

ROČNÍK/VOL. LXXII
ROK/YEAR 2019

5

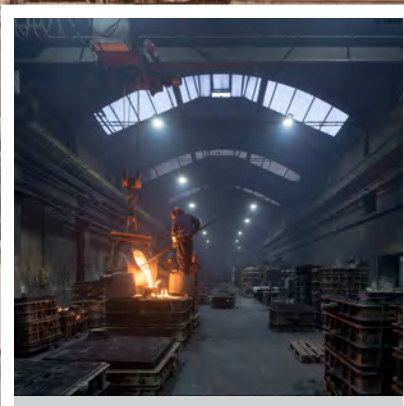
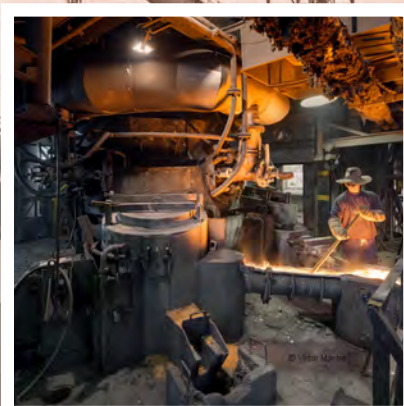


Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

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

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069



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 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

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

Vydavatel / Publisher

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

Redakce / Editorial Office

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

Vedoucí redaktor / Chief Editor

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

Technický redaktor / Technical Editor

Ing. Jan Počta, CSc.
tel.: +420 608 421 162
e-mail: j.poceta@seznam.cz

Grafický redaktor / Graphic Editor

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

Tisk / Printing

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

Grafika titulní strany / Graphic design of the title page

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

Podkladová fotografie / Underlying photograph

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

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairperson

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika

Členové / Members

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

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

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

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

Etický kodex

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

© OCELOT s.r.o., 2019

Časopis je zařazen Radou vlády ČR pro výzkum a vývoj do seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR a do databáze recenzovaných časopisů Publons.

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

The journal is published 6 times a year. Price of a single issue is CZK 200 without VAT. Net price of basic annual subscription (printed edition) is CZK 1190, student have 20% discount against the confirmation of study. Forwarding cost (postage) is added to the net price of subscription. Upon agreement with the foreign customers the subscription price, including postage, can be paid in Euro. Subscription is automatically renewed for the next year, unless the customer does not cancel it at the latest one month before the expiry of the subscription period in writing or by electronic mail. Orders are to be sent to the Editorial Office or SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9 -Horní Počernice, Czech Republic (+420 225 985 225, send@send.cz). Editorial Office provides also information on the conditions of publication of articles and on conditions of advertising.

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

Ethical code

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

© OCELOT s.r.o., 2019

The journal was included by the Government Council for Research and Development of the Czech Republic into the list of non-impacted peer-reviewed journals published in the Czech Republic and in the database of reviewed journals Publons.

Obsah / Content

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

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

Ing. Šárka Hermanová; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň; Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Šárka Stejskalová 3

Vliv teploty a napětí na vlastnosti vybraných moderních austenitických ocelí
Effect of temperature and stress on properties of modern austenitic steels

Ing. Šárka Stejskalová; Ing. Petr Čížek, Ph.D.; Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň 12

Vliv dlouhodobého provozování na materiálové charakteristiky a strukturu oceli X20CrMoV11-1
Influence of Long-term Exploitation on the Material Behaviour and Structure of Steel X20CrMoV11-1

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

Ing. Jiří Petržela, Ph.D.; doc. Ing. Miroslav Greger, CSc; Ing. Pavel Machovčák, Ph.D. 18

Zavedení výroby dutých výkovků z dutých ingotů ve VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.
The Launching of Production of Hollow Forgings from hollow Ingots in the Company VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.

*Ing. Roman Noga; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Ing. Miroslav Liška, CSc.; Ing. Rostislav Turoň
Ing. Radek Jurča* 29

Vliv nastavení parametrů laboratorní děrovací stolice na rozměry vyděrovaného polotovaru oceli 4130
Effect of Setting of Laboratory Piercing Parameters on Dimensions of Hollow Semi-product the 4130 Steel

Informační články / Informative Articles

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

Ondřej Štec 35
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

Ze života škol / Social Chronicle Information on Activities of Universities

Skvelý tím na Fakulte materiálů, metalurgie a recyklácie 36

Studenti ve vědecko-výzkumné činnosti, 37

Art and Science a Noc vědců; Workshopy technických oborů vzbudily zájem 38

Hutnictví ve světě / Metallurgy in the World 39

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části

• Ocelářská unie a.s. • Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálů, metalurgie a recyklácie • redakce

Inzerce

• TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. • TANGER, spol. s r.o.

Recenzované vědecké články

Vliv teploty a napětí na vlastnosti vybraných moderních austenitických ocelí

Effect of temperature and stress on properties of modern austenitic steels

Ing. Šárka Hermanová; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň; Ing. Ladislav Kander, Ph.D.; Ing. Šárka Stejskalová

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

Austenitické žárupevné oceli nové generace Super 304H, HR3C a TP 347HFG byly vyvinuty pro použití v přehřívácích a přihřívácích ultra-superkritických (USC) kotlích tepelných elektráren pracujících s teplotou páry 600 °C. V ČR jsou trubky z oceli Super 304H použity ve výstupním přehříváku a přihříváku retrofitovaných 220 MW kotlů v elektrárnách Tušimice a Pruněřov, trubky z oceli HR3C pak v tlakovém systému 660 MW USC kotle v Elektrárně Ledvice. V příspěvku jsou uvedeny výsledky provozního experimentu, který spočíval v jednoroční expozici vzorků trubek bez a po 30 %-ní deformaci a s využitím žíhání po ohýbání v provozních podmínkách energetického kotle. Na vzorcích po expozici byly stanoveny mechanické vlastnosti pomocí metody malých vzorků a analýza mikrostruktury, která ukázala na deformačně podmíněnou precipitaci intermetalické fáze sigma, která má za následek pokles zejména plastických charakteristik všech tří značek ocelí.

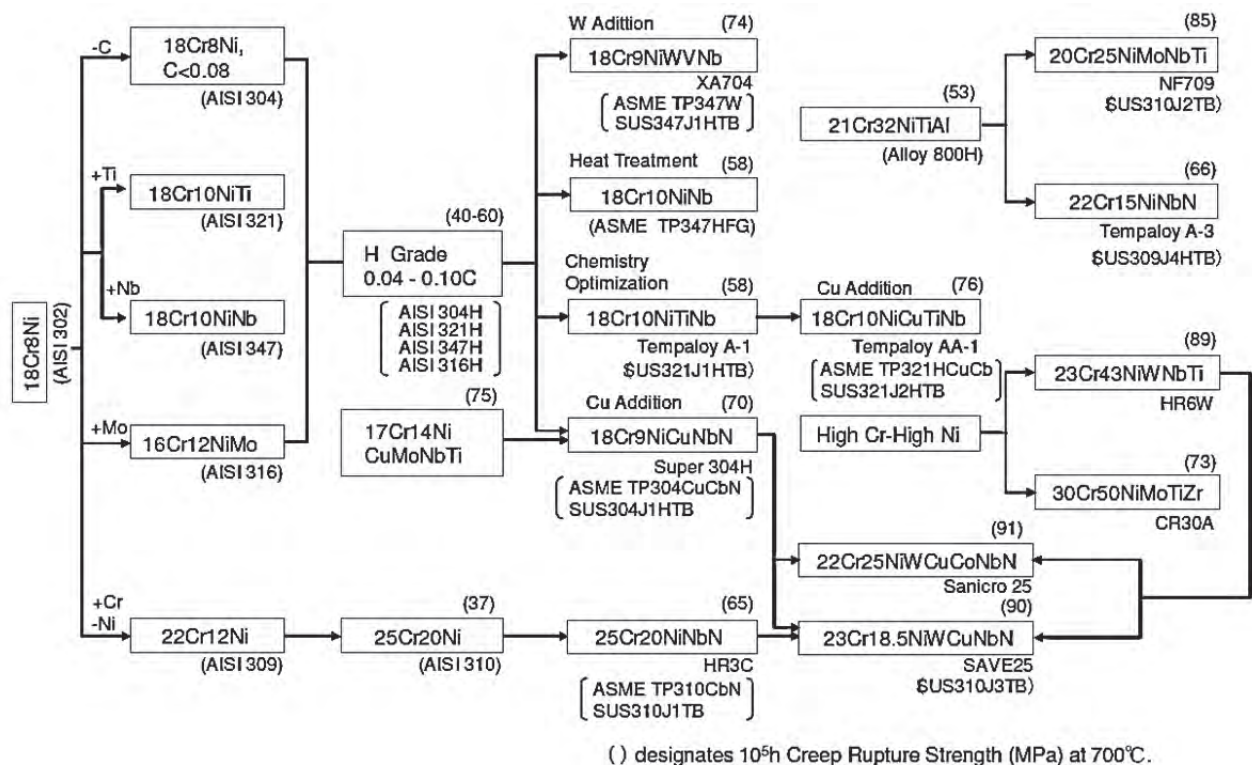
Klíčová slova: austenitické oceli; creep; ohýbání; zkoušení malými vzorky; přehřívákové trubky

Steels Super 304H, HR3C and TP 347HFG represent new generation of austenitic heat resistant steels and were developed for use in superheaters and reheaters of ultra-supercritical (USC) boilers operating at steam temperature of 600°C. In the Czech Republic, tubes made of Super 304H steel are used in the superheaters and reheaters of retrofitted 220 MW boilers in the Tušimice and Pruněřov power plants, and tubes made of HR3C steel are used in the 660 MW USC boilers in the Ledvice power plant. The precipitation of the intermetallic sigma phase in modern austenitic heat-resisting steels may represent an application limitation of these materials in the future. High-temperature exposure results in the precipitation of this phase preferably along grain boundaries, resulting in their embrittlement and at the same time a decrease in high-temperature corrosion resistance, as has been proven many times. The paper presents the results of the experiment, which consisted of a one-year exposure of the tube samples in the operating conditions of the power plant boiler. Tested tubes were used either in the as-received state or after 30% deformation. Unlike European standards (EN), PBHT is required in the ASME Code (Section I) for tubes after cold deformation more than 15 %, therefore the part of tubes was exposed after post-bend heat treatment (PBHT). The extent of material degradation after high temperature exposure was evaluated by the small punch tests (SPT) and microstructure analysis, which showed a deformation induced precipitation of the sigma phase, resulting in a decrease in the plastic characteristics of all three steel grades mentioned above. The SPT method can therefore be recommended not only for the determination of proof stress and tensile strength, but also for the fracture properties and brittleness of the steel due to its minimal demands on the amount of test material.

Key words: austenitic steels; creep; bending; small punch tests; superheater tubes

Austenitické žárupevné oceli nové generace Super 304H, HR3C a TP347HFG byly vyvinuty především pro použití v superkritických, resp. ultra-superkritických (USC) kotlích tepelných elektráren. Byly vyvíjeny konkrétně pro výrobu trubkových teplosměnných ploch a jsou výrobci deklarované jako materiál pro použití v rozsahu teplot 600 až 750 °C. Trubky vyrobené z oceli Super 304H byly v ČR použity na výstupní přehřívák retrofitovaných 220 MW kotlů v elektrárnách Tušimice a Pruněřov, ocel HR3C je zase součástí tlakového systému jediného 660 MW kotle, který v ČR pracuje s USC parametry

v Elektrárně Ledvice. Postup vývoje austenitických žárupevných ocelí od původní značky AISI 302 (18%Cr-8%Ni) je graficky shrnut na obr. 1 [1]. Všechny tři výše uvedené značky oceli jsou zařazeny v normách ASME i v EN. V normě pro výrobu kotlů dle ASME (Section I) je ale pro všechny austenitické oceli obsahující N a/nebo Nb maximální deformace za studena, pod kterou není nutno ocel po ohýbání tepelně zpracovat, limitována na 15 % pro pracovní teploty do 675 °C a jen na 10 % pro pracovní teploty nad 675 °C.



Obr. 1 Schéma vývoje austenitických žárupevných ocelí [1]
Fig. 1 Scheme of development of austenitic creep resistant steels [1]

V evropských normách se však žádný takový požadavek nevyskytuje, třebaže bylo prokázáno, že minimálně u některých typů austenitických žárupevných ocelí lze po deformaci za studena pokles žárupevnosti očekávat [2]. Při výrobě trubkových ohybů je dosaženo 10 %-ní plastické deformace při poměru poloměru ohybu k průměru trubky (R/D) ve výši 5 a až 20 %-ní plastické deformace při R/D = 2,5. S klesajícím poměrem R/D se snižují rozměrové nároky teplosměnných ploch, a tedy zvyšuje ekonomičnost provozu kotle.

Cílem prováděných prací bylo proto posoudit vliv deformace trubek za studena na jejich vlastnosti, mikrostrukturu a jejich vývoj během dlouhodobé expozice v oblasti provozních teplot. Část vzorků trubek ze všech tří ocelí byla po deformaci za studena podrobena i tepelnému zpracování po ohýbání a byly srovnávány jejich vlastnosti s vlastnostmi trubek, které toto tepelné zpracování neprodělaly. Vzhledem k malým rozměrům zkušebních kroužků zavěšených v elektrárnách byly pro zjištění degradace mechanických vlastností materiálů v provozních podmínkách použity penetrační zkoušky.

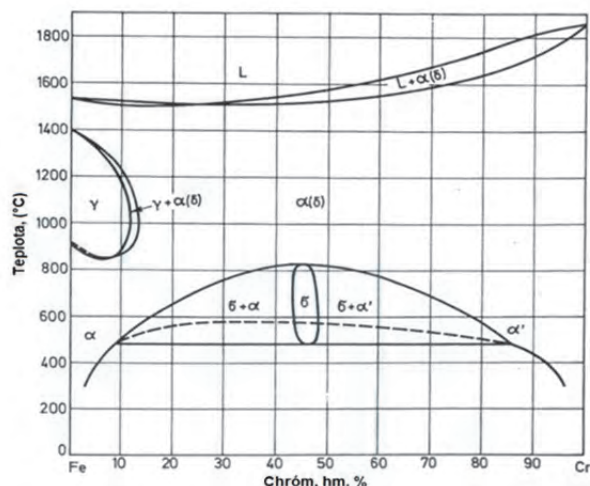
1. Vlastnosti a struktura moderních austenitických žárupevných ocelí

Moderní austenitické žárupevné oceli se vyznačují kromě zvýšené korozní odolnosti také vysokou pevností v creepu, která je dána jejich chemickým složením (tab. 1), zejména pak optimalizací kombinace přísady niobu a dusíku (oceli Super 304H, HR3C i TP347 HFG), resp. přísadou mědi, která tvoří nanočástice samostatné fáze ϵ (ocel Super 304H) [3]. U oceli TP347 HFG jsou změny ve složení minimální, snad jen s výjimkou zvýšení poměru niobu k uhlíku, a lepších užitných vlastností se zde dosahuje speciálním tepelným zpracováním, které má za následek jemnozrnnou strukturu. Ocel HR3C pak má definovaný obsah dusíku a oproti své předchůdkyni, oceli AISI 310 S je opět dolegována niobem a dusíkem s cílem jednak zvýšit žárupevnost, jednak má vyšší obsah dusíku snížit náchylnost této oceli k tvorbě nežádoucí tvrdé a křehké σ -fáze [4]. Vyvážené složení austenitických žárupevných ocelí z pohledu obsahů austenitotvorných a feritotvorných prvků pak znamená, že tyto oceli jsou převážně monofázové, pouze někdy s malým podílem δ -feritu.

Tab. 1 Chemické složení ocelí moderních austenitických žárupevných ocelí (hm. %)
Tab. 1 Chemical composition of modern austenitic creep resistant steels (mass %)

Značka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	B	Cu	Nb	Al	N
Super 304H	0,07-0,13	max 0,30	max 1,0	max 0,04	max 0,01	17,0-19,0	7,5-10,5	0,001-0,010	2,5-3,5	0,30-0,60	0,003-0,030	0,05-0,12
HR3C	max 0,10	max 1,50	max 2,00	max 0,030	max 0,030	23,0-27,0	17,0-23,0	-	-	0,20-0,60	-	0,15-0,35
TP 347 HFG	0,06-0,10	max 0,75	max 2,00	max 0,040	max 0,030	17,0-20,0	9,0-13,0	-	-	8xC	-	-

Po deformaci těchto ocelí za studena u nich dochází k významnému deformačnímu zpevnění, jako ostatně u všech materiálů s kubickou plošně centrovanou mřížkou. Studium rozsahu zpevnění vlivem deformace za studena bylo na trubkách a trubkových ohybech všech tří značek ocelí provedeno již dříve [5], ovšem pokles zpevnění po expozici za vysokých teplot v provozních podmínkách však běžně publikován není, a proto je předmětem tohoto článku.



