The value of $J_{0.2}$ is determined from the R curves at a given temperature and it describes the fracture behaviour of the material, or it is a material characteristic if the relevant conditions are met in the course of testing [4].

It follows from the results obtained, that are summarized in Tab. 2, that the simulation here so far does not have good agreement with the experimental results. The cause consists also in a very complicated process of construction of the R curve, as well as the determination of the initiation value, which in itself is affected by an error at interleaving the curve by the data points from individual experiments during the determination of the fracture toughness.

In the future, our aim is to focus on refinement of this model by increasing the number of experimental data,

as well as by expanding the investigated materials also by such steel grades, the characteristic features of fracture behaviour of which is also a sudden unstable fracture in the area of validity of elastoplastic or elastic fracture mechanics.

Conclusions

The paper summarizes the essence and the results obtained so far within the framework of the TAČR project TE01020068, work package WP 8.

The project is focused on the use of the SPT tests for evaluation of material degradation of critical components of conventional power plants. The aim of the project consists, among other things, in the creation of a link between the SPT tests performed within the frame of evaluation of the actual material properties of the exploited and newly manufactured components and numerical simulation using neural networks. The first results indicate the possible application of the neural network method, especially for determining the values

of mechanical properties. Application to the values of fracture toughness gives so far only relatively rough results.

Achievement of better results when estimating material characteristics using neural networks would probably require a much bigger number of training samples. This is consistent with the literature, which states the need for at least several hundred pairs, for the proper functioning of the neural network.

Acknowledgments

This work was created during the solution of the TAČR project TE01020068 Centre of Research and Experimental Development of Reliable Power Engineering funded by the Czech Technology Agency.

Literature

- [1] "Neural Network Primer: Part I" by Maureen Caudill, AI Expert, Feb. 1989.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network
- [3] https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_neural_networks.htm
- [4] ČSN EN ISO 9862-1
- [5] ASTM E 1820
- [6] KANDER, L., KORČÁKOVÁ, L. The Influence of Sigma Phase Precipitation on Mechanical Properties of Tp347H Austenitic Steels after 100.000 Hours Service in Coal-fired Power Plant. In *Metal 2015*, Brno, Czech Republic.
- [7] STEJSKALOVÁ, Š., KANDER, L., HERMANOVÁ, Š. The Change of the Structure and Mechanical Properties of the Austenitic Steels after Exposure at the Critical Temperature. In *Metallography 2016*, p. 100, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [8] KANDER, L. Precipitation of Sigma Phase in Austenitic Steels Used in Supercritical Conditions. In *Metal 2016*, p. 103, Brno, Czech Republic.
- [9] *Small Punch Test Method for Metallic Materials*. CEN WORKSHOP AGREEMENT CWA 15627, December 2007.

Ocelářský průmysl: Na pokraji obchodní války

Der Spiegel

08.04.2017

USA a Evropská unie učinily další krok ve směru k obchodní válce. Jako odpověď na výhrůžku amerického ministerstva obchodu zavést trestná cla proti dvěma německým ocelářským firmám (Salzgitter a Dillinger Hütte), zkoumá nyní Evropská komise, zda by mohla zavést vlastní ochranná cla proti americkým výrobcům oceli. „Musí to být ovšem požadováno od některého postiženého evropského ocelářského podniku,“ říká jeden vysoce postavený člen vedení EU. Poté by takové protiopatření mohlo být rychle (během několika měsíců) schváleno Evropskou komisí. To by se mohlo stát nezávisle na event. žalobě, podané u WTO, která by se mohla táhnout po dobu několika let. Prezident WV Stahl Hans Jürgen Kerkhoff protestuje proti nařčení ministerstva obchodu USA, členské podniky napadají americké oceláře dumpingovými cenami. Říká: „Německé ocelářské podniky agitují na světových trzích o tržně hospodářských pravidlech, Američané nemohou částečně naši kvalitu vůbec vyrábět“. Viní Američany, že se nedrží pravidel WTO pro posuzování dumpingu a varuje před protekcionismem USA. Začíná to u pravidel, kterými je americkým podnikům nařizováno, například u projektů plynovodů používat jen polotovary, vyrobené v USA.

Suroviny tlačí kurzy dolů

Handelsblatt

19.04.2017

Politika má finanční trhy i nadále pevně v rukou: poté, co britská premiérka Mayová překvapivě oznámila ve Velké Británii nové volby, spadl burzovní index FTSE 100 o 1,7 %. Sestupnému trendu se nevyhnuly ani německé akcie. Největším poraženým byl ocelářský koncern Thyssenkrupp, který ztratil 2,5 %. Tuto ztrátu pomohl vytvořit pád ceny železné rudy v Číně, který činil 6,5 %. Poptávku po železné rudě dusil přebytek nabídky oceli. Cena oceli klesla na burze v Šanghaji o 3,7 %. Vývoj, kterému neunikla ani konkurence Thyssenkrupp v Německu – Salzgitter, ztratil více jak 2,5 %, ArcelorMittal šel dokonce o 5 %. Od poloviny března ztratily tyto tři koncerny již 9 – 21 % na burzovní hodnotě. Podobně se nedařilo i důlním koncernům (Glencore, Rio Tinto). Optimisticky hledí ale investoři na Turecko. Po svém vítězství v referendu si Erdogan upevnil svoji pozici a burza reagovala proti evropskému kurzu směrem vzhůru. Podle názoru Commerzbank bude mít ale zotavení turecké měny a burzovních cen jen krátké trvání.

Recenzované výzkumné články

Nitrogen in Chromium Melt during Use of Oxygen-nitrogen Nozzle at Low Pressure, Preparation of the Experiment

Dusík v chromové tavenině během používání kyslíko-dusíkové trysky za sníženého tlaku, příprava experimentu

Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.¹; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.²; Ing. Zdeněk Carbol, Ph.D.²; prof. Ing. Jiří Bažan, CSc.³; doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.³

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

² VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., Ruská 2887/101, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Czech Republic

³ VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic

For removal of chromium from slag we have designed, manufactured and verified an oxygen-nitrogen nozzle. The nozzle is implemented in a vacuum and pressurized induction melting furnace (VPIM) and it works at a pressure of 10 - 20 kPa(a). In the company MATERIAL & METALLURGICAL RESEARCH Ltd. we will perform an experimental melt with increasing the nitrogen content in molten steel by nitrogen gas at low pressure. Alloying by nitrogen was focused on the alloying at low pressure during the VOD process. On the basis of the literary analysis, the initial design of the pilot plant experiments was carried out. In the first experiments, we will use the oxygen-nitrogen nozzle and then we will use a porous block located at the bottom of the casting ladle.

Key words: chromium; nitrogen; nozzle; oxygen; melt

Antikorozi ocel obsahuje chrom, stejně jako poměrně drahý nikl, který je nahrazen levnějším dusíkem. Obecně lze říci, že výroba nerezových ocelí je technologicky a energeticky náročná. Ze současného vývoje konstrukcí z nerezavějící oceli je zřejmé, že legování dusíkem se používá hlavně u ocelí s nízkým obsahem uhlíku. Výroba ocelových tavenin se provádí na primárních a sekundárních hutních agregátech, kde probíhá tavná rafinace na VOD (degradaci vakuového kyslíku). Cílem této práce je výzkum, vývoj a návrh technologie, která povede ke zrychlení zvyšování obsahu dusíku v tavenině během zpracování procesem VOD. Tím se sníží doba tavení. Snížením doby tavení se docílí snížení energetické i materiálové náročnosti výroby, tj. snížení spotřeby energie a snížení opotřebení obložení. Byl proveden návrh, kompletace a ověření funkčnosti kyslíko-dusíkové trysky. Tato tryska je součástí zařízení Vakuová a přetlaková indukční tavicí pec (VPIM) a pracuje za sníženého tlaku 10 – 20 kPa. Po plném odzkoušení a osvojení chodu zařízení budou provedeny experimentální tavby nadusičení vysoce chromové taveniny pomocí plynného dusíku za sníženého tlaku, a to jednak pomocí kyslíko-dusíkové trysky a také pomocí porézní tvárnice umístěné ve dně lící pánve.

Klíčová slova: chrom; dusík; tryska; kyslík; tavenina

In general, it can be said that production of stainless steels is technologically and energetically demanding. Stainless steels contain chrome, as well as relatively expensive nickel, which is replaced by cheaper nitrogen. From the current development of stainless steel constructions structures, it is clear that nitrogen alloying is mainly used for low-carbon steel. Production of the steel melt is carried out in primary and secondary metallurgical units, where a refining melt is treated by VOD (Vacuum Oxygen Decarburization). The aim of this work is research and development and design of technology, which leads to an acceleration of the increase of the nitrogen content in the melt during its

processing by Vacuum Oxygen Decarburization (VOD). This will reduce the time of the smelting. Reduction of the smelting time entails a reduction in the energy intensity of the production, namely a reduction in energy consumption, as well as smaller lining wear.

Experimental melts will be first realized in the company MATERIAL & METALLURGICAL RESEARCH Ltd. (MMR) in order to use the gained knowledge for industrial manufacturing facilities. The technology is designed for the steel grade X4CrNiMo16-5-1 with a slightly modified chemical composition (Tab. 1).

Tab. 1 Chemical composition of steel grade X4CrNiMo16-5-1 according to standard and during experiments (wt.%)

Tab. 1 Chemické složení oceli X4CrNiMo16-5-1, normované a během experimentů (hm. %)

		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	N
Standard	min	-	-	-	-	-	4.00	15.00	0.80	-	0.0200
	max	0.06	1.50	0.70	0.040	0.030	6.00	17.00	1.50	-	-
Experiments in MMR	min	0.15	0.25	0.25	-	-	4.50	15.00	0.90	-	-
	max	0.20	0.35	0.35	0.025	0.020	5.50	16.50	1.20	0.10	-

The dependence of the nitrogen content in the iron melt on the partial nitrogen pressure is described by the equations (1) to [6]. Transition of nitrogen into molten steel is governed by the Sieverts relationship, which assumes its atomic dissolution.

$$[\%N]_{Fe} = \frac{K_N}{f_N} \cdot \sqrt{\{p_{N_2}\}_{rel.}}, \quad (1)$$

where:

K_N ... the equilibrium constant of the dissolution process (wt. %),

f_N ... coefficient of nitrogen activity in the iron melt [1],

$\{p_{N_2}\}_{rel.}$... the relative partial pressure of nitrogen over the iron melt [1].

Equilibrium constants of the CN express the solubility of nitrogen in iron under standard conditions. This means its maximum content at a pressure of 0.1 MPa, $\{p_{N_2}\}_{rel.} = 1, f_N = 1$ and according to [6] is $[\%N] = 1/2N_2$ (g). The dependence of nitrogen solubility on temperature is described by the relationship (2).

$$\log K_N = -\frac{188}{T} - 1.246 = \log [\%N]_{Fe} \quad (2)$$

and the corresponding dependence of the reaction free enthalpy on temperature is given by the relationship (3).

$$\Delta G^0 = 3,600 + 23.86T \text{ (J)} \quad (3)$$

The eq. (2) shows that the solubility of nitrogen in iron at 1,600°C is 450 ppm, but it decreases significantly when the melt solidifies. In iron, due to the formation of nitrides, it again increases slightly, then it decreases in iron α to approx. 15 ppm at 600°C.

Alloying elements have a significant influence on the solubility of nitrogen in steels, especially in high alloy stainless steels. The effect of alloying elements is presented by the value of the activity coefficient f_N , see eq. (4).

$$\log f_N = \sum e_N^X [\%X] \quad (4)$$

This influence can be expressed using interaction coefficients $e_{N(1873K)}^X$. The temperature dependence of

the interaction coefficients expressing the influence of the elements on the nitrogen activity was described by Chipman eq. (5).

$$e_{N(T,K)}^X = \left(\frac{3,280}{T} - 0.75 \right) \cdot e_{N(1873K)}^X \quad (5)$$

For high-alloy steels (CrNi steels), the calculation is refined by the knowledge of the interaction coefficients not only of the first order but also of the second order and of the cross values coefficients, see eq. (6).

$$\log [\%N]_{ocel} = \log [\%N]_{Fe} - \sum e_N^X [\%X] - \sum r_N^X \cdot [\%X^2] - \sum r_N^{X,Y} \cdot [\%X] \cdot [\%Y] \quad (6)$$

The values of the interaction coefficients, for important alloying additives for stainless steels, are quoted, for example, by the author Bůžek in the work [2] (Tab. 2).

Tab. 2 Interaction coefficients of the 1st and 2nd order, and cross coefficients [2]

Tab. 2 Iterační koeficienty 1., 2. řádu a křížové [2]

X, (wt. %)	$e_{N(1873K)}^X$	$r_{N(1873K)}^X$	$r_{N(1873K)}^{X,Y}$
Cr	-0.0468	+0.00034	-
Mo	-0.0106	+0.000079	+0.00002 (Cr-Mo)
Nb	-0.0667	+0.00019	+0.00136 (Cr-Nb)
Mn	-0.024	+0.000032	
Ni	+0.0107	-	-0.00041 (Cr-Ni)
Si	+0.047	-	-0.00149 (Cr-Si)

Very high silicon content results in the elimination of intermetallic phases and in the reduction of nitrogen solubility in steel, we are talking about high nitrogen contents of approx. 0.3% and more. The author [4] recommends alloying of steel to a maximum content of 0.8 % Si, preferably up to 0.5% Si.

According to the author [5], it is possible to overcome the steel melt grade AC11EXDP-304DP (approx. 20 % Cr, 8 % Ni, 0.03 % C, 1 % Mn) in a VOD with a nitrogen-only nozzle that blows only nitrogen. The efficiency of this process is approx. 45 %, with an increase of the nitrogen content in the steel by approx. 0.084 % N (from 0.021 to 0.105 %), in 90 t casting ladle

with total nitrogen gas consumption of 126 m³ per ladle. The maximum speed of nitrogen blowing is 600 m³·h⁻¹.

Sulfur and oxygen also have an effect on nitrogen alloying of steel. The author introduces a slightly modified form of the relation of oxygen and sulfur on the content of nitrogen (7).

$$\beta_c = \frac{3.05 \cdot f_N^2}{1 + 22 O a_o + 13 O a_s} \quad (7)$$

Laboratory alloying of nitrogen was carried out in a resistive induction melting furnace with a melt weight of 0.8 kg, in a corundum crucible with a melt of AISI316L with a liquidus temperature of 1458°C. At reduced and at atmospheric pressure, the nitrogen was bubbled through the upper nozzle and the argon was blown by bottom. Fig. 1 shows the effect of the nitrogen content in the 316L stainless steel melt depending on the initial temperature 1853 K (1580°C) and 1833 K (1560°C) and on the blowing time. Nitrogen blowing lasted for 0.1 NI·min⁻¹ in the first half of the blow, and the second half lasted for 0.3 NI·min⁻¹. It continued for 40 minutes at a pressure of 2 kPa and then at a pressure of 100 kPa. The final temperatures were 1793 K (1520°C) and 1773 K (1500°C). It can be seen from the figure that at a pressure of 2 kPa a higher nitrogen content than 0.05% N cannot be achieved. Subsequent increase of the flow and increase of the pressure lead to an increase of the nitrogen content in the melt. Fig. 1 shows the effect of the temperature on the N content in the melt. [7]

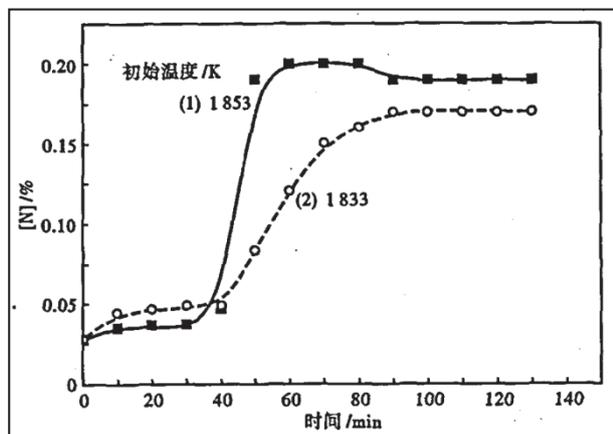


Fig. 1 Nitrogen content in 316L stainless steel melt depending on the blow time at initial temperature 1853 K (1580°C) and 1833 K (1560°C)

Obr. 1 Obsah dusíku v tavenině oceli 316L v závislosti na době dmýchání při teplotě 1853 K (1580 °C) a 1833 K (1560 °C)

Technological procedure of nitrogen alloying

We proposed the experimental technology after bibliographic analysis of the problem of alloying melt by nitrogen under reduced pressure, a technological process of nitrogen alloying under reduced pressure. Experimental melts will be carried out in the MMR in

the Vacuum and pressurized induction melting furnace (hereinafter VPIM) unit for a nominal weight of melt of 1,750 kg (Fig. 2). The VPIM can operate under low pressure of 40 Pa (a) and also under overpressure of 500 kPa (a) when overpressure is made by Ar or N₂. The VPIM will be loaded for our experiments with a 1,000 kg melt. At the bottom of the induction furnace is implemented a blowing block capable of blowing Ar or N₂. The VPIM is also equipped with an upper nozzle for blowing of Ar and O₂ in any ratio from 0 to 100%. This oxygen-argon nozzle was adjusted to an oxygen-nitrogen nozzle to allow blowing of any ratio of the gas mixture consisting of N₂ and O₂ (Fig. 3). Fig. 4 shows the nozzle during the VOD process. The VOD process is controlled by the control computer, which shows and record the current gas contents of CO, CO₂, O₂ and H₂ (Fig. 5).



Fig. 2 Vacuum and pressure induction melting furnace for nominal weight of melt of 1,750 kg

Obr. 2 Vakuová a přetlaková indukční tavicí pec o nominální hmotnosti 1750 kg



Fig. 3 Vacuum and pressure induction melting furnace with detail view of the oxygen-nitrogen nozzle

Obr. 3 Vakuová a přetlaková indukční tavicí pec s detailním pohledem na kyslíko-dusíkovou trysku



Fig. 4 Nozzle during the VOD process
Obr. 4 Tryska během procesu VOD

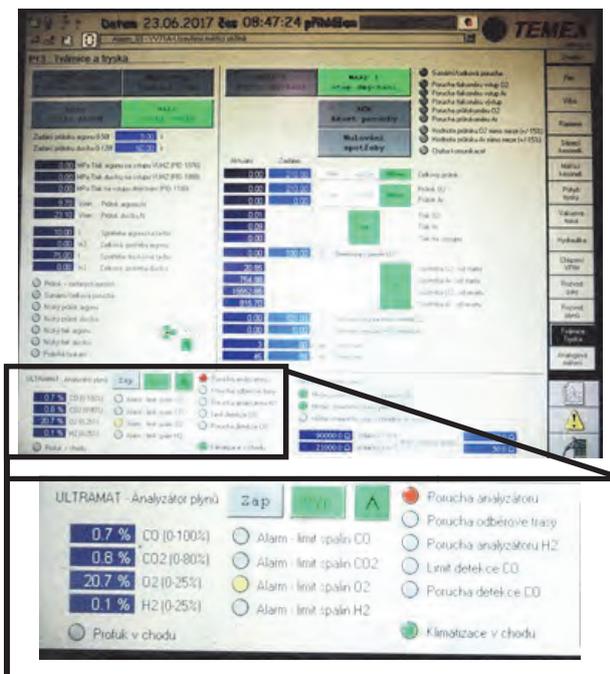


Fig. 5 Control and record computer
Obr. 5 Ovládací a řídicí počítač

During the experiment, metallurgical conditions will be simulated in a big metallurgical company. A melt of approx. 1,650 kg will be produced in the induction melting furnace, with the required chemical composition. It will be then poured into the pouring ladle and the pouring pan will be placed in the keson of the VPIM.

The melt will be then cast into the casting ladle (CL) and the CL will be placed in the VPIM chamber. The pressure in the VPIM chamber will be reduced down to 20 kPa (a) and at this pressure:

- The nitrogen will be bottom blown at 120 Nl·min⁻¹ to the CL with melt for 10 minutes. A total of 1.5 kg of nitrogen will be blown into the melt. At a melt mass of 1,500 kg, the theoretical alloying is 0.10 % (Tab. 3). The aim of this experiment is to find out the real possibilities of nitrogen alloying at low pressure.
- A nitrogen/oxygen mixture, at a rate of 20-80:80-20, will be blown at 210 Nl·min⁻¹ on the surface of the melt in CL for 10 minutes. For each variant, the nozzle will blow on the surface of the melt between 0.53 and 2.1 kg of nitrogen. For a melt weight of 1,500 kg the theoretical alloying by nitrogen will be from 0.04 to 0.14% (Tab. 4).

Before and after each experiment, samples of metal for chemical analysis will be taken from the melt.

Tab. 3 Design of the N₂ alloying by bottom of the casting ladle to the melt at a low pressure of 20 kPa (a)

Tab. 3 Návrh legování dusíku spodem do taveniny v lici pávni za nízkého tlaku 20 kPa (a)

	Values	Units
Melt weight	1,500	(kg)
Blowing speed N ₂	0.120	(m ³ ·min ⁻¹)
Blowing time N ₂	10	(min)
Density N ₂	1.2506	(kg·m ⁻³)
Alloying N ₂	1.50	(kg)
Theoretical final N ₂ content in the melt	0.10	(%)

Tab. 4 Design of the N₂ alloying by oxygen/nitrogen nozzle on the surface of the melt in the casting ladle at a low pressure of 20 kPa (a)

Tab. 4 Návrh legování dusíku pomocí kyslíko-dusíkové trysky na povrch taveniny v lici pávni za nízkého tlaku 20 kPa (a)

	Values				Units
Melt weight	1,500				(kg)
Blowing speed N ₂	0.210				(m ³ ·min ⁻¹)
Blowing time N ₂	10				(min)
Density N ₂	1.2506				(kg·m ⁻³)
Proportion of N ₂ in the mixture	0.2	0.4	0.6	0.8	-
Alloying N ₂	0.53	1.05	1.58	2.10	(kg)
Theoretical final N ₂ content in the melt	0.04	0.07	0.11	0.14	(%)

Conclusions

Paper gives an analysis of alloying of the stainless steel melt by nitrogen gas. Alloying by nitrogen was focused on the alloying at low pressure during the VOD process. On the basis of the bibliographic analysis, the initial design of the pilot plant experiments was out prepared, the first alloying experiment will be performed in a ladle at low pressure. In order to determine the possibilities of alloying nitrogen at a low pressure, in the first experiment the nitrogen will be bottom blown to the casting ladle with melt. In the second experiment a nitrogen/oxygen mixture, at a rate of 20-80:80-20, will be blown on the surface of the melt in the casting ladle as in the big metallurgical company, during the VOD process. Due to ongoing work, the practical results from the experiments will be presented in a subsequent publication.

Acknowledgement

This work originated during the project No. TA04010036, in the 4th public tender in research and experimental development for support since 2014 for the Programme for the support of applied research and experimental development "ALFA", financially supported by the Technological Agency of the Czech Republic. This paper was created within the Project No. LO1203 "Regional Materials Science and Technology Centre - Feasibility Program" funded by Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

Literatura

- [1] Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH. Stahlschlüssel 2007. Marbach: 2007.
- [2] BŮŽEK, Z. Basic Thermodynamic Calculations in the Steel Industry. *Hutnické aktuality*, 29 (1988) 7. ISSN 0332-8525.
- [3] ZHOUHUA, J. HUABING, L., ZHAOPING, Ch., ZONGZE, H., DELING, Z., LIANKE, L. The Nitrogen Solubility in Molten Stainless Steel. *Steel Research*, (2005) 10, 730-735.
- [4] *Ferritic-austenitic stainless steel and steel utilization*, patent No. WO9500674 (A1), Swedish Patent No. SE501321-C2. Swedish Patent Office: 1993.
- [8] JUN, Li, YULAI, Xu, XUESHAN, Xiao, JUNLIANG, ZHAO, Laizhu, Jiang, JINCHENG, Hu. A New Resource-saving, High Manganese and Nitrogen Super Duplex Stainless Steel 25Cr-2Ni-3Mo-xMn-N. *Materials Science and Engineering: A*, 527 (Dec. 2009) 1-2, 245-251. ISSN 0921-5093.
- [5] KIKUCHI, N., KISHIMOTO, Y., TAKEUCHI, S., NABESHIMA, Y., NISHIKAWA, H., TAKE, H. Enhancement of Decarburization Rate in Strongly-stirred, Combined-blowing Converter and VOD Process for Producing Ultra Low Carbon and Nitrogen Ferritic Stainless Steel. In Electric Furnace Conference, Nov. 14-16, 1999, Pittsburgh, Pennsylvania, 1999.
- [6] KOROUŠIČ, B., TRIPLAT, J., TEHOVNIK, F., ARH, B. The Development of a High-performance Production of Nitrogen-alloyed Stainless Steels. *Materiali i tehnologije*, 36 (2002) 6, ISSN 1580-2949.
- [7] YANLIN, S., YANPING, B., ZHONGQI, D. A Study on Blowing Nitrogen Alloying of Stainless Steel 316L with VOD Refining (VOD 精炼316L 不锈钢吹氮合金化的研究). *Special Steel*, 32 (Feb. 2011) 1, 16-18.
- [8] WIDONG L. Production practice and analysis on two-step and three-step process for stainless steels steelmaking. *Specia steel*. Vol. 34. No. 5. October 2013.
- [9] KURKA V., JONŠTA P., CARBOL Z., BAŽAN J., SOCHA L. Increase the Nitrogen Content in Chromium Melt by Oxygen-nitrogen Nozzles under the Conditions of Metallurgical Pilot Plant. In *Metal 2017*, May 24-26, 2017, Brno, Czech Republic. Ostrava: Tanger Ltd. Page 43. ISBN 978-80-87294-73-4.

Výroba oceli se zvýšila

Westdeutsche Allgemeine

12.04.2017

Výroba surové oceli v Německu v březnu 2017 vzrostla oproti březnu 2016 o 1,9 % na 3,9 mil. tun. Výroba oceli v prvním čtvrtletí 2017 je o téměř 2 % vyšší než před rokem. Konjunktura v množství vyrobené oceli tak pokračuje ve svém mírném zotavovacím kurzu, který byl předznamenán vývojem v množství zakázek v minulém roce. Konstatuje to Hospodářské sdružení Ocel (WV Stahl) z Düsseldorfu, které zastupuje 99 % výrobců surové oceli v Německu a k tomu řadu dalších evropských producentů. K ocelářskému průmyslu v Německu patří zhruba 70 podniků s 90 000 zaměstnanci.

Podniková rada Tata je proti fúzi s ocelářskou divizí Thyssenkrupp

Rheinische Post

19.04.2017

Zaměstnanci Tata Steel mobilizují proti možné fúzi s ocelářskou divizí Thyssenkrupp. Ve včera zveřejněném sdělení celopodnikové rady Tata Steel Nederland stojí, že rada je toho mínění, že „tato fúze ignoruje zájmy zaměstnanců“. Rada mluví o podstatných následcích pro zaměstnance a obtížné spolupráci vzhledem k obrovským kulturním rozdílům v obou podnicích.

Vliv antracitu na proces spékání a kvalitu aglomerátu

Effect of Anthracite Coal on Sintering and Sinter Quality

Ing. Petr Klus, Ph.D.¹; Ing. Roman Szturc¹; Ing. Petr Faruzel¹; Ing. Radek Hermann¹, doc. Ing. Róbert Findorák, PhD.²; prof. Ing. Mária Fröhlichová, CSc.²; doc. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.²

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

² TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH, Fakulta materiálů, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach, Ústav metalurgie, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

Příspěvek je věnován experimentálnímu spékání aglomerační směsi na zařízení laboratorní spékač pánevky s cílem vyhodnotit vliv antracitu jako náhradního paliva na proces spékání a kvalitu aglomerátu. Experimenty byly provedeny v laboratorních podmínkách Technické univerzity v Košicích dle předem stanoveného plánu a dané metodiky přípravy vsázky. Pro celkem čtyři pokusná spékání byla dodána homogenizační směs včetně zpětného aglomerátu, vápence a paliva – koks prachu a antracitu, kdy se jejich poměr pro jednotlivá spékání měnil i v závislosti na zrnitosti antracitu. Dosažené výsledky jsou porovnány z pohledu teplotních křivek. Samotné vyhodnocení pak zahrnuje diskusi ke křivkám spékání, výkonovým parametrům procesu spékání, rozsevu a pevnosti vyrobeného aglomerátu, chemickému složení aglomerátu zejména se zaměřením na obsah FeO, jakožto parametru kvality, a v neposlední řadě k redukovatelnosti aglomerátu.

Klíčová slova: spékání železných rud; kvalita aglomerátu; koks prach; antracit, redukovatelnost

The paper is focused on the experimental sintering of the iron ore mixture. The main target was investigation of the influence of anthracite coal as a substitute fuel on the sintering process and the sinter quality. The experimental sintering was carried out at the Technical University of Košice in a laboratory scale sinter pot according to the predetermined plan and methodology for preparation of the sinter mix (A1 – A4). Each of the four experimental sintering processes, as well as the homogenization mixture, contained sinter return fines, limestone and fuel – coke breeze or anthracite coal, and their ratio for individual sintering processes also varied depending on the anthracite coal grain size. The obtained results are compared in terms of temperature curves. The evaluation involves discussion regarding the sintering curves, the performance parameters of sintering process, the resistance to abrasion and strength of the produced sinter, chemical composition of the produced sinter, especially with regard to FeO content, known as a quality parameter, and sinter reducibility. Full replacement of coke breeze by anthracite coal does not have any significant effect on the preparation of sinter mixtures. If the replacement coefficient increased, the temperature of sinter layer decreased with rise of the sintering time. The negative effect of the coke breeze replacement by anthracite coal on vertical flame front speed was found at sintering mixtures A1 and A4. Calculated production coefficient is at comparable level, however, specific production decreases at full replacement of coke breeze by anthracite coal. Sinter strength was identical for all samples of produced sinter (at average value) with a slightly negative effect of anthracite coal. Variations in FeO content from chemical analysis of produced sinters was found. The measuring of the sinter reducibility suggests that sinter A1 has a lower rate of reduction index in comparison with the sinter A4. In this case, the replacement of coke breeze by anthracite coal showed a positive effect on sinter reducibility.

Key words: sintering of iron ore; sinter quality; coke breeze; anthracite coal, reducibility

Proces výroby aglomerátu se od svého vzniku zdokonalil a i v současnosti se rozpracovávají opatření umožňující zvýšení výroby a zlepšení kvality aglomerátu při současném snížení spotřeby energie a spotřeby tuhého paliva. Je všeobecně známo, že jako palivo se standardně pro proces spékání používá koks prach (zrno pod 3 mm) [1–4]. Výhodou koks prachu je poměrně vysoká výhřevnost, nízký obsah prchavé hořlaviny a nízká reaktivita. Jako alternativních paliv lze v aglomerační směsi využít například hnědouhelný koks, biomasu nebo antracit [4]. Prosazování antracitu jako náhradního paliva

[1–4] má své výhody – nižší obsah síry (možnost snížení emisí SO₂), nižší pořizovací cena a vyšší pevnost aglomerátu (z pohledu vysokopecního procesu), i nevýhody, které lze spatřovat především v technologických aspektech – ztížené mletí a dávkování (při vyšší vlhkosti antracitu), zvýšené nároky na údržbu zařízení (vyšší pevnost aglomerátu) ad.

Jelikož se v Třineckých železárnách, a.s. kampaňovitě využívá antracit jako náhradní palivo v aglomerační směsi, bylo pro potřeby výzkumných aktivit provedeno

pokusné spékání ve spolupráci s Technickou univerzitou v Košicích. Cílem těchto experimentálních spékání bylo posoudit vliv náhrady koksu prachu antracitem na technologické a kvalitativní parametry spékání [4].

Experiment

Pro účely pokusného spékání byly odebrány kovonosné materiály, a to homogenizační směs (HS) a zpětný aglomerát (ZA). Pro výrobu vysokopecního aglomerátu se používá homogenizovaná směs s příslušným množstvím korekčního vápence a paliva. Na základě této skutečnosti se před samotným spékáním vytvořily modelové hromady s daným procentuálním podílem jednotlivých složek vsázky (tab. 1).

V zásadě se pro jednotlivé modelové hromady měnil pouze poměr koksu prachu a antracitu, kdy se postupně navyšoval podíl antracitu. První modelová hromada (A1) obsahovala 100 % koksu prachu, druhá a třetí modelová hromada (A2, A3) 50 % koksu prachu a 50 % antracitu s jeho rozdílnou granulometrií (nemletý a mletý antracit) a čtvrtá modelová hromada (A4) zahrnovala 100 % mletého antracitu.

Antracit použitý pro experimentální spékání se vyznačoval vyšším obsahem prchavé hořlaviny než v případě koksu prachu a vyšším obsahem popelovin. Větší pozornost je ovšem nutné věnovat obsahu vody v jednotlivých palivech, který může být problematický, jak při mletí, tak i při předpeletizaci vsázky nebo vlivu na celkovou vlhkost vsázky. Pro samotné laboratorní experimenty byla všechna použitá paliva vysušená na nulovou vlhkost.

Tab. 1 Složení aglomeračních směsí (hm.%)

Tab. 1 Composition of sinter mixtures (wt.%)

Složka	A1	A2	A3	A4
HS	63	63	63	63
ZA	31	31	31	31
Koks (K)	5	2,5	2,5	0
Antracit nemletý (An)	0	2,5	0	0
Antracit mletý (Am)	0	0	2,5	5
Korekční vápenec (KV)	1	1	1	1
Suma	100	100	100	100

Experimentální spékání bylo provedeno na zařízení laboratorní spékací pánvičky (obr. 1) dle dané metodiky přípravy a zpracování aglomerační vsázky, která byla v souladu s technologií zpracování a spékání v provozních podmínkách, a to za účelem co nejpřesnější simulace procesu spékání [4].

Homogenizace a předpeletizace směsí se provedla ve sbalovacím bubnu s řízeným přívodem vody. Určujícím faktorem pro kvalitu připravené směsi byla její

prodyšnost, která se stanovovala během předpeletizace na optimální úroveň z pohledu dosažení co nejlepších podmínek hoření paliva a výměny tepla mezi plynnou fází a spékanou vrstvou. Po dokončení přípravy se hotová směs vložila do spékací pánvičky, ve které po zapálení pomocí externího hořáku probíhalo její spékání po výšce vrstvy při konstantním podtlaku (5 kPa).



Obr. 1 Experimentální laboratorní spékací pánvička [4]

Fig. 1 Experimental laboratory sinter pot [4]

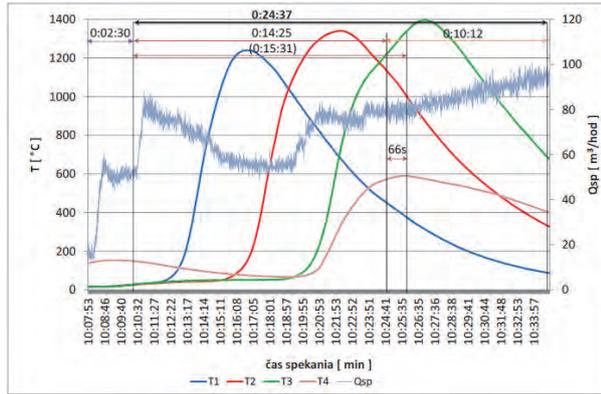
V průběhu spékání se zaznamenávalo teplotní pole společně s profilem spalín. Následně se po procesu spékání a ochlazení aglomerátu provedl jeho rozbor – granulometrie, pevnost, otěr, dále byla provedena příprava analytických vzorků pro chemickou analýzu a stanovení redukovatelnosti experimentálně vyrobených aglomerátů.

Diskuse dosažených výsledků

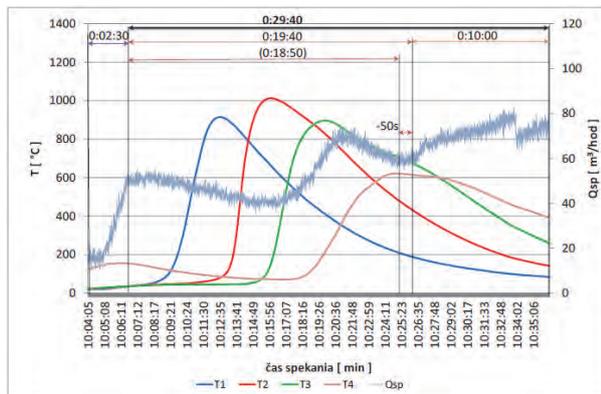
Celkově byly provedeny čtyři laboratorní experimenty spékání (A1 – A4) výše uvedených modelových směsí. Průběh spékání a výsledky experimentů jsou uvedené v tabulkové a obrázkové formě s příslušným komentářem, resp. diskusí.

Z porovnání teplotních profilů spékání (obr. 2 – 5) lze vidět vliv náhrady koksu prachu antracitem i vliv granulometrie antracitu, kdy byl s nárůstem koeficientu náhrady zaznamenán pokles teplot ve spékané vrstvě a nárůst doby spékání.

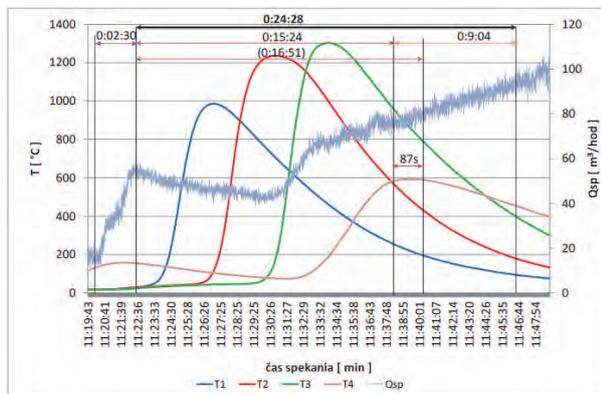
Tento trend souvisí se zhoršenou intenzitou hoření antracitu a také s vyšším podílem prchavé hořlaviny, která se uvolňuje při nižších teplotách, což je příčinou nižšího tepelného efektu při odevzdávání tepla paliva vsázce. Při spékání se stejným koeficientem náhrady byl pozorován mírně rychlejší průběh spékání, což lze přičíst zvýšené prodyšnosti vsázky.



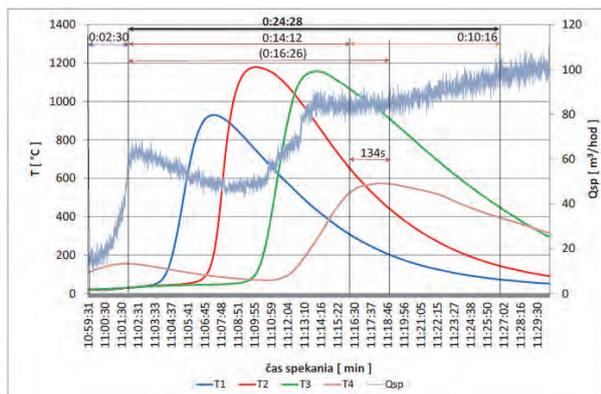
Obr. 2 Průběh teplotních křivek spékání (aglomeráčn směs A1) [4]
Fig. 2 Temperature curves during sintering (sinter mixture A1) [4]



Obr. 3 Průběh teplotních křivek spékání (aglomeráčn směs A4) [4]
Fig. 3 Temperature curves during sintering (sinter mixture A4) [4]



Obr. 4 Průběh teplotních křivek spékání (aglomeráčn směs A2) [4]
Fig. 4 Temperature curves during sintering (sinter mixture A2) [4]

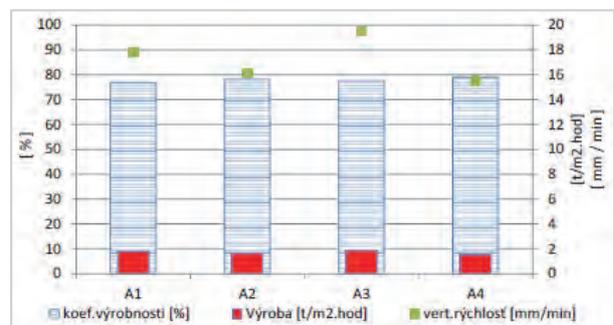


Obr. 5 Průběh teplotních křivek spékání (aglomeráčn směs A3) [4]
Fig. 5 Temperature curves during sintering (sinter mixture A3) [4]

Následující graf (obr. 6) zobrazuje parametry výkonu spékání pro jednotlivé modelové hromady. Z vypočítaných hodnot vertikální rychlosti spékání, která zahrnuje rovněž koeficient výrobnosti a vliv geometrie spékací pánvičky je vidět nejednoznačný vliv paliva, jelikož funkční závislost vertikální rychlosti spékání závisí i na dalších proměnných (měrné teplo vsázky a plynu, rychlost prosávaného vzduchu (plynu), sypná hmotnost vsázky, fyzikální vlastnosti vsázky, objemové měrné teplo vsázky). Při zohlednění všech vlivů a porovnání těchto parametrů lze spatřovat jistý negativní vliv náhrady koksu prachu na vertikální rychlost spékání, což se potvrzuje zejména u spékání směsí A1 a A4, čili při plné náhradě koksu prachu antracitem.

Koeficient výrobnosti je na srovnatelné úrovni s malým nárůstem přibližně o 2 % při záměně koksu prachu za antracit, ovšem specifická výroba při 100% náhradě klesá zhruba o 17 %. V případě 50% náhrady bylo dosaženo dokonce pozitivnějších výkonnostních parametrů při vytríděném antracitu než při spékání s koksem prachem.

Dle provedeného rozsevu aglomerátů došlo k mírnému snížení podílu podsítného aglomerátu o 2 % v případě 100% náhrady paliva, což se potvrdilo i vzrůstem středního zrna, a to jak v případě vytríděného aglomerátu, tak i podsítných frakcí. Pevnost aglomerátů byla v průměru identická s mírným negativním vlivem antracitu, což se projevilo i na zvýšení oteru přibližně o 0,7 %.



Obr. 6 Vliv náhrady koksu prachu antracitem na výrobní parametry [4]
Fig. 6 Effect of substitution coke breeze by anthracite coal on production parameters [4]

Tab. 2 uvádí chemické složení vyrobených aglomerátů. Z uvedené tabulky je zřejmé, že i přes teoreticky shodné složení jednotlivých směsí, co do zastoupení rudné části, byly stanoveny hodnoty s jistými odchylkami. Obsah Fe se ve vyrobených aglomerátech pohyboval v rozmezí 56,7 – 57,7 % a bazicita kolísala v rozmezí 0,8 – 0,9.

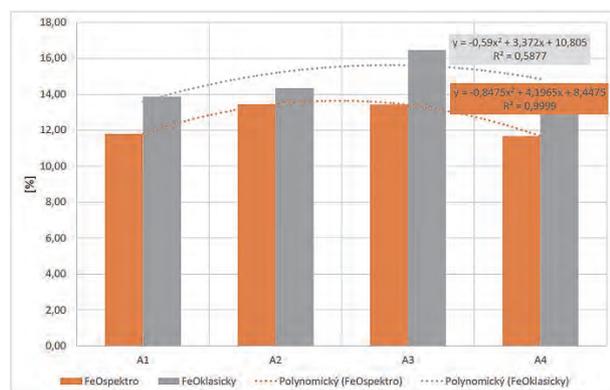
Z pohledu chemického složení byly zajímavé rozdíly ve stanovených obsazích FeO, které se lišily použitou metodou jejich stanovení (spektrometricky, klasická chemická metoda). Vliv náhrady koksu antracitem na obsah FeO v aglomerátu je zobrazen pro dané experi-

menty na obr. 7, na kterém se maximum objevuje při 50% náhradě koksu prachu. Uvedený trend je potvrzen oběma metodami stanovení obsahu FeO, přičemž pro spektrometrické stanovení vykazuje vyšší spolehlivost. V této souvislosti je zajímavý zbytkový obsah uhlíku v analyzovaných aglomerátech, kdy se v případě aglomerátů z aglomeračních směsí A1 a A4 projevil jistý nedopad, což mohlo vést k nižším hodnotám FeO oproti aglomerátům s 50% náhradou koksu prachu.

Tab. 2 Chemické složení experimentálně vyrobených aglomerátů (hm.%)

Tab. 2 Chemical composition of experimental sinters (wt.%)

(%)	A1	A2	A3	A4
Fe	56,70	57,60	57,70	57,50
FeO (spektro)	11,80	13,44	13,42	11,67
FeO (klasicky)	13,87	14,34	16,46	14,57
SiO ₂	8,66	8,76	8,52	8,91
Al ₂ O ₃	1,23	1,10	1,10	1,11
Mn	0,31	0,29	0,30	0,30
CaO	7,36	7,06	7,03	6,81
MgO	1,69	1,04	1,08	1,11
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,07	0,07
S	0,019	0,007	0,010	0,016
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,02	0,02
Zn	0,007	0,005	0,005	0,005
P2	0,92	0,82	0,84	0,79
Na ₂ O	0,036	0,032	0,032	0,032
K ₂ O	0,075	0,064	0,070	0,074
C	0,21	< 0,01	0,04	0,14

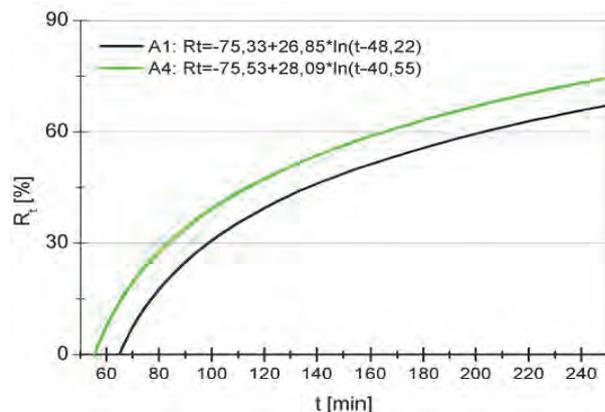


Obr. 7 Vliv náhrady koksu prachu antracitem na obsah FeO v aglomerátu [4]

Fig. 7 Effect of substitution (coke breeze by anthracite coal) on FeO content in the sinter [4]

Dalším ze zkoumaných parametrů provedeného experimentu byla redukovatelnost vyrobených aglomerátů. V souvislosti se změnou druhu paliva a jeho vlivem na kvalitu aglomerátu byly provedeny dva testy redukovatelnosti dle metody ISO 4695, a to u vzorků aglomerátů z aglomerační směsí A1 a A4 (čili se 100% náhradou paliva).

Výsledky provedených zkoušek prokázaly rozdíly v redukovatelnosti aglomerátů, kdy je z průběhů hmotnostních úbytků během působení plyné směsi CO + N₂ na vzorky vidět rozdíl v regresních křivkách redukce. Funkční závislosti stupně redukce R_t na čase jsou porovnané na obr. 8.



Obr. 8 Stupeň redukce v čase pro aglomeráty A1 a A4 [4]

Fig. 8 Degree of reduction in time (sinter A1 and A4) [4]

Z průběhu křivek lze vidět, že aglomerát A1 dosahuje rychlost redukce v intervalu 30 až 60 min. hodnoty 0,32 %·min⁻¹, což je v porovnání s redukčním gradientem aglomerátu A4 o přibližně 22 % nižší rychlost. Tyto zjištěné výsledky potvrzují předpoklad těžko redukovatelného aglomerátu u obou dvou typů, vzhledem k poměrně vysokému obsahu FeO a nízké bazicitě. Hodnota indexu redukovatelnosti se pak u zkoumaných aglomerátů pohybovala okolo 0,55 – 0,73.

Závěry

Z provedeného experimentálního spékání aglomeračních směsí s cílem zjistit vliv náhrady koksu prachu antracitem na proces spékání a kvalitu aglomerátu vzešly následující závěry:

- nahrazení koksu prachu antracitem v plném rozsahu nemá zásadní vliv na proces sbalování směsi a předpeletizaci vsázky,
- s nárůstem koeficientu náhrady koksu prachu antracitem byl zaznamenán pokles teplot spékání vrstvy a nárůst doby spékání,
- z analýzy výkonových parametrů spékání je vidět jistý negativní vliv náhrady koksu prachu antracitem na vertikální rychlost, což je potvrzeno v případech spékání aglomerační směsí A1 a A4,
- koeficient výrobnosti je na provnatelné úrovni, ovšem specifická výroba klesá při 100% náhradě koksu prachu antracitem zhruba o 17 %,
- náhrada koksu prachu antracitem má mírný vliv na snížení podílu podsítné frakce (cca 2 %) u spékání směsí A1 a A4, což bylo potvrzeno nárůstem středního zrna,

- pevnost aglomerátů je v průměru identická s mírným negativním vlivem antracitu,
- chemickou analýzou vyrobených aglomerátů byly zjištěny rozdíly zejména v obsahu FeO, který je jedním z parametrů určujících kvalitu aglomerátu,
- stupeň redukce a index redukovatelnosti stanovené pro aglomeráty ze směsí A1 a A4 potvrdily předpoklad těžko redukovatelných aglomerátů, a to vzhledem k jejich obsahu FeO a množství aglomerační taveniny, kdy z průběhu měření vyplývá, že aglomerát A1 dosahuje v porovnání s redukčním gradientem aglomerátu A4 o cca 22 % nižší rychlosti; v tomto případě měla náhrada koksu prachu antracitem pozitivní vliv na redukovatelnost aglomerátu.

Literatura

- [1] PIETRUCK, R. et al. *Alternate Carbon Sources for Sintering of Iron Ore*. RFCS. Final report. 2013. ISBN 978-92-79-22676-2.
- [2] KAZANTSEV, E. A. et al.: Using AMSSh Anthracite in Sinter Production. *Steel in Translation*, 43 (2013) 3, 127–128. ISSN 0967-0912.
- [3] STRAKHOV, V. M. et al. Utilizing Gorlovsk Basin Anthracite in Metallurgical Production. *Coke and Chemistry*, 51 (2008) 9, 346–356. ISSN 1068-364X.
- [4] FINDORÁK, R. et al. *Vplyv antracitu na aglomeračný proces a kvalitu aglomerátu pre potreby TŽ, a.s.* (Výskumná správa) Košice, 2016.

Thyssenkrupp přebudovává ocelářskou divizi

Börsen-Zeitung

08.04.2017

Thyssenkrupp představil na zasedání závodních rad první cíle a limity plánované přestavby ocelářské divize. Podle údajů managementu nepokrývá divize již celé roky kapitálové náklady a musí být proto restrukturalizována. Šéf divize Andreas Goss stanovil pro ocelářskou divizi do roku 2020 výkonnostní rozdíl ve výši 1,6 mld. € 500 mil. euro má být v příštích třech letech ušetřeno. Kromě toho má být snížen počet zaměstnanců a mají být odstavena některá zařízení u hrubých plechů. Šéf představenstva Thyssenkrupp Heinrich Hiesinger zdůraznil v minulosti již několikrát nutnost přestavby a konsolidace. „Již roky nevyděláváme na naše náklady. A to i přesto, že Steel Europe patří ke dvěma nejrentabilnějším výrobcům oceli v Evropě. Úsporné programy nám dávají jen možnost vydechnutí“, prohlásil Hiesinger na valné hromadě. Provozní, surovinové a dopravní náklady se dají stlačit jen těžko. Jinak je tomu u personálních nákladů, které tvoří zhruba čtvrtinu celkových nákladů. Ty by měly brzy stoupnout, protože v nejdůležitějším závodě v Duisburgu se bude přecházet z 31 hodinového týdne zpět na 35 hodinový. Koncern chce ale personální náklady snížit o více než 200 milionů euro, což je o více než 10 %. Podniková rada se obává odbourání tisíců pracovních míst a dále i úplného uzavření některých provozů a lokalit. S těmito záměry vyslovila nesouhlas. Jako o ohrožených provozech či závodech se mluví o válcovně v Bochumi a provozech v Kreuztal a Gelsenkirchenu. Diskutuje se také o Hüttenwerke Krupp-Mannesmann (HKM), které patří společně koncernům ThyssenKrupp, Salzgitter a Vallourec. Od roku 2016 se jedná o fúzi s Tata Steel. Joint Venture 50:50 by byl řešením, konec jednání se ale zdá být v nedohlednu. V důsledku fúze by vznikl druhý největší výrobce oceli v Evropě za ArcelorMittal s 50 000 zaměstnanci a obratem 20 mld. € Podíl na trhu s lukrativní ocelí pro automobilový průmysl by tvořil čtvrtinu.