Obr. 2 Binární diagram Fe-Cr [6]
Fig. 2 Binary diagram of Fe-Cr [6]

Během provozu austenitických žárupevných ocelí při teplotách 600-750 °C dochází postupně k degradaci jejich struktury i vlastností. Především dochází k precipitaci karbidů chromu a vzniku různých intermetalických fází, z nichž má pro praxi největší význam σ -fáze, intermetalická fáze na bázi Fe-Cr s tetragonální mřížkou. Sigma fáze obvykle vzniká z feritu, někdy však přímo z austenitu, v rozmezí teplot 650 °C až cca 870 °C (obr. 2), přičemž u vysoce legovaných ocelí (např. molybdenem) je teplotní interval jejího vzniku posunut až k 1200 °C [6, 7]. Teoreticky je σ -fáze tvořena přibližně z 50 % Fe a 50 % Cr, ale obvykle je v ocelích její složení komplexnější. Většina legujících prvků ve vysoce

legovaných austenitických ocelích podporuje možnost vzniku σ -fáze, stejně jako plastická deformace a tvárění za studena. Protože je σ -fáze tvrdá, je její precipitace spojena se zkrěhnutím oceli a také poklesem creepové pevnosti, zejména v případech, kdy se vylučuje po hranicích zrn. Z tohoto důvodu je její přítomnost ve struktuře austenitických žárupevných ocelí nežádoucí, což bylo prokázáno zejména na poklesu lomové plasticity jak u oceli Super 304H [2], tak i TP 347HFG [8].

2. Experimentální materiál a výsledky zkoušek

Pro studium vlivu teploty a napětí na vlastnosti moderních austenitických žárupevných ocelí byly vybrány za studena tažené trubky $\varnothing 38 \times 6,3$ mm z ocelí Super 304H, HR3C a TP 347HFG a vzorky trubek byly exponovány v kotlích tepelných elektráren při teplotách od 630 °C do 670 °C po dobu jednoho roku. Byly připraveny dvojí zkušební vzorky, jednak kroužky vyřezané z původních rovných trubek, jednak kroužky z vrcholu ohybu trubek. Poměr poloměru trubky k poloměru ohybu byl takový, aby bylo dosaženo 30 %-ní plastické deformace. Polovina z takto připravených vzorků ohybů trubek byla navíc před expozicí v kotli podrobena žhání po ohnutí (rozpuštěcí žhání). Vzorky byly umístěny volně v kotli a nebyly ani chlazeny ani vystaveny tlaku páry. Pro vlastní zkoušení deformovaného stavu byly použity jen vzorky vyřezané z extradosu (vnější tažená část ohybu trubky), který odpovídá maximální deformaci. Na těchto vzorcích byla studována degradace vlastností jednotlivých ocelí metodou malých vzorků a srovnávací strukturní analýzou v dodaném stavu a po provozní expozici. Experimentální program byl dále rozšířen i o creepové zkoušky, prováděné při teplotách 650 °C a 700 °C, jejichž cílem bylo ověřit vliv deformace za studena na creepové vlastnosti oceli. V tomto případě však byla plastická deformace vyvozena natažením polotovaru zkušebního tělesa creepové zkoušky. Chemické složení trubek je uvedeno v tab. 2, jejich mechanické hodnoty v dodaném stavu před ohýbáním jsou uvedeny pak v tab. 3.

Tab. 2 Chemické složení analyzovaných trubek (hm. %)
Tab. 2 Chemical composition of tested tubes (mass. %)

Ocel	C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	N	B	Nb
Super 304H	0,08	0,81	0,25	3,04	18,30	9,00	0,11	0,004	0,49
HR3C	0,06	1,19	0,41	-	24,90	19,90	0,03	-	0,44
TP 347HFG	0,09	1,50	0,42	-	18,70	11,70	-	-	0,90

Tab. 3 Mechanické vlastnosti analyzovaných trubek
Tab. 3 Mechanical properties of tested tubes

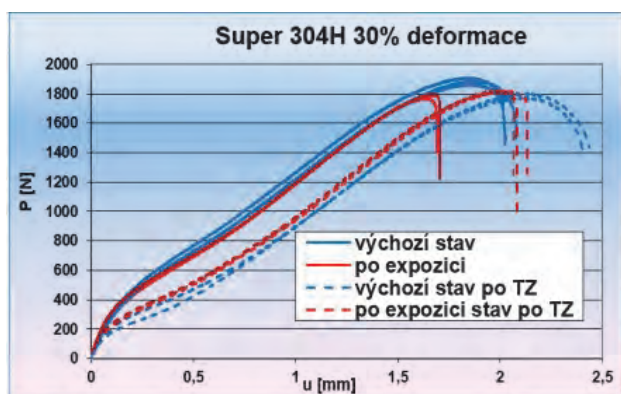
Ocel	$R_{p0,2}$	R_m	A	KV*
	(MPa)		(%)	(J)
Super 304H	318	635	46	30
HR3C	371	750	47	38
TP 347HFG	323	613	49	25

* Rozměry zkušebních těles $10 \times 2,5$ mm

2.1 Výsledky zkoušek mechanických vlastností

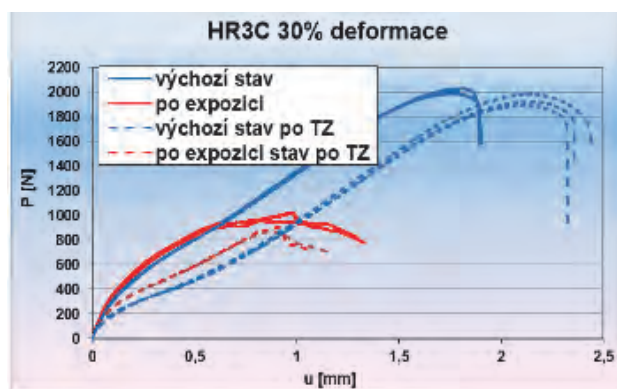
Studium vlivu vysokoteplotní expozice na mechanické vlastnosti trubek ve srovnání s výchozím stavem bylo provedeno pomocí zkoušek malých vzorků (dále jen SPT). Na obr. 3a až 3c jsou vyneseny závislosti zatížení-deflexe (průhyb) zkoušek trubek po 30% plastické deformaci jak ve výchozím stavu, zde znamená bez expozice (modré čáry), tak i po expozici v kotli – (červené čáry), přičemž plné čáry reprezentují trubky po plastické deformaci bez TZ, kdežto čáry čárkované trubky

po aplikaci rozpouštěcího žhání po deformaci. Výsledky ukázaly, že tepelné zpracování po ohýbání sice nezvyšuje pevnost žádné z ocelí, ale zvyšuje jejich plasticitu (posun křivek doprava). Po vysokoteplotní expozici pak došlo u ocelí Super 304H a TP 347HFG k mírnému poklesu pevnosti i plasticity, zatímco v případě oceli HR3C klesla pevnost i plasticita velmi výrazně. Tepelné zpracování aplikované po deformaci tento účinek snížilo, opět ale s výjimkou oceli HR3C, kdy je průběh obou křivek po expozici velmi odlišný a pevnost i plasticita zůstávají hluboko pod výchozí úrovní.



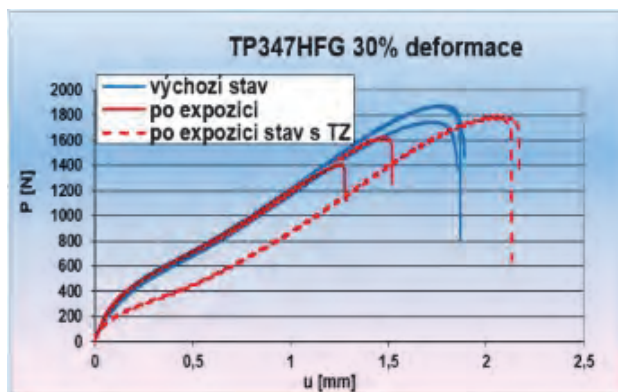
Obr. 3a Srovnání křivek závislosti zatížení na deflexi pro ocel Super 304H

Fig. 3a Comparison of deflection-load curves for Super 304H steel



Obr. 3b Srovnání křivek závislosti zatížení na deflexi pro ocel HR3C

Fig. 3b Comparison of deflection-load curves for HR3C steel



Obr. 3c Srovnání křivek závislosti zatížení na deflexi pro ocel TP347HFG

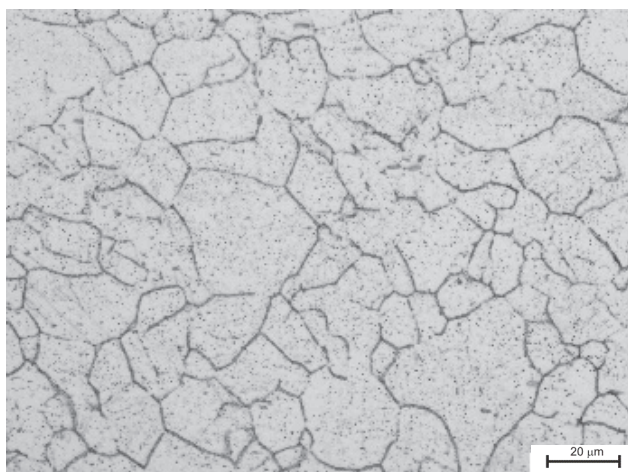
Fig. 3c Comparison of deflection-load curves for TP 347HFG steel

2.2 Hodnocení mikrostruktury a jejích změn v důsledku vysokoteplotní expozice

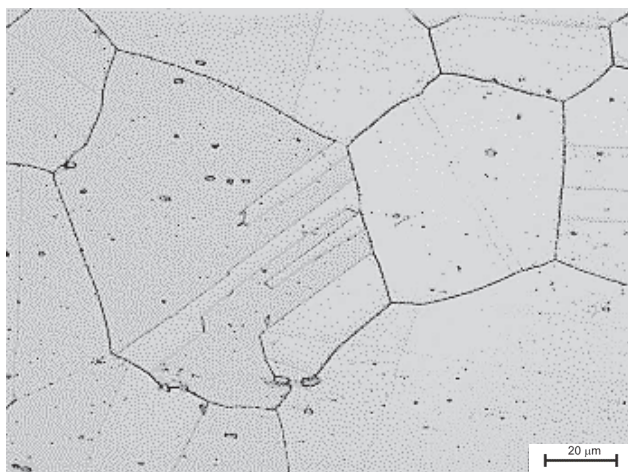
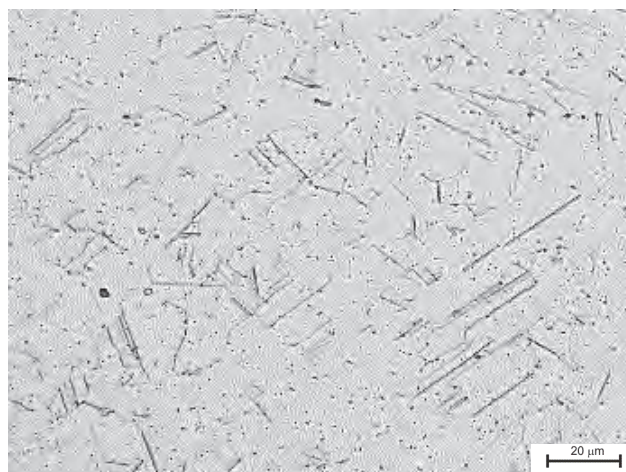
Při hodnocení vlivu vysokoteplotní expozice na mikrostrukturu a její změny byl srovnáván u jednotlivých ocelí výchozí stav bez deformace se vzorky rovné trubky po expozici (bez deformace) a deformovaných kroužků po expozici, přičemž byly ve většině případů zároveň srovnávány stavy bez a s aplikací rozpouštěcího žhání. Pro vyvolání mikrostruktury bylo ve všech případech použito leptadlo V2A a pro zviditelnění fází bylo zařazeno i elektrolytické leptání v 10N NaOH.

2.2.1 Mikrostruktura v dodaném stavu a po rozpouštěcím žhání

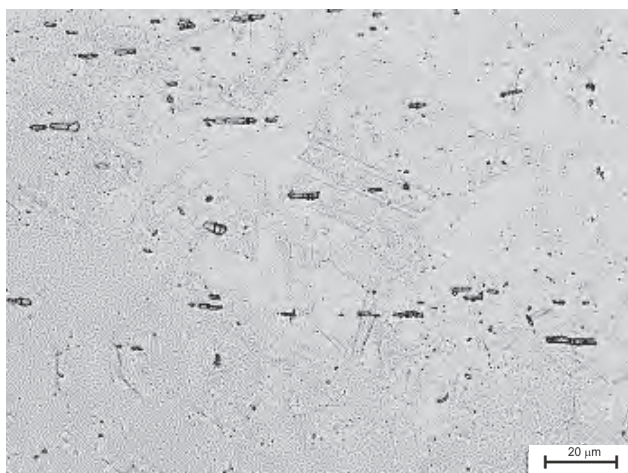
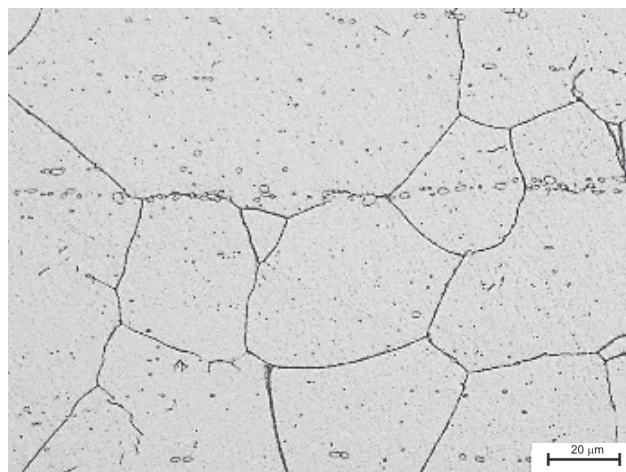
Na obrázcích 4 až 6 je provedeno srovnání mikrostruktury jednotlivých jakostí trubek jak v dodaném stavu bez plastické deformace, tak i po deformaci za studena a následném rozpouštěcím žhání. Tímto tepelným zpracováním došlo k zrovnomnění velikosti zrna u všech materiálů, u oceli HR3C došlo zároveň i k nahrubnutí zrna a v případě oceli TP 347HFG pak také k precipitaci karbidů po hranicích zrn.



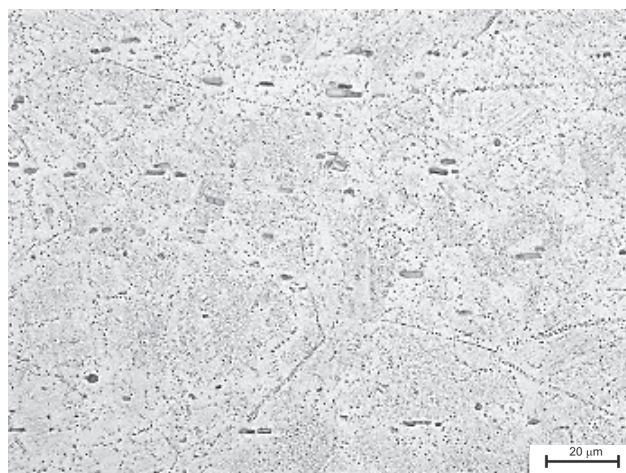
Obr. 4 Mikrostruktura trubky z oceli Super 304H ve výchozím stavu
Fig. 4 Microstructure of Super 304H steel tube in the as-received state



Obr. 5 Mikrostruktura trubky z oceli HR3C ve výchozím stavu
Fig. 5 Microstructure of HR3C steel tube in the as-received state



Obr. 6 Mikrostruktura trubky z oceli TP 347HFG ve výchozím stavu
Fig. 6 Microstructure of TP 347HFG steel tube in the as-received state



2.2.2 Mikrostruktura vzorků po deformaci a deformaci s TZ ve stavu po expozici

Na metalografických výbrusech vzorků exponovaných na teplotě 630-670 °C po dobu 1 roku byly ve struktuře

pozorovány částice nové fáze, proto bylo pro potvrzení přítomnosti δ -feritu, resp. σ -fáze použito elektrolytického leptání v 10N NaOH, která jednoznačně tuto fázi prokáže.

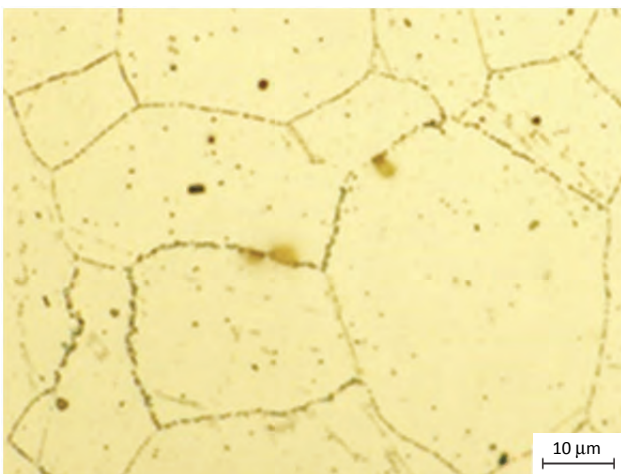
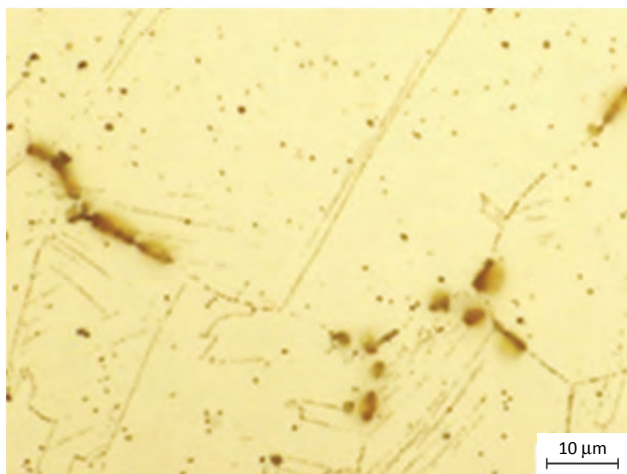
Vzorky z oceli Super 304H po expozici ve stavu bez tepelného zpracování se vyznačují relativně rovnoměrnou austenitickou strukturou s velkým množstvím deformačních čar, mikrostruktura se jeví neuspořádaně, kdežto vzorky po tepelném zpracování mají strukturu rovnoměrnější. Uvnitř zrn se v obou případech vyskytuje jednak jemný precipitát a také větší množství hrubších

karbidických částic, které u vzorků po tepelném zpracování tvoří řetízky po hranicích zrn. Ve struktuře všech vzorků se vyskytují částice σ -fáze. Četnost σ -fáze je vyšší u vzorků bez tepelného zpracování po plastické deformaci (obr. 7 vlevo) než u vzorků s rozpouštěcím žháním po deformaci (obr. 7 vpravo).