Rozloučení Audi s autem z hliníku

Frankfurter Allgemeine

11.04.2017

Zná pokrok jen jeden směr? Na spirále se můžete pohybovat stejně směrem nahoru i dolů. To se domnívali inženýři z Audi, když nadchnuti zapáleným technikem Ferdinandem Piechem, když vyvinuli v roce 1994 pro druhou generaci velké limuzíny A8 první velkosériově vyráběnou celohliníkovou karoserii. Použitím tohoto lehkého kovu snížili hrubou váhu hrubé karoserie na pouhých 249 kg. Lehčí auta, tak pravila naděje, potřebují jen menší motor a ne tak silné brzdy a tlumiče. S novým A8, které bude představeno na IAA ve Frankfurtu nad Mohanem, proběhne rozloučení s čistě hliníkovým A8, které bylo mezitím kopírováno mnoha výrobci. Dnes bude z různých druhů hliníku již jen 58 % hrubé karoserie, jakož i dveře, kryt motoru a kryt zavazadlového prostoru. Nové kouzelné slůvko zní: „smíšený způsob konstrukce“. Zvláštní roli při tom hrají za tepla tvářené oceli, ty tvoří jádro přední kostry prostoru pro cestující, které chrání jezdce a spolujezdce před nárazem. „Postavíme-li pevnost do relace s hmotností, leží za tepla tvářená ocel dnes před hliníkem“, vysvětluje Bernd Mlekusch, šéf centra pro lehké konstrukce v Audi.

Vliv prosazování koksu hrášku na provozní parametry vysokých pecí

Effect of Nut Coke Charging on Operational Parameters of Blast Furnaces

Ing. Petr Klus, Ph.D.¹; Ing. Jan Kufa²; Ing. Petr Faruzel¹; Ing. Roman Taska¹; Ing. Radek Hermann¹

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

² MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Předkládaný článek se zabývá prosazováním koksu hrášku do vysokých pecí s cílem vyhodnotit vliv tohoto drobnozrnného podílu koksu v rudné vsázce na provozní a technicko-ekonomické parametry vysokopecního procesu. Na počátku roku 2017 byly na vysokých pecích č. 4 a 6 v TŽ, a.s. provedeny kampaně bez prosazování koksu hrášku za účelem zjištění jeho vlivu na provozní parametry chodu vysokých pecí. K samotnému vyhodnocení zkoumaného vlivu bylo využito statistické analýzy provozních dat, přičemž v příspěvku je pozornost zaměřena na analýzu kampaně proběhlé na vysoké peci č. 4. Vyhodnocení vlivu prosazování koksu hrášku se orientuje především na spotřebu vysokopecního koksu, stupeň využití plynu ETA CO, variabilitu obsahu Si v surovém železe, rozdíl teplot na sazebně, odvod tepla v chladnicích a diferenční tlak.

Klíčová slova: vysoká pec; prosazování koksu hrášku; provozní zkouška; statistická analýza

This paper deals with nut coke charging into the blast furnaces in order to evaluate the effect of charging the small size coke on operational, technical and economical parameters. At the beginning of 2017, a campaign of no-charging of the nut coke to blast furnace burden was carried out in order to determine its effect on blast furnace operation. This operational test was performed on both blast furnaces in Trinecke zelezarny, a.s. – BF No. 4 and BF No. 6. The statistical analysis of the operational data was used for the evaluation of the studied influence. This paper is focused on data analysis from the campaign of the BF No. 4. The evaluated effect of nut coke charging is oriented on these parameters: BF coke consumption, ETA CO, variability of silicon content in molten iron, temperature difference on the top, differential pressure, heat dissipation in copper staves and Fe staves. According to the results of the statistical analysis, the quantity of nut coke charging was in average of 50.2 kg/t of hot metal. According to the multidimensional regression, the replacement coefficient of blast furnace coke with nut coke was 0.948 kg·t⁻¹. The nut coke charging led to an increase of the ETA CO, to a decrease of temperature difference on the top, to a lower variability of the Si content in molten iron, to a decrease of heat dissipation in the cooling staves and to an increase of the differential pressure. The optimal utilisation of the nut coke depends on its reaction ability with different burden composition, coke quality, charging strategy and ideal nut coke distribution. This is a way for achievement of a maximal utilisation of nut coke charging into the blast furnace. Regarding the increase of differential pressure during the nut coke charging, the actual rate of nut coke in the burden is on the maximal value with the corresponding quality of the used BF coke and the injection rate of pulverized coal.

Key words: blast furnace; nut coke charging; operational test; statistical analysis

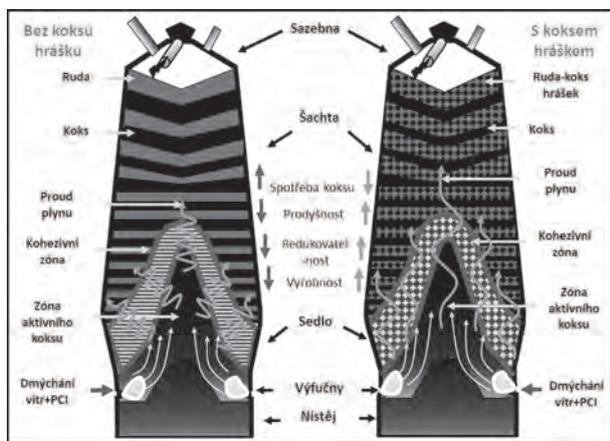
Metalurgický koks je vyráběn karbonizací směsi koksovateľného uhlí v koksárenské baterii. Takto vyrobený koks se obvykle třídí do tří granulometrických frakcí – koks prach (do 10 mm), koks hrášek (+10 mm do 25 mm) a vysokopecní koks (+25 mm do 80 mm) [1]. Vysokopecní koks je jednou z nedůležitějších složek vsázky, která ovlivňuje ekonomickou stránku vysokopecního procesu a výroby. Snahou prakticky všech výrobců železa a oceli je efektivně využívat dostupné materiály a nejnovější technologie, které v optimálním případě vedou ke snížení nákladů na výrobu. V případě technologie výroby surového železa ve vysokých pecích (VP) se celosvětově využívá drobnozrnných podílů koksu (koks hrášek, koks ořech) k zajištění vhodných podmínek chodu VP, což může přinášet zvýšení výrobnosti, úsporu vysokopecního koksu a

v konečném důsledku snížení celkových nákladů vysokopecního závodu. Provoz mnoha VP prokázal možnosti v úspoře koksu a zvýšení výrobnosti při prosazování koksu hrášku. V současné době se prosazované množství koksu hrášku liší v závislosti na podmínkách každého podniku, dále na určené velikosti zrna koksu hrášku každým podnikem a pohybuje se v širokém rozmezí od několika kilogramů až po 140 kg·t⁻¹ surového železa [2]. Na obr. 1 je zobrazeno srovnání provozu VP s koksem hráškem a bez koksu hrášku.

Současné výzkumné aktivity [3 – 6] naznačují, že využití koksu hrášku je ekonomické při správně zvoleném způsobu jeho prosazování. Většina producentů surového železa volí jeho přidávání k železnorudné části vsázky.

Tento způsob prosazování přináší výhody zejména z pohledu zajištění potřebné prodyšnosti po výšce a průřezu VP. Pokud by byl koks hrášek prosazován společně s vysokopecním koksem o větší zrnitosti, docházelo by k zaplnění volných prostorů mezi hrubozrnnými podíly, čímž by následně klesla prodyšnost vsázkového sloupce. Zavážení koksu hrášku s rudnou vsázkou tedy přináší ve výsledku zlepšení prodyšnosti v šachtě VP.

Na základě experimentů na studeném modelu doporučili Babich aj. [6] a Song aj. [3] využití koksu hrášku ve směsi s rudnou vsázkou ke zlepšení prodyšnosti v suché zóně VP. Zjistili, že větší zrnitost koksu hrášku má logicky pozitivní vliv na prodyšnost plynu. Oproti tomu vliv koksu hrášku na prodyšnost vsázky rovněž logicky klesá s jeho zvyšujícím se prosazovaným podílem.



Obr. 1 Provoz VP s/bez koksu hrášku [6]

Fig. 1 BF operation with/without nut coke [6]

Koks hrášek prosazený do VP společně s rudnou vsázkou má vliv také na prodyšnost v oblasti kohezivní zóny, kde slouží jako kostra drobného koksu, udržuje ji ve stabilní formě a zároveň může zlepšovat podmínky měknutí a tavení rudné vsázky. Obzvláště při vysokých teplotách, okolo 800 °C, se při využití koksu hrášku zabraňuje zpomalení redukce (*reduction retardation*), rozšiřuje se její oblast a v kohezivní zóně je podporována přímá redukce, která nezasahuje do oblasti nístěje, čímž se rovněž v nístěji zlepšují teplotní podmínky [2].

Bylo rovněž prokázáno, že snížení spotřeby koksu při využití koksu hrášku je vyvoláno vyšší reaktivitou koksu hrášku ve srovnání s vysokopecním koksem v důsledku zlepšených podmínek reakce s oxidem uhličitým, čímž koks hrášek přispívá k vytvoření optimálního reakčního prostředí v šachtě vysoké pece. Vyšší reaktivita koksu hrášku souvisí s jeho menší zrnitostí a větší reakční plochou. Toto zjištění prokázalo, že se koks hrášek aktivně zúčastňuje reakcí, které zároveň podporuje (Boudouardova reakce, přímá redukce, nauhličování metalického železa ad.) [3].

Mechanismus vlivu přidávání koksu hrášku k rudné vsázce na chod a výkon VP není stále úplně vysvětlen, přičemž samotné prosazování koksu hrášku je také limitováno [3]. Je zde tedy velký prostor pro další výzkum vlivu koksu hrášku na provozní parametry VP.

V Třineckých železárnách, a.s. se běžně prosazují drobnozrnné podíly koksu společně s rudnou vsázkou v množství do 75 kg·t⁻¹ surového železa. V první polovině roku 2017 byly provedeny na vysokých pecích č. 4 a 6 (VP4, VP6) kampaně bez prosazování koksu hrášku za účelem zjištění jeho vlivu na provozní parametry chodu VP. Jelikož celkové vyhodnocení vlivu koksu hrášku na provozní parametry chodu VP6 nebylo dosud kompletně analyzováno, je v článku pozornost zaměřena na analýzu provozních dat pouze z VP4. K samotnému vyhodnocení zkoumaného vlivu bylo využito statistické analýzy provozních dat.

Statistická analýza provozních dat

Cílem statistické analýzy bylo vyhodnocení vlivu prosazování koksu hrášku na spotřebu vysokopecního koksu a další provozní parametry vysokých pecí č. 4 a 6 v TŽ, a.s. Byla uvažována standardní hladina významnosti $\alpha = 0,05$. V tomto článku je pozornost zaměřena hlavně na VP4.

V datech je zachyceno období od listopadu 2016 do ledna 2017 (běžný chod VP4 s průměrnou spotřebou koksu hrášku kolem 50 kg·t⁻¹ surového železa) a dále navazující období ledna až března 2017 (období bez koksu hrášku ve vsázce VP4). Datový soubor obsahuje jak technologické proměnné, ovlivňující parametry chodu VP4 (tzv. vysvětlující proměnné), tak i provozní parametry, charakterizující kvalitu a stabilitu chodu VP4 (tzv. vysvětlované proměnné). Sestavení datového souboru bylo průběžně konzultováno s technologi vysokých pecí, kteří doporučili vyloučení 8 nestandardních dní z datového souboru. Dále byly vyloučeny dny s celkovým stáním VP4 větším než 2 h.

Finální datový soubor, ze kterého vycházela statistická analýza tak obsahuje celkem 49 záznamů (dní) běžného chodu VP4 s koksem hráškem ve vsázce a 36 dní kampaně bez koksu hrášku ve vsázce.

Vyhodnocení a diskuse dosažených výsledků vlivu koksu hrášku na spotřebu vysokopecního koksu na VP4

Vliv měrné spotřeby koksu hrášku na měrnou spotřebu vysokopecního koksu byl vyhodnocen pomocí vícerozměrné regresní analýzy.

Byl sestaven následující regresní model závislosti měrné spotřeby vysokopecního koksu (KOKS_{msp}) na třech důležitých proměnných – bohatosti vsázky (BV), měrné spotřebě uhlí (UHLI_{msp}) a měrné spotřebě koksu hrášku (hrasek_{msp}). Model je možné matematicky vyjádřit pomocí regresní rovnice (1):

$$\text{KOKS}_{\text{msp}} = 834,786 - 0,778504 \cdot \text{UHLI}_{\text{msp}} - 0,947992 \cdot \text{hrasek}_{\text{msp}} - 6,53361 \cdot \text{BV} \quad (1)$$

Takto navržený regresní model je statisticky významný jako celek. Stejně tak významné jsou odhady regresních koeficientů všech 3 vysvětlujících proměnných, které snižují spotřebu vysokopecního koksu. Koeficient

determinace tohoto modelu je roven 0,89, tzn. variabilitu měrné spotřeby vysokopečnického koksu vysvětluje z 89 %. Pomocí tzv. regresního tripletu byla provedena diagnostika regresního modelu [7]; navržený regresní model lze považovat za adekvátní.

V tab. 1 jsou uvedeny vypočtené odhady regresních koeficientů.

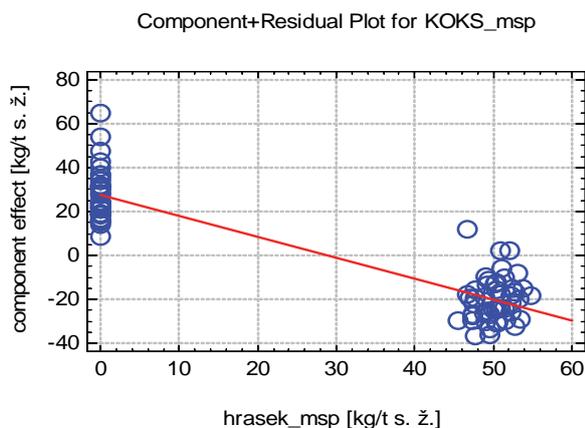
Tab. 1 Regresní koeficienty a intervaly spolehlivosti
Tab. 1 Regression coefficients and confidence intervals

Parameter	Estimate	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	834.786	750.554	919.019
UHLI_msp	-0.779	-0.995	-0.562
hrasek_msp	-0.948	-1.050	-0.846
BV	-6.534	-7.593	-5.475

Regresní koeficient pro měrnou spotřebu koksu hrášku je roven -0.948. Znamená to, že zvýšení měrné spotřeby koksu hrášku o $1 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa sníží měrnou spotřebu vysokopečnického koksu o $0,948 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa.

Přesnost tohoto odhadu udává interval spolehlivosti, podle kterého se skutečná hodnota regresního koeficientu s 95% pravděpodobností nachází v rozmezí 0,85 až $1,05 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa.

Parciální regresní graf na obr. 2 ukazuje vliv měrné spotřeby koksu hrášku na změnu průměrné měrné spotřeby vysokopečnického koksu při eliminaci vlivu ostatních proměnných, respektive při uvažování jejich průměrných hodnot. V tomto grafu průměrná hodnota měrné spotřeby koksu hrášku (vypočtená ze všech hodnot obou kampaní) protíná nulovou změnu spotřeby vysokopečnického koksu, takže z grafu je např. vidět, že zvýšení měrné spotřeby koksu hrášku z průměrné hodnoty na $50 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ je spojeno se snížením spotřeby vysokopečnického koksu o cca $20 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa.



Obr. 2 Parciální regresní graf (hrasek_msp)
Fig. 2 Component + residual plot (hrasek_msp)

Na měrnou spotřebu vysokopečnického koksu má vliv celá řada dalších technologických proměnných, které v regresním modelu vyšly jako statisticky nevýznamné,

a to ať už z důvodu malého počtu datových záznamů, nebo malé variability těchto proměnných ve sledovaném období. Pro vyloučení možnosti ovlivnění výsledků regresní analýzy byly pomocí neparаметrické verze t-testu alespoň testovány rozdíly v mediánech těchto doprovodných technologických proměnných v obou sledovaných obdobích.

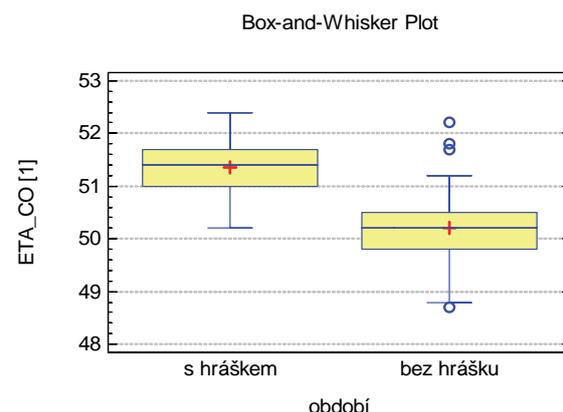
V období bez prosazování koksu hrášku byl zaznamenán vyšší medián měrného množství strusky (o $17 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa), nižší medián obsahu Mn v surovém Fe (o 0,03 %), dále vyšší měrná spotřeba vápence (o $1,9 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa) a vyšší teplota horkého větru (o $4 \text{ }^\circ\text{C}$). Tyto rozdíly však zásadně neovlivnily výsledky vícerozměrné regrese.

Vyhodnocení a diskuse dosažených výsledků vlivu koksu hrášku na další provozní parametry VP4

Spotřeba vysokopečnického koksu není jediný sledovaný ukazatel chodu VP4. Pomocí dvouvýběrového t-testu byly porovnány průměrné hodnoty dalších 6 důležitých ukazatelů chodu VP4 v obou sledovaných obdobích. Nalezené (statisticky významné) rozdíly doplněné p-hodnotami provedených t-testů a krabicovými grafy jsou komentovány níže.

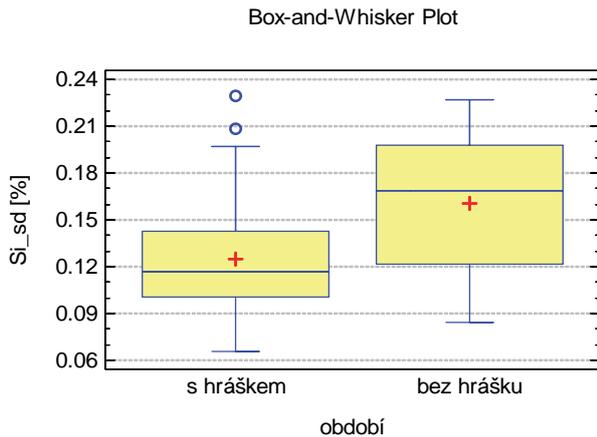
Prosazování koksu hrášku se podle těchto výsledků projevovalo:

- Vyšším využitím vysokopečnického plynu. Průměrná hodnota koeficientu využití vysokopečnického plynu (ETA_CO) je statisticky vyšší ($p < 0.0001$) v období s prosazováním koksu hrášku (51,3) než v období bez prosazování koksu hrášku (50,2) – obr. 3.

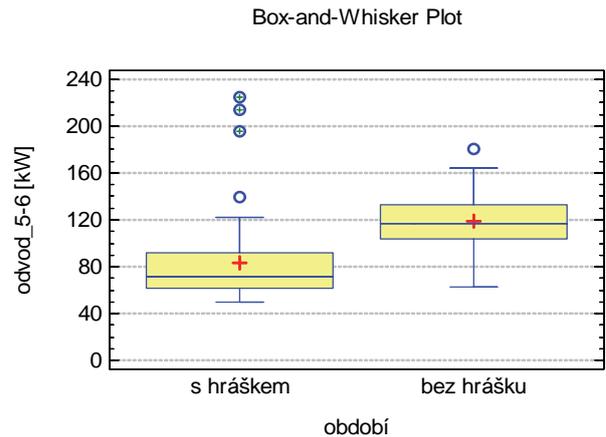


Obr. 3 Krabicový graf (ETA_CO, období)
Fig. 3 Boxplot (ETA_CO, campaign)

- Nižší variabilitou (vyšší stabilitou) obsahu Si v surovém železe. Průměrná směrodatná odchylka obsahu Si v surovém železe (Si_sd) je statisticky nižší ($p < 0.0001$) v období prosazování koksu hrášku (0,12 %) než v období bez koksu hrášku (0,16 %) – obr. 4.

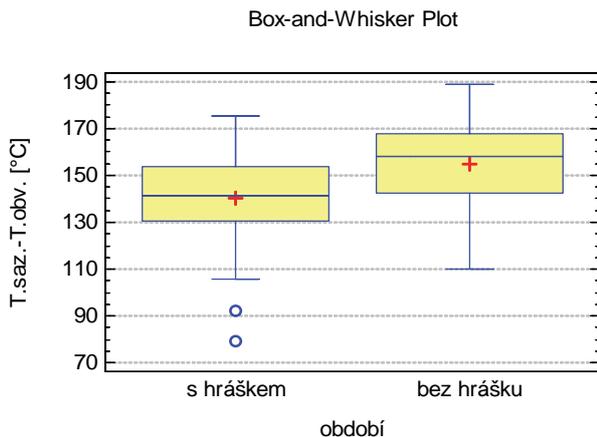


Obr. 4 Krabicový graf (Si_sd, období)
Fig. 4 Boxplot (Si_sd, campaign)



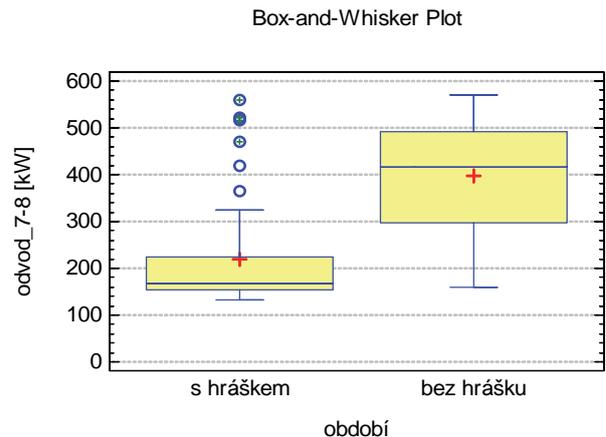
Obr. 6 Krabicový graf (odvod_5-6, období)
Fig. 6 Boxplot (odvod_5-6, campaign)

- Nižším průměrným rozdílem teplot sazebný a obvodu sazebný ($T_{\text{saz.}} - T_{\text{obv.}}$). Průměrný rozdíl těchto teplot je statisticky nižší ($p = 0.0009$) v období s prosazováním koksu hrášku ($140\text{ }^{\circ}\text{C}$) než v období bez koksu hrášku ve vsázce ($154\text{ }^{\circ}\text{C}$) – obr. 5.



Obr. 5 Krabicový graf ($T_{\text{saz.}} - T_{\text{obv.}}$, období)
Fig. 5 Boxplot ($T_{\text{saz.}} - T_{\text{obv.}}$, campaign)

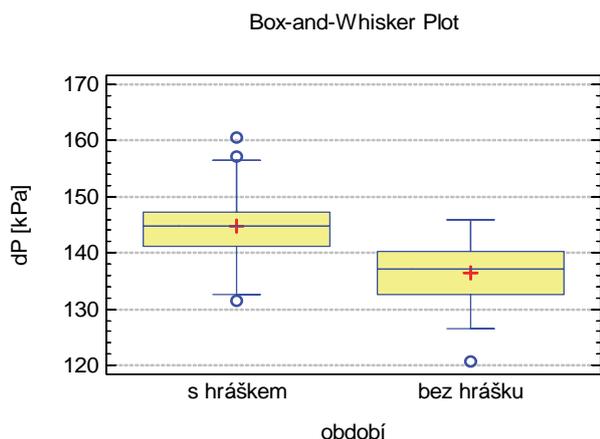
- Nižším odvodem tepla v 7.–8. řadě chladnic (odvod_7-8). Průměrná hodnota odvodu tepla v 7.–8. řadě chladnic je statisticky nižší ($p < 0.0001$) v období s prosazováním koksu hrášku ($219,6\text{ kW}$) než v období bez jeho prosazování ($396,5\text{ kW}$) – obr. 7.



Obr. 7 Krabicový graf (odvod_7-8, období)
Fig. 7 Boxplot (odvod_7-8, campaign)

- Nižším odvodem tepla v 5.–6. řadě chladnic (odvod_5-6). Průměrná hodnota odvodu tepla v 5.–6. řadě chladnic je statisticky nižší ($p < 0.0001$) v období s prosazováním koksu hrášku ($83,6\text{ kW}$) než v období bez jeho prosazování ($118,5\text{ kW}$) – obr. 6.

- Vyšším diferenčním tlakem (dP). Průměrná hodnota diferenčního tlaku je statisticky vyšší ($p < 0.0001$) v období s koksem hráškem ($144,7\text{ kPa}$) než v období bez prosazování koksu hrášku ($136,4\text{ kPa}$) – obr. 8.



Obr. 8 Krabicový graf (dP, období)

Fig. 8 Boxplot (dP, campaign)

Závěr

Podle výsledků statistické analýzy a vícerozměrné regrese je koeficient záměny vysokopecního koksu koksem hráškem roven $0,948 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa, a to v případě prosazování koksu hrášku v průměrném měrném množství $50,2 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ surového železa.

Z pohledu výrobnosti VP č. 4 v uvedených obdobích (s koksem hráškem a bez koksu hrášku) byl zjištěn rozdíl - 50 tun, čili nepatrné snížení výrobnosti při prosazování koksu hrášku (dle provedené analýzy byly tyto rozdíly statisticky nevýznamné). Výsledky publikované ve zdrojové literatuře a uvedené na obr. 1 tedy nebyly ani potvrzeny ani vyvráceny.

Prosazování koksu hrášku dále vedlo ke zvýšení využití vysokopecního plynu, snížení rozdílu teplot na sazebně, nižší variabilitě obsahu Si v surovém železe, snížení odvodu tepla v 5. – 8. řadě chladnic a ke zvýšení diferenčního tlaku.

Z pohledu zvýšení diferenčního tlaku tak nebyly zcela potvrzeny dosahované výsledky z citovaných literárních poznatků, kdy je uváděno zlepšení prodyšnosti vsázky při prosazování koksu hrášku.

Optimální využití koksu hrášku závisí na jeho reakčních vlastnostech s různými složkami vsázky, kvalitě vysokopecního koksu, prosazovaném množství koksu hrášku (respektive celkového množství drobnozrnných podílů), způsobu zavážení a vhodného rozložení po průřezu pece. Jen tak lze zajistit maximální možnosti využití výhod prosazování koksu hrášku do vysokých pecí.

Z uvedených důvodů a vlivem navýšení diferenčního tlaku v období prosazování koksu hrášku se aktuální podíl koksu hrášku ve vsázce jeví jako maximální i s ohledem na kvalitu používaného vysokopecního koksu a množství injektovaného práškového uhlí.