Obr. 7 Mikrostruktura deformovaných kroužků z oceli Super 304H po expozici, vlevo bez žhání po ohýbání, vpravo vzorky vyžháné

Fig. 7 Microstructure of deformed rings of Super 304H steel after exposure, left - samples without post bending annealing, right – annealed samples



Obr. 8 Mikrostruktura deformovaných kroužků z oceli Super 304H, HR3C, TP 347HFG po expozici, vlevo bez žhání po ohýbání, vpravo vzorky vyžháné (δ -ferit označen šipkami)

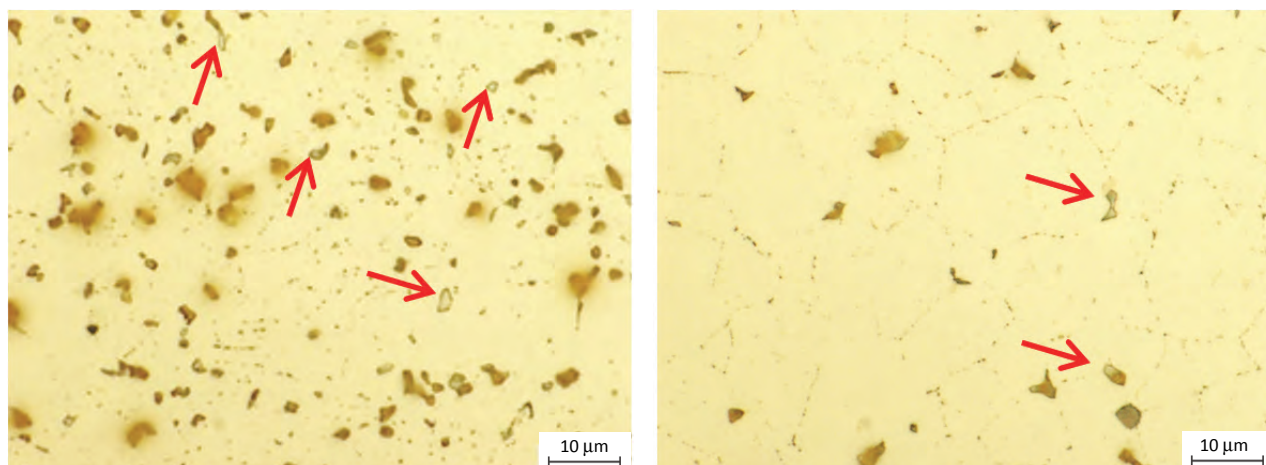
Fig. 8 Microstructure of deformed rings of HR3C steel after exposure, left - samples without post bending annealing, right – annealed samples

U vzorků oceli HR3C byla po expozici pozorována velmi nerovnoměrná hrubozrnná struktura. Po expozici bez TZ se v mikrostruktuře vyskytovaly četné deformační čáry. Sigma fáze byla pozorována u všech vzorků, především po hranicích zrn. Menší množství σ -fáze bylo zjištěno u vzorků po TZ ve srovnání se vzorkem bez něj (obr. 8).

Vzorky z oceli TP 347HFG mají po expozici relativně rovnoměrnou jemnozrnnou austenitickou strukturu.

U vzorku s TZ se však vyskytují u vnějšího povrchu hrubá zrna. Uvnitř zrn byl u všech vzorků zjištěn precipi-

tát a po hranicích se vyskytovaly hrubší karbidické částice. Po naleptání v 10N NaOH byla u všech vzorků byla zjištěna přítomnost σ -fáze, která se vyskytovala po celé ploše v menším množství u vnějšího povrchu. Byl pozorován i δ -ferit. Největší množství σ -fáze bylo podle očekávání pozorováno u vzorku bez tepelného zpracování (obr. 9 vlevo), po tepelném zpracování pak je četnost výskytu σ -fáze menší (obr. 9 vpravo).



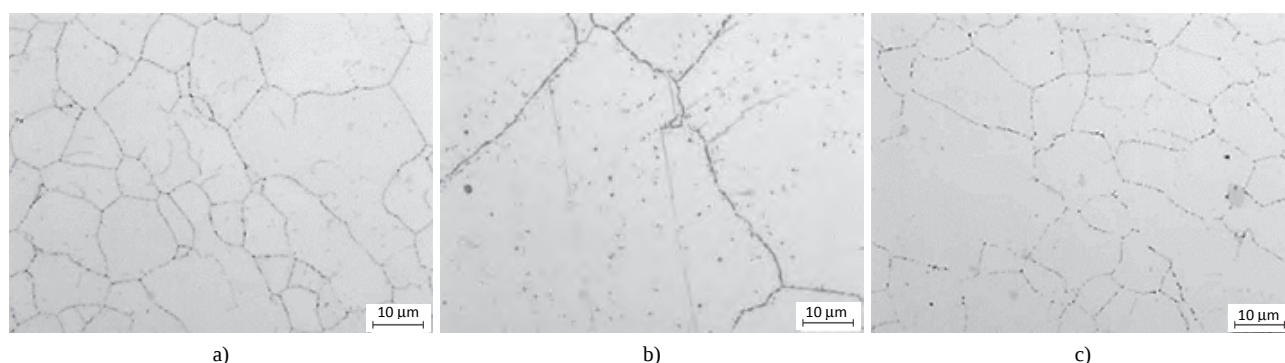
Obr. 9 Mikrostruktura deformovaných kroužků z oceli TP 347HFG po expozici, vlevo bez žíhání po ohýbání, vpravo vzorky vyžíhané (δ -ferit označen šipkami)

Fig. 9 Microstructure of deformed rings of TP 347HFG steel after exposure, left - samples without post bending annealing, right – annealed samples (δ -ferrite indicated by arrows)

2.2.3 Mikrostruktura rovných trubek po expozici

Hodnocení rovných trubek po expozici bylo zaměřeno na zjištění výskytu σ -fáze u vzorků, které nebyly podrobeny

deformaci. Analýza ukázala, že ve struktuře rovných částí po expozici všech studovaných materiálů (obr. 10) se částice σ -fáze nevyskytují.



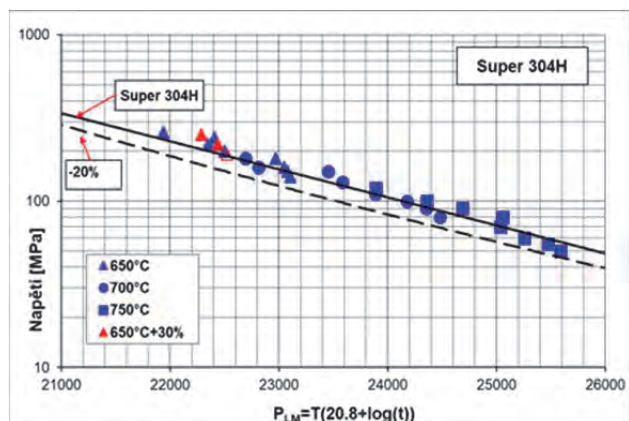
Obr. 10 Mikrostruktura rovných trubek po expozici: a) Super 304H, b) HR3C, c) TP347HFG

Fig. 10 Microstructure of straight tubes after exposure: a) Super 304H, b) HR3C, c) TP 347HFG

2.2.4 Vliv σ -fáze na creepové charakteristiky trubek z oceli Super 304H

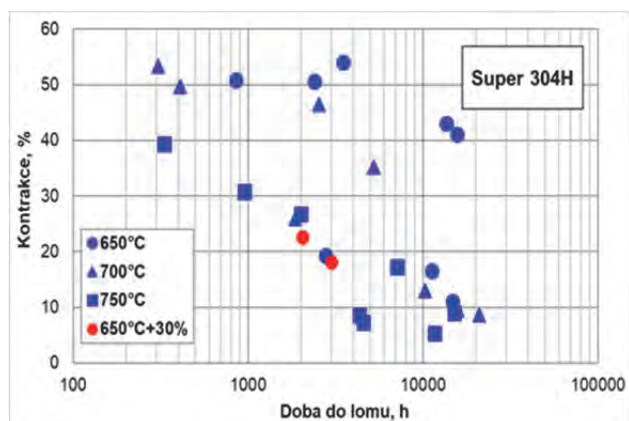
Studium vlastností i vlivu plastické deformace na vlastnosti zejména oceli Super 304H bylo prováděno také pomocí creepových zkoušek. Samotný program creepových zkoušek byl realizován vždy na třech zkouškách prováděných při teplotách 650, 700 a 750 °C, přičemž nejdelší doby do lomu přesáhly 20 tisíc hodin. V rámci tohoto programu byly rovněž prozkoušeny tři creepové zkoušky vyrobené z trubek po 30 %-ní deformaci, a to při teplotě 650 °C. Výsledky všech těchto zkoušek jsou v grafickém vyjádření závislosti Larson-Millerova parametru na napětí ukázány na obr. 11, z něhož je patrné, že v rámci provedeného experimentu se dosud neprokázal významnější vliv precipitace σ -fáze na creepovou odol-

nost této oceli, a to ani u vzorků podrobených 30 %-ní plastické deformaci za studena. Na druhou stranu je z výsledků všech zkoušek zřetelný pokles creepové plasticity, vyjádřený na obr. 12 závislostí lomové kontrakce na době do lomu. Tento negativní trend se prohlubuje se zvyšující se teplotou a také dobou do lomu a je jednoznačně spojen s precipitací σ -fáze ve struktuře oceli, která se přednostně vylučuje na hranicích zrn austenitu, jak ukázaly výsledky metalografického šetření, obr. 13. V případě oceli HR3C, která je v důsledku vyššího obsahu chromu ke vzniku σ -fáze náchylnější, postačí k její intenzivní precipitaci i beznapětová expozice na vysoké teplotě, obr. 14.



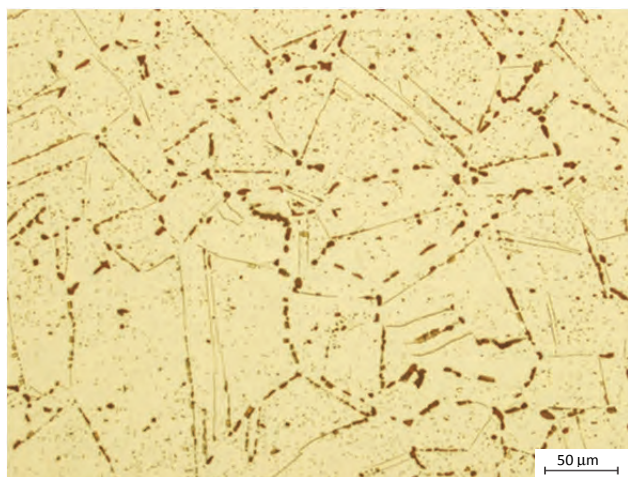
Obr. 11 Závislost L-M parametru na napětí pro ocel Super 304H

Fig. 11 Stress – Larson-Miller parameter dependence of the steel Super 304H



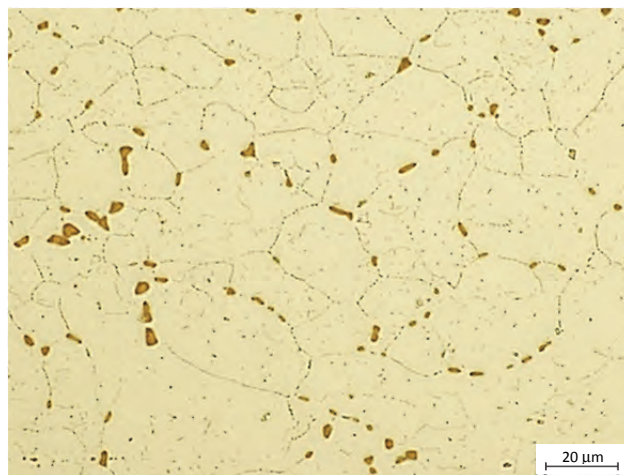
Obr. 12 Závislost lomové kontrakce creepových zkoušek na teplotě a době do lomu oceli Super 304H

Fig. 12 Dependence of reduction of area of creep tests on temperature and time to fracture for Super 304H steel



Obr. 14 Mikrostruktura oceli HR3C se σ -fází vyloučenou na hranicích zrn po vysokoteplotní expozici v kotli po dobu jednoho roku při teplotě 750 °C

Fig. 14 Microstructure of HR3C steel with σ -phase at grain boundaries after high temperature exposure at 750°C in a boiler for one year



Obr. 13 Mikrostruktura oceli Super 304H se σ -fází vyloučenou na hranicích zrn po creepové expozici 650 °C/140 MPa/14 632 h

Fig. 13 Microstructure of Super 304H steel with σ -phase at grain boundaries after creep exposure of 650°C/140 MPa/14,632 h

Závěr

Precipitace fáze sigma v moderních austenitických žárupevných ocelích může do budoucna představovat jejich poměrně zásadní aplikační omezení. Vysokoteplotní expozice má za následek vyloučení této intermetalické fáze přednostně po hranicích zrn, což má za následek jejich až fatální zkrěhnutí a zároveň pokles odolnosti proti vysokoteplotní korozi, jak bylo mnohokrát prokázáno například u oceli AISI 310, která je přímou předchůdkyní oceli HR3C [11].

V rámci realizovaných experimentů simulujících vysokoteplotní expozici trubek a jejich ohybů z ocelí Super 304H, HR3C a TP 347HFG bylo jednoznačně prokázáno, že plastická deformace je výrazný akcelerator vzniku σ -fáze a na creepových zkouškách byl potvrzen i její vliv na pokles lomové plasticity. Metodou SPT byly získány napětově-deformační charakteristiky plasticky deformovaných lokalit ohybů ve výchozím stavu i po dlouhodobé expozici na vysoké teplotě a tuto metodu tak lze pro její minimální nároky na množství zkušebního materiálu doporučit nejen pro zjištění meze kluzu a pevnosti, ale také křehkolomových vlastností oceli.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci čerpání a užití institucionální podpory na Dlouhodobý a koncepční rozvoj výzkumné organizace v roce 2019, poskytovatel Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.

Literatura

- [1] Masuyama, F. Advanced power plant developments and material experiences in Japan. In *Proc. of 8th Liege Conference on Materials for Advanced Power Engineering*. 2006, Liege, Belgium, pp. 175–187.

- [2] Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants, A. Di Gianfrancesco (Ed.), Woodhead Publishing, 2017, 900 pp., ISBN 978-0-08-100552-1.
- [3] Golański, G., Zieliński, A. and Purzyńska, H. Precipitation Processes in Creep-Resistant Austenitic Steels. (Chapter 5). In: BOREK, W., aj. Austenitic Stainless Steels - New Aspects. InTech: Zagreb. 2017. DOI: 10.5772/intechopen.70941
- [4] C. Chi, H. Yu, X. Xie. Advanced austenitic heat-resistant steels for Ultra-Super-Critical (USC) fossil power plants, Alloy Steel-Properties and Use, Ed. E. Valencia Morales. 2011. pp. 171–200. ISBN 978-953-307-484-9.
- [5] Hermanová, Š., Dobrovodská, L. and Kander, L. Effect of Cold Deformation on the Properties of New Austenitic Stainless Steel for Boiler Super-heater Tubes. In *Metal 2013*, Brno: TANGER, 2013, s. 724–729. ISBN 978-80-87294-41-3.
- [6] ASM Specialty Handbook. Stainless Steels. Editor J. R. Davis. ASM International. 1994. 576 s. ISBN 978-0-87170-503-7.
- [7] Sourmail, T. Review: Precipitation in Creep-Resistant Austenitic Stainless Steels. *Materials Science and Technology*. 17 (2001), 1–14.
- [8] Kander, L. and 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: TANGER, 2015, s. 693–698. ISBN 978-80-87294621-8.
- [9] Kuboň, Z., Stejskalová, Š. and Kander, L. Effect of Σ -Phase on Fracture Behavior of Steels and Weld Joints of Components in Power Industry Working at Supercritical Conditions. (Chapter 4). In: BOREK, W., aj. Austenitic Stainless Steels - New Aspects. InTech: Zagreb. 2017. DOI: 10.5772/intechopen.71569
- [10] Pomikálek, L., Kander, L. and Hermanová, S. Evaluation of material properties of new austenitic steels and welded joints for use in boilers with higher steam parameters using SPT and miniaturized test specimens, The 3rd *International Conference SSTT 2014*, Ostrava: Ocelot, s. 398. ISBN 978-80-260-6722-1.
- [11] Tavares, S.S. M., Moura, V., V.C. da Costa, Ferreira, M.L.R., Pardal, J.M. Microstructural changes and corrosion resistance of AISI 310S steel exposed to 600–800 °C. *Materials Characterization*. 60 (2009), 573–578.