Poděkování

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

Literatura

- [1] GAVEL, D. J. A Review on Nut Coke Utilisation in the Ironmaking Blast Furnaces. *Material Science and Technology*, 33 (2017) 4, 381–387. ISSN 0267-0836. Online ISSN 1743-2847.
- [2] MOUSA, E. A., BABICH, A., SENK, D. Effect of Nut Coke-sinter Mixture on the Blast Furnace Performance. *ISIJ International*, 51 (2011) 3, 350–358. ISSN 0915-1559. Online ISSN 1347-5460.
- [3] SONG, Q. et al. Effect of Nut Coke Reduction Behaviour in Iron-making Blast Furnace. *Baosteel Technical Research*, 9 (2015) 3, 8-16.
- [4] MOUSA, E.A., SENK, D., BABICH, A., GUDENAU, H.W. Influence of Nut Coke on Iron Ore Sinter Reducibility under Simulated Blast Furnace Conditions. *Ironmaking and Steelmaking*, 37 (2010) 3, 219–228. ISSN 0301-9233. Online ISSN 1743-2812.
- [5] BABICH, A. et al. Effect of Coke Reactivity and Nut Coke on Blast Furnace Operation. *Ironmaking and Steelmaking*, 36 (2009) 3, 222–228. ISSN 0301-9233. Online ISSN 1743-2812.
- [6] <http://ispatguru.com/use-of-nut-coke-in-a-blast-furnace/>
- [7] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Kompendium statistického zpracování dat. Metody a řešené úlohy*. 2. vyd. Praha: Academia, 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.

Salzgitter platí trestná cla USA

Börsen-Zeitung

11.04.2017

V antidumpingovém procesu USA proti evropskému ocelářskému podniku potvrdil druhý největší německý výrobce oceli Salzgitter placení trestného cla. „Od 30. března to nabylo právní účinnosti a náš výrobek hrubý plech je od té doby zatížen trestným clem ve výši 22,9 %," řekl mluvčí koncernu Salzgitter. Cla nebyla uvalena se zpětnou platností. Koncern rozhodně odmítl proti němu směřované výtky, jeho obrat v obchodu s USA činí zhruba 6 % z celkového obratu.

Možnost predikce povrchové kvality vývalku z automatové oceli 9MnS28 pomocí laserové triangulační metody

Current Possibilities of Prediction of Surface Quality of the Rolled Product Made of Free-Cutting Steel 9MnS28 with the use of Laser Triangulation Method

Ing. Zdeněk Solowski; Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.; Ing. Milan Plevko; Ing. Karel Milan Čmiel, Ph.D.; Ing. Radek Cieslar

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

Pro automatovou ocel 9MnS28 bylo provedeno kompletní zmapování povrchové kvality litých sochorů metodou laserové triangulace (LTM). Na základě získaných výsledků bylo realizováno laboratorní válcování za tepla s cílem zkoumat přenos různých přirozených povrchových nehomogenit při válcování do finálního výrobku. U laboratorních vývalků, kde byly identifikovány přenesené povrchové vady, proběhla podrobná metalografická analýza a výsledky byly použity k nastavení LTM pro detekci povrchových vad litých sochorů. Na základě těchto výsledků mohla být provedena optimalizace broušení sochorů a dosažení stabilní povrchové kvality u válcovaných automatových ocelí.

Klíčová slova: automatová ocel; povrchová kvalita automatových ocelí; metoda laserové triangulace

The laser triangulation method (LTM) was applied to complex evaluation of surface quality of continuously cast billets made of free-cutting steel 9MnS28. 84 billets were examined using LTM for the experiment and based on the settings of the LTM level filters, which in this case displayed only surface inhomogeneities from depths greater than 0.5 mm, the billets were divided into two groups. The first group contained billets that had a large number of inhomogeneities larger than 0.5 mm and the second group contained billets that had no such inhomogeneities at all or had them only in small amounts.

Only one billet with good surface quality and one with a worse surface quality were selected for the next phase of the experiment. The samples with surface inhomogeneities were then subjected to laboratory hot-rolling to assess the deformation behaviour of various primary casting inhomogeneities during the final forming of the product. Subsequently, laboratory rolled-out samples with identified transferred inhomogeneities/defects were thoroughly investigated by means of NDT method and metallography. In the final phase of the experiment, all the results were correlated, that is, the positions of the defects found on the bars and the position of the inhomogeneities found on the billet samples were compared. A catalogue of defects was created from all the data.

The results showed that in the case of a good billet surface quality, only four defects on the bars were identified from ten samples after laboratory hot-rolling. On the other side, eight defects were identified on the bars in the case of ten worst billet samples. It turned out that the classification of billets based on the settings of the LTM level filters was correct.

The outcomes were finally used for adjustment of the settings of the LTM level filters for future detection of possible surface inhomogeneities on continuously cast billets made of free-cutting steel 9MnS28. Based on the results, an optimization of billets grinding procedures, especially in their corner-regions, was accomplished to achieve a stable surface quality of free-cutting steels.

Key words: free-cutting steel; surface quality of free-cutting steel; laser triangulation method

Automatové oceli jsou oceli nízkouhlíkové s řízeným obsahem síry, kde jsou pro zlepšení obrobiteľnosti obsaženy přísadové kovy s nízkým bodem tavení, jako Pb, Bi, Sn. Použití těchto prvků zaručuje zvýšení obrobiteľnosti, která je charakterizována schopností způsobit poměrně malé opotřebení rezného nástroje při zvýšených rezných rychlostech [1].

Donedávna byla nejvíce rozšířena výroba automatových ocelí s Pb. Jelikož však vyžadovala velmi přísné

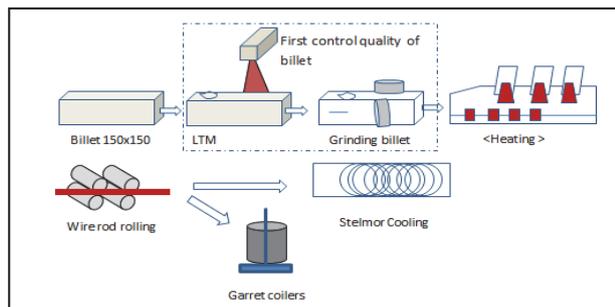
bezpečnostní a hygienické opatření, došlo ve světě k tendencím snížit a postupně nahradit oceli legované olovem oceli s podobnými vlastnostmi. Tímto směrem se také vydaly i Třinecké železárny, a.s. (dále jen TŽ) a vyvinuly automatové oceli legované bizmutem.

Z mikrostrukturního hlediska jsou automatové oceli feriticko-perlitické s výraznou segregací síry, tedy výskytem sulfidických vměstků. Jádrem těchto vměstků

jsou zpravidla MnS vznikající za vysokých teplot a kovy s nižším bodem tání postupně precipitují na nich. Takto vzniklé komplexní vměstky mají příznivý vliv na obrábění, avšak zároveň mohou tvořit křehké rozhraní s ocelovou maticí a tím působit jako iniciátory trhlin. Obecně lze tedy říci, že čím lepší obrobiteľnosť, tím nižší a složitější je tvariteľnosť a povrchová kvalita finálneho vývalku.

Z tohoto hľadiska je nezbytné správne chemické složení těchto ocelí, kdy pro získání vhodných mechanických podmínek a povrchové kvality se většinou volí obsah uhlíku nad 0,06 hm. %. Zároveň však platí, že s vyšším obsahem uhlíku klesá obrobiteľnosť z důvodu vyššího objemového podílu perlitu. Nezbytný je také poměr Mn/S, který je obvykle nastaven přibližně na 4:1, což přispívá k lepší tvariteľnosti těchto vměstků za tepla [1, 2].

Důležitou roli hraje i technologie odlévání těchto ocelí, hlavně pak volba lící rychlosti v závislosti na přehřátí oceli, výběr správného lícího prášku, chlazení aj. Tyto parametry mají vliv nejen na podobu vlastní lité struktury a segregace, ale i na přítomnost povrchových trhlin a nehomogenit, které se následně při tváření přenášejí na vývalek. Právě výskyt nehomogenit na povrchu plynule litých předlitků je základním problémem u těchto ocelí a řeší se pomocí broušení povrchu (schéma výrobního toku v TŽ na obr. 1). Tato úprava je pouze náhradním opatřením a neřeší technologii výroby těchto ocelí v rámci zpětné vazby. V tomto směru bylo v TŽ vyvinuto zařízení na kontrolu povrchu plynule litých předlitků metodou laserové triangulace, jehož výstupy lze již srovnat s parametry plynulého odlévání příslušné oceli a defektoskopie vývalku.



Obr. 1 Schéma výrobního toku automatové oceli v TŽ
Fig. 1 Schematic diagram of the production process of free-cutting steels in TŽ

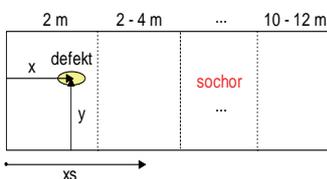
V tomto článku je představeno experimentální ověřování přenosu určitých typů nehomogenit nalezených pomocí laserové triangulační metody (LTM) na povrchu plynule litých předlitků z automatové oceli 9MnS28 na tyče během válcování.

Princip detekce povrchových nehomogenit metodou laserové triangulace

Princip laserové triangulace užívá triangulaci pro dvojrozměrnou detekci profilů na měřených plochách. Pomocí speciálních čoček se fokusovaný laserový paprsek rozšíří na statický liniový laserový paprsek, který dopadá na zkoumaný povrch. Difuzně odražené záření z nerovnosti povrchu je zaznamenáno snímací CMOS-maticí přes kvalitní optický systém. Výstupní signál závisí na frekvenci spouštění laseru a pomocí vnitřního synchronního detektoru je demodulován. Kromě informace o vzdálenosti (osa z), jsou využity parametry z citlivé snímací matice pro určení pozice v ose x. Tyto naměřené hodnoty tvoří výstupní data ve dvoudimenzionálním systému souřadnic, který je stanoven s ohledem na polohu měřeného profilu vůči senzoru [3]. V případě pohybu objektu (měřeného vzorku) nebo posuvem senzoru je proto možné získat 3D obraz naměřených hodnot. Profilometr dále disponuje řídicí jednotkou, která obsahuje software, kde je možné volit řadu kompenzací podle druhu měřeného povrchu. To umožňuje měřit velký rozsah materiálů (např. lesklé kovy, černá guma nebo leštěné povrchové úpravy). Pokud se k danému systému připojí snímač pohybu sochoru, který byl v našem případě tvořen dvěma kolečky s inkrementálními čítači, tak lze získat přesný 3D model měřeného povrchu sochoru. Na tomto 3D modelu povrchu sochoru se pak dají nalézt případné nehomogenity či defekty [4].

Každý defekt je označen, jsou vypsané jeho souřadnice od začátku sochoru (obr. 2), jeho hloubka a velikost, tvar a orientace (obr. 3). Výsledky jsou tedy k dispozici jak v grafické, tak i číselné podobě a lze s nimi dále pracovat.

Komplexní vyhodnocení celého povrchu však není tak jednoduché, neboť se obdrží velké množství dat, které je zapotřebí filtrovat tak, aby zůstaly pouze fatální nehomogenity, které mají možný vliv na tvorbu defektů na finálním výrobku. Za tímto účelem jsou vytvořeny úroňové filtry redukující nehomogenity například na základě jejich hloubky.



Obr. 2 Sochor – úseky a defekty
Fig. 2 Billet – section and defects



Obr. 3 Popis defektu
Fig. 3 Defect description

Experimentální práce

Pro vlastní experiment byla použita jedna tavba z automatové oceli 9MnS28, jejíž základní chemické složení je možné vidět v tab. 1.

Tab. 1 Základní chemické složení tavby oceli 9MnS28 (hm. %)
Tab. 1 Basic chemical composition of the 9MnS28 steel (wt.%)

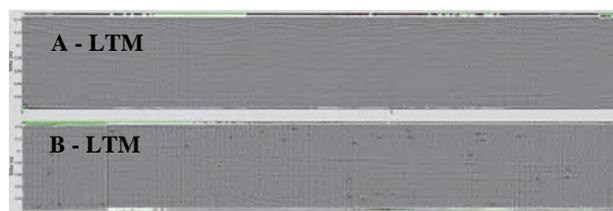
Steel	C	Mn	P	S
9MnS28	0,094	1,21	0,054	0,309

Na celkem 84 sochorech kv. 150 mm z dané tavby oceli 9MnS28 bylo následně provedeno hodnocení povrchové kvality litých sochorů pomocí LTM (obr. 4).



Obr. 4 Detail měřicího systému LTM v TŽ
Fig.4 Detail of LTM measuring system in TŽ

Data z LTM byla dále zpracována pomocí nastavených úrovnových filtrů, které v tomto případě zobrazovaly pouze povrchové nehomogenity od hloubky větší než 0,5 mm, čímž rozdělily dané sochory na dvě skupiny, tedy sochory obsahující velký počet nehomogenit větších než 0,5 mm a sochory neobsahující tyto nehomogenity vůbec nebo pouze v malém množství. Pro další fázi experimentu byl následně vybrán jeden sochor s dobrou povrchovou kvalitou (dále jen sochor A – výřez z výstupu LTM, obr. 5a) a druhý sochor s horší povrchovou kvalitou (dále jen sochor B – výřez z výstupu LTM, obr. 5b). Zbytek sochorů se odválcovává do svitků drátu o průměrech 21 až 38 mm, přičemž vyhodnocení bude provedeno u odběratele.



Obr. 5 Srovnání povrchové kvality dvou sochorů A – LMT = vyhovující / B – LMT = nevhovující
Fig.5 Comparison of surface quality of two billets A – LMT = suitable / B – LMT = unsuitable

Následně byly separované sochory vizuálně prohlédnuty a na základě dat z LTM bylo odebráno 20 vzorků o rozměrech 61 × 61 × 160 mm s charakteristickými povrchovými nehomogenitami a 4 vzorky pro Baumannův otisk a metalografické hodnocení lité struktury.

Zmíněných 20 vzorků pak bylo převezeno na laboratorní polospojitou válcovací trať Katedry tváření VŠB-TU Ostrava, kde byly vzorky proměřeny a označeny z důvodu přesné lokalizace nehomogenity na výsledném vývalku. Vlastní válcování na vratné duo stolici polospojité laboratorní tratě probíhalo tak, že se vzorky nejprve ohřály v elektrické odporové peci na teplotu 1200 °C a celkem 10 průchody při rychlosti otáčení válců 16 – 20 min⁻¹ se vzorky proválcovaly do tyčí kruhového průřezu s nominálním Ø 33,6 mm. Teplota po posledním průchodu, měřena teplotním skenerem na povrchu vývalku, se pohybovala v rozmezí cca 930 – 970 °C.

V konečné fázi experimentu byly dané tyče převezeny zpět do TŽ, kde byla zkoumána přítomnost vad pomocí magneticko-práškové metody na zařízení Deutroflux a z tyčí, na kterých se nacházely vady, byly odebrány vzorky pro metalografickou analýzu.

Diskuse výsledků

V první fázi vyhodnocení experimentu byl proveden rozbor makrostruktury litého stavu pomocí Baumannova otisku a metalografický rozbor s cílem nalézt faktory působící, jako možné příčiny rozvoje trhlin během válcování. U obou vybraných sochorů však nebyly nalezeny žádné anomálie, tedy Baumannův otisk a metalografie byly v pořádku. Mikrostruktura obou vzorků byla tvořena feritem (80 %) a perlitem (20 %). V matici vzorků plynule litých předliték se našly drobné sulfidické vměstky MnS v globulárním tvaru, které se v určitých místech shlukovaly do tvaru síťoví (obr. 6 – 9).

Tab. 2 Výsledky defektoskopie tyčí
Tab. 2 Results of flaw detection of the bar

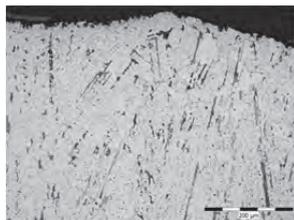
Ocel 9MnS28	Počet vzorků	LMT	Vyhodnocení tyče - VŠB
A 	10 ks	A – LMT vyhovující	4 ks nevhovující
B 	10 ks	B – LMT nevhovující	8 ks nevhovující



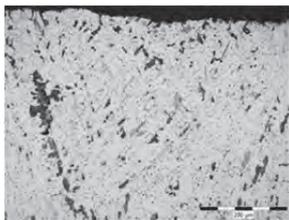
Obr. 6 Baumannův otisk sochor - A



Obr. 7 Baumannův otisk sochor - B



Obr. 8 Mikrostruktura (zv.200×) - A



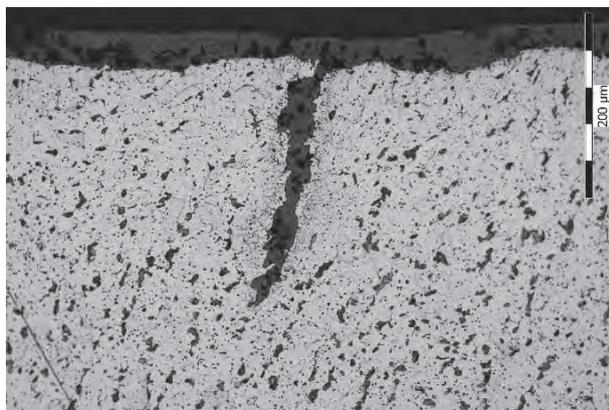
Obr. 9 Mikrostruktura (zv.200×) - B

Obr. 6 – 9 Baumannův otisk a snímky povrchové mikrostruktury sochorů A a B.

Fig. 6 – 9 Baumann-printings and images of surface microstructure of the billets A and B

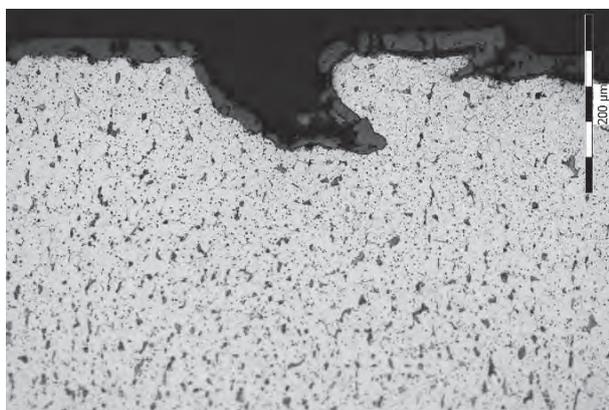
V další fázi pak bylo přistoupeno k rozboru přenosu povrchových nehomogenit na odválcované tyče a jejich analýze. Defektoskopie tyčí pomocí magneticko-práškové metody ukázala na povrchu několika válcovaných tyčí povrchové defekty. Celkový počet vadných tyčí ze sochoru A byly 4 kusy a ze sochoru B 8 kusů (tab. 2). Ukázalo se tedy, že separace sochorů pomocí výsledků LTM byla správná.

Tyče s nalezenými defekty byly následně rozřezány a byla provedena metalografická analýza, která ukázala, že se ve většině případů jednalo o rýhy. Trhlina a záválcovaná okuje byla nalezena pouze v jednom případě (příklady znázorněny na obr. 10 – 12).



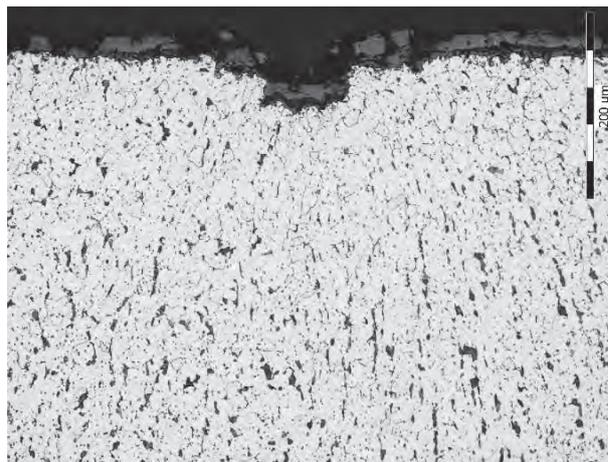
Obr. 10 Radiální trhlina, povrch, zv.200×

Fig. 10 Radial crack, surface, magn. 200×



Obr. 11 Rýha, povrch, zv. 200×

Fig. 11 Groove, surface, magn. 200×

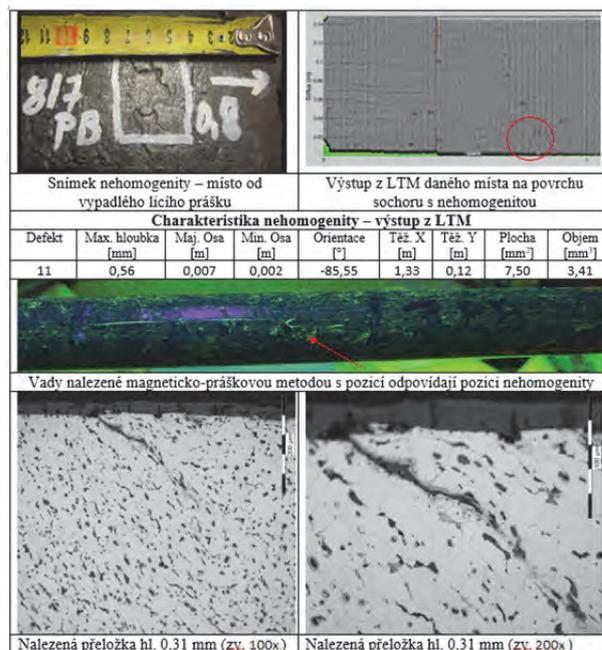


Obr. 12 Rýha, povrch, 200×

Fig. 12 Groove, surface, magn. 200×

V konečné fázi experimentu pak došlo ke korelaci všech výsledků, tedy pozic nalezených vad na tyčích a pozic nehomogenit na vzorcích z předlitků. Příklad takové korelace (katalogu vady) je uveden na obr. 13, kde lze vidět, že vada na tyči charakteru přeložky byla způsobena deformovaným místem od vypadlého licího prášku o maximální hloubce 0,56 mm.

Experimenty zároveň ukázaly, že ne všechny nehomogenity nalezené pomocí LTM byly zodpovědné za tvorbu vad na tyčích, což je však v konečném důsledku pozitivní věc, neboť i tyto informace budou sloužit k úpravě úrovnových filtrů LTM.



Obr. 13 Katalog vady nalezené na sochoru B

Fig. 13 Catalogue description of the defect found on the billet B

Závěr a doporučení

- V tomto předloženém článku byl pomocí metody laserové triangulace kontrolován povrch 84 sochorů

z automatové oceli 9MnS28. Na základě výsledků této kontroly byly sochory rozděleny na dvě skupiny, tedy sochory obsahující velký počet nehomogenit větších než 0,5 mm a sochory neobsahující tyto nehomogenity vůbec nebo pouze v malém množství. Pro další experiment byl vybrán jeden sochor s dobrou povrchovou kvalitou – A a druhý sochor s horší povrchovou kvalitou – B.

- Z každého výběrového sochoru byly odebrány vzorky s charakteristickými nehomogenitami a ty se laboratorně odválcovaly do tyčí.
- Z defektoskopie daných tyčí vyplynulo, že počet vadných tyčí ze sochoru A byl 4 kusy a ze sochoru B 8 kusů, což ukázalo, že separace sochorů pomocí výsledků LTM byla správná.
- Na základě získaných výsledků lze provést optimální nastavení úrovnových filtrů LTM pro tuto značku oceli a pokračovat v úpravě kvality sochorů pomocí broušení.
- Práce bude dále pokračovat. Výsledky budou korelovány s výrobními parametry dané tavby této

oceli na ZPO2 za účelem zjištění příčiny vzniku daných nehomogenit a současně bude zbytek kontrolovaného materiálu, který se odválcovává do drátů o \varnothing 25 až 38 mm, vyhodnocen u odběratele.

Literatura

- [1] YONGJIN, KIM, HYUNMIN, KIM, SANG, YONG SHIN et al. Formation Mechanisms of Cracks Formed During Hot Rolling of Free-Machining Steel Billets. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 43 (2012) 3, 882–892. ISSN 1073-5623D.
- [2] YONGJIN, KIM; HYUMIN, KIM; SANG, YONG SHIN et al. Cracking Phenomenon Occurring in Bi-S-Based Free-Machining Steel Wire Rods During Hot Rolling. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 42A (2011) 10, 3095–3105. ISSN 1073-5623.
- [3] MicroEpsilon, manual guide ScanControl 2700/2710, 2008.
- [4] PINDOR, L., GRMELA, L., TOFEL, P., SEDLAK, P., MAJZNER, J., CSEFALVAY, G., HEFNER Š. Experimental Using of the Laser Triangulation Method in Třinecké železárny, a.s. In *DEFEKTOSKOPIE 2012*, Czech Society for Non-destructive Testing NDE for Safety Oct. 30 – Nov. 1, 2012, Seč u Chrudimi, Czech Republic.

Trump dostává ocelářské odvětví pod tlak

Börsen-Zeitung

21.04.2017

V ocelářském sporu s USA varovala spolková vláda a odvětvový svaz v Německu vládu ve Washingtonu před izolováním trhu. „Znalecké posudky nejsou žádné zákony nebo opatření, ale ukazují směr k protekcionistickým tendencím, které my rozhodně nemůžeme přivítat“, sdělila spolková ministryně hospodářství Brigitte Zypries. President Trump ohlásil předtím další obranná opatření k ochraně domácího ocelářského průmyslu. Nechá totiž prověřit, zda dovozy v tomto sektoru neohrožují národní bezpečnost. Jaká opatření ze strany USA z těchto prohlášení vyplynou, bude spolková vláda ostražitě sledovat, oznámila dále ministryně. Bude problém konzultovat s ministrem obchodu USA Wilburem Rossem. Průmysl v Německu se obává, že by mohlo trh v EU zaplavit ještě více oceli. „Pokud by administrativa v USA opravdu široce izolovala domácí trh, bylo by to spojeno s masivními změnami obchodu směrem do otevřeného trhu EU. Protekcionismus není žádné řešení pro strukturální problémy na světovém trhu, nýbrž by mohl jen dále přispět k tomu, aby se deformace v mezinárodní soutěži ještě více prohloubily,“ prohlásil prezident WV Stahl Hans Jürgen Kerkhoff.

Železárny Košice jsou nyní v čínských rukou

industriemagazin.at

21.04.2017

Je to nyní již podruhé, co je evropská ocelárna, patřící dříve US Steel, odkoupena čínským ocelářským koncernem. Podle Radia Ö1 Morgenjournal převzala východoslovenské železárny Košice čínská He Steel. Před téměř přesně jedním rokem převzala čínská Hebei Iron and Steel Group (HBIS) srbskou ocelárnu Smederevo poté, co ji Srbsko od US Steel odkoupilo zpátky. Pár měsíců po převzetí se ocelárna stala druhým největším exportérem země. Železárny Košice jsou se svými 14 000 zaměstnanci jedním z největších podniků Slovenska. Zda Číňané dali těmto spolupracovníkům garance zaměstnanosti, není známo. Rovněž kupní cena není známa, spekuluje se o 1,4 mld. €. V každém případě se slovenská vláda při jednáních velmi snažila udržet a zvýšit v podniku vliv státu. Čínský investor by neměl ocelárnu využívat jako základnu pro odbyt v Číně vyrobených ocelářských výrobků. Železárny byly před 17 lety koupeny koncernem US Steel, nepřinesly však Američanům velký úspěch. Jen díky velkým subvencím odvrátila vláda prodej hutí v roce 2013. Situaci má nyní zachránit He Steel, druhý největší výrobce oceli v Číně s 33 000 zaměstnanci.

Porovnání laboratorních výsledků a numerické simulace tahové zkoušky řetězu

Comparison of Experimental Results and Numerical Simulation of the Chain Tensile Test

Mgr. Marek Vindyš¹; Ing. Miroslav Melkus²

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava, Česká Republika

² Řetězárna a.s., Polská 48, 790 81 Česká Ves, Česká Republika

V článku je popsáno využití numerické simulace při návrhu a vývoji nového typu kombinovaného důlního řetězu u výrobce Řetězárna a.s. Ve společnosti Materiálový a metalurgický výzkum s.r.o. se provedly numerické simulace tahových zkoušek rozměrových variant řetězů 38×146 mm a 42×146 mm, přípustných podle normy DIN 22255. V jednotlivých variantách se měnily rozměry a , b u profilu D a hlavní zaoblení profilu R . Hodnocení variant simulovaných řetězů se provedlo na základě pevnosti a prodloužení při tahové zkoušce. Následně se v modelovém měřítku přibližně 2:1 vyrobily prototypové řetězy. Vyroběné řetězy se podrobily tahovým zkouškám, při kterých se zjistila vysoká míra shody výsledků numerické simulace s průběhem zkoušek řetězů. Numerická simulace při zavádění nového výrobku efektivně zkrátila čas na vývoj, výrobu i zkoušení při jinak obvyklém testování velkého množství reálných zkušebních vzorků.

Klíčová slova: numerická simulace; metoda konečných prvků; tahová zkouška řetězu

Numerical simulation in Forge version NxT 2.0 of the French company Transvalor with licensed 12 computational cores was used in the design and development of a new type of combined mine chain at Řetězárna a.s. Numerical simulations of dimensional chain variants according to DIN 22255 and their tensile tests were performed. In different simulated variants the dimensions a , b of the profile D were changed, as well as the main radius R of the profile. The evaluation of variants of the simulated chains was made on the basis of tensile strength and elongation at the tensile test. Consideration was also given to the equilibrium of the tensile stress deformation effect on the circular versus the D chain link according to the size of the deformation heating of the individual links. Subsequently in the model scale approximately 2:1 prototype chains were produced in two dimensional chain link variants, namely 38×146 and 42×146 mm. This production of the samples of new chain in fact took place with a high proportion of manual work. The produced chains were subjected to tensile tests, in which a high degree of correspondence with numerical simulation was observed concerning the course of the chain tests. The paper refers to the gradual development of the numerical simulation methodology from the use of the two half-link variant to the four-links variant. The simulation of the chain tension test had to solve the role of interaction between four chain links defined as objects with a full spatial finite element mesh. Certain differences in prototype chain simulations and tests are the result of the production process of the tested chain samples and the use of the strengthening model in numerical simulation for different steel compared to the actually used steel. Numerical simulations during introduction of a new product effectively reduced time of development, production and testing compared with otherwise customary testing of a large number of real test specimens. The results of this work provide a prerequisite for the use of this method and the cooperation of the manufacturer with the MMV company workplace in the development of other products of this type.

Key words: numerical simulation; finite element method; chain tensile test

Řetězárna a.s. jako příjemce a MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (dále jen MMV) jako partner řeší v programu Aplikace OP PIK projekt Vývoj důlního kombinovaného článkového řetězu o průměrech článků kruhového průřezu 38 a 42 mm dle normy DIN 22255. Řetěz se skládá z kombinací dvou článků různých profilů, které se neustále střídavě opakují až do dosažení požadované délky řetězu. Jeden z článků má profil kruhový a druhý má profil tvaru D po celém obvodu (obr. 1). Základní rozměry a pevnostní

parametry těchto řetězů jsou shrnuty v tab. 1 a 2 a na obr. 2. Standardní zkouškou řetězů je tahová zkouška, která se provádí na reálném vzorku řetězu o délce 5 článků [1].

Pro zvýšení efektivnosti výzkumně-vývojového řešení se v MMV řešila numerická simulace těchto tahových zkoušek u navržených rozměrů profilů. Byly vybrány řetězy s rozměry článků 38×146 a 42×146 mm (v dalším textu rozměrové varianty uváděny bez jednotek), přičemž pro oba tyto řetězy se uvažovala

sada rozměrových variant přípustných podle normy DIN 22255. V jednotlivých variantách se měnily rozměry D profilu: a , b a hlavní zaoblení profilu R (tab. 1). Nejvhodnější zástupce, vybraný na základě provedených simulací, se následně fyzicky vyrobil a vyzkoušel ve firmě Řetězárna a.s. Pro snadnější odzkoušení a jednodušší výrobu řetězu byly pokusné modelové řetězy zmenšeny v měřítku 1,9:1 u řetězového vzorku 38×146 a 2,1:1 u řetězového vzorku 42×146 .

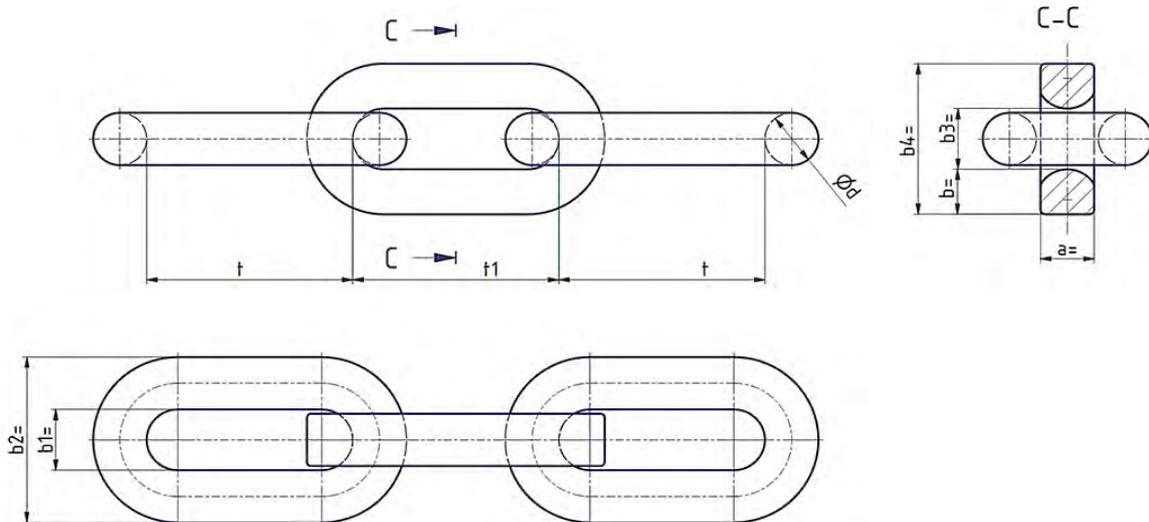
Zkušební vzorky řetězu se vyrobily s vysokým podílem ruční práce. Řetězové články byly ručně ohýbány za tepla na stroji ZKBH12 a svařeny odporovým odtavovacím svařením s předehřevem na stroji ASE3. Poté se tepelně zpracovaly a vyzkoušely na trhacím stroji Labtest 5 4000 [2].



Obr. 1 Důlní kombinovaný článkový řetěz
Fig. 1 Combined mine link chain

Tab. 1 Rozměry a tolerance důlního kombinovaného řetězu dle normy DIN 22255 [1]
Tab. 1 Dimensions and tolerances of the mine combined chain according to DIN 22255 specification [1]

Název	Rozměry kruhového článku				Rozměry D článku			
	jmenovitý průměr d	rozteč t	vnitřní šířka	vnější šířka	profil D	rozteč $t1$	vnitřní šířka	vnější šířka
			$b1$ min.	$b2$ max.	max. $a \times b$		$b3$ min.	$b4$ max.
38×146/D	$38 \pm 1,1$	$146 \pm 1,5$	42,1	123	$42 \times 34,5$	$146 \pm 1,5$	42	111
42×146/D	$42 \pm 1,1$	$146 \pm 1,5$	48,6	139	$48,5 \times 34,5$	$146 \pm 1,3$	46	115



Obr. 2 Výkres kombinovaného řetězu [1]
Fig. 2 Combined chain drawing [1]

Tab. 2 Pevnostní parametry důlního kombinovaného řetězu dle normy DIN 22255 [1]
Tab. 2 Strength parameters of the mine combined chain according to DIN 22255 specification [1]

Název	Pevnostní parametry						
	provozní síla	zkušební síla		prodloužení při zkušební síle	trhací síla	prodloužení do přetržení	ohyb článku
	max. kN	min. kN	max. kN	% max.	(min.)	% min.	
38×146/D	1130	1360	1564	1,6	1820	11	38
42×146/D	1380	1660	1909		2220	11	42

1. Numerická simulace tahové zkoušky řetězu

Kromě nástrojů matematického modelování a laboratorních zařízení pro fyzikální simulaci se pro řešení tvářecí problematiky ve společnosti MMV používá také přístup numerické simulace, pracující na bázi metody konečných prvků, a to program Forge verze NxT 2.0 francouzské firmy Transvalor s licencovanými 12 výpočetními jádry.

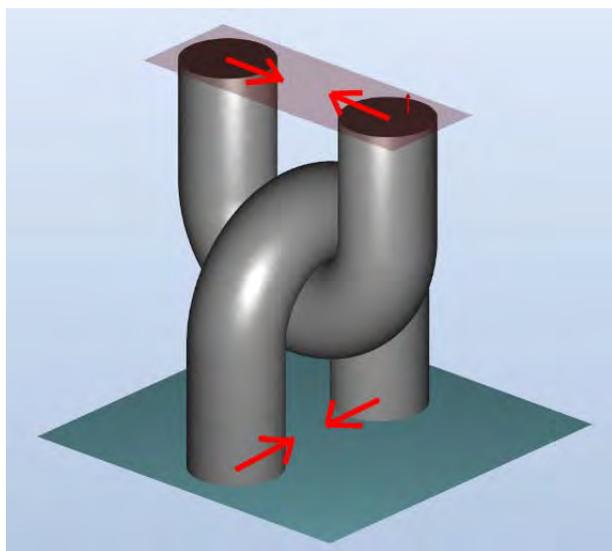
V konečně-prvkových (dále jen KP) úlohách zpracovaných v programu Forge se objevují (kromě specifických okrajových podmínek simulujících nástroje - manipulátory) dva typy objektů: tvářené kusy a nástroje. Tvářené kusy obsahují objemovou KP síť, jsou deformovatelné a jejich fyzikální veličiny jsou definované v celém objemu. Nástroje mají pouze povrchovou KP síť, nejsou deformovatelné a nemají veličiny definované v celém objemu.

Problém tahové zkoušky řetězu je unikátní v tom, že při namáhání interagují jednotlivé články řetězu mezi sebou a musí být definovány jako tvářené kusy. V naprosté většině úloh z oblasti tváření se objevují interakce pouze typu nástroj-tvářený kus nebo několik nástrojů-tvářený kus a ne tvářený kus-tvářený kus, které se řeší u úloh s deformovatelnými nástroji [odkazy na jiné práce].

1.1 Zpracování simulace v podobě dvou půlčlánků

V prvním přístupu byla simulace zpracována tak, že celý řetěz byl nahrazen nejmenším opakujícím se prvkem – dvěma půlčlánky, na které byly aplikovány okrajové podmínky zajišťující namáhání tahem.

Okrajové plochy půlčlánků ovšem musí mít možnost se volně pohybovat ve směrech kolmých na směr tahového namáhání, aby respektovaly přirozené deformační účinky tohoto namáhání v těchto směrech (obr. 3).



Obr. 3 Znárodnění očekávaných posunů okrajových ploch ve dvou půlčlánkovém provedení

Fig. 3 Illustration of the expected displacements of marginal surfaces in two half-cell designs

Nutný předpoklad zachování dvou stupňů volnosti elementů na okrajových plochách ovšem vede ke vzniku velmi rychlé rotace řetězu kolem osy namáhání. Příčinou tohoto jevu je pravděpodobně nesymetrie KP sítě a nutné opakované přesíťování v průběhu procesu. Hodnoty rychlosti otáčivého pohybu se dostaly řádově až na jednotky otáček za sekundu, přičemž rychlost posuvného pohybu při tahové zkoušce byla jen $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. To sice nemělo vliv na výsledek (hodnota odstředivé síly otáčivého pohybu vzhledem k velikosti tahové síly byla stále zanedbatelná), ale vedlo to k neúměrně velkému výpočetnímu času, který navíc značně kolísal.

1.2 Zpracování simulace v podobě čtyř článků

Uvedené komplikace byly důvodem pro změnu přístupu při numerické simulaci, takže se vypracovala simulace, kde řetěz nabývá obvyklé podoby, jen počet článků testovaného řetězu byl ze standardního počtu pěti článků redukován na čtyři, a to z důvodu omezené výpočetní kapacity. Toto zpracování také zajišťuje ve skutečnosti lépe odpovídající hodnotu prodloužení řetězu do lomu. Ve finální fázi napínání řetězu je značně deformován pouze jeden článek ze čtyř, na rozdíl od předešlého případu, kde se deformoval jeden půlčlánek ze dvou. Přesto, podle zkušenosti Řetězárna a.s., má čtyřčlánková varianta cca o 1,5 % menší poměrné prodloužení při dosažení lomu než obvyklá zkouška sestávající z pěti článků. Na obr. 4 jsou znázorněny nasimulované lomy, v obou případech s aplikovaným normalizovaným Latham-Cockroft kritériem. Dva krajní úchyty byly definovány jako absolutně tuhé nástroje. Je nutno rovněž brát v potaz, že články sousedící s tuhými úchyty nevyjadřují stav namáhaného článku úplně věrně. Vzhledem ke kombinované formě řetězu proto nebylo možné redukovat počet článků na tři a méně.

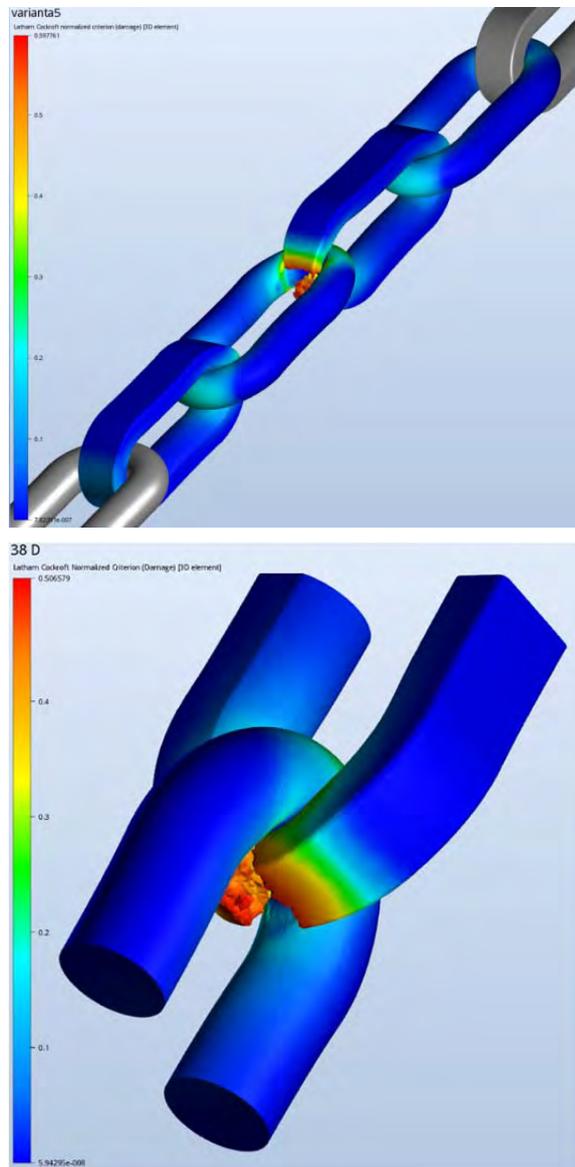
Materiálový model pro KP numerickou simulaci tahové zkoušky řetězu byl zvolen z materiálové databáze programu Forge pro ocel 40NiCrMo6, protože nebyla k dispozici data skutečně používané oceli 23MnNiMoCr5-4 [3]. Adekvátní experimentální data pro tvorbu nového materiálového modelu deformačního zpevnění oceli a zvolený materiál vykazují podobné mechanické vlastnosti jako výše uvedená skutečně používaná ocel. Model deformačního zpevnění materiálu je popsán Spittelovou aproximací ve zjednodušeném tvaru obsahujícím 4 parametry [4]:

$$\sigma = A e^{m_1 T} \varepsilon^{m_2} e^{\frac{m_4}{\varepsilon}} \dot{\varepsilon}^{m_3}, \quad (1)$$

Kde ε je skutečná deformace, σ přetvárný odpor materiálu, A konstanta konzistence, m_1 teplotní koeficient, m_2 citlivost deformačního zpevnění, m_3 citlivost rychlosti deformace, m_4 koeficient povolování deformace.

Přestup tepla mezi články řetězu byl definován jako střední hodnota za studena se součinitelem přestupu tepla $\alpha = 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Tření mezi články řetězu bylo definováno jako střední hodnota z databáze programu

Forge popsaného zákonem Coulomba-Trescy s koeficienty $\bar{m} = 0,1$, $\mu = 0,05$ [5]. Obě varianty simulace používají k vytvoření lomu techniku umazávání elementů s aplikovaným normalizovaným Latham-Cocroft lomovým kritériem.



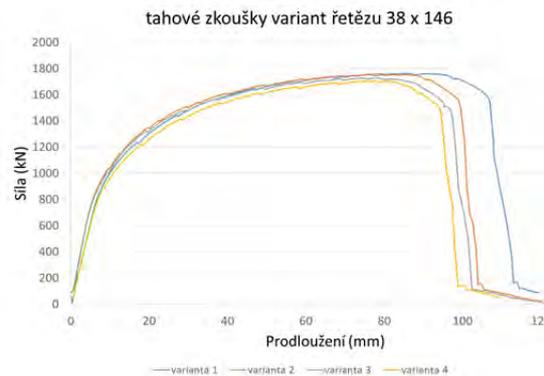
Obr. 4 Rozložení normalizovaného Latham-Cockroft kritéria při lomu - čtyřčlankové provedení (nahore), dvou půlčlankové provedení (dole). Rozsah stupnice je ca 0 až 0,6
Fig. 4 Normalized Latham-Cockroft Criterion for fracture - four-elements design (above), two half-elements design (below) The scale range is about 0 to 0.6

2. Výsledky numerických simulací a tahových zkoušek modelových řetězců

Tahové křivky skutečné tahové zkoušky řetězce provedené Řetězárnou a.s. a tahové křivky určené simulací na obr. 5 a 8 nejsou přímo srovnatelné, protože Řetězárna a.s. prováděla zkoušky na zmenšených modelech 1,9:1 u řetězového vzorku 38×146 a 2,1:1 u řetězového vzorku 42×146 .

2.1 Varianty řetězcu 38×146 mm

Ze čtyř simulovaných zkoušek s rozdílnými rozměry a , b a zaoblením R článku D se vybral řetěz, který dosáhl nejlepší kombinace parametrů maximální tahové síly a relativního prodloužení po přetržení (obr. 5 a tab. 3). Současně se sledovala rovnováha deformačního účinku na kruhový článek versus D článek podle rozložení teploty (deformační ohřev). Příklad tohoto rozložení je znázorněn na obr. 6, kde je vidět relativní teplotní rovnováha mezi kruhovým článkem a D článkem.

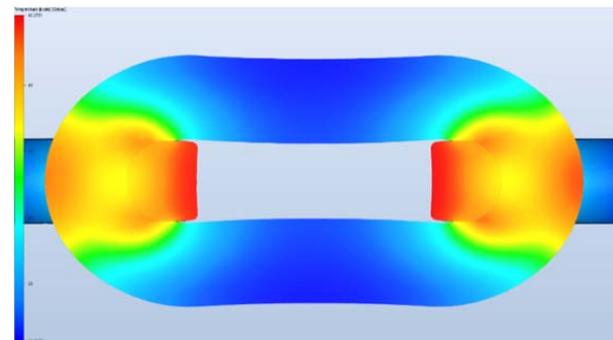


Obr. 5 Výsledné tahové křivky jednotlivých variant řetězcu 38×146 vypočtené simulací
Fig. 5 The resulting tensile curves of each chain variant 38×146 calculated by simulation

Tab. 3 Porovnání vypočtených maximálních tahových sil a relativních prodloužení 4 variant řetězcu 38×146 . Nejlepší kombinace označena tučně.

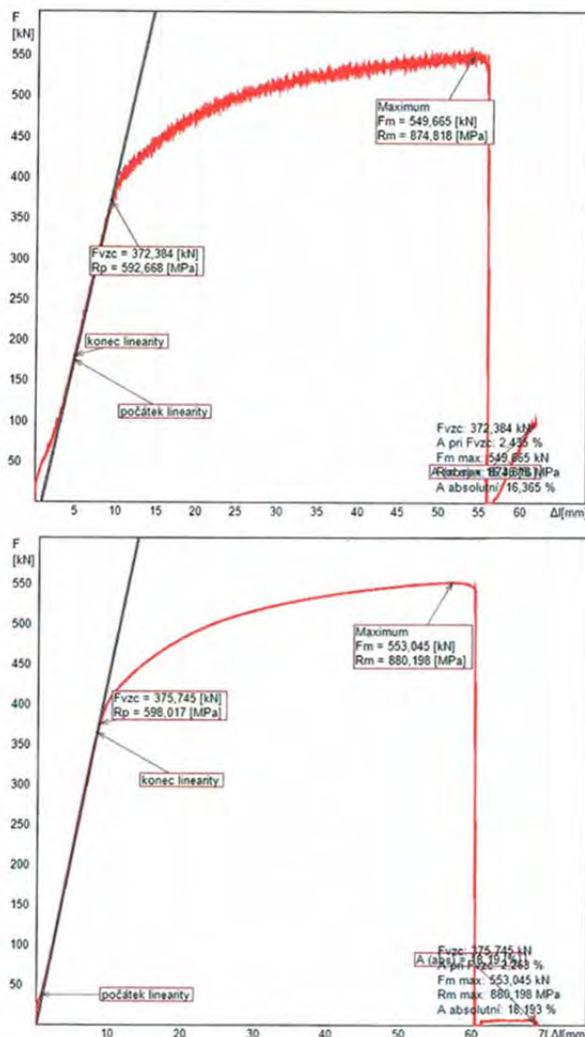
Tab. 3 Comparison of calculated maximum tensile forces and relative elongations of 4 chain variants 38×146 . The best combination is marked in bold.

Varianta rozměru řetězcu 38×146	Maximální tahová síla	Poměrné prodloužení při lomu
	(kN)	(%)
1	1762,53	15,24
2	1759,69	14,39
3	1725,59	14,16
4	1704,61	13,56



Obr. 6 Rozložení teplotního pole v příčném řezu pro 1. variantu řetězcu 38×146 . Rozsah stupnice 20 – 45 °C
Fig. 6 Cross-sectional temperature field distribution for the 1st variant of the 38×146 chain. Scale range 20 – 45°C

Skutečné záznamy tahových zkoušek varianty 1 řetězu 38 × 146 odzkoušeného Řetězárnou a.s. jsou znázorněny na obr. 7. Řetěz je zmenšen v poměru 1,9:1. Byli vybráni dva zástupci, označení experimentu 1 a 2.



Obr. 7 Záznam z tahových zkoušek varianty 1 řetězu 38 × 146 z tab. 3 provedené Řetězárnou a.s. Nahoře experiment 1, dole experiment 2 (tab. 5)

Fig. 7 Tensile test record of the chain variant 38 × 146 from tab. 3 made by the chain producer. Experiment 1 above, experiment 2 below (Tab. 5)

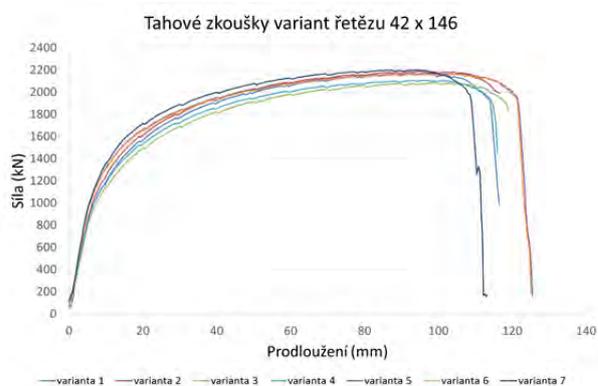
2.2 Varianty řetězu 42 × 146 mm

Obdobně jako v předchozím případě se provedlo tentokrát 7 simulací tahových zkoušek. Z nich se opět vybral nejlepší zástupce (tab. 4). Grafy tahových křivek ukazuje obr. 8. Teplotní pole nejlepší varianty nevykazovalo takovou rovnováhu jako v předchozím případě (obr. 9). Oproti rozměrové verzi řetězu 38 × 146 je zde větší deformační asymetrie mezi kruhovým článkem a D článkem řetězu.

Tab. 4 Porovnání vypočtených maximálních tahových sil a relativních prodloužení 7 variant řetězu 42 × 146. Nejlepších hodnot dosáhla varianta 2, která je vyznačena tučně.