Třinecká huť hledá další možnosti ekologické výroby

www.trz.cz, tisková zpráva z 18. 9. 2019, MFD 19. 9. 2019, s. 17

Evropská unie podle Pařížské dohody usiluje o snížení celkových emisí napříč sektory, přičemž země EU se na celosvětové produkci CO₂ podílí pouze 9 %. Výroba oceli v EU má na celosvětovou produkci emisí CO₂ zanedbatelný, a to pouze 0,7% podíl.

Třinecké železárny budou muset v nejbližších letech čelit rostoucím nákladům na emisní povolenky. Náklady mají podle předběžných propočtů v roce 2030 dosáhnout ročně od 1,1 do 1,8 miliardy korun. U tradičního způsobu výroby železa a oceli na bázi rudné cesty nelze přitom dnes dostupnými technologiemi zajistit uhlíkovou neutralitu. Proto se i Třinecké železárny chtějí více podílet na výzkumu nových možností zpracování kovů.

Třinecké železárny jsou nyní členem strategického fóra pro řešení významných projektů společného evropského zájmu (IPCEI – Important Projects of Common European Interest), konkrétně strategického fóra Low CO₂ emissions Industry. Toto fórum identifikuje klíčové technologie v oblasti hutního, chemického a cementářského průmyslu. Momentálně bylo nadefinováno několik konkrétních doporučení a oblastí pro možnosti financování dalšího výzkumu a vývoje. Například metalurgie na bázi vodíku nebo elektrické energie, recyklace odpadů a podobně. V průběhu září Evropská komise z těchto doporučení zvolí další postup pro řešení.

Kromě toho v Třineckých železárnách působí takzvaný Vodíkový tým, který pracuje na implementaci technologie výroby vodíku z koksárenského plynu s pomocí technologie PSA (Pressure Swing Adsorption). V Třineckých železárnách se využívají k dalšímu zpracování všechny hutní plyny. Přebytky koksárenského plynu se momentálně spalují na teplárně. Vyrobený vodík by při prodeji například do ekologických pohonů automobilů nepřímo přispěl ke snížení emisí CO₂ ze spalovacích motorů.

Vliv dlouhodobého provozování na materiálové charakteristiky a strukturu oceli X20CrMoV11-1

Influence of Long-term Exploitation on the Material Behaviour and Structure of Steel X20CrMoV11-1

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

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

Článek se zabývá posouzením vlivu dlouhodobé expozice parovodu z oceli X20CrMoV11-1 v creepových podmínkách na materiálové vlastnosti. Byla provedena komplexní analýza zahrnující hodnocení mechanických vlastností, mikrostruktury, křehkolomových a creepových vlastností. Analýza zahrnovala i hodnocení pevnostních a křehkolomových vlastností metodou malých vzorků (small punch test – SPT). Předmětem hodnocení byl parovod exponovaný při teplotě 535 °C, tlaku 13,5 MPa po dobu 135 000 hodin. Tato expozice se projevila zejména na poklesu křehkolomových vlastností a na mezi pevnosti při tečení. Přestože ocel X20CrMoV11-1 je konstruována na pracovní teploty 540 až 560 °C s provozní expozicí cca 200 000 hodin a při provozní teplotě 535 °C dosahuje kolem 300 000 hodin, byl u analyzovaného vzorku zjištěn pokles nárazové práce na cca 1/3 hodnoty výchozího stavu již po 135 000 hodinách expozice.

Klíčová slova: degradace materiálu; parovod; ocel X20CrMoV11-1; křehkolomové vlastnosti; SPT; creepové vlastnosti

This paper deals with the effect of long-term exposure (535 °C/13.5 MPa/135,000 hours) on microstructure and mechanical and fracture properties of chromium modified creep resistant steel X20CrMoV11-1. The actual mechanical properties were evaluated by using full-sized test specimens, as well as small punch tests (SPT). The obtained results were compared with material properties in as-received state. Stress rupture tests, fatigue crack growth rate and fracture toughness tests were carried out, too. Significant drop due to long-term exposure in changes of creep conditions was observed in fracture toughness and rate of crack growth. Both these phenomena have occurred. The correlation coefficient between ductile-brittle transition temperature (DBTT) and its equivalent transition temperature T_{SP} determined from SPT was determined to be 0.46. The correlation coefficient of steels commonly used in steam power plants varies from 0.41 to 0.44, so the higher coefficient has proved the material degradation of analysed material. In order to assess the damage of material and degradation of its mechanical and/or fracture properties, the regenerative heat treatment (1,050°C/0.5 hours+750°C/2 hours) was carried out. This heat treatment completely revitalized plasticity and toughness close to the values in the as-received state. The typical working temperature of this steel is higher (540°C–560°C) and a number of supercritical plants already passed even 300 000 hours at 535°C, therefore the significant drop in fracture properties of the investigated steam pipe is surprising. Moreover, the degradation of material probably affected also creep properties, because the results of performed stress rupture tests indicated decrease of the creep rupture strength even below -20 % tolerance limit around the mean standardized values.

Key words: material degradation; steam pipe; steel X20CrMoV11-1; fracture behaviour; SPT; creep

Ocel X20CrMoV11-1 patří do skupiny martenzitických ocelí s 9 – 12 % Cr. Tato ocel, jako předchůdce oceli P 91, se od 60. let minulého století široce používá v tepelných elektrárnách, spalovacích komorách a součástech dalších vysokoteplotních zařízení. Představuje optimální kombinaci materiálových vlastností a korozivzdornosti za vysokých teplot pro komponenty pracující při vysoké teplotě a tlaku.

První instalace parovodního potrubí z oceli X20CrMoV11-1 je v současnosti v provozu více než 300 000 hodin při teplotě 535 °C a v řadě superkritických elektrárn dosahuje nyní provoz 150 000 – 200 000 hodin při teplotách 540 – 560 °C [1]. Provozní zkušenosti ukazují, že k předčasnému dožití parovodů dochází velmi

zřídka; konkrétně například porušení svarových spojů IV. typu nebylo téměř zaznamenáno [2 – 4]. Existuje pro to řada důvodů: byl vylepšen systém závěsných trubek ve srovnání se staršími typy elektrárn, kde byly závěsné trubky vyrobeny z nízkolegovaných ocelí, a také byla věnována mnohem větší pozornost optimalizaci konstrukce parovodů a jejich závěsů a podpěr z hlediska snížení pnutí. Toto vše vedlo ke snížení výskytu porušení svarových spojů v interkritické oblasti tepelně ovlivněné zóny svarového spoje, ohráté mezi teploty A_{c1} a A_{c3} , která je jinak nejčastější oblastí předčasného creepového dožití svarů tzv. porušením IV. typu [5]. Velmi nízký výskyt poškození svarových spojů je také faktorem, proč lze zkušenosti s provozováním parovodů z oceli X20CrMoV11-1 hodnotit jako vynikající [6].

Článek se zabývá hodnocením materiálových charakteristik vyříznuté části parovodu v teplárně Olomouc, který byl provozován cca 135 000 hodin při teplotě 535 °C a tlaku 13,5 MPa. V rámci rozsáhlé analýzy byly hodnoceny mechanické vlastnosti včetně teplotní závislosti meze kluzu, křehkolomových vlastností, lomové houževnatosti a rychlosti šíření trhliny. Součástí analýzy bylo také hodnocení mikrostruktury a creepových vlastností a vyhodnocení vlastností metodou malých vzorků (SPT).

Obecně je ocel X20CrMoV11-1 navržena pro provozní teploty 540 – 560 °C, což znamená, že hodnocený vzorek byl provozován těsně pod tímto teplotním intervalem. Bylo tak zajímavé sledovat, jak se projeví degradace materiálových vlastností při poněkud nižších provozních teplotách.

1. Experimentální materiál

Pro hodnocení vlivu dlouhodobého provozování na vlastnosti oceli X20CrMoV11-1 byl k dispozici vzorek parovodu vystavený teplotě 535 °C a tlaku 13,5 MPa po dobu 135 000 hodin. K experimentálnímu šetření byl dodán výřez parovodu o rozměrech 219 × 25,4 mm, z něhož byla připravena zkušební tělesa pro jednotlivé typy zkoušek materiálových vlastností.

Chemické složení hodnocené oceli ve srovnání s normou EN 10216-2 je uvedeno v tab. 1, která ukazuje, že obsah chromu, molybdenu a vanadu v experimentálním materiálu se pohybuje blízko dolní hranice, což může mít negativní vliv na rozsah precipitačního zpevnění oceli, a tedy i její žárupevnost. Podobně negativní vliv by mohl mít také mírně zvýšený, byť stále v normovaném rozmezí, obsah niklu. Naopak, nízký obsah hliníku je z hlediska dosažení optimální žárupevnosti výhodný.

Tab. 1 Chemické složení experimentálního materiálu (hm. %)

Tab. 1 Chemical composition of experimental material (wt. %)

	C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Mo	Ni	Cu	Al
Parovod X20	0,20	0,47	0,18	0,012	0,002	10,56	0,25	0,88	0,69	0,15	0,007
X20CrMoV11-1 (EN 10216-2)	0,17 0,23	max. 1,0	0,15 0,50	max. 0,030	max. 0,025	10,0 12,5	0,25 0,35	0,8 1,2	0,3 0,8	max. 0,3	max. 0,040

2. Výsledek hodnocení mechanických vlastností

Naměřené mechanické vlastnosti byly porovnány s výchozím stavem materiálu daným atestem TÜV a také s hodnotami požadovanými normou EN 10216-2. Výsledky jsou shrnuty v tab. 2.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli X20 ze vzorku parovodu ve výchozím stavu a po provozní expozici

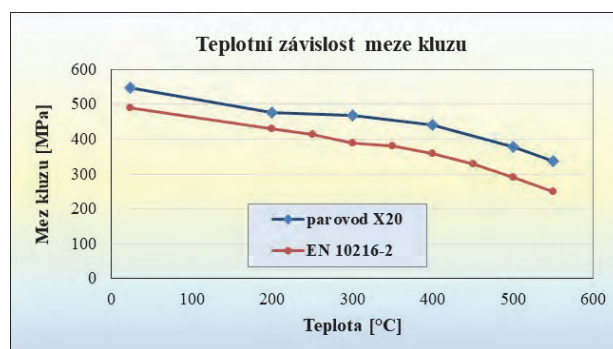
Tab. 2 Mechanical properties of steel grade X20 from steam pipe sample in state as-received and after exposure in industrial exploitation

Provozovaný parovod, ocel X20	$R_{p0.2}$	R_m	A	Z
	(MPa)		(%)	
Vnější povrch	547	754	20,3	51,2
Vnitřní povrch	544	750	19,8	51,0
Výchozí stav-protokol TÜV (18.3.1998)	573	767	19,0	-
Ocel X20CrMoV 11-1 dle EN 10216-2	min. 450	630 – 830	-	-

Ze srovnání parametrů v tab. 2 je zřejmé, že mechanické vlastnosti jsou homogenní přes celou tloušťku stěny a že během expozice došlo k mírnému poklesu meze kluzu i meze pevnosti.

Hodnocení teplotní závislosti meze kluzu ukázalo velmi dobré výsledky, kdy mez kluzu exponovaného parovodu

v celém teplotním intervalu 200 – 550 °C leží nad minimální požadovanou standardizovanou hodnotou (obr. 1).



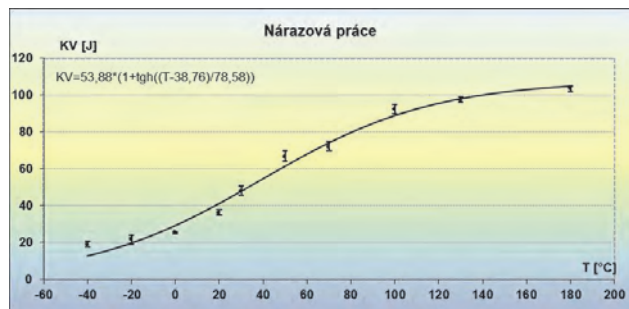
Obr. 1 Teplotní závislost meze kluzu provozovaného parovodu a její srovnání s požadavkem materiálové normy

Fig. 1 Temperature dependence of yield strength of the exposed steam pipe compared to requirement of material standard

2.1 Křehkolomové vlastnosti

Největší vliv dlouhodobého provozování parovodu se projevil na křehkolomových vlastnostech. Nárazová práce naměřená zkouškou rázem v ohybu při teplotě 23 °C u provozovaného parovodu dosáhla pouze 35 J v porovnání s hodnotou 106 J uvedenou pro výchozí stav v protokolu TÜV. Pokles plasticity a houževnatosti v důsledku vystavení parovodu vysoké teplotě a tlaku po dlouhou dobu se také potvrdil nízkou úrovní horní prahové hodnoty Vidalovy křivky pro nárazovou práci (obr. 2). Tranzitní teplota *FATT*, stanovená pro 50 %

křehkého lomu na lomové ploše tělesa pro zkoušku rázem v ohybu, byla stanovena na 30 °C.



Obr. 2 Teplotní závislost nárazové práce
Fig. 2 Impact energy versus temperature

Hodnocení křehkolomových vlastností pomocí metody malých vzorků (SPT) také potvrdilo snížení plasticity analyzovaného parovodu. Křivka teplotní závislosti lomové energie stanovené pomocí SPT je velmi plochá a hodnoty lomové energie při všech měřených teplotách jsou velmi nízké (obr. 6).

Tranzitní teplota T_{SP} získaná pomocí SPT se často vyjadřuje korelací s teplotou přechodu křehký-houževnatý stav ($FATT$) získanou zkouškou rázem v ohybu za použití rovnice

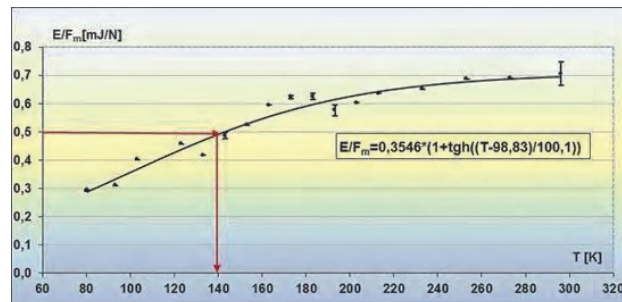
$$T_{SP} = \alpha \cdot FATT_{Charpy} \quad (1)$$

Tranzitní teplota T_{SP} se měří na sérii malých vzorků v teplotním intervalu od -196 °C do +23 °C. Malé vzorky jsou orientovány tak, že kolmice k rovině malého vzorku je rovnoběžná se směrem šíření trhliny ve zkušební tělese zkoušky rázem v ohybu. Tranzitní teplota T_{SP} je určena jako teplota, které odpovídá střední hodnota minimální a maximální lomové energie v přechodové oblasti. Teplota T_{SP} byla v případě materiálu parovodu stanovena 141 K.

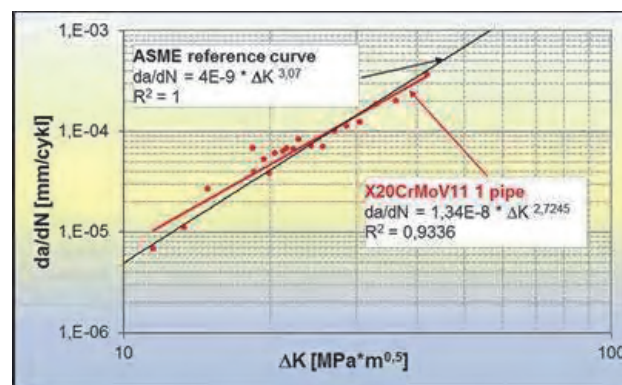
Korelační faktor α analyzované oceli byl stanoven na 0,46, zatímco korelační faktory typické pro většinu ocelí používaných v energetickém průmyslu se pohybují v intervalu 0,41 – 0,44 [7]. Je tedy evidentní, že korelační faktor α dlouhodobě provozované oceli leží mimo uvedený interval. Pro potvrzení této skutečnosti byla teplota T_{SP} vyhodnocena ještě dalším postupem dle normy prEN 15267 [7] za použití normalizované energie (obr. 3). Podle této metody byla teplota T_{SP} stanovena na 140 K, což je ve velmi dobrém souladu s původním stanovením teploty T_{SP} .

Snížení křehkolomových vlastností v důsledku dlouhodobého provozování parovodu bylo jasně patrné také při hodnocení rychlosti šíření trhliny. Obr. 4 ukazuje křivku rychlosti šíření trhliny ve vzorku oceli X20 z parovodu vycházející z Paridova zákona a referenční křivky podle

ASME s asymetrií cyklu $R = 0,1$. Z obr. 5 je jasně zřejmé, že rychlost šíření trhliny je výrazně akcelerována v důsledku exploatace parovodu a pohybuje se přímo kolem limitní hranice dané ASME. Tyto výsledky jsou opět ve velmi dobrém souladu s hodnotami nárazové práce a T_{SP} .