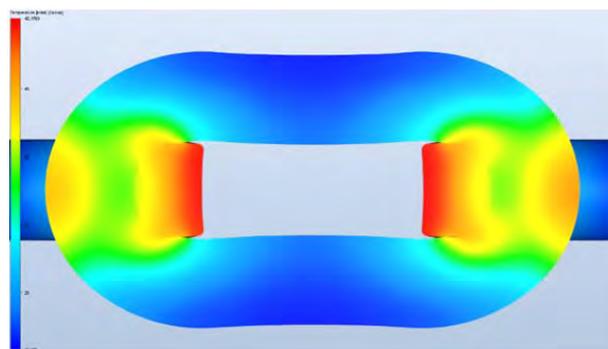
Tab. 4 Comparison of the calculated maximum tensile forces and relative elongations of 7 chain variants 42 × 146. The best value was achieved by option 2, which is highlighted in bold.

Varianta	Maximální tahová síla	Poměrné prodloužení při lomu
	(kN)	(%)
1	2161,19	17,30
2	2185,79	17,67
3	2081,72	18,01
4	2103,86	16,14
5	2170,50	17,92
6	2161,78	17,73
7	2197,36	15,82



Obr. 8 Výsledné tahové křivky jednotlivých variant řetězu 42 × 146 vypočtené simulací

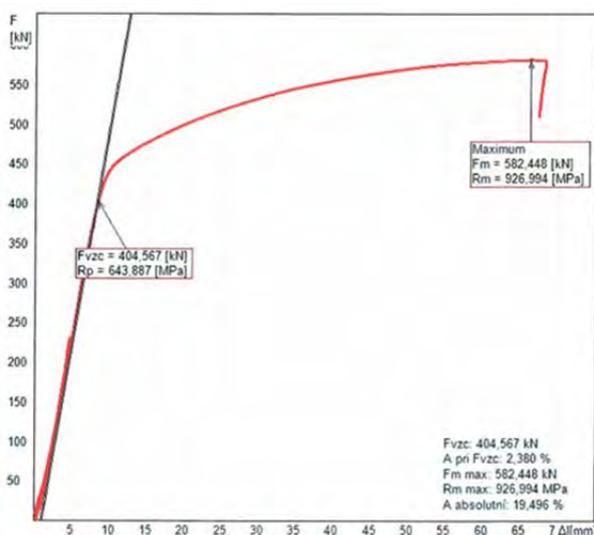
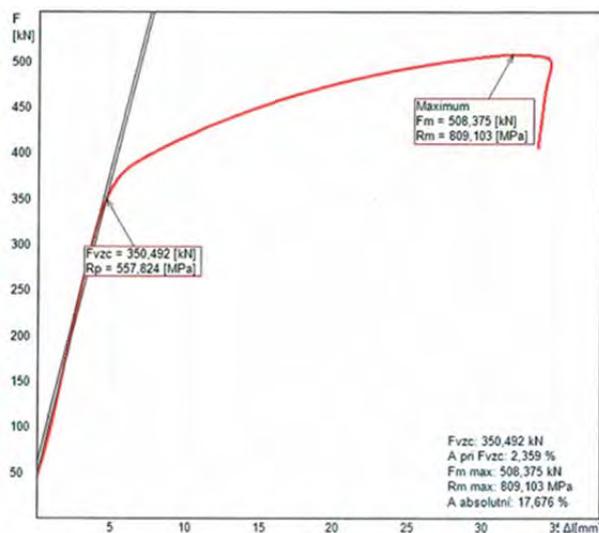
Fig. 8 The resulting tensile curves of the 42 × 146 chain variants calculated by simulation



Obr. 9 Rozložení teplotního pole v příčném řezu pro 1. variantu řetězu 42 × 146. Rozsah stupnice 20 – 45 °C

Fig. 9 Cross-sectional temperature distribution for the 1st chain variant 42 × 146. Scale range 20 – 45 °C

Skutečné záznamy tahových zkoušek varianty 2 řetězu 42 × 146 odzkoušeného Řetězárnou jsou znázorněny na obr. 10. Řetěz je zmenšen v poměru 2,1:1. Byli vybráni dva zástupci, označení experimentů 3 a 4.



Obr. 10 Záznam z tahových zkoušek varianty 2 řetězu 442 × 146 z tab. 4 provedené výrobcem; nahoře experiment 3, dole experiment 4 (tab. 6)

Fig. 10 Record of the tensile test of the chain variant 42 × 146 from Tab. 4 made by the producer; above experiment 3, below experiment 4 (Tab. 6)

Shrnutí výsledků a závěr

Simulace tahové zkoušky provedené v MMV velmi dobře odpovídají skutečným tahovým zkouškám provedeným v řetězárně, jak lze vidět z tab. 5 a 6. Jisté rozdíly mezi experimentem a simulací vznikly z důvodu velkého podílu ruční práce na řetězových vzorcích, kdy jednotlivé články neměly ideální tvar. U jednotlivých vzorků bylo rovněž mírně odlišné tepelné zpracování (především experimenty 1 a 2).

Z pohledu numerické simulace je určitá nepřesnost vnesena také použitím poněkud odlišného materiálu, než je v praxi skutečně používán, a poměrně hrubou KP sítí. Výpočetní čas se pohyboval většinou kolem 2 dnů, ale u některých zkoušek dosáhl i jednodenního trvání pro všech 12 výpočetních jader.

Tab. 5 Porovnání výsledků simulace a experimentálních hodnot skutečné tahové zkoušky řetězu 38 × 146

Tab. 5 Comparison of simulation results and experimental values of the actual 38 × 146 chain tensile test

	Maximální síla	Maximální tahové napětí	Maximální prodloužení
	(kN)	(MPa)	(%)
simulace	1762,5	778	15,24
experiment 1	1982,4*	875	16,30
experiment 2	2016,5*	880	18,20

* přepočteno k měřítku 1,9:1

Tab. 6 Porovnání výsledků simulace a experimentálních hodnot skutečné tahové zkoušky řetězu 42 × 146

Tab. 6 Comparison of simulation results and experimental values of the actual 42 0078 146 chain tensile test

	Maximální síla	Maximální tahové napětí	Maximální prodloužení
	(kN)	(MPa)	(%)
simulace	2185,8	779	17,67
experiment 3	2241,9*	809	17,68
experiment 4	2 68,6*	927	19,50

* přepočteno k měřítku 2,1:1

Simulované 4článekové zkoušky oproti zkoušeným 5článekovým mívají cca o 1,5 % nižší poměrné prodloužení při přetržení. Samotné relativní prodloužení u jednoho materiálu a stejného řetězu kolísá v praxi v intervalu cca 1 %.

I přes zmíněné okolnosti byly provedené práce efektivní, protože numerická simulace provedená v MMV ušetřila Řetězárně a.s. nemalý čas na vývoj, výrobu i zkoušení při jinak obvyklém testování velkého množství reálných zkušebních vzorků. Shrnuté výsledky dávají předpoklad využití této metody i při vývoji jiných rozměrů řetězů.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci realizace výzkumného projektu dotačního programu Aplikace – OP PIK, č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_019/0004942 – „Vývoj důlního kombinovaného článkového řetězu“ spolufinancovaného Evropskou unií a Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky.

Literatura

- [1] DIN 22255 – Kloubové řetězy pro kontinuální dopravníky v hornictví.
- [2] DIN 51220 – Stroj pro zkoušení materiálu – Všeobecné požadavky na stroje pro zkoušení materiálu a jejich ověřování a kalibraci.
- [3] DIN 17115 – Oceli pro svařované kruhové článkové řetězy - Technické dodací podmínky.
- [4] Forge reference documentation: Part 5: Process data, Chapter I.A.6. Visco-plastic flow law according to the "Hansel-Spittel" model.
- [5] Forge reference documentation: Part 5: Process data, Chapter III. Friction.

Zprávy z Ocelářské unie a.s.

Hutní výroba v ČR a SR

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2017

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	květen	červen	leden-červen	květen		červen		leden-červen	
	2017	2017	2017	2016	2017/16	2016	2017/16	2016	2017/16
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	294,41	282,52	1725,85	274,88	107,10	261,94	107,86	1533,89	112,51
z toho (HŽ) ČR	156,04	151,40	920,99	134,60	115,93	125,02	121,10	734,28	125,43
(HŽ) SR	138,37	131,13	804,86	140,29	98,63	136,92	95,77	799,62	100,66
AGLOMERÁT									
CELKEM	692,35	779,50	4665,07	889,44	77,84	794,09	98,16	4855,20	96,08
z toho ČR	391,75	472,20	2771,87	556,14	70,44	474,59	99,50	3033,60	91,37
SR	300,60	307,30	1893,20	333,30	90,19	319,50	96,18	1821,60	103,93
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	642,04	651,11	3983,98	718,43	89,37	700,13	93,00	4034,38	98,75
z toho ČR	282,82	306,67	1919,47	374,73	75,47	353,45	86,76	2100,91	91,36
SR	359,22	344,44	2064,52	343,70	104,52	346,68	99,35	1933,47	106,78
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	800,76	805,34	4923,94	892,28	89,74	879,67	91,55	5041,76	97,66
z toho ČR	365,86	382,11	2438,09	484,64	75,49	457,58	83,51	2695,01	90,47
SR	434,90	423,23	2485,85	407,64	106,69	422,09	100,27	2346,75	105,93
KONTISLITKY									
CELKEM	768,75	774,74	4728,24	854,02	90,02	844,19	91,77	4819,72	98,10
z toho ČR	334,45	352,11	2245,99	447,11	74,80	422,83	83,28	2477,39	90,66
SR	434,30	422,63	2482,25	406,91	106,73	421,36	100,30	2342,33	105,97
BLOKOVNY									
CELKEM	55,26	58,69	337,67	53,54	103,22	51,61	113,74	316,06	106,84
z toho ČR	55,26	58,69	337,67	53,54	103,22	51,61	113,74	316,06	106,84
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	778,33	743,04	4708,15	843,85	92,24	830,52	89,47	4765,82	98,79
z toho ČR	387,74	375,94	2487,99	487,29	79,57	460,73	81,60	2681,09	92,80
SR	390,60	367,11	2220,16	356,56	109,55	369,80	99,27	2084,73	106,50
TRUBKY									
CELKEM	60,51	65,21	352,68	63,93	94,65	61,21	106,54	360,27	97,89
z toho ČR	39,47	44,01	227,62	42,97	91,85	41,91	105,00	246,76	92,24
SR	21,05	21,20	125,06	20,96	100,39	19,29	109,87	113,51	110,18
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	19,69	19,64	121,90	19,33	101,84	17,69	111,05	122,03	99,89
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,57	1,40	8,39	1,33	118,20	1,17	119,08	7,33	114,52

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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

Hutní výroba v ČR a SR

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2017

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	červen	červenec	leden- červenec	červen		červenec		leden- červenec	
	2017	2017	2017	2016	2017/16	2016	2017/16	2016	2017/16
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	282,52	293,71	2019,56	261,94	107,86	273,17	107,52	1807,06	111,76
z toho (HŽ) ČR	151,40	160,05	1081,03	125,02	121,10	133,46	119,92	867,73	124,58
(HŽ) SR	131,13	133,67	938,52	136,92	95,77	139,71	95,67	939,33	99,91
AGLOMERÁT									
CELKEM	779,50	832,11	5497,18	794,09	98,16	878,25	94,75	5733,45	95,88
z toho ČR	472,20	504,81	3276,68	474,59	99,50	549,85	91,81	3583,45	91,44
SR	307,30	327,30	2220,50	319,50	96,18	328,40	99,67	2150,00	103,28
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	651,11	696,70	4680,69	700,13	93,00	701,02	99,38	4735,39	98,84
z toho ČR	306,67	338,15	2257,62	353,45	86,76	346,85	97,49	2447,76	92,23
SR	344,44	358,55	2423,07	346,68	99,35	354,16	101,24	2287,64	105,92
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	805,34	839,40	5763,34	879,67	91,55	847,07	99,09	5888,82	97,87
z toho ČR	382,11	411,74	2849,83	457,58	83,51	436,93	94,23	3131,94	90,99
SR	423,23	427,66	2913,51	422,09	100,27	410,14	104,27	2756,89	105,68
KONTISLITKY									
CELKEM	774,74	810,37	5538,61	844,19	91,77	820,99	98,71	5640,71	98,19
z toho ČR	352,11	383,32	2629,31	422,83	83,28	411,57	93,13	2888,96	91,01
SR	422,63	427,06	2909,31	421,36	100,30	409,42	104,31	2751,75	105,73
BLOKOVNY									
CELKEM	58,69	59,18	396,84	51,61	113,74	46,52	127,20	362,58	109,45
z toho ČR	58,69	59,18	396,84	51,61	113,74	46,52	127,20	362,58	109,45
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	743,04	745,96	5454,11	830,52	89,47	815,99	91,42	5581,81	97,71
z toho ČR	375,94	410,50	2898,49	460,73	81,60	444,63	92,32	3125,73	92,73
SR	367,11	335,46	2555,62	369,80	99,27	371,35	90,34	2456,08	104,05
TRUBKY									
CELKEM	65,21	54,97	407,65	61,21	106,54	50,56	108,72	410,83	99,23
z toho ČR	44,01	33,57	261,20	41,91	105,00	31,58	106,31	278,34	93,84
SR	21,20	21,40	146,46	19,29	109,87	18,98	112,74	132,49	110,55
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	19,64	19,30	141,20	17,69	111,05	20,60	93,67	142,63	98,99
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,40	1,02	9,41	1,17	119,08	0,86	119,35	8,18	115,03

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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



Vybrané ekologické aspekty rozvoje v odvětví hutnictví železa

Ing. Vladimír Toman

Ocelářská unie a.s., Krátká 39, 100 00 Praha 10 – Strašnice, Česká republika

Hutnictví železa je odvětvím, o jehož postavení, příno-
sech a záporech při přípravě ekologické legislativy pro
období do roku 2030 se v současné době na úrovni ČR
i EU diskutuje téměř neustále. Velmi často jsou
problémy hutnictví železa v ČR totožné s problémy
odvětví na úrovni EU i globální, řada bariér je však ryze
národní záležitostí. Současná situace ve schvalování
různých programů v EU i ČR pro následující období je
složitá a velmi dynamicky se mění. O základních
problematikách ovlivňujících vývoj odvětví bylo
pojednáno v Hutnických listech, 70 (2017) 3, 65 – 67.
Proto dále budou komentovány další problematiky,
především z oblasti ekologie.

Základní problémy, které ohrožují konkurenční schop-
nost českého ocelářství:

- Ekologická legislativa by mohla být likvidační
v případě přijetí nerealistických norem, limitů, daní,
odvodů a poplatků.
- Nezbytnost realizovat připravené ekologické inves-
tiční akce vyžaduje získat jejich financování z růz-
ných zdrojů, především zajistit významný podíl
cizích zdrojů (cca 80 %). Do roku 2020 jsou možné
dotace pro velké podniky výrazně omezeny (pouze
pro akce na ochranu ovzduší + pro snížení ener-
getické náročnosti výroby) a současně je možno
velkými podniky (o velikosti orientačně: nad 250
zaměstnanců) na dotaci čerpat max. 20 %
z uznatelných nákladů (jedná se s Komisí EU o zvět-
šení podílu na 40 %, resp. 60 %). Od roku 2020
bude EU preferovat cestu úvěrů s nízkými úroky
jako náhradu dnešních dotací.
- Realizace investic k dosažení špičkových techno-
logií je v rozhodovací pravomoci vlastníků, kdy
možnost využití potřebného podílu vlastních finanč-
ních zdrojů je podmínkou získání i cizího kapitálu –
zdrojů.

**Ekonomická situace v ocelářských společnostech
bude i nadále složitá.** Přetrvávat bude nedostatek
zdrojů pro investování, modernizaci, realizaci projektů
výzkumu a vývoje.

- Vlastní zdroje budou nízké. Budou využívány přede-
evším k provoznímu financování a eliminování
sekundární platební neschopnosti,

- Cizí zdroje (např. úvěry) budou na nízké úrovni.
Angažovanost bank a dalších finančních institucí je
nadále zdrženlivá.

Základní ekologické problematiky

Základními směry v ochraně životního prostředí
v odvětví hutnictví železa ČR zůstávají i nadále:

- snižování emisních limitů pro emise do ovzduší,
- zvyšování poplatků za vypouštění odpadních vod,
za ukládání odpadů i za vypouštění emisí do ovzduší,
- tvorba legislativy na ochranu životního prostředí
především na evropské úrovni,
- implementace hotové a připravované legislativy,
která má mít vliv na obor (IPPC, obchodování skle-
níkovými plyny, naplňování směrnice o odpadech,
REACH),
- podle ekonomických možností realizovat ekologické
investice, především do ochrany ovzduší.

Napjatost státního rozpočtu a priority řešení aktuálních
problémů i mimo dobu krize v podstatě negují možnost
získání zdrojů státního rozpočtu na ekologické investice.
Faktem je, že hutě na akce spojené s implementací
směrnice o průmyslových emisích do roku 2020
již vynaložily a budou ještě muset vynaložit značné
finanční prostředky především pro odprášení hal základ-
ních hutních provozů (řešení fugitivních emisí) a pro
odsíření a denitrifikaci podnikových tepláren, k nimž
nově přistupuje povinnost plnit zpřísněné emisní limity
pro velké spalovací zdroje nad 50 MW od roku 2021.
Současně začnou platit pro střední spalovací zdroje nové
emisní limity (doposud nebyly stanoveny na úrovni EU,
v ČR jsou stanoveny ve vyhlášce 415/2012 Sb.).

a) Politiky EU vztažené k rokům 2030 a 2050

Současné období je charakteristické tím, že by měly být
naplněny cíle klimaticko-energetického balíčku do roku
2020. Tento balíček má tři základní cíle, vztažené
na celou EU:

- snížení emisí skleníkových plynů o 20 % oproti roku
1990,

- zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na 20 % z celkové spotřeby,
- zvýšení energetické účinnosti o 20 % oproti roku 1990.

EU již vyhlásila balíček pro rok 2030, pro který jsou stanoveny ambicióznější cíle:

- snížení emisí CO₂ o 40 % oproti roku 1990, z toho
 - odvětví podléhající EU ETS o 43 % oproti roku 2005,
 - pro odvětví dnes nezahrnutá do EU ETS o 30 %
 - zvýšení redukčního meziročního faktoru na 2,2 %,
- zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na 30 % z celkové spotřeby,
- zvýšení energetické účinnosti o 30 % oproti roku 1990.

Uvedený balíček včetně stanovení závazných/nezávazných cílů byl již schválen a v současné době k naplňování jeho cílů probíhají diskuse.

U jednotlivých politik jsou stanovovány cíle bez vazby na druhé politiky: cíle u jedné politiky se mohou vylučovat s cíli stanovenými u druhé politiky. I nadále chybí celkový, zastřešující přístup.

Při posuzování dopadů cílů jednotlivých politik na evropské úrovni je často věnována pozornost dopadům do oblasti energetiky, zatímco dopadům do zpracovatelských odvětví (hutnictví, chemie, a další) analýze jejich technických a technologických možností pro dosažení stanovených cílů není většinou věnována téměř žádná pozornost. Tomu by se předešlo, kdyby podkladové studie a analýzy pro stanovení jednotlivých politik a jejich cílů byly řádným způsobem veřejně oponovány.

b) Energie a energetická účinnost

Hutní zařízení jsou většinou provozována celý rok v nepřetržitém provozu. Podniky odvětví mají vůči dodavatelům energií požadavky na bezpečnost dodávek, kterou je možno charakterizovat:

- nepřetržitostí dodávek,
- kvalitou dodávek,
- spolehlivostí,

a to vše za přijatelnou a konkurenceschopnou cenu.

Zásadním současným problémem je nemožnost predikce vývoje cen energií ve střednědobém a dlouhodobém horizontu. Ceny energií v EU jsou v současné době vyšší než v USA u elektrické energie i zemního plynu. U elektrické energie v ČR jsou ceny vyšší o více než o 10 % oproti průměru EU, což výrazně snižuje konkurenceschopnost odvětví na plně liberalizovaném evropském a světovém trhu hutními výrobky.

V této souvislosti je nutno si uvědomit postavení hutního průmyslu jako části materiálové a energeticky náročného zpracovatelského průmyslu, který dodává své výrobky na zcela liberalizovaný trh v zemích EU a celého světa. Pokud se změní v důsledku národních nebo evropské legislativy ceny vstupů, nemohou tyto podniky následně zvýšit cenu svých výrobků na trhu, protože jejich konkurenty jsou zde podniky i z regionů, kde daná legislativa není účinná, a proto mají tamější výrobci i výrazně nižší přímé (energie) i nepřímé (ekologie) náklady oproti našim výrobcům.

Zvyšování energetické účinnosti bude nutno i ze strany hutního průmyslu věnovat zvýšenou pozornost a připravovat projekty obdobně, jako byly připravovány projekty na snížení emisí tuhých znečišťujících látek, a následně nabídnuty k realizaci pro splnění cílů v této oblasti. Stejně tak bude nutno, aby Ministerstvo průmyslu a obchodu jako garant v programu OPPIK (Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost) vytvořilo potřebné podmínky pro to, aby se velké podniky jakožto potenciální nositelé značných energetických úspor mohly hlásit do výzev vyhlášených v tomto operačním programu.

c) Problematika REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction Chemicals)

Řešení a naplňování nařízení 1907/2006/ES je v současné době především na úrovni podniků.

Pokračují práce na splnění požadavků nařízení 1272/2008/ES o CLP (klasifikaci, balení a označování látek) i chemické legislativy ČR (zákon 350/2011 a předpisy související), která doplňuje a upřesňuje legislativu EU.

Problémem se mohou stát tzv. látky vzbuzující vážné obavy (SVHC – Substances of Very High Concern), jejichž seznam je průběžně doplňován a zveřejňován na stránkách Evropské chemické agentury (ECHA). V současné době je v tomto seznamu 214 látek, ale předpokládaný skutečný počet je několikanásobně vyšší. Je nutno reagovat na návrh na zařazení do seznamu SVHC u každé látky, která je využívána v hutních podnicích ve výrobě, ale i v jiných činnostech (např. v laboratořích) s cílem docílit dalšího podmíněného používání látky. Je to však časově i finančně náročný proces, o jehož výsledku se rozhoduje na evropské úrovni.

V květnu 2018 proběhne třetí kolo registrace pro látky, které jsou uváděny na trh EU o hmotnosti 1 t a větší.

d) EIA – posuzování vlivu na životní prostředí

Zákon 100/2001 Sb. je v současné době novelizován (tzv. transpoziční novela), návrh byl projednán 19.7.2017 v Senátu a vrácen s pozměňovacím návrhem Poslanecké sněmovně, která jej má projednat počátkem září 2017. Společně s projednávanou novelou stavebního zákona by měly být vytvořeny podmínky pro zrychlení povolovacího řízení.

e) Ochrana ovzduší

Prioritou ČR je snižování emisí tuhých znečišťujících látek (prachu). Snižování výskytu CO₂ je sekundárním cílem. Hutními podniky byl v letech 2014 – 2016 realizován velký počet investičních akcí s dotacemi z fondů EU. Dokončena byla odprášení zbývajících velkých hutních zařízení (aglomerace, vysoké pece) a především provedeno odprášení celých hal (ocelárny) pro eliminaci fugitivních emisí. Jsou to vesměs emise z malých zdrojů, kterých je v hale i několik desítek, a odprášení každého z nich je technicky nereálné nebo i ekonomicky neefektivní. Jsou tak splněny podmínky provozů těchto zařízení, uvedené v integrovaném povolení, které vydal místně příslušný Krajský úřad.

f) IPPC – integrovaná kontrola a prevence znečištění

V letech 2012 – 2016 byla věnována zvýšená pozornost naplnění požadavků rozhodnutí 2012/135/EU, kterým byly pro provozy aglomerace, koksovny, vysoké pece a ocelárny stanoveny závazné limity různého typu.

Velké problémy i hutním energetikám může přinést v současné době dokončovaný nový BREF (referenční předpis o BAT – o nejlepších dostupných technikách) pro velké spalovací zdroje nad 50 MW, který zavádí zpřísněné emisní limity oproti těm, které již dříve stanovila evropská legislativa pro ovzduší pro oxidy síry a dusíku s platností od 1.1.2018. Nově BREF zavádí emisní limity i pro rtuť. Diskuse ještě probíhají a práce jsou těsně před dokončením. Všichni provozovatelé se připravili na plnění původních emisních limitů a jsme svědky velkých investic do úprav zařízení elektráren a tepláren (odsíření, denitrifikace). Nové limity podle BREF však znamenají, že pokud někdo ukončí rekonstrukci kotle tak, aby plnil emisní limity podle evropské legislativy pro ochranu ovzduší vyhlášené před několika lety, pak by v průběhu dalších 3 let měl provést další náročnou modernizaci pro dosažení nových zpřísněných limitů. To u zařízení, kde investice mají ekonomickou návratnost desítky let, není zajistitelné.

Od poloviny roku 2016 prochází revizí BREF pro zpracování oceli – ukončena by měla být do poloviny roku 2019. Dotýká se zařízení typu:

- válcovny za tepla (profilů, drátu, plechů a pásů),
- válcovny za studena,
- tažírny oceli,
- žárové zinkovny.

Práce na novém předpise jsou intenzivní a jsou do nich zapojeny přímo i jednotlivé podniky.

g) Odpady a oběhové hospodářství

V současné době v ČR pro oblast odpadů z hlediska legislativy probíhají práce na legislativních normách:

K **výrobkům s ukončenou životností** (autovraky, pneumatiky, elektroodpad apod.) se bude vztahovat

nová, samostatná legislativní norma – zákon o výrobcích s ukončenou životností, který bude vyčleněn ze stávajícího zákona o odpadech. Je tedy možno očekávat v horizontu několika let zvýšení likvidace starých automobilů, což sebou přinese i zvýšení dodávek šředrovaného šrotu, jehož podíl ve vsázce pro jednotlivé technologie tavení je omezen. Bude také nutno, aby dodavatelé vsázky z autovraků důsledně odstraňovali látky (např. plasty, neželezné kovy, kapaliny) tak, jak jim to předepisuje již platná legislativa.

Pro komoditu dnešních **odpadů** je novelizován stávající zákon č. 185/2001 Sb. ve smyslu zpracování směrnice 2008/98/EU o odpadech. Preferovány mají být v souladu se Směrnicí (kromě priority předcházení vzniku odpadů):

- recyklace komodit dnes považovaných za odpad,
- energetické využití (v podnikových i jiných teplárnách nebo zařízeních pro energetické využití odpadů),
- ztížit – podstatně omezit co nejvíce ukládání odpadů na skládky (zvýšení poplatků za ukládání); dle legislativy EU smí na skládkách v roce 2030 skončit max. 10 % produkovaných odpadů.