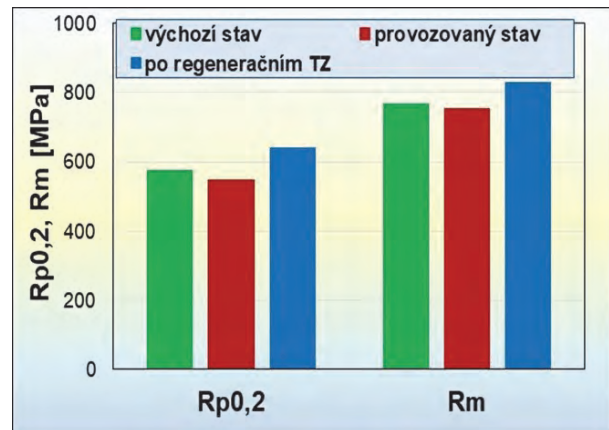
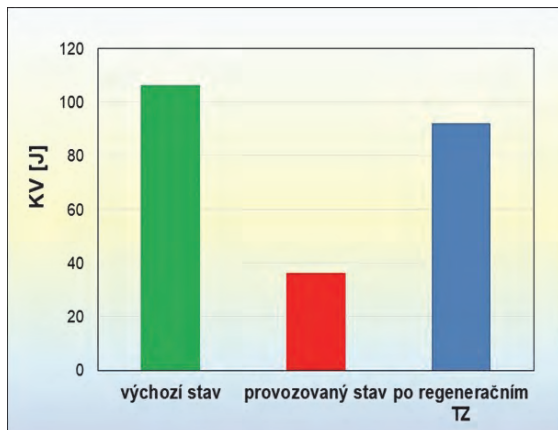
Obr. 3 Stanovení T_{SP} pomocí normalizované energie
Fig. 3 Determination of T_{SP} using the normalised energy



Obr. 4 Porovnání rychlosti šíření trhliny provozovaného parovodu X20 a referenční křivky ASME
Fig. 4 Comparison of the fatigue crack growth rate of steam pipe X20 with ASME reference curve

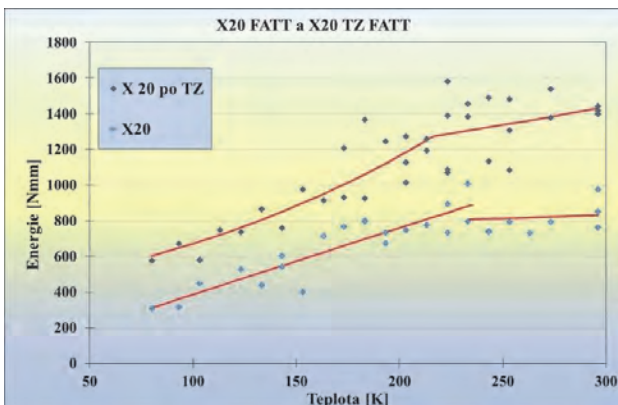
2.2 Mechanické a křehkolomové vlastnosti po tepelném zpracování

Pro potvrzení degradace materiálu parovodu X20 dlouhodobým provozem bylo provedeno regenerační tepelné zpracování vzorku z parovodu, jehož cílem bylo přiblížit vlastnosti materiálu co nejblíže původnímu stavu (1050 °C/0,5 h + /750 °C/2 h). U tepelně zpracovaného materiálu byla provedena statická zkouška tahem při teplotě 23 °C, zkouška rázem v ohybu při teplotě 23 °C a vyhodnocena teplota T_{SP} pomocí malých vzorků (SPT). Opět nejmenší změna vlastností se projevila u meze kluzu a meze pevnosti, kdy došlo k jejich mírnému nárůstu (obr. 5). Mnohem výrazněji však ovlivnilo regenerační tepelné zpracování hodnoty nárazové práce, která se zvýšila téměř trojnásobně, a její velikost se tak přiblížila hodnotám výchozího stavu uvedeného atestem TUV.



Obr. 5 Vliv tepelného zpracování na mez kluzu, mez pevnosti a nárazovou práci u parovodu z oceli X20 (červeně – po vystavení provozním podmínkám, modře – po tepelném zpracování, zeleně – výchozí stav)

Fig. 5 Effect of heat treatment on yield strength and tensile strength of steam pipe from steel grade X20 (red – after exposure at conditions of industrial exploitation, blue – after heat treatment, green – state as-received)



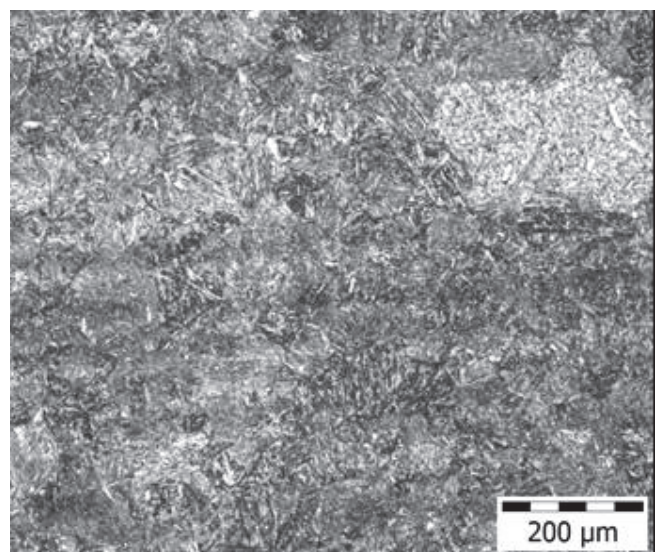
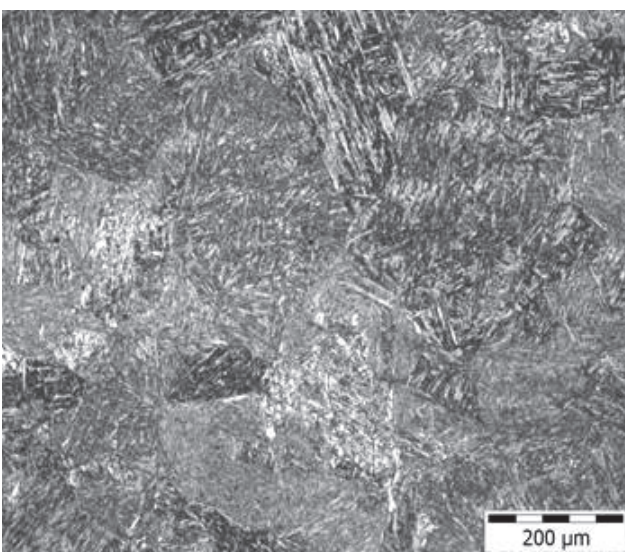
Obr. 6 Teplotní závislost lomové energie SPT pro provozovaný stav (X20) a po regeneračním tepelném zpracování

Fig. 6 SPT fracture energy versus temperature of steam pipe X20 after exposure and after regenerative heat treatment

Nárůst nárazové práce po regeneračním tepelném zpracování na úroveň ve výchozím stavu ukazuje, že pokles křehkolomových vlastností materiálu byl způsoben dlouhodobým provozováním parovodu. Vliv tepelného zpracování je patrný i v teplotní závislosti lomové energie SPT, kde došlo k poměrně zajímavé situaci. Hodnoty lomové energie se totiž u vzorků po tepelném zpracování zvýšily, avšak teplota T_{SP} zůstala na stejné úrovni jako u provozovaného stavu, a to ve výši 140 K (obr. 6).

2.3 Mikrostrukturní analýza

Struktura provozovaného parovodu v provozovaném stavu byla popuštěná, hrubozrnná martenzitická s velmi malým podílem δ -feritu. Po tepelném zpracování byla struktura jemnozrnnější, s lokálním výskytem hrubších zrn (obr. 7). Struktura nevykazuje žádné defektní anomálie vzniklé v důsledku provozování v creepových podmínkách.

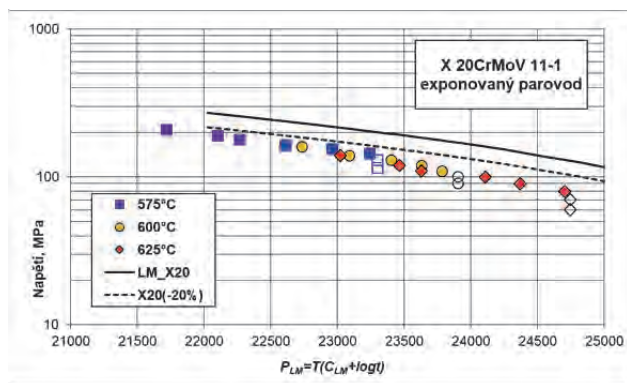


Obr. 7 Mikrostruktura parovodu po provozu (vlevo) a po regeneračním tepelném zpracování (vpravo)

Fig. 7 Microstructure of steam pipe after exposure (left) and after regenerative heat treatment (right)

2.4 Creepové vlastnosti

Vyhodnocení creepových vlastností materiálu parovodu bylo provedeno pomocí závislosti napětí na Larson-Millerově parametru P_{LM} s konstantou C_{LM} ve výši 23,8, optimalizovanou ze standardizovaných výsledků oceli X20. Vůči křivce popisující střední hodnotu meze pevnosti při tečení se ukazuje, že dosahovaná creepová odolnost analyzovaného parovodu leží pod spodní hranicí 20% tolerančního pásma okolo střední hodnoty meze pevnosti při tečení pro ocel X20CrMoV11-1 (obr. 8). Ukazuje se tak, že degradace materiálu se již s největší pravděpodobností negativně projevila na poklesu žarupevnosti provozovaného parovodu.



Obr. 8 Srovnání výsledků creepových zkoušek exponovaného parovodu se střední hodnotou meze pevnosti při tečení oceli X20

Fig. 8 Comparison of stress rupture tests results of the exposed pipe with the mean and lower limit standardized creep rupture strength of the steel grade X20

3. Diskuse výsledků

Přestože byl parovod provozován pod dolním limitem teplot, uváděným pro její nejběžnější použití v creepové oblasti, a ani provozní tlak nebyl dostatečně vysoký na to, aby došlo k výrazné strukturní/materiálové degradaci v důsledku creepového zatížení, byly během analýzy pozorovány indicie částečného vyčerpání životnosti materiálu parovodu. Došlo pouze k mírné změně mechanických vlastností, ale rozhodně nebylo pozorováno žádné kavitační poškození. Vzhledem k použité oceli a pracovním parametrům parovodu (535 °C/13,5 MPa) se však významnější creepové poškození nedalo ani předpokládat, protože maximální pracovní teplota oceli X20 dosahuje běžně až 590 °C. Dosažené výsledky zkoušek jak mechanických vlastností, tak i mikrostruktury potvrzují, že ke klasickému creepovému poškození ani rozpadu struktury během provozu parovodu nedošlo. Tyto výsledky tak velmi dobře korespondují s výsledky podobných prací [6] i informacemi o délkách provozu komponent vyrobených z této oceli z jiných zdrojů.

Největší změna se tak projevila u křehkolomových vlastností. Nárazová práce klesla téměř o 65 % oproti výchozímu stavu, což je evidentní znak degradace materiálu. Pro ocel X20 ve výchozím stavu, ale i po dlouhodobé

creepové expozici, je charakteristická mikrostruktura složena z popuštěného martenzitu a karbidů vyloučených na hranicích primárních austenitických zrn a na hranicích subzrn martenzitu. Tyto karbidy během creepové expozice hrubnou a případně vytvářejí souvislou síť na hranicích austenitických zrn. Typický lom u zkoušky rázem v ohybu oceli X20 je tvárný jamkový s částicemi inkluzí i karbidů na dně tvárných jamek. Této morfologii lomu odpovídá relativně vysoká nárazová práce okolo 150 J·cm⁻². Naproti tomu u lomů téhož materiálu po dlouhodobém provozu v creepových podmínkách převládá štěpný lom s nezanedbatelným podílem lomu interkrystalického a nárazová práce je samozřejmě značně nižší. Důvodem je právě přítomnost nahrublých karbidů vyloučených po hranicích jak primárních austenitických zrn, tak i martenzitických latěk

Ani mírně vyšší hodnota tranzitní teploty $FATT$ (+30 °C) však není s ohledem na pracovní teplotu parovodu kritická, ale nedá se předpokládat ani zvýšené nebezpečí náhlého poškození během studených odstávek, kdy jsou komponenty vychlazené na pokojovou teplotu a riziko iniciace náhlého nestabilního lomu je vyšší.

Vypočtený koeficient $\alpha = 0,46$ pro závislost $T_{SP} - FATT$ dle rovnice (1) je vyšší než běžný interval pozorovaný u ocelí používaných v energetice [7]. Tato změna je nepochybně způsobena degradací materiálu vlivem dlouhodobého provozování. Negativní vliv proběhlých strukturních změn se totiž daleko snáze a výrazněji uplatní při dynamickém zatížení v případě zkoušky rázem v ohybu než při kvazistatickém zatížení v průběhu zkoušek SPT.

Způsob a rozsah vyloučení karbidů na hranicích primárních zrn austenitu vyloučení se projeví rovněž na změně rychlosti šíření trhliny, která se posunula těsně na limit určený referenční křivkou ASME.

Z dosažených výsledků a provedených analýz tak zřetelně vyplývá, že u sledovaného parovodu nespočívá problém případného stanovení zbytkové životnosti v analýze klasického creepového poškození, ale v posouzení změn struktury, které vedou ke zvýšení citlivosti materiálu zejména na dynamické zatížení a nalezení jejich závislosti na provozních parametrech.

Závěr

V rámci experimentálního programu byly analyzovány materiálové vlastnosti dlouhodobě provozovaného parovodu z oceli X20CrMoV11-1. Rozsáhlé hodnocení zahrnovalo analýzu mechanických vlastností, mikrostruktury, určení křehkolomových vlastností, rychlosti růstu únavové trhliny a creepové pevnosti. Výrazné změny byly pozorovány u křehkolomových vlastností, rychlosti šíření trhliny a creepových vlastností. Ve všech případech byly tyto změny důsledkem degradace materiálu provozováním v creepových podmínkách. Problémem je zatím nalezení přesné kvantifikace závislosti změn těchto vlastností na provozních parametrech.

Poděkování

Tato práce vznikla při řešení projektu TAČR TK01020160 – „Komplexní postupy materiálového inženýrství k zajištění bezpečného provozu inovovaných bloků klasických elektráren“

Literatura

- [1] HALD, J. *High-alloyed Martensitic Steel Grades for Boilers in Ultra-supercritical Power Plants*. Woodhead Publishing Series in Energ., ed. Augusto Di Gianfrancesco, (2017) 104, 77–97.
- [2] STORESUND, J., BORGGREEN, K., ZANG, W., NILSSON, H., SAMUELSON, A. *Creep Damage in Welds of Steel X20 CrMoV 12-1*. Stockholm: Varmeforsk report 874, 2004. 20 p.
- [3] BORGGREEN, K., STORESUND, J. Creep Behaviour of Welds in X20 CrMoV 12-1 Evaluated from Replica Inspection Results. In *Baltica VI-International Conference on Life Management for Power Plants*, Vol. 2, Helsinki-Stockholm: VTT, 2004. pp. 449-463.
- [4] AUERKARI, P., HOLMSTROM, S., VEIVO, J., SALONEN, J. Creep Damage and Expected Creep Life for Welded 9–11% Cr Steels. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 84 (2007) 69–74.
- [5] MIDDLETON, C. J., METCALFE, E. *A Review of Laboratory Type IV Cracking Data in High Chromium Ferritic Steels*, Paper C386/027. London: IMechE Proceedings, 1990.
- [6] DOBRZANSKI, J. The Classification Method and the Technical Condition Evaluation of the Critical Elements' Material of Power Boilers in Creep Service Made from the 12Cr–1Mo–V. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165 (2005), 785–794.
- [7] prEN 15267, Committee Draft of standard. Small Punch Test Method for Metallic Materials. 2018.

Zařízení pro plynulé odlévání oceli číslo 3 v Liberty Ostrava slaví dvacet let

Nová huť, srpen 2019, ročník X, č. 8., s. 18

Jako jediné ze třech kontilitů bylo ZPO 3 vybudováno ve staré hale ocelárny, kde bylo nutné zlikvidovat předem dvě zastaralé ocelářské MB pece. Základní kámen ZPO 3 byl položen 24. 11. 1998, zkušební provoz byl zahájen 3. 8. 1999 a nepřetržitý provoz začal 16. 9. 1999. Původně bylo plánováno uvedení do provozu na rok 2000, ale bylo úspěšeno, což umožnilo zrušení tzv. ingotové cesty. Bylo obtížné provozovat zároveň dvě technologie výroby oceli. Po spuštění ZPO 3 byla výroba válcoven 100% z kontislitků. Plánovaná výroba kontislitků 900 kt/rok byla určena převážně pro kontidráťovou trať, zbytek pro středojemnou válcovnu, pásovou trať 250 a hrubou trať. Vedení KD tratě od začátku výroby oceňovalo na kontislitcích ze ZPO 3, že jsou rovné, s ostrými hranami, čistým povrchem a hladce upálenými čely, což zaručovalo vysokou výtěžnost.