Pro orientaci uvádíme, že často medializované komunální odpady tvoří cca 10 % z celkového výskytu odpadů v ČR. Pojem „druhotná surovina“ se do návrhu novely zákona 185/2001 Sb. sice dostal, ale uchopení tohoto pojmu z hlediska praxe bude značně obtížné.

K novelám obou zmíněných zákonů ještě uvádíme, že byly od září 2016 několikrát předloženy do Legislativní rady vlády ČR, ale nakonec byly předkladatelem – Ministerstvem životního prostředí ČR – staženy. Předpokládá se, že návrhy budou předloženy nové vládě. O rozsahu, aktuálnosti obsahu novel a o odstranění přetrvávajících rozporů se mezitím intenzivně jedná.

Již od letošního roku budou novelizovány také prováděcí předpisy týkající se odpadů (vyhlášky, nařízení vlády).

Oběhové hospodářství v EU lze charakterizovat tím, že v roce 2030 se má využitím recyklace dosáhnout úspora 30 % dnes využívaných primárních surovin. Do konce roku 2017 mají být dokončena jednání k této nové legislativě EU. Doposud byly řešeny problematiky definic, obsah pojmu recyklace, obsah a výše recyklačních cílů apod. Bude nutno také definovat bod, ke kterému se budou počítat plnění stanovených cílů recyklace. Určitým problémem se zde jeví dostatečné kapacity zařízení, která mají recyklaci ve všech úrovních zajistit, a financování jejich výstavby.

h) Kohezní fondy EU a ČR na období 2014 – 2020

Jednou z mála oblastí, kde by mohly velké podniky, tedy i podniky našeho odvětví, čerpat podporu, je výstavba zařízení se zvýšenou energetickou účinností a výzkum a vývoj zařízení pro zvýšení energetické účinnosti nebo pro snížení emisí skleníkových plynů.

i) Problematika vod

V hutnictví železa byla problematika vod věnována vždy zvýšená pozornost, což bylo dáno nejen objemem využitých vod k provozním a technologickým účelům, ale i nutností dodržet přísné předpisy pro obsah znečišťujících látek z čistíren odpadních vod hutních podniků do vodních toků (stanovené limity dodržujeme).

Zatímco objem povrchových vod se využitím recirkulace snížil, poplatky se neustále zvyšují, a to několikanásobně více než činí inflace. Důvodem je, že podnikům Povodí jsou ze strany státních orgánů stanovovány další a další povinnosti, ale nejsou jim na jejich zajišťování přidělovány žádné nebo dostatečně vysoké příspěvky ze státního rozpočtu, což je řešeno nárůstem cen pro odběratele povrchové vody. V rámci připravované velké novely zákona o vodách budou tyto i další problematiky diskutovány. Novela zákona by měla být předložena nové vládě počátkem roku 2018.

V hutnictví po zkušenostech z minulých 3 suchých let se budeme muset celou problematikou detailně zabývat a navrhnout, jaká vhodná zařízení z tohoto pohledu v hutích provozovat a v jaké intenzitě, pokud bude u nás i nadále pokračovat trend v suchém klimatu.

Závěr

Faktorů, které ovlivňují další vývoj odvětví hutnictví železa pro nejbližší období, je celá řada. Zcela zásadním se pro ocelářství a celý zpracovatelský průmysl ukazuje **vytvoření rovnocenných podmínek s konkurenty ze zemí mimo region EU**, a to zejména v:

- ekologii (ekologické legislativě),
- dostupnosti surovin a energií, a to včetně cenových aspektů – např. podpora obnovitelných zdrojů energií a její vliv na růst cen energií,
- srovnatelnosti daňové legislativy, podpoře zaměstnanosti a vůbec v prosazení průmyslové politiky v EU a v ČR, a společně pak ve vztahu k ostatním zemím mimo EU v této problematice.

Mnohdy jde o samotnou udržitelnost, existenci průmyslu v ČR (ztráty pracovních míst) zejména v situaci, kdy vlastníci rozhodují a optimalizují své portfolio kapacit (nadbytečnost ocelářských kapacit).

Trvalé sledování a analyzování obchodní a výrobní situace odvětví je konfrontováno s poznatky EU a využíváno pro hodnocení účinnosti opatření přijímaných při jednáních se státní správou (ministerstvy) a zaměstnavatelskými institucemi – Hospodářskou komorou ČR a Svazem průmyslu a dopravy ČR.

Trh s ušlechtilou ocelí opět roste

Stahlreport

4/17

Odvětví ušlechtilých ocelí hledí do budoucna většinou optimisticky. To vyplývá z bilance Dnů ušlechtilých ocelí 2017, na které se sjelo zhruba 150 účastníků. Podle Wolfganga Lippa, analytika Steel Market Intelligence GmbH, počítá se v Evropě tento rok s růstem 2 %, což odpovídá přírůstku výroby kolem 115 000 tun. Důležitý faktor vidí Lipp v antidumpingových clech, uvalených v roce 2015 na dovoz ušlechtilých ocelí z Číny. Určité riziko pro vývoj trhu vidí Lipp v politickém klimatu. Mohou se totiž výrazně zostřit restrikce pro globální obchod např. v USA a Velké Británii. Velká pozornost musí být věnována technologickým změnám v automobilním průmyslu, především přechodu na elektromobily a nejnověji i všeobecným ústupem od dieselových motorů.

Nový online-shop by měl dát odbytu Severstalu křídla

Stahlmarkt 4

April 2017

S novou webovou stránkou bude nákup ocelářských výrobků tak jednoduchý jako stažení e-knihy nebo nákup nových bot. To v každém případě slibuje podnik, patřící ruskému miliardáři Alexeji Mordaševovi. První testy v listopadu 2016 byly zřejmě tak úspěšné, že Severstal chce již v roce 2018 prodávat 3,5 mil. t oceli online, třetinu celkového odbytu z roku 2016. Ačkoliv je internetový prodej ocelářských výrobků stále oblíbenější, především v Číně a v Indii, je většina online-shopů provozována obchodníky a ne výrobci. Severstal chce zpočátku nabízet online jen standardní výrobky, potom ale krok za krokem i speciální výrobky.

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť

Obnova kompresoru na Vodárně 3 ve společnosti ENERGETIKA TŘINEC, a.s.

Revamping of Compressor at the Water Tower No.3 in the company ENERGETIKA TŘINEC, a.s.

Ing. Jan Čepec

Energetika Třinec, a.s., Průmyslová 1024, 739 61 Třinec-Staré Město, Česká republika

ENERGETIKA TŘINEC, a.s. (dále ET) je výrobcem a distributorem řady energetických médií, a to zejména pro technologii hutní výroby Třineckých železáren a.s. (dále TŽ). Jedná se především o elektřinu, teplo v páře, teplo v horké a teplé vodě, dmýchaný a stlačený vzduch, provozní vody. ET dále zajišťuje distribuci a úpravu hutních topných plynů, které vznikají jako druhotný energetický zdroj při výrobě v TŽ, a dále dodává teplo nejen pro vytápění areálu TŽ, ale také města Třince a blízkého okolí.

Jednou z vyráběných a distribuovaných energetických komodit je stlačený vzduch, který je v současné době vyráběn ve třech střediscích ET. Patří k nim středisko Vodárny 1 se šesti elektro turbokompresory, středisko Vodárny 3 se dvěma elektro turbokompresory a středisko Teplárny E2 se třemi parními turbokompresory. Podniková síť stlačeného vzduchu je rozdělena na dvě základní části: síť stlačeného vzduchu TŽ a síť stlačeného vzduchu kontidráťové válcovací trati (dále KDT).

Stlačený vzduch do sítě TŽ dodává radiální turbokompresor TK3 poháněný parní turbínou, instalovaný na Teplárně E2, a radiální turbokompresory ČKD1 až 5 a IRMA poháněné elektromotorem, které jsou instalované na Vodárně 1. Přetlak v síti TŽ se pohybuje v rozsahu 570 – 600 kPa. Parní turbokompresor dodává do sítě TŽ přibližně 30 tis. m³_N/h. a elektrické turbokompresory Vodárny 1 dodávají do sítě TŽ cca 10 – 30 tis. m³_N/h.

Středisko Vodárna 3 včetně kompresorové stanice bylo původně postaveno k zabezpečení dodávek médií pro válcovnu KDT. Stávající kompresorová stanice na Vodárně 3 je vybavena dvěma radiálními turbokompresory v uspořádání 100% + 100% záloha. Tyto turbokompresory s označením Lída 1 a Lída 2 přednostně pokrývají

spotřebu stlačeného vzduchu provozu válcovny KDT. Příklad turbosoustrojí je uveden na obr. 1. Přetlak dodávaného stlačeného vzduchu v okruhu válcovny KDT se pohybuje v 570 – 600 kPa. Turbokompresory mají jmenovitý výkon 10 tis. m³_N/h. při přetlaku 800 kPa a jsou poháněny elektromotorem o výkonu 1250 kW. Obě soustrojí mají dnes poměrně vysokou měrnou spotřebu v rozmezí 125 až 140 kWh/tis. m³_N v závislosti na svém pracovním bodu. Obě soustrojí pocházející ze 70. let minulého století; mají k dnešnímu dni dožitý technický stav a i přes řádně prováděnou údržbu nedosahují již svých původních jmenovitých parametrů.



Obr. 1 Stávající elektro turbokompresor s označením Lída 2

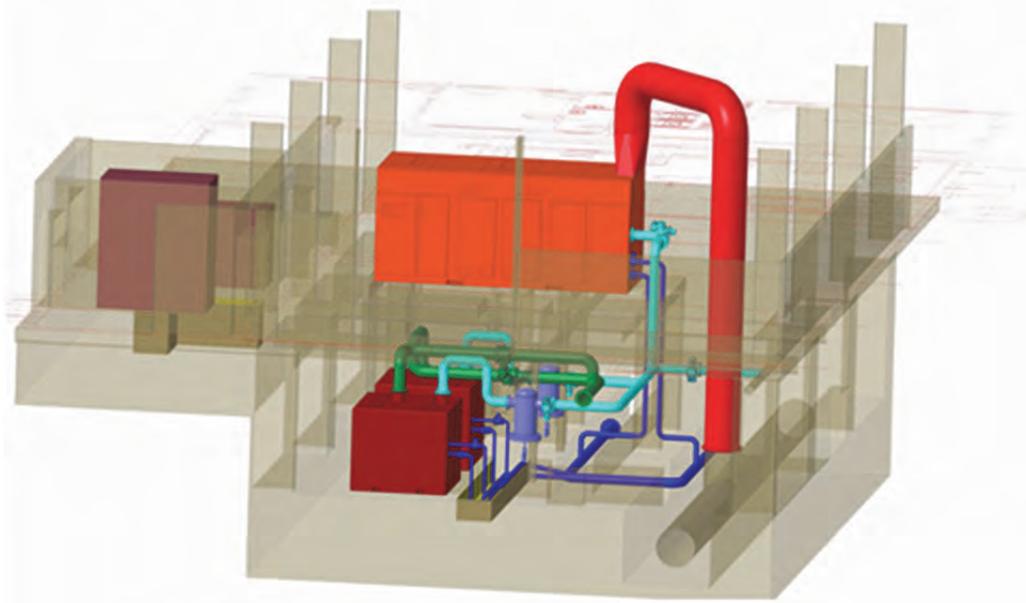
Po provedené modernizaci válcovny KDT v roce 2014 došlo k nárůstu spotřeby stlačeného vzduchu této válcovny až na úroveň cca 12 tis. m³_N/hod., což nelze pokrýt jedním provozovaným soustrojím, ale je nutno ze sítě TŽ připouštět stlačený vzduch v objemu cca 3 – 4 tis. m³_N/hod. do sítě stlačeného vzduchu válcovny

KDT. Tento provozní stav má současně negativní dopad na spolehlivost dodávek energií pro válcovnu KDT.

Jelikož v roce 2011 byla provedena generální oprava soustrojí Lída 1 v rozsahu výměny rotoru kompresoru, pohyblivé spojky mezi rotorem a převodovkou, radiálního ložiska a kombinovaného ložiska rotoru kompresoru, byla při úvahách o modernizaci zdroje stlačeného vzduchu pro válcovnu KDT přijata koncepce náhrady soustrojí Lída 2 novým, moderním elektro turbokompresorem včetně dílčích úprav přípojovacích potrubí, stavebních úprav a obnovy souvisejících zařízení.

Ke zkvalitnění dodávek stlačeného vzduchu (odstraněním vlhkosti obsažené ve vzduchu a zamezením vzniku kondenzátu v potrubních rozvodech) budou s novým soustrojím instalovány 2 jednotky kondenzačních sušiček vzduchu v uspořádání 100% + 100% záloha s tlakovým rosným bodem +3 °C.

Budoucí dodávka stlačeného vzduchu pro válcovnu KDT bude zajišťována novým elektro turbokompresorem, který svými parametry umožní pokrýt celkovou spotřebu stlačeného vzduchu válcovny KDT. Schéma komplexního systému pro dodávku stlačeného vzduchu pro válcovnu KDT modelově znázorňuje obr. 2. Požadovaná jmenovitá výkonnost nového kompresoru je proto 15,5 tis. m³_N/h. při přetlaku 700 kPa (parametry na výtlaku soustrojí). Nový kompresor bude třístupňový odstředivý a bezmazný, s pohonem vysokonapěťovým elektrickým motorem o jmenovitém výkonu 1600 kW. Soustrojí bude dodáno jako komplexní blok vybavený vnitřním potrubním systémem, přípojkami, horizontálně dělenou převodovkou, dvěma mezichladiči a jedním dochlazovačem, automatickým regulačním systémem s ovládacím panelem. Soustrojí bude vodou chlazené. Veškeré výše uvedené vybavení bude umístěno na společný základový rám včetně protihlukového krytu. Regulace výkonnosti nového stroje bude zajištěna pomocí mechanismu vstupních natáčecích lopatek (IGV).



Obr. 2 3D model budoucího turbokompresoru včetně jednotek sušení stlačeného vzduchu

Ekonomika této investice je postavena na úspoře elektrické energie při zachování objemu dodávek pro síť stlačeného vzduchu KDT díky výrazně lepší měrné spotřebě nového zdroje stlačeného vzduchu (pod 100 kWh/tis. m³_N). Očekávaná úspora elektřiny při roční výrobě stlačeného vzduchu 126 mil. m³_N/rok pro válcovnu KDT je v úrovni 4460 MWh/rok. Dalším podstatným přínosem této investice je zvýšení spolehlivosti dodávek stlačeného vzduchu pro válcovnu KDT.

V roce 2015 se ET rozhodla využít první výzvy programu Úspor energie z Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OPPIK MPO) a provedla předběžnou registraci záměru do výše uvedeného programu. Následně byly vypracovány všechny povinné přílohy k žádosti o podporu, tj. technický popis záměru, energetický posudek, položkový rozpočet

a dokumentace pro stavební povolení. Předpokládaná výše investice činí 25 mil. Kč. Plnou žádost o čerpání dotace podala ET koncem února 2016. V lednu 2017 vydalo MPO rozhodnutí o přidělení dotace ve výši 30 % způsobilých výdajů. Následně byla zpracována kvalifikační a zadávací dokumentace včetně všech potřebných příloh pro vyhlášení veřejného výběrového řízení. Oznámení o zahájení zadávacího řízení bylo uveřejněno ve Věstníku veřejných zakázek počátkem května letošního roku. Předpokládaný termín uzavření smlouvy o dílo s vybraným generální dodavatelem investiční akce je říjen letošního roku. Zejména s ohledem na termíny výroby a dodávek rozhodujících částí díla předpokládáme uvedení do provozu nového zdroje stlačeného vzduchu cca do deseti měsíců od uzavření příslušné smlouvy na realizaci díla.

Bruska sochorů BBS 16A

Ing. Grzegorz Podolewski

Strojírny a stavby Třinec, a.s., Průmyslová 1038, 739 61 Staré Město, Česká republika

Strojírny a stavby Třinec a.s. vyvíjejí automatickou brusku na sochory v rámci projektu „Vývoj automatizované brusky sochorů“, který je realizován z programu Aplikace I Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (reg. č. projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_018/0004682“. Cílem je vyvinout automatickou brusku, jež nahradí náročnou práci obsluhy. Pro zajištění této funkce je bruska vybavena automatickým skenovacím zařízením, které poskytuje data pro plynulé řízení chodu brusky. Cíl projektu je v souladu s dnešním trendem větší míry automatizace a robotizace pracovišť. Přínosem realizace bude docílení jednotné vrstvy úběru v celé ploše sochoru. Tím dojde ke zvýšení kvality obroušených sochorů jako vstupního materiálu pro válcovny. Další přínos lze očekávat ve snížené spotřebě brusných kotoučů a elektrické energie s pozitivním vlivem na životní prostředí.

Bruska slouží k odstranění povrchové vrstvy ocelových sochorů průřezu 150 × 150 mm délky 12 m. Broušení se provádí celoplošně v automatickém režimu. Broušení povrchových vad je možno provádět v ručním režimu.

Sochory jsou jeřábem s magnety naloženy na přísunový vlečnick na vstupu brusky. Nakládací mechanismus nakládá jednotlivé sochory na brousící vůz. Zde je sochor upnut a společně s vozem se pohybuje pod brousícím kotoučem. Mechanismus brusky průběžně zajišťuje požadovaný přítlak brusného kotouče a jeho posuv napříč sochořem. Po obroušení ploch je automaticky přebroušena hrana sochoru. Po dokončení je sochor automaticky otočen o 90° a broušení povrchu sochoru pokračuje na další stěně. Takto se obrousí všechny plochy a hrany sochoru. Po vybroušení všech ploch je sochor pomocí vykládacího mechanismu vyložen z brousícího vozu na odsunový vlečnick a zároveň je naložen další sochor. Tento cyklus se opakuje. Přísun a odsun sochorů do skladovacích boxů zajišťuje jeřáb s traverzou, na které jsou zavěšeny magnety.

Výkon brusky na směnu (8hod.): 26 sochorů

Pracovní režimy brusky

- Celoplošné broušení sochorů – sochor upnutý na brousícím stole se pohybuje pod brousícím kotoučem. Brousící kotouč je přitlačen na materiál a posuvem sochoru je přebroušena jedná stopa. Po projetí celé délky sochoru se brusný kotouč posune o jednu stopu a broušení se opakuje. Cyklus se opakuje,

dokud není obroušen celý povrch. Počet posuvu kotouče lze nastavit dle materiálu.

- Broušení podélných hran – brusný kotouč najíždí na hranu a podélným posuvem stolu dochází k broušení. Broušení lze provést na více průjezdů.
- Broušení konců sochorů – Sochor je posunut, tak aby hrana sochoru byla ve středu kotouče. Brusný kotouč se sklopí a posunuje se příčně po sochoru. Sochor stojí. Po projetí hrany se kotouč vrací do výchozí polohy. Stůl se sochořem přejede a do osy kotouče je posunutý druhý konec.

Hlavní inovace oproti předchozím bruskám

- Možnost automatického provozu.
- Doplnění kontrolního zařízení pro detekci povrchových vad včetně řídicího systému.
- Změna kinematické struktury vřetene.
- Nový uzavřený systém chlazení a mazání vřetene.
- Nově navržený řídicí systém linky.
- Kompletně nové řešení vstupní / výstupní části s kapacitou 7 kusů.
- Optimalizovaná hmotnost jednotlivých částí.
- Optimalizace systému odsávání.

Popis hlavních částí zařízení

Brousící stroj

Základem brusky je tuhý ocelový nosný rám, pevně ukotvený k betonovému základu. Na horní ploše nosného rámu je upevněna dvojice kolejnic, po kterých se pohybuje suport brusky. Posuv suportu zajišťuje hydraulický válec.

Na suportu brusky je v ložiskových domcích otočně uloženo rameno brusky. Na přední části ramene je umístěn vřeteník s brusným kotoučem. Naklopením ramene je zajištěn přítlak brusného kotouče. Pohyb je zajištěn dvojicí hydraulických válců. Jeden válec vyvažuje hmotnost brousící hlavy, druhý válec reguluje přítlak. Přítlak je řízen tlakovou regulací dle požadované přítlačné síly a dle fáze pohybu vozu – omezení přítlaku při reverzaci vozu.

Hlavní částí brusky je vřeteník, který je umístěn na přední části ramene. Nově navržená koncepce vřeteníku zajišťuje spolehlivý chod brusného kotouče. Vřeteník je

poháněn asynchronním motorem o výkonu 250 kW. Potřebný výkon je na vřeteník přenášen sadou klínových řemenů. Napnutí řemenů zajišťuje hydraulický válec. Otáčky brusného kotouče jsou plynule regulovatelné pomocí frekvenčního měniče.

Odbrusky odlétající od kotouče jsou odráženy od chladících stěn do prostoru primárního odprášení. Hrdlo na rámu brusky je umístěno pod úrovní horní upínací plochy vozu. V hrdle je v ose broušení vsazena clona, která směřuje obrus přímo do zásobníku. Chladící stěny jsou chlazeny vodou.

Brousící vůz

Brousící vůz slouží k dopravě sochoru pod brusný kotouč. Brousící vůz se pohybuje po kolejnicích umístěných na dráze brousícího vozu. Umožňuje upnutí a otáčení sochorů. Součástí vozu je hydraulický pákový mechanismus určený k otáčení a upínání sochorů. K otáčení sochorů slouží systém pák, které se sklápějí pomocí hydraulických válců. Při sklopení se sochor opře o tvarovaný zářez a vlastní vahou se překloupí o 90°. Po překloupení je nadzvednut a upnut vůči pevnému dorazu pákami.

Brousící vůz je poháněn lanovým mechanismem. Použití lanového mechanismu zajišťuje plynulý pohyb vozu do záběru bez prokluzu kol na kolejnici a zároveň odolnost proti zvýšenému množství prachu. Pohyb lana je realizován navíjením/odvíjením na lanový buben. Lanový buben je poháněn pomaloběžným hydro-motorem.

Vstupní a výstupní zařízení

Skládá se z následujících zařízení

Přísunový vlečnick

Vlečnick slouží k uložení sochorů a k jejich přesunu směrem k brousícímu vozu do pozice pro odebrání. Sochory jsou na vlečnick nakládány jeřábem a to tak, že na magnetech jeřábové traverzy je umístěna vždy jedna vrstva sochorů (max. 7 ks). Sochory se položí k přední zářezce. Opřením sochorů o zářezku se sochory srovnají do roviny, aby bylo zaručeno spolehlivé odebrání nakladačem. Po odebrání sochoru vlečnick posune zbývající sochory o jednu pozici. Přítomnost sochoru v nakládací pozici je snímána čidly.

Nakládací vlečnick je umístěn na vstupu brusky. Vlečnick se skládá ze čtyř ramen, která jsou kotvena k betonovému základu. Rameno vlečnicku je tvořeno ocelovou konstrukcí. Na čelních plochách jsou valivě uložená řetězová kola, která jsou mezi sebou propojena hnací hřídelí. Pohon vlečnicku zajišťuje elektropřevodovka. Po výměnných vodičích lištách, umístěných na horní ploše ramen, se pohybuje řetěz. Horní plocha řetězu je opatřena vyměnitelnými nerezovými deskami.

Nakladač

Nakladač odebírá jednotlivý sochor z přísunového vlečnicku a pokládá ho na horní plochu brousícího vozu. Na přísunovém vlečnicku jsou sochory ve vrstvě zarovnané na čelo zářezky. Před odebráním sochoru překladačem se sklopná zářezka přesune do spodní polohy. Transport sochorů zajišťují vozíky, které pojíždí ve zvedaných drahách. Během zdvihu drah, vozíky nabere sochor u zářezky, čímž ji oddělí z vrstvy, a potom ji převezou do pozice nad brousící vůz.

Po uložení sochoru na brousící vůz se sklopná zářezka přísunového vlečnicku vrátí zpět do horní pozice a vlečnick dotlačí zbývající tyče na čelo zářezky.

Zařízení tvoří zvedané dráhy, ve kterých se pohybují vozíky. Posuv vozíku je zajištěn elektropřevodovkou. Na horní ploše vozíku je umístěna vyměnitelná deska pro bezpečný transport sochorů. Zdvih drah je zajištěn pákovým převodem. Páky jsou uloženy na společné hřídeli. Natočením hřídele dochází k zvednutí drah. Natočení je zajištěno dvojicí hydraulických válců.

Odsunový vlečnick

Vlečnick slouží k odložení sochorů z brousícího vozu a k jejich přesunu směrem k pevné zářezce. Vyložení je vždy jeden sochor. Po uložení na horní plochu vlečnicku jsou sochory posunuty o jednu pozici, tak aby se uvolnilo místo pro vyložení dalšího kusu. Prázdna pozice pro vyložení je hlídána snímači. Ze zaplněného vlečnicku jsou sochory odebírány jeřábem. Zaplnění vlečnicku je hlídáno snímači. Konec vlečnicku je opatřen pevnou zářezkou zajišťující, že v případě selhání čidel, sochory nespádnou z vlečnicku.

Konstrukční řešení je obdobné jako u vstupního vlečnicku.

Vykladač

Vykladač odebírá sochor brousícího stolu a pokládá ho na horní plochu odsunového vlečnicku. Transport sochorů zajišťují vozíky, které pojíždí ve zvedaných drahách. Během zdvihu drah, vozíky nabere sochor z pozice broušení, a potom ho převezou do pozice nad odsunový vlečnick.

Konstrukční řešení je obdobné jako u nakladače.

Zařízení pro primární odlučování prachových částic

Větší odbrusky odražené od chladících stěn padají pod brusku do sběrné nádoby. Nádoba je umístěna na vozíku primárního odprášení. Vozík se pohybuje po kolejové dráze a je vybaven vlastním pohonem. Ovládání je umístěno na okraji jímky vozíku. Po vyjetí z pozice pod brusku je nádoba připravena k naložení jeřábem.

Zařízení pro sekundární odlučování prachových částic

Zařízení slouží k odsávání prachových částic z prostoru broušení. Odtah je zajištěn čtyř-komorovou filtrační jednotkou s návazně napojeným odsávacím radiálním ventilátorem. Ventilátor je vestavěn v protihlukové komoře. Ventilátor není během provozu regulován.