ArcelorMittal Ostrava dosáhl v roce 2018 čistého zisku ve výši 4,1 mld. Kč

Nová huť, srpen 2019, ročník X, č. 8., s. 12

Ve srovnání s minulým obdobím se tak jedná o nárůst 946 mil. Kč, který je pozitivně ovlivněn zejména provozní oblastí.

V roce 2018 byl dosažen zisk v provozní oblasti ve výši 726 mil. Kč, což je o 3,3 mld. Kč více než v období 2017, ve kterém byla dosažena provozní ztráta ve výši 2,6 mld. Kč. Lepší provozní výsledek oproti období 2017 byl dosažen zejména vyšší výrobou, kterou na rozdíl od roku 2017 neovlivnily nutné technologické opravy (2,2 mil. tun v roce 2018 oproti 1,8 mil. tun v roce 2017), a vyššími maržemi v důsledku příznivé situace na trhu s ocelí v 1. pololetí roku.

V roce 2018 vyrobila huť 2,2 mil. tun tekuté oceli, 1,1 mil. tun mokrého koksu a 1,9 mil. tun surového železa.

Finanční výsledek za rok 2018 byl ve výši 3,6 mld. Kč v důsledku převodu obchodního podílu ve společnosti TAMEH Holding jedinému akcionáři ArcelorMittal S.A. Finanční výsledek je o 1,7 mld. Kč nižší než v roce 2017, kdy byl pozitivně ovlivněn vyššími finančními výnosy plynoucími z prodeje podílů v dceřiných společnostech ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a ArcelorMittal Tubular Products Karviná.

Recenzované výzkumné články

Zavedení výroby dutých výkovků z dutých ingotů ve VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.

The Launching of Production of Hollow Forgings from hollow Ingots in the Company VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.

Ing. Jiří Petržela, Ph.D.¹; doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.²; Ing. Pavel Machovčák, Ph.D.¹

¹ VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., Ruská 2887/101, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

² VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

Článek pojednává o zavedení výroby dutých výkovků, u nichž se použije jako výchozí polotovár dutý ingot ve VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. Tato technologie výroby dutých výkovků je prospěšná tím, že přináší nejen úsporu materiálu a energie, ale i lepší vlastnosti výkovků díky lepší výchozí lící struktuře oceli. První část je věnována problematice samotné výroby dutého ingotu a potížemi, které bylo nutno postupnými kroky překonat. Zásadní věcí bylo navrhnout způsob lití dutého ingotu a konstrukci lící soupravy tak, aby při chladnutí a tuhnutí tohoto ingotu nevznikaly vnitřní trhliny. Dále je popsána výroba reálného dutého výkovku – rotorové hřídele z dutého ingotu s označením 16Kd115 a doložena shodnost dosažených hodnot mechanických vlastností s výsledky pro stejný výkovek z plného ingotu. Závěrečná část se věnuje způsobu výpočtu stupně prokování u dutých výkovků z dutých ingotů.

Klíčová slova: dutý ingot; lící sestava; matematická simulace; dutý výkovek; přechování dutého ingotu; sekání dutého výkovku; úspora materiálu; úspora energií; stupeň prokování

This article deals with the launching of hollow forgings production in the company VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., for which a hollow ingot is used as a starting semi-product. This production technology of hollow forgings is beneficial not only by material and energy savings but also by better properties of forgings due to better initial casting structure of steel. The first part of this article deals with the problems of production of hollow ingot itself and with some issues, which had to be overcome by consecutive steps. The essential objective was to design the procedure of casting of hollow ingot and the construction of casting set to prevent origination internal cracks during cooling and solidification of such ingot. The production of real hollow forging is then described – the rotor shaft from hollow ingot designated as 16Kd115 and the verification of the conformity of achieved values of mechanical properties with the results of the same hollow forging made from solid ingot. The final part of the article deals with the method of calculation of reduction ratio for hollow forgings made from hollow ingots.

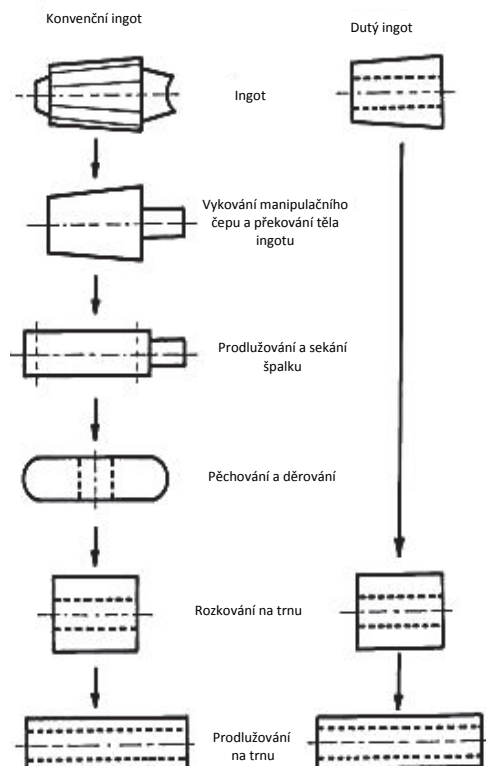
Key words: hollow ingot; casting set; mathematical simulation; hollow forging; upsetting of hollow ingot; cutting of hollow forging; material savings; energy savings; reduction ratio.

Jedním z významných produktů volných kováren jsou duté výkovky, především kroužky a dutá tělesa. Nejčastěji jsou tyto výkovky určeny pro namáhavé konstrukce části strojů nebo pro tlaková zařízení v energetice, a to i v jaderné energetice. Proto jsou na ně kladena velmi přísná kritéria jakosti a rovněž vysoké požadavky na mechanické vlastnosti. Duté výkovky patří mezi velmi náročné výrobky jak z hlediska tváření (časově zdlouhavý výrobní proces a náročný i na pomocné tvářecí nářadí), tak i z hlediska obrábění (problém s dodržením ideálního tvaru a rozměrů kroužků při mechanickém opracování). Běžně se tyto výkovky vyrábějí z plných ingotů. Pokud z nich vyrábíme duté výkovky, je zapotřebí zařadit do

výrobního procesu kování operace přechování a děrování špalu. Jsou to operace zdlouhavé, náročné na přesnost děrování, vyžadující mezipřehřev pro děrování a použití větší hmotnosti vstupního plného ingotu, což vše v souhrnu zvyšuje výrobní náklady. Porovnání technologií kování dutých výkovků s použitím plného a dutého ingotu ilustruje obr. 1.

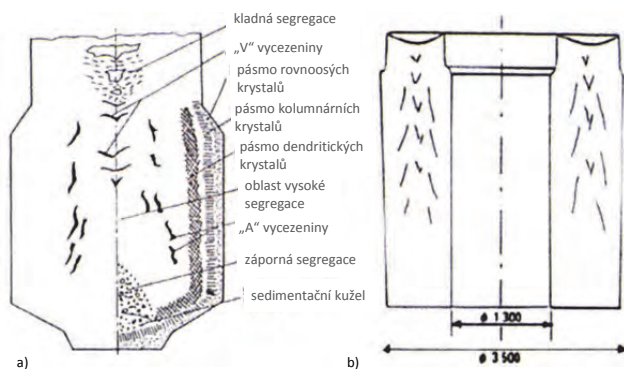
Naproti tomu použití dutého ingotu výrobní náklady významně snižuje. Další výhodou použití dutého ingotu jakožto vstupního materiálu pro kování dutých výkovků je i lepší výchozí lící struktura díky rychlejšímu chlazení a tuhnutí dutého ingotu. Lze tedy očekávat, že vlastnosti

i struktura výkovku budou více homogenní ve všech směrech a rozsah segregací bude výrazně menší než v případě použití klasických ingotů (obr. 2).



Obr. 1 Porovnání procesu kování dutých výkovků s použitím plného a dutého ingotu

Fig. 1 The comparison of forming processes for the production of hollow forgings with the use of hollow and solid ingot as starting material



Obr. 2 Základní tvar ingotů a segregace v ingotech: a) segregace v klasickém ingotu, b) segregace v dutém ingotu

Fig. 2 The basic shape of an ingot and distribution of segregations: a) the segregations in solid ingot, b) the segregations in hollow ingot

Na základě předpokládané nižší spotřeby materiálu, snížení doby ohřevů a meziohřevů i následného opracování lze odhadnout, že při výrobě jednoho kusu výkovku z dutého ingotu bude úspora přímých nákladů dosahovat až 20 %.

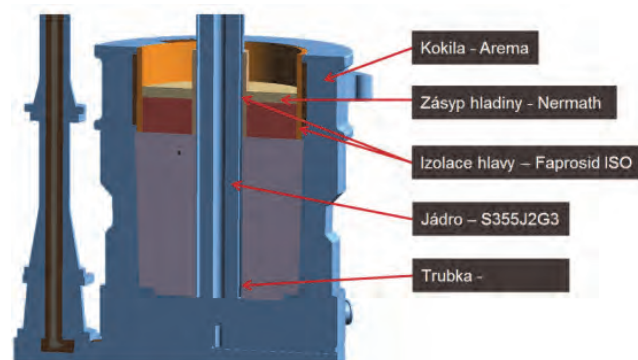
Z výše uvedených důvodů se ve VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. (dále VHM a.s.) klade důraz na rychlé zavedení výroby dutých výkovků z dutých ingotů. Jak

však ukázaly některé výsledky v minulosti, přináší tato nová technologie jistá úskalí ať už v oblasti výroby samotného dutého ingotu, nebo i při výrobě dutých výkovků z těchto ingotů [1].

1. Odlévání dutých ingotů

Ve VHM a.s. se problematikou výroby dutého ingotu zabývá již několik let, a to i v rámci grantových projektů. V minulosti byly ověřovány různé velikosti dutých ingotů, různé postupy lití a různé konstrukce lící soupravy [2, 3]. Tyto práce však byly převážně zaměřeny na konstrukci lící soustavy s využitím dutého jádra (měnil se úkos tohoto jádra), které bylo chlazeno vzduchem. I když se podařilo vyrobit duté ingoty, vždy to bylo spojeno s určitými problémy. Jedním z velkých problémů bylo vytažení jádra z ingotu již na ocelárně – většinou se muselo jádro vytahovat/vytlačovat na lise v kovárně a to přinášelo jednak zdržení ve výrobě a jednak nutnost dutý ingot vychlazovat. V průběhu chladnutí dutého ingotu a nemožnosti včasného vytažení jádra tak vznikaly mikrotrhliny na jeho vnitřním povrchu, které se pak rozšiřovaly během následného kování na trnu. Druhým a ještě významnějším problémem byla skutečnost, že se po vytažení jádra objevovaly na vnitřní ploše dutého ingotu trhliny, které nemohly být následným kovářským zaceleň, neboť první kovářskou operací je rozkování na trnu, tj. zvětšování průměru dutého polotovaru, což je spojeno se značným rozvozem tahového stavu napjatosti. Při kování docházelo ke vzniku tahových napětí kolmých na směr trhlín orientovaných převážně do podélného směru.

Proto bylo přistoupeno k změně výroby dutého ingotu – zejména byla změněna konstrukce lící soupravy [4]. Bylo ponecháno použití dutého jádra, které je chlazeno proudem vzduchu. Jeho průměr se však zmenšil, aby bylo umožněno použití tzv. vnitřní chladicí trubky (obr. 3).



Obr. 3 Nová sestava lící soupravy pro dutý ingot 16Kd115

Fig. 3 The new casting set for casting of hollow ingot 16Kd115

Způsob chlazení a konstrukční změny lící soupravy se natolik lišily od předchozích variant, že bylo zapotřebí provést kontrolní matematickou simulaci lití a tuhnutí ingotu 16Kd115 v lící soupravě. Cílem matematické simulace bylo:

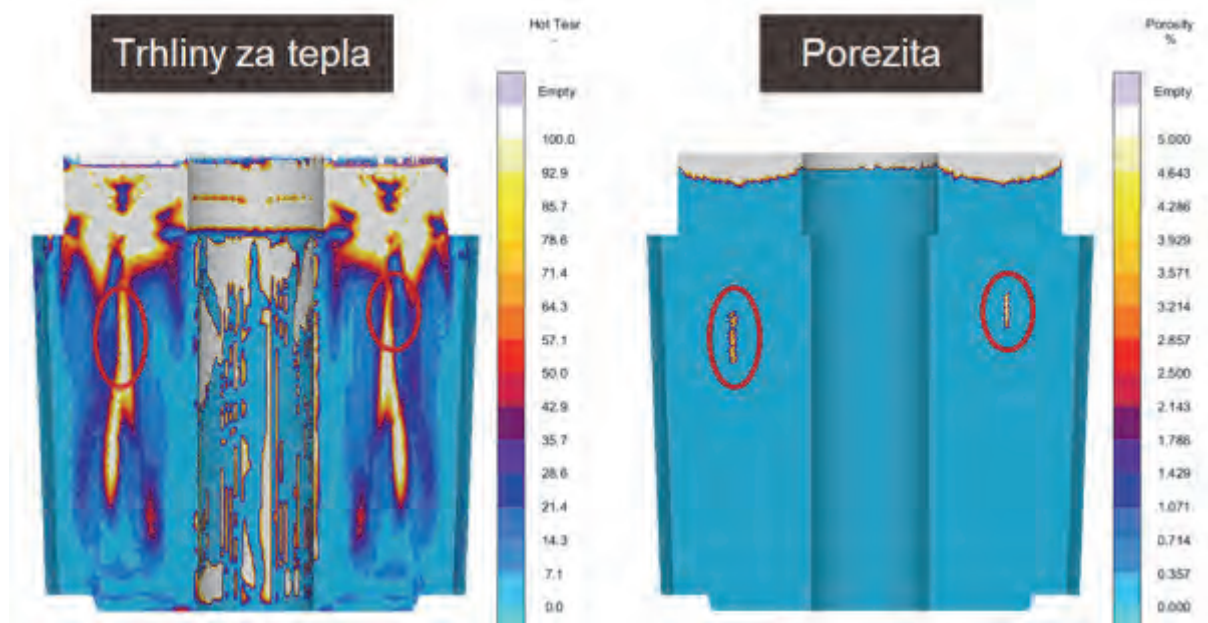
- predikovat vnitřní kvalitu dutého ingotu (pórovitost, řediny, makrosegregace),

- zjistit vliv proudění vzduchu v dutině mezi chladicí trubicí a jádrem na teplotní pole uvnitř trubky, na možnou její deformaci, způsob vytážení jádra po skončení tuhnutí ingotu a na rozložení napětí v ingotu.

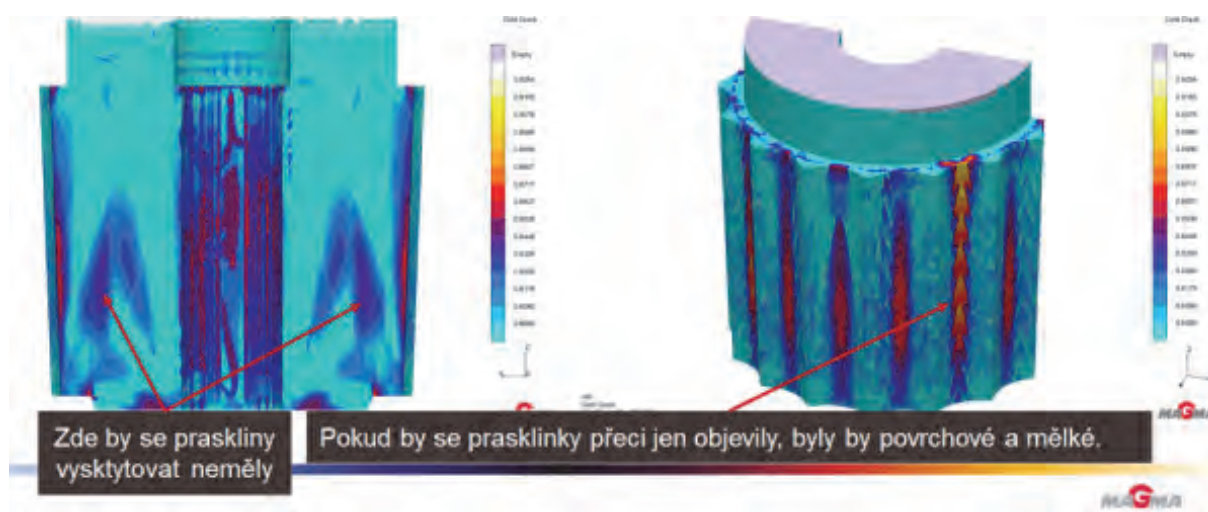
Výsledky simulace potvrdily předpoklad vzniku pórovitosti v dutém ingotu, která je dána geometrií ingotu a ochlazovacími podmínkami, avšak její rozsah by neměl vést ke vzniku zmetkovitosti [4]. Chladicí trubka by se neměla protavit, i když maximální teplota je cca 36 °C pod teplotou solidu. Pouze hrozí určitá deformace/zborcení tvaru (ovality) zahřáté chladicí trubky.

Dalším cílem simulace bylo stanovit, zda v dutém ingotu mohou vznikat trhliny za tepla a praskliny za studena, stanovit, jak se dutý ingot bude deformovat při tuhnutí, predikovat deformaci chladicí trubky vlivem smršťování ze strany ingotu a také stanovit způsob vytážení středového jádra z kokily.

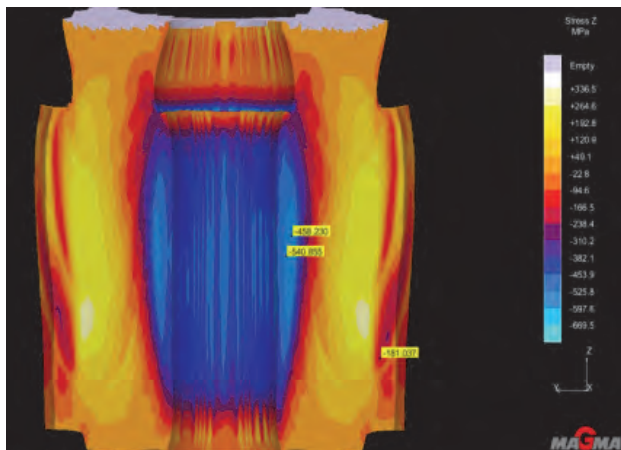
Obr. 4 až 6 znázorňují předpokládaný výskyt ředin a výskyt trhlín za tepla. Z obrázků je zřejmé, že vady se vyskytují v horní polovině těla dutého ingotu přibližně ve stejném místě, takže jejich společný vliv se může násobit. Jejich rozsah a velikost ale nijak nepřevyšuje obvyklý výskyt a dá se s velkou pravděpodobností předpokládat, že se v následném průběhu kování eliminují.



Obr. 4 Předpokládaná místa vzniku trhlín za tepla (vpravo vznik ředin)
Fig. 4 Anticipated places of hot crack formation (on the right – shrinkage porosity)



Obr. 5 Vlevo – místa s převyšující mezi pevností. Vpravo – předpokládaná místa vzniku povrchových trhlín za studena
Fig. 5 On the left – places with exceeded tensile strength. On the right – anticipated places of the surface cold crack formation



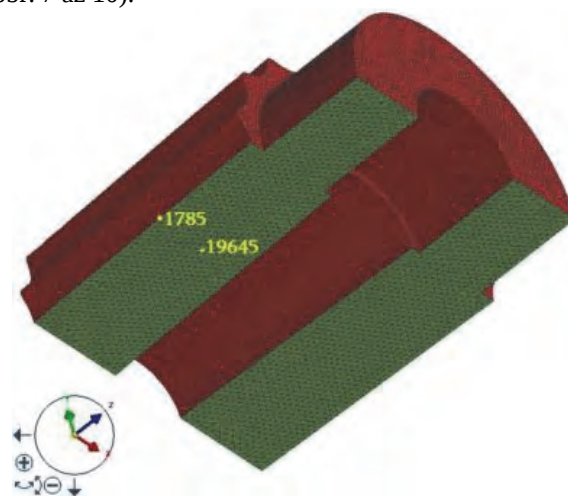
Obr. 6 Rozložení napětí v průřezu po vychlazení na pokojovou teplotu
Fig. 6 The stress distribution in hollow ingot cross section during cooling to the room temperature

Z uvedených výsledků simulace vzniku napětí v dutém ingotu během tuhnutí vyplývá určitá možnost vzniku malých trhlinek jen na stykové ploše ingot-chladičí trubka. Pokud nedojde k dokonalému svaření těchto dvou materiálů, nebudou mít tyto povrchové trhlinky výrazný vliv na výslednou jakost výkovku. Trhlinky by se také mohly vyskytovat ve středové části ingotu, přesně ve stejném místě, kde se nachází mikro a makropórovitost a také pozitivně segregované legující prvky, které snižují teplotu solidu. Tyto trhliny mohou mít vzhled jako pórovitost. Opět však nehrozí nebezpečí vzniku závažných jakostních problémů, neboť jejich rozsah a velikost nepřevyšuje bezpečnou hranici. Praskliny za studena by se mohly vyskytovat pouze na povrchu ingotu výrazného negativního vlivu na jakost.

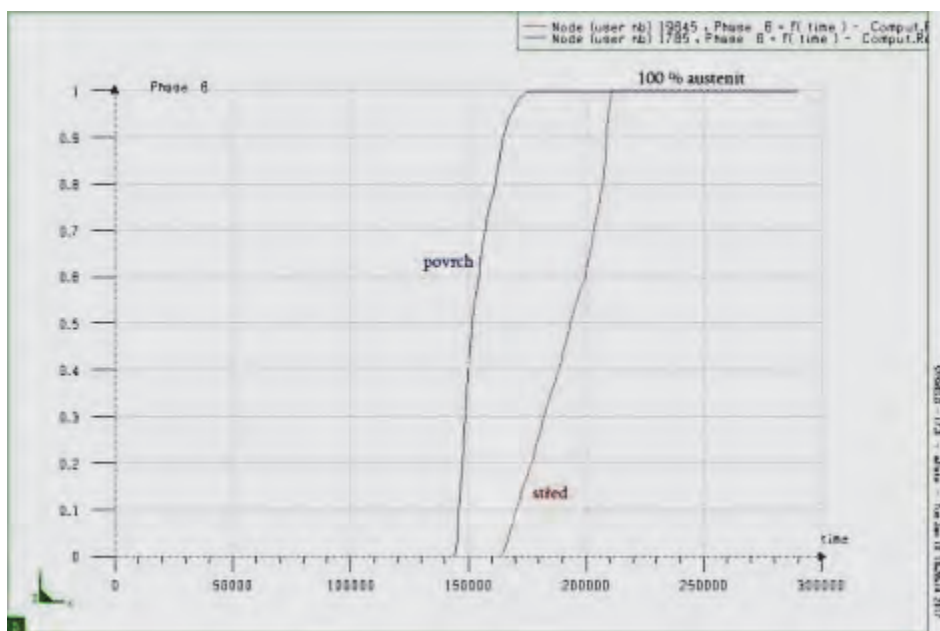
Matematická simulace ukazuje, že jádro u této konstrukce lící soupravy je možné bez problémů vytáhnout již po odlití a tím se umožní bezproblémové smrštění chladnoucího dutého ingotu [4].

2. Kování dutých výkovků z dutých ingotů

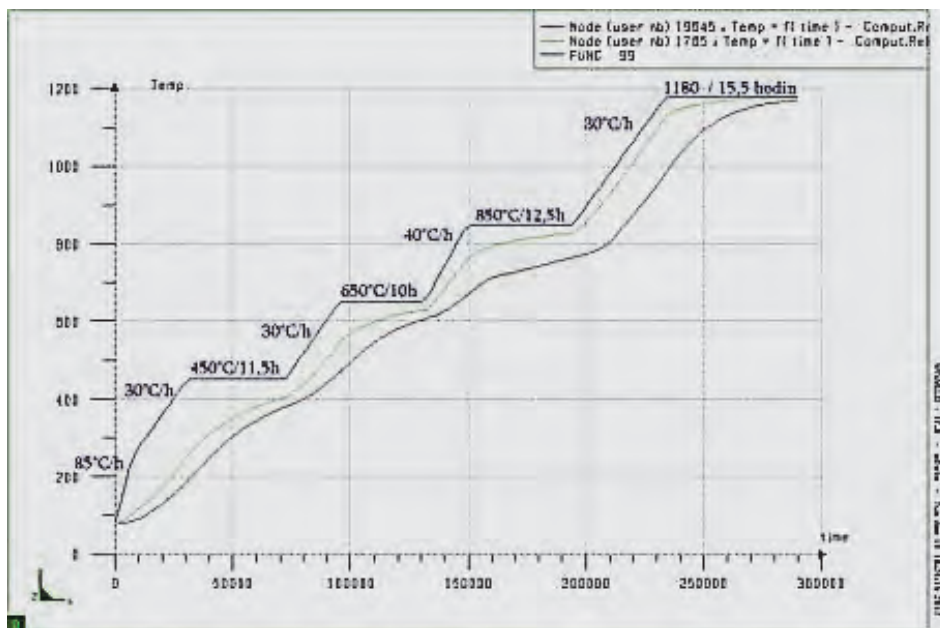
Před procesem kování dutého výkovku z dutého ingotu bylo zapotřebí si některé nové postupy ověřit pomocí matematických simulací. Jednou z prvních simulací bylo porovnání ohřevu plného a dutého ingotu. Smyslem této simulace bylo upřesnit režim ohřevu dutého ingotu a zároveň prokázat, že ve srovnání s ohřevem klasického plného ingotu dojde i k úspoře spotřeby plynu na jeho ohřev. Výsledky simulace tento předpoklad prokázaly (obr. 7 až 10).



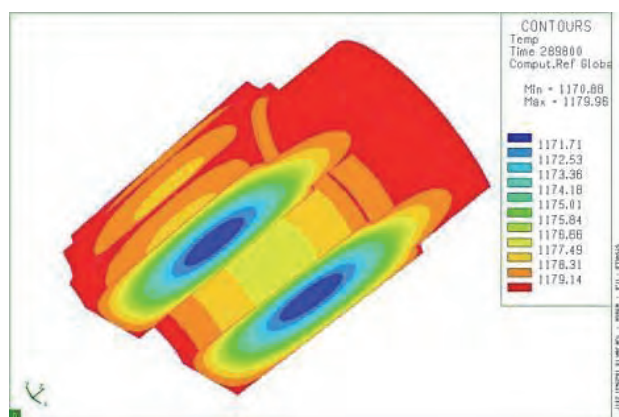
Obr. 7 Model dutého ingotu
Fig. 7 The hollow ingot model



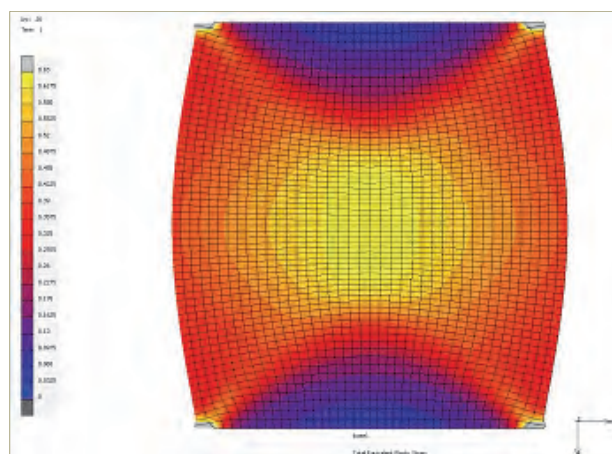
Obr. 8 Austenitizace dutého ingotu
Fig. 8 Austenization of the hollow ingot



Obr. 9 Režim ohřevu dutého ingotu
Fig. 9 Heating mode diagram for the hollow ingot

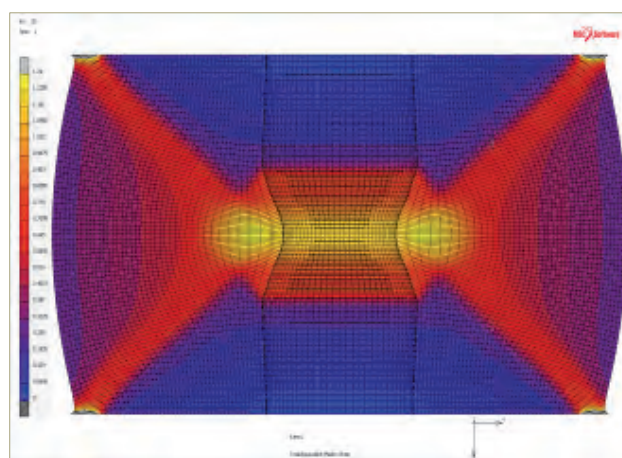


Obr.10 Mapa rozložení teplot při ohřevu
Fig. 10 The diagram of temperature distribution during heating

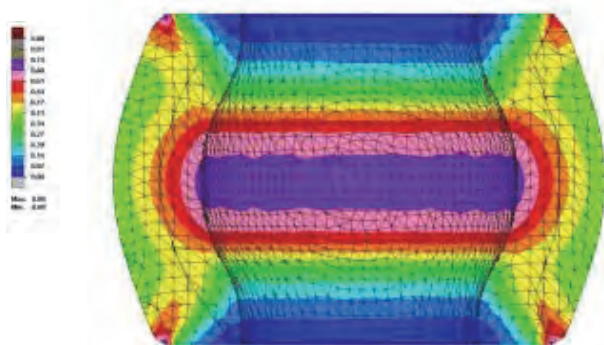


Obr. 11 Rozložení deformací při pěchování plného ingotu
Fig. 11 The strain distribution during upsetting of solid ingot

Velká materiálová a zejména energetická úspora při aplikaci dutého ingotu ve výrobě dutých výkovků vzniká tím, že ve srovnání s použitím plného ingotu lze zcela vynechat kovářské operace pěchování špalku a jeho následné děrování po novém ohřevu [5]. Úkolem simulační analýzy bylo poukázat na rozdíly v rozložení deformací na podélném řezu pěchovaného dutého a plného ingotu. Smyslem pěchovací operace při volném kování je kromě jiného také rozrušení původní lící struktury a dosažení optimálního prokování středových oblastí ingotu, kde se nacházejí největší lící vady. Simulací bylo prokázáno, že při pěchování dutého ingotu nejsou největší deformace zacíleny do středových oblastí stěn dutého ingotu, ale do oblastí blízkých vnitřnímu povrchu dutého ingotu, a mívají tak oblasti s největším výskytem lících vad (obr. 11 – 13). Při výrobě dutých výkovků z dutých ingotů to však není na závadu. Duté ingoty vlivem rychlejšího chladnutí/tuhnutí oceli mají menší segregace a obvykle se pěchování ingotu nepoužívá.



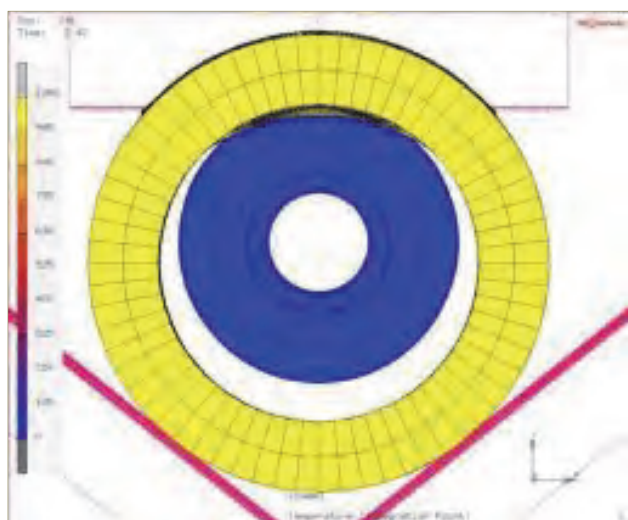
Obr. 12 Rozložení deformací při pěchování dutého ingotu
Fig. 12 The strain distribution during upsetting of solid ingot



Obr. 13 Rozložení deformací při pěchování dutého ingotu – tenčí stěna dutého ingotu

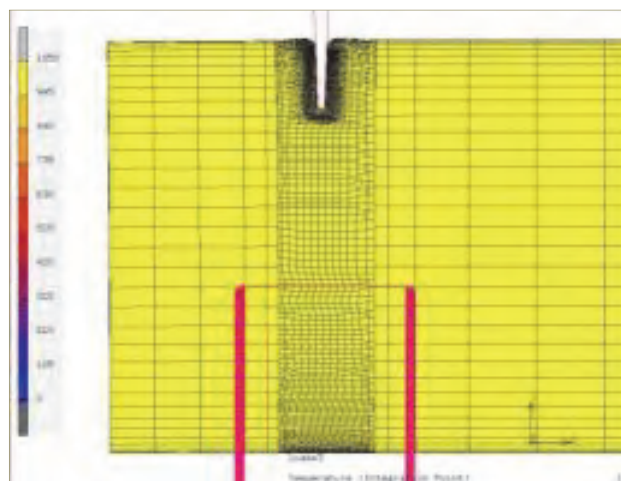
Fig. 13 strain distribution during upsetting of solid ingot – thinner wall thickness of hollow ingot

Zcela neznámým procesem bylo sekání hlavy z dutého ingotu (pálení hlavy nepřicházelo v úvahu, protože proces kování by byl přerušen). U plného ingotu se hlava překovává na manipulační čep, který se pak pomocí speciálního nástroje (sekáče) oddělí od zbytku výkovku. Při sekání je plný výkovek opřen o spodní kovádko – tato technologie nemůže být použita při sekání dutého výkovku, neboť by docházelo k borcení tvaru. Právě pomocí matematických simulací, kdy byly postupně měněny jednak tvar sekáče a také umístění pomocných nářadí, byla nakonec navržena taková technologie sekání dutého výkovku, aby nedocházelo k přílišné změně jeho tvaru. Některé výsledky této simulace znázorňují obr. 14. a 15.