Konstrukce vícekomorového filtračního zařízení umožňuje odstavení jedné libovolné komory za plného provozu pro provedení servisních prací a regeneraci offline. Každá komora je tlakově oddělená od ostatních komor a venkovního prostředí. Od šnekového bude oddělaná dopravníku rotačním podavačem. Každá komora je opatřena vstupní a výstupní klapkou. Klapky jsou ovládány pneumatickými pohony. Vstupní klapky jsou integrované uvnitř vstupní separační komory každé komory filtru.

Součástí filtračního zařízení je separační komora pro zachycení hrubého prachu. Odvod zachyceného prachu bude do kontejneru pod filtrační jednotkou. Jednotlivé výsypky jsou opatřeny hladinoměrem, který hlásí jejich zaplnění.

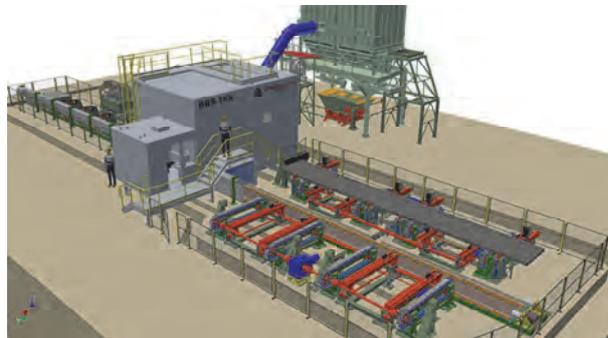
Vynášení odprašků zajišťuje zesílený šnekový dopravník. Je použita dvojice kontejneru. První kontejner je v pracovní pozici, druhý je mimo filtrační věž. Po zaplnění kontejneru je kontejner vyvezen na elektricky poháněném vozíku a do pracovní pozice se přesune druhý kontejner. Oba kontejnery se pohybují na samostatném vozíku. Kontejnery, vozíky a kolejiště jsou, součástí dodávky.

Regenerace a čištění filtračních hadic je prováděno pomocí stlačeného vzduchu systémem PULSE – JET a je ovládána prostřednictvím elektromagnetických ventilů řízených řídicím systémem regenerace filtru. Filtrační zařízení umožňuje regeneraci filtračních elementů jak ON-LINE, tak OFF-LINE režimu, a to včetně proměnlivé volitelné prodlevy regenerace a řízení regenerace jak časovým algoritmem, tak povelom od dosažené nastavené diference tlaku na filtru

Off-line regenerace. Jednotlivé komory filtru přepíná řídicí systém v přednastaveném režimu, nebo v manuálním nastavení servisního módu bez přerušování práce. Po uplynutí nastaveného času se na nastavenou dobu klapkami odstává 1. komora a zrychleným regeneračním cyklem se tato zregeneruje v systému off-line. Po uplynutí nastaveného času se 1. komora otevřením klapky vrátí do filtračního procesu. Po uplynutí nastaveného času se to stejně jak výše popsáno provede s druhou, třetí, čtvrtou atd. komorou a opět první a tak opakovaně dále.

On-line regenerace. Soustava komor je vnitřně řešena tak, aby se komora dala plně odstavit. Po odstavení je komora regenerována bez průtoku filtrované vzdušiny (bez proudění vzduchu). Ostatní komory pracují bez přerušování práce.

Přefiltrovaný vzduch je veden do komína při-kotvenému k filtrační jednotce. V komíně jsou instalovány příruby měření TZL dle platných norem CSN-EN.



Ovládání

Ovládání brusky je umístěno v řídicí kabině, která je umístěná vedle kabiny brusky. Po spuštění z ovládacího panelu pracuje bruska v automatickém režimu.

Pro servisní úkony je možné brusku ovládat v ručním režimu Ovládání je prováděno ovladači umístěnými na ovládacím křesle a zároveň pomocí počítače. Všechny informace jsou zobrazeny na monitoru.

Automatický režim

Při průjezdu broušícího vozu s upnutým sochorem je skenovacími zařízením identifikován začátek, konec a jednotlivé profilové řezy sochoru. K těmto je přiřazena poloha stolu, kterou určuje lineární odměřovací systém umístěný podél dráhy pohybu vozu. Profilové řezy určují osy x, y, poloha vozu osu z. Měření je získán skutečný tvar sochoru a body pro polohování brusného kotouče. Po přejetí celého sochoru pod skenovacími zařízením jsou data s údaji o poloze vyslány do řídicího systému. Na základě těchto dat provádí řídicí systém automatické polohování brusného kotouče.

Ruční režim

Režim je určen pro servisní úkony.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
OP Podnikání a inovace
pro konkurenceschopnost

Ze života škol

Košická Hutnícka fakulta má nové meno



doc. Ing. Iveta Vasková, PhD.

Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach po **65 rokoch** od svojho založenia mení svoj názov na **Fakultu materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach (FMMR)**. Ctíme si naše tradície, ale zároveň sme presvedčení, že nový názov lepšie vystihuje všetko to, čo naša fakulta už dnes v oblasti výchovy študentov, ale aj vo sfére výskumu ponúka.

Za 65 rokov od svojho vzniku fakulta vychovala viac ako 5800 hutníckych inžinierov a viac ako 550 absolventov vedeckej aspirantúry a doktorandského štúdia. Pri vysokoškolskom vzdelávaní učiteľia a vedeckí pracovníci fakulty vydali mnohé monografie a učebnice a publikovali tisícky odborných článkov vo vedeckých a odborných časopisoch. Pracovníci fakulty taktiež vyriešili množstvo vedecko-výskumných úloh a projektov a bolo im udelených viac ako 120 autorských osvedčení československých a slovenských patentov.

Z mnohých vedeckých výkonov niektoré ďaleko prekročili rámce vtedajšieho Československa, ako aj rámec svojej doby, posunuli rozvoj poznania vo svojom odbore a ovplyvnili budúci vývoj. Spomeniem aspoň niekoľko príkladov – termodynamickú školu pyrometalurgickej výroby medi a prvý svetovo patentovaný proces plynulej výroby medi profesora **Juraja Schmiedla** a docentov **Františka Sehnálka** a **Júliusa Holéczyho**, alebo

napríklad košickú fraktografickú školu profesora **Vojtecha Karela**, či školu korózie kovov profesora **Jaroslava Kocicha**. Nezabudnime ani na termodynamickú školu priemyselných pecí a tepelných agregátov profesora **Svatopluka Černocho**, na profesora **Eduarda Červeného**, ktorý založil a viedol obor tvárenia v súlade s vtedajšou úspešnou ostravskou školou tvárenia, analytickú spektrochemickú školu profesora **Mikuláša Mathernyho** a archeometalurgický výskum profesora **Lubomíra Mihoka**.

Možno sa opýtate, prečo teda opúšťame také dobré meno a značku, keď máme za sebou tak veľa úspechov? Pravda je taká, že vývoj nemožno zastaviť a aj my sme dospeli do štádia, kedy už názov **Hutnícka fakulta v plnej šírke nevystihoval skutočný rozsah našich vzdelávacích a výskumno-vývojových činností a takisto ani rozsah našej spolupráce s priemyselnou praxou**. Naša fakulta počas svojej 65-ročnej histórie podstatne rozšírila svoje pôsobenie aj mimo oblasti hutníctva kovov. Podstatne sa profilovala aj v materiálovom výskume, v oblasti chemických technológií, energetiky, spracovania a recyklácie odpadov alebo manažérstva procesov a kvality produkcie. Vzdelávací proces na fakulte je už dlhodobejšie situovaný do širšej materiálovej bázy. Pokrýva prípravu a výrobu kovových aj nekovových anorganických materiálov, ich recykláciu a manažérstvo týchto procesov. Názov Hutnícka fakulta je však pre takéto široké odborové zameranie príliš špecifický. Nezodpovedá súčasnej realite a neoslovuje primerane záujemcov z radov študentov stredných škôl. Nuž, toto je teda odpoveď na otázku, prečo sme sa rozhodli prijať nový názov.

Sme hrdí na svoje tradície a bohatú históriu a sme presvedčení, že práve ony nám poskytnú pevné základy pre to, čo sme sa rozhodli vo vzdelávaní mladej generácie a v podpore priemyslu realizovať. Naším cieľom je vybudovať novú, modernú vzdelávaciu inštitúciu 21. storočia.

doc. Ing. Iveta Vasková, PhD.

dekanka

Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie

Technická univerzita Košice

Historie hutnictví

Historie výroby kovů a její obraz v bibli

6. část: Damascénské meče

Ing. Ladislav Jílek, CSc., Ing. Jan Počta, CSc.

Ostrava, Česká republika

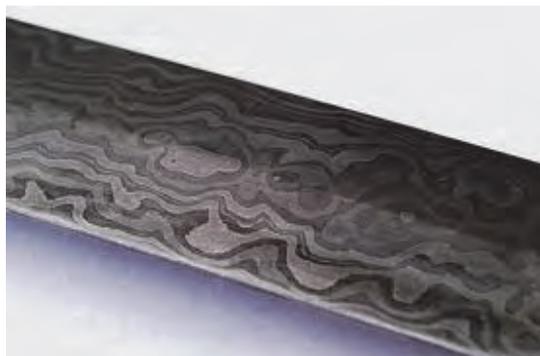
Největší zájem ze starověkých speciálních technologií vzbuzovala a stále vzbuzuje výroba **damascénské oceli**. Název pochází od syrského města Damašku, kde si tyto meče kupovali evropští rytíři, kteří se zúčastnili křížových výprav. Pravé damascénské meče se vyznačovaly těmito znaky:

- vysoká ostrost, mečem bylo možné přeseknout hřebík či malý kámen, aniž by se porušilo ostří,
- vysoká pružnost, meč bylo možné stočit do kružnice a opět se bez porušení narovnal,
- charakteristická kresba na povrchu připomínající kresbu na dřevě či strukturu kůže, někdy se označuje také jako mramorování.

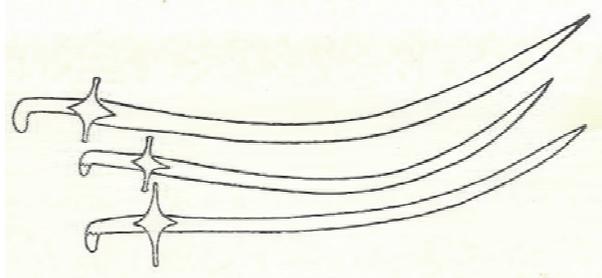
Příklady kreseb na povrchu mečů jsou znázorněny na obr. 1 a 2. Tvar mečů byl dosti proměnlivý. Většinou byl zahnutý, jak ukazuje obr. 3.



Obr. 1 Damascénský meč s jemnou kresbou [1]



Obr. 2 Damascénský meč s hrubou kresbou [2]



Obr. 3 Tvar damascénských mečů vyrobených v Persii [3]

Kování damascénských ocelí bylo věnováno několik monografií [3, 4]. Původní technologie výroby těchto mečů byla zapomenuta. Zřejmě sestávala z těchto kroků:

1. Výchozí polotovary ze svárkové oceli se dovážely z Indie ve formě kotoučů o průměru asi 100 mm a výšce asi 50 mm [5, 6]. Podle [7] měly tyto polotovary průměr 125 mm a hmotnost 900 g, podle [8] měly hmotnost 2,3 kg.
2. K vykování meče se použily nejméně dva druhy oceli: jedna s nízkým obsahem uhlíku, druhá s vysokým obsahem uhlíku (1,0 až 1,8 % C, někdy i více).
3. Polotovary z obou druhů oceli se položily na sebe a začaly se kováním prodlužovat, přičemž se svařily. Po dosažení určité délky se rozkovek přeložil. Toto prodlužování se s ohledem na vysoký obsah uhlíku provádělo při teplotě 1100 °C. Operace prodlužování a překládání se mnohokrát opakovaly. Při každém přeložení se počet vrstev zdvojnásobil.
4. Po dokončení prodlužování a překládání se podle některých autorů zařazovala výdrž při teplotě 1100 °C po dobu 48 hodin. V každém případě pak následovalo dokování při teplotě asi 700 °C. Podle [5] se závěrečné prodlužování čepele provádělo při teplotách pod 800 °C.
5. Následovalo kalení do vhodného média, broušení a leštění. Na závěr se kyselinou naleptala struktura, a vytvořil se tak optický reliéf.

Novodobí kováři se pokoušejí napodobit historickou technologii výroby damascénské oceli. Jedním z těchto

případů je zkouška provedená na VŠB-TU Ostrava v květnu 2017 (obr. 4, 5, 7 – 13).



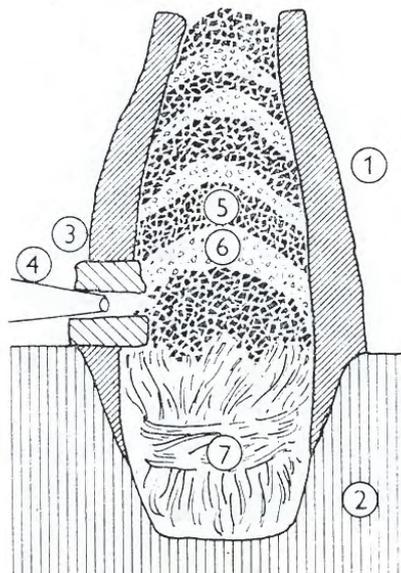
Obr. 4 Postup zpracování prvotně ztuhlé železné houby až do konečné podoby damašského meče; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 5 Výroba železné houby v šachtové peci; fáze vytahování hroudy z nístěje; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)

Na obr. 4 je zachyceno několik základních kroků z této technologie, a to od počátku, kdy se vycházelo z přímé výroby železa v podobě železné houby vyrobené v šachtové peci z rudy a dřevěného uhlí. Obr. 5 ukazuje fotografii experimentální šachtové pece pro přímou výrobu železa, která jako řada jiných historických rekonstrukcí, vychází z koncepce šachtové pece pocházející již z laténského období (obr. 6). Zavážení experimentální pece bylo totožné se schématem znázorněným na obr. 6, avšak s tím, že experimentální pec neměla nístěj zahloubenou do podloží, nýbrž ležela v úrovni terénu, a palivo pro počáteční vyhřívání pece netvořila sláma a klestí, nýbrž novodobý koks. Železná houba byla po vytažení z pece prvotním ztuhnutím

zbavena strusky (obr. 7). Další její zpracování probíhalo kovářským způsobem, kterému předcházela ohřev na tvářecí teplotu v dřevouhelné výhni (obr. 8). Dílčí kroky při kovářském zpracování znázorňuje obr. 9 – 12. Z nich obr. 11 a 12 ukazuje postup překládání rozkovku do vícevrstvé podoby. Výsledkem byla vykovaná čepel, jejíž ostří bylo zakaleno postupem popsáním v [9]. Finálním krokem ve výrobě čepel bylo ruční broušení ostří (obr. 13).



Obr. 6 Šachtová pec laténského typu s rekonstruovanou zavázkou z vykopávek v Podbořanech podle [8]: 1 – šachta, 2 – zahloubená nístěj, 3 – keramická výfučna, 4 – dmychadlo, 5 – dřevěné uhlí, 6 – železná ruda, 7 – prvotní vyhřívací palivo (sláma nebo klestí)



Obr. 7 Prvotní ztuhnutí železné houby a vytěsnění strusky; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 8 Ohřev prvotně zhutněné železné hroudy pro kování; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 9 Kování prvotně zhutněné železné hroudy na bucharu; manipulace pomocí kovářských kleští; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 10 Částečně překovaná zhutněná železná hrouda (navážená na manipulační tyč) připravená k dalšímu kování; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 11 Ohyb materiálu (naváženého na manipulační tyč) pro vytvoření vrstevnatého rozkrovku; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 12 Dvouvrstvý rozkrovek (navážený na manipulační tyč) připravený k dalšímu kování; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)



Obr. 13 Finální ruční broušení ostří meče; ukázka z předvádění historické technologie na VŠB-TU Ostrava, 2017 (foto red.)

Hlavní tajemství damascéské oceli spočívalo však kromě technologie zřejmě v materiálové podstatě, tj. v tom, že ložisko železné rudy, ze které se v Indii vyráběly polotovary pro damascéskou ocel, patrně obsahovalo vanad. Verhoeven a spoluautoři [10] při analýze chemického složení těchto mečů odhalil, že ocel obsahuje několik setin procenta vanadu a právě účinku této náhodné legury ve spojení s dokováním při nízké teplotě přisuzuje jemnou strukturu a další příznivé vlastnosti oceli. V dnešní době se železná ruda obsahující vanad těží v Kanadě u jezera Lac Tio.

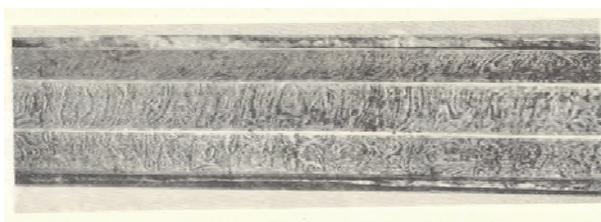
Damascéské meče se začaly vyrábět v Indii jistě před rokem 1000 př. Kr., někteří autoři dokonce udávají už r. 2500 př. Kr. Nejstarší damascéský meč byl nalezen na pohřebišti Gurri Goanve ve střední Indii a byl datován do 7. století př. Kr. [11]. Kovaly se i v Persii pod názvem *puhad janherder*. Nejstarší meče nalezené ve střední Evropě vykazují určitou podobnost s damascéskými meči. Meč nalezený v dnešním Rakousku a pocházející z doby Hallstattské z 8. století př. Kr. byl vyroben kovářským svařováním několika tyčí s různým obsahem uhlíku [12]. Tyto meče kovali také franští kováři od 8. století po Kr. a obchodovali s nimi; prodávali je například Vikingům. Používali je i vojáci Karla Velikého na konci 9. a počátku 10. století. Měly však hrubší strukturu než meče vykované z polotovarů dovezených z Indie. Ve 12. stol. se usadilo několik kovářů znalých tajemství jejich výroby v Solingenu v Německu.

Již ve staroruském eposu *Slovo o pluku Igorově* jsou zmiňovány *charlužní meče*, což se vykládá jako odvozenina od slova *kara-lug*. Ve východních jazycích to znamená *černá ocel*, jak se také označovala damascéská ocel. V Indii v okolí Bombaje se tato ocel označovala slovem *wuts* a z toho pochází anglické

označení *wootz*. používané též všeobecně pro výrobky z ocelí tohoto typu.

Od 15. nebo snad již od 14. století se tyto meče kovaly v Rusku (Zlatoust'sk) pod názvem *bulat*. Název pochází z výrazu *pulad* používaného v Indii pro označení polotovarů, ze kterých se tyto meče kovaly. A tento výraz zase pochází z perského *fulad*, což znamená ocel. Meče se v té době kovaly z polotovarů dovezených z Indie a jejich ocel obsahovala malé množství vanadu. V 18. století zřejmě bylo ložisko, z něhož se těžila ruda pro výrobu polotovarů, vyčerpáno a kvalita ruských *bulatů* začala klesat. Na počátku 20. století jejich výroba v Rusku skončila.

Z damascéské oceli se kromě mečů kovaly také dýky, sekery, nože, břitvy, hlavně pušek a další výrobky. Damascéská hlaveň pušky je znázorněna na obr. 14.



Obr. 14 Hlavně perských pušek z damascéské oceli, 19. stol. [3]

Dnes opět řada kovářů vyrábí nože, šperky a další předměty z damascéské oceli. Mnozí experimentují s dalším rozvojem této technologie. Obr. 15 ukazuje nůž vyrobený válcováním z nástrojové oceli 19 573 kombinované s nízkouhlíkovou nerezavějící ocelí 17 240. Je vidět, že technika válcování vede k téměř liniové kresbě na povrchu.



Obr. 15 Damascéský nůž vyrobený soudobou technologií válcování [13]

Kolem výroby a zpracování kovů se vytvořila spousta **pověr**, mnohé z nich byly zaznamenány a nezdědka sestává, že je i dnešní lidé považují za pravdivé.

Tradovalo se, že postup výroby damascénských mečů je následující: Nejdříve se vyredukuje železo, to se rozdrtí na piliny, smíchá se se zrním a dá sežrat slepicím. Z jejich trusu se opět vyrobí železo a tento postup se několikrát opakuje. Pak se vykově tyč, ta se rozdělí na několik kratších kusů, které se v ohni svaří, znovu se vykově tyč a postup se několikrát opakuje. Meče se prý kalily tak, že se rozžhavyly a zabodly do otroka. Rytíř, který si meč objednával, musel kováři přivést otroka, který zakalení zaplatil životem. Traduje se, že jeden rytíř si takto pořídil meč a za pár dní uviděl kováře, jak na tržišti prodává otroka, kterého mu dal pro zakalení meče. Udeřil na něho a dozvěděl se, že kalí dva meče v jednom otroku. Fakt je, že ruští kováři kalili tyto meče ve vepřovém sádle a meče byly stejně kvalitní. Naproti tomu se neuvádělo, že teplota ohřevu po svaření už musí být nízká.

Literatura

- [1] <http://novakoviny.eu/archiv/historie/760-damascenska-ocel>
[2] <http://oko.yin.cz/37/damascenska-ocel/>

- [3] PIASKOWSKI, J. *O stali damasceňskéj*. Wrocław : Polska Akademia Nauk, 1974.
[4] SACHSE, M. *Damascus Steel, Myth, History, Technology, Applications*, 3rd ed. Düsseldorf : Verlag Stahleisen GmbH, 2016.
[5] SHERBY, O. D.: Ultra High Carbon Steels, Damascus Steels and Ancient Blacksmiths. *ISIJ International*, (1999) 7, 637–648.
[6] VERHOEVEN, J. D. *Damascenklingen. Spektrum der Wissenschaft*, (2001) 10, 62.
[7] NAZARENKO, V. R.: Svojstva i spozob izgotovljenija bulatnoj stali. *Technolog i Organiz. Proizvodstva*, 986, 48–49.
[8] Kol. autorů: *Dějiny hutnictví železa v Československu*. Praha: Academia, 1984.
[9] JÍLEK, L., POČTA, J. Historie výroby kovů a její obraz v bibli, část 5: Speciální technologie. *Hutnické listy*, 70 (2017) 3, 76–77. ISSN 0018-8069.
[10] VERHOEVEN, J. D., PENDRAY, A. H., DAUKSCH, W. E. The Key Role of Impurities in Ancient Damascus Steel Blades. *Journal of Metals*, (1998) Sept., 58–64.
[11] FROBES, R. J. *Metallurgy in Antiquity*. Leiden, 1950.
[12] PREßLINGER, H., MAYR, M. Celtic Steel – an Avaluation of Depot Finds. *Steel research*, (2001) 8, 283–290.
[13] KUBINA, T. Příprava laminárních kovových kompozitních materiálů v COMTES FHT a.s. In: *Seminář Optimální velikost výrobné drážky a bezvýrobné kování*, Ostrava, 12.-13.5.2016

ArcelorMittal investuje 80 milionů Kč do výroby pružinové oceli

Steel Guru/Steel Trade Today

13.04.2017

CIA News informují, že ArcelorMittal plánuje investovat do rekonstrukce lůžek pro řízené chlazení ve střední válcovně. Kontrakt za 80 mil. Kč byl zadán dceřinou společností ArcelorMittal Engineering Products v Ostravě. Rekonstrukce zajistí lepší vlastnosti pružinové oceli pro automobilní průmysl a nákladní dopravu. Ostravská ocelárna vyvinula tento produkt s vysokou přidanou hodnotou v roce 2016. Zahájení výroby si vyžádalo celkovou investici přes 210 mil. Kč.

Čínské hospodářství silně roste

Frankfurter Allgemeine

18.04.2017

Pokud věříme vládě v Pekingu, roste čínské hospodářství s fenomenální stabilitou. Výkon ekonomiky stoupl v prvním čtvrtletí běžícího roku ve srovnání se stejným obdobím předcházejícího roku o 6,9 %. Podle oficiálních čísel kolísaly hodnoty růstu v uplynulých jedenácti čtvrtletích v úzkém rozmezí od 7,2 do 6,8 %. Ekonomové vyjádřili v minulosti domněnku, že čínská úřední statistika v letech, kdy hospodářství skutečně silně expandovalo, uměle výkony snižovala. To Pekingu umožňuje, že v časech, kdy skutečnost není tak dobrá, statistiku upravit, aniž by to zpochybnilo nebezpečně celý obraz. Nová dobrá čtvrtletní data z Číny jsou ovšem podložena dalšími dobrými konjunkturními hlášeními. Pro čínské hospodářství velmi důležitý trh s nemovitostmi sice roste méně razantně, ale pořád ještě s dvoumístnými procentními hodnotami. Také před několika dny zveřejněný silný růst exportu podporuje dojem prosperity. Prodeje motorových vozidel se v prvním čtvrtletí zvýšily o 7 % oproti stejnému období minulého roku, i když Peking znovu snížil daňové výhody pro kupce. Vzestup čínské ekonomiky začátkem letošního roku, který je o 0,2 % vyšší než v předcházejícím období, může ale být výsledkem státních subvencí.



**KVALITA
PROVĚŘENÁ
ČASEM QUALITY
THROUGH THE AGES**



TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec
tel.: +420-558-531 111, fax: +420-558-331 831

WWW.TRZ.CZ



KVALITA
PROVĚŘENÁ
ČASEM QUALITY
THROUGH THE AGES



KONTISLITKY	BLOKY	BRAMY	SOCHORY	KOLEJNICE	DROBNÉ KOLEJIVO
ÚHELNÍKY ROVNORAMENNÉ	KRUHOVÁ, ČTVERCOVÁ A ŠESTIHRANNÁ OCEL				
TYČE TAŽENÉ A LOUPANÉ	PLOCHÁ A ŠIROKÁ OCEL	VÁLCOVANÝ DRÁT			
TAŽENÝ DRÁT	OCELOVÉ BEZEŠVÉ TRUBKY				

CAST BLOOMS AND BILLETS	BLOOMS	SLABS	BILLETS	RAILS
RAILWAY ACCESSORIES	EQUAL ANGLES	ROUND, SQUARE, AND HEXAGONAL STEEL		
DRAWN AND PEELED BARS	FLAT BARS AND UNIVERSAL PLATES			
WIRE ROD	DRAWN WIRE	SEAMLESS STEEL TUBES		



TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY

TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a. s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec
tel.: +420-558-531 111, fax: +420-558-331 831

WWW.TRZ.CZ