Obr. 14 Sestava nářadí při sekání

Fig. 14 The forming tools assembly for cutting

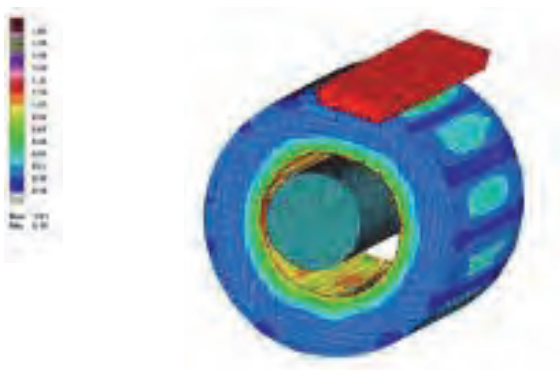


Obr. 15 Průběh sekání dutého výkovku

Fig. 15 The progress of cutting of hollow ingot

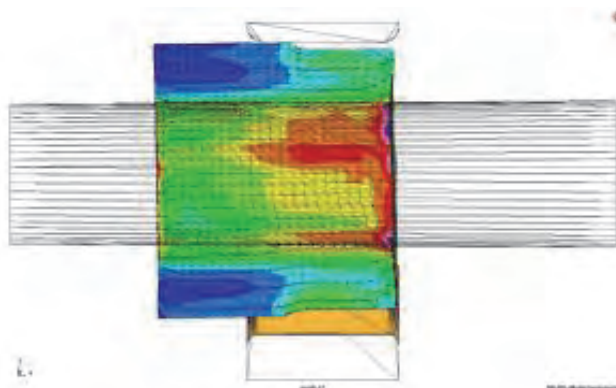
Rovněž samotné kování na trnu bylo podrobeno simulační analýze s cílem potvrzení dosavadního postupu při rozkování a prodlužování dutého výkovku, příp. optimalizace tohoto postupu, zejména stanovení optimálních parametrů těchto operací za účelem dosažení

jak potřebného prokování struktury, tak i zkrácení použitých tvářecích operací. Jako příklad jsou uvedeny obr. 16 a 17 znázorňující rozložení deformace při uvedených kovacích operacích.



Obr. 16 Rozložení deformace při rozkování na trnu

Fig. 16 The strain distribution during saddle forging

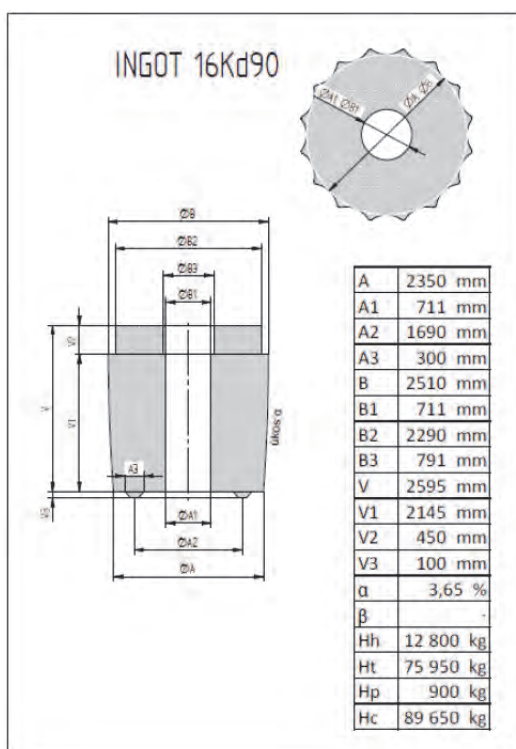


Obr. 17 Rozložení deformace při prodlužování na trnu

Fig. 17 The strain distribution during elongation over a mandrel

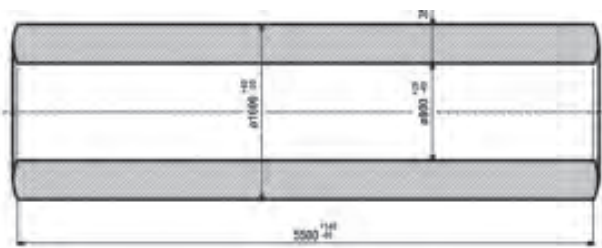
3. Výroba dutého výkovku z dutého ingotu ve VHM a.s.

Na základě provedených matematických simulací bylo přistoupeno k odlití dutého ingotu s použitím nové konstrukce lící soupravy. Za tím účelem bylo upraveno původní jádro použité u předchozích pokusů, které bylo opracováním upraveno na menší průměr. Lící souprava byla doplněna chladicí trubicou. Byla opět použita stejná kokila jako při předešlých pokusech (kokila 16Kd115), takže ingot měl stejné vnější rozměry. Dutý ingot byl však vyroben s menší hmotností hlavy – hlava ingotu byla snížena na 500 mm (z původních 900 mm) a součástí hlavy nebyly manipulační čepy, které mohly by být příčinou razantního rozvoje vnitřní trhliny. Výkres kokily je uveden na obr. 18.



Obr. 18 Výkres kokily dutého ingotu
Fig. 18 The drawing of ingot mould for hollow ingot

Na obr. 19 je uveden kovářský náčrtek pro výrobu rotorové hřídele z materiálu S355J2G3.



Obr. 19 Kovářský náčrtek dutého výkovku
Fig. 19 The forging draft of hollow forging



Obr. 20 Úspěšně odlitý dutý ingot
Fig. 20 The successful cast hollow ingot

Kování dutého výkovku proběhlo bez problémů a bylo dosaženo rozměrů dle kovářského náčrtu (obr. 21). Celkový stupeň prokování na straně hlavy ingotu činil 3,35 a na straně paty ingotu 3,27. Celková doba kování činila 192 min (bez meziohřevů).



Obr. 21 Výkovek z dutého ingotu
Fig. 21 The forging made from hollow ingot

Dosažené mechanických vlastností dutého výkovku hřídele jsou uvedeny v tab. 1. Výsledky byly porovnány s výsledky mechanických hodnot dosažených na stejném typu výkovku ale s použitím plného ingotu tab. 2. Z porovnání hodnot mechanických vlastností dutého výkovku kovaného z dutého ingotu a výkovku hřídele kovaného z plného ingotu vyplývá, že tyto hodnoty jsou téměř stejné a lze konstatovat, že tyto nově navržené technologie jak lití dutého ingotu tak i kování výkovku z něj nemá žádný vliv na zhoršení mechanických vlastností, obzvláště když v tomto případě byla do postupu kování zařazena operace petchování [6].

Tab.1 Mechanické vlastnosti dutého výkovku z dutého ingotu

Tab. 1 Mechanical properties of hollow forging made from hollow ingot

Mechanické vlastnosti dutého výkovku vyrobeného z dutého ingotu					
Místo odběru zkušební materiálu	Požadované hodnoty (pro rotorovou hřídel)	$R_{p0,2}$	R_m	A_5	KV_2
		min. 355	min. 500	min. 22	27 při - 20 °C
Naměřené hodnoty okraj dutého výkovku	Podél	MPa		%	J
		440	624	27,9	142; 146; 130
Naměřené hodnoty cca 1 m od okraje dutého výkovku	Příčně	431	618	25,7	84;128; 68
		449	626	26,6	134; 128; 134
Naměřené hodnoty cca 1 m od okraje dutého výkovku	Příčně	430	617	25,2	126; 126; 68
		430	617	25,2	126; 126; 68

Tab. 2 Mechanické vlastnosti rotorové hřídele kované s plného ingotu

Tab. 2 Mechanical properties of rotorshaft forged from solid ingot

Mechanické vlastnosti rotorové hřídele vyrobené z plného ingotu				
Směr odběru	$R_{p0,2}$	R_m	A_5	KV_2
	MPa		%	J
Podél	425	615	25	135; 138;142
Příčně	422	610	24	127;124;95

4. Výpočet stupně prokování u dutých výkovků kovaných z dutých ingotů

Pro výpočet stupně prokování (dále jen PK) při výrobě dutých těles z plných (klasických) ingotů lze použít známý základní vzorec:

$$PK = A^n \cdot P^n \cdot K \sqrt{P^*} \cdot \frac{s_p}{s} \quad (1)$$

kde:

PK je celkový stupeň prokování,

A – pěchovací ekvivalent ($A = 0,7$ až $0,9$),

P – stupeň pěchování $\left(\frac{D_p^2}{D_i^2}\right)$, který se stanoví jako poměr příčného průřezu napěchovaného ingotu a středního příčného průřezu ingotu,

K – stupeň prodloužování $\left(\frac{D_k^2}{D_s^2}\right)$, který se stanoví jako poměr středního příčného průřezu dutého ingotu a příčného průřezu předkovku,

P^* – stupeň pěchování dutého předkovku $\left(\frac{D_k^2}{D_s^2}\right)$, který se stanoví jako poměr příčného průřezu napěchovaného předkovku a příčnému průřezu ingotu,

s_p – tloušťka stěny napěchovaného dutého ingotu,

s – konečná tloušťka stěny dutého tělesa.

Pro další výpočty je možno uvažovat s konstantami, které jsou u výrobců výkovků běžně zavedeny:

$$PK \geq 3 \quad A = 0,8$$

Zavedením těchto konstant a dosazením poměrových výrazů za proměnné získá rov. (1) tvar:

$$PK = 0,8^2 \cdot \frac{D_p^2}{D_i^2} \cdot \frac{D_k^2}{D_s^2} \cdot \sqrt{\frac{D_k^2}{D_s^2} \cdot \frac{s_p}{s}} \geq 3 \quad (2)$$

a po úpravě

$$PK = 0,8^2 \cdot \frac{D_p^2}{D_i^2} \cdot \frac{D_k^2}{D_s^2} \cdot \frac{D_k \cdot s_p}{s} \geq 3 \quad (3)$$

Při volbě konkrétního ingotu pro kování dutého tělesa známe z jednotlivých členů rov. (3) hodnoty D_i , D_p , s a neznáme hodnoty D_s , D_k , s_p .

4.1 Odvození průměru ingotu D_s

Pokud bude dutý výkovek kován z plného ingotu, pak průměr ingotu D_s můžeme odvodit ze spotřební hmotnosti výkovku m_{sv} a technologických zásad, podle kterých výška těla ingotu H_s nesmí překročit hodnotu $2,5 D_s$. Při kování z dutého ingotu je vhodné mít větší tloušťku stěny ingotu, abychom dosáhli požadovaného stupně prokování bez jeho případného pěchování [7].

Pro výpočet hmotnosti těla ingotu lze použít vztah m_s :

$$m_s = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot H_s \cdot \rho \quad (4)$$

Dosazením za $H_s = 2,5 D_s$ získáme vztah:

$$m_s = \frac{2,5 \cdot \pi \cdot D_s^3}{4} \cdot \rho \quad (5)$$

a po úpravě a zaokrouhlení získáme vztah pro výpočet průměru špalu D_s :

$$D_s^3 = \frac{m_s}{2\rho} \quad (6)$$

V rov. (4) až (6) a následujících vztazích značí ρ měrnou hmotnost kovaného materiálu.

4.2 Odvození hodnoty D_k a s_p

Z technologického hlediska platí u vyděrovaného špalku následující zásady [8]:

$$s_p = \frac{D_k}{3}, \quad D_a = S_p, \quad H_k = D_k$$

kde D_a je vyděrovaný průměr otvoru v napěchovaném špalku, H_k je výška špalku.

Pro výpočet hmotnosti vyděrovaného špalku lze použít vztah:

$$m_v = \frac{\pi(D_k^2 - s_p^2)}{4} \cdot H_k \cdot \rho \quad (7)$$

a po dosazení $s_p = \frac{D_k}{3}$, a $H_k = D_k$, a úpravě dostáváme pro výpočet hmotnosti vyděrovaného kotouče vztah:

$$m_v = 0,7 \cdot D_k^3 \cdot \rho \quad (8)$$

Po úpravě získáme z rov. (8) základní vztah pro výpočet D_k :

$$D_k^2 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_v}{0,7}\right)^2} \quad (9)$$

Dosazením rov. (6) a (9) do rov. (3) získáme rov. (10), z níž už můžeme určit všechny potřebné hodnoty pro výrobu dutého výkovku:

$$3 \leq 0,8^n \left(\frac{D_p^2}{D_i^2}\right)^n \cdot D_i^2 \cdot \frac{0,67\rho^3\sqrt{m_p^2}}{m \cdot s \cdot \sqrt[3]{(0,7\rho)^2}} \quad (10)$$

4.3 Kontrola PK a volba ingotu u nepěchovaných ingotů

V případě, že nedochází k pěchování, platí $n = 0$ a rov. (10) získává tvar:

$$3 \leq D_i^2 \cdot \frac{0,67\rho^3\sqrt{m^2}}{m \cdot s \cdot \sqrt[3]{(0,7\rho)^2}} \quad (11)$$

Vhodný ingot pro výrobu dutých těles musí mít střední průměr, který odpovídá vztahu:

$$D_i = \sqrt{\frac{4,5 \cdot m \cdot s \cdot \sqrt[3]{(0,7\rho)^2}}{\rho \cdot \sqrt[3]{m^2}}} \quad (12)$$

4.4 Kontrola PK a volba ingotu u 1× pěchovaných ingotů

V těchto případech $n = 1$ a rov. (10) získává tvar:

$$3 \leq 0,8 \cdot D_p^2 \cdot \frac{0,67\rho^3\sqrt{m^2}}{m \cdot s \cdot \sqrt[3]{(0,7\rho)^2}} \quad (13)$$

Vhodný ingot pro výrobu dutého tělesa musí mít po napěchování průměr odpovídající vztahu:

$$D_p \geq \sqrt{\frac{5,6 \cdot m \cdot s \cdot \sqrt[3]{(0,7\rho)^2}}{\rho \cdot \sqrt[3]{m^2}}} \quad (14)$$

Ingoty s vícenásobným pěchováním se pro výrobu dutých těles nepoužívají, a proto nejsou pro tyto případy dále odvozovány potřebné vztahy.

5. Optimalizace postupu kování a určení mezních rozměrů dutých těles

5.1 Omezení daná silou lisu

Vybrané postupy kování dutých těles využívají pro zvýšení stupně prokování operaci pěchování [9]. Ta je silově náročná.

Pro výpočet mezních rozměrů napěchovaného předkovku můžeme vyjít z některého vzorce pro výpočet síly při pěchování. Nejjednodušší z nich má tvar:

$$F = \sigma \left(1 + 0,15 \frac{D_o}{H_o}\right) \cdot S_o \quad (15)$$

kde D_o je vnější průměr těla dutého ingotu (předkovku), H_o je výška těla dutého ingotu (předkovku), S_o je plocha příčného průřezu dutého ingotu (předkovku), σ je deformační odpor oceli.

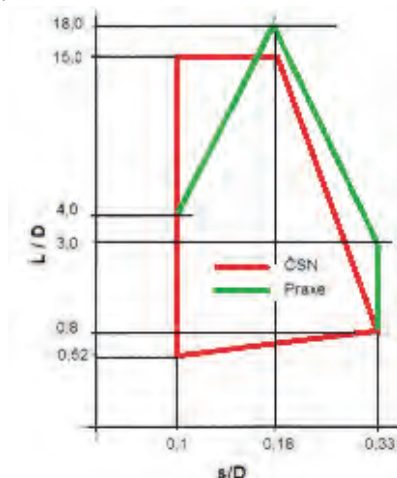
Nebo můžeme použít simulační výpočet, který je přesnější, poněvadž můžeme pracovat s reálným teplotním polem, zohlednit klesající rychlost příčniku při pěchování apod.

5.2 Mezní rozměry dutých těles

K rozhodujícím rozměrům dutého tělesa patří: délka výkovku, vnitřní průměr výkovku a tloušťka stěny výkovku. V praxi kováren se používá výrobní rozsah rozměrů dutých těles podstatně větší, než uvádí ČSN.

5.2.1 Délka výkovků

Největší délka výkovku dutého tělesa je omezena vztahy L/D , s/D a také velikostí přídavek na obrábění, kde L je délka výkovku, D je vnější průměr výkovku a s je tloušťka stěny výkovku. Vztah mezi L/D a s/D je uveden na obr. 22.



Obr. 22 Vzájemné vztahy mezi základními rozměry výkovků dutých těles

Fig. 22 Mutual relationship among basic dimensions of forgings from hollow bodies

Jeho rozbořením a matematickým vyjádřením dostaneme pro určení největší délky výkovku následující závislosti:

$$L \leq 15 D \quad (16)$$

$$L \leq 0,0376 D \cdot \left(\frac{s}{D}\right) - 4,84. \quad (17)$$

Uvedené podmínky platí pro neosazená dutá tělesa. U osazených dutých těles musí být uvažován tzv. redukovaný vnější průměr a redukovaná tloušťka stěny, které se stanoví podle následujících vztahů:

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot m_j}{\pi \cdot \rho \cdot L}} \quad (18)$$

$$s_r = \frac{D_r - D_a}{2} \quad (19)$$

kde D_r je redukovaný vnější průměr výkovku dutého tělesa,

s_r – redukovaná tloušťka stěny výkovku dutého tělesa,

D_a – vnitřní průměr dutého tělesa,

m_j – jmenovitá hmotnost výkovku dutého tělesa,

ρ – hustota oceli.

Z tabulky pro určení přídavek na obrábění vyplývá další omezení výrobního rozsahu, které lze vyjádřit vztahem:

$$L < 16\,000 \text{ mm} \quad (20)$$

V závislosti na kovaném průměru se pro stanovení délky používají vztahy:

$$D \leq 150 \text{ mm}; \quad L \leq 2D$$

$$D \leq 400 \text{ mm}; \quad L \leq 2,5D$$

$$D \leq 500 \text{ mm}; \quad L \leq 4D \quad (21)$$

$$D \leq 1250 \text{ mm}; \quad L \leq 12,5D$$

$$D \leq 1600 \text{ mm}; \quad L \leq 10D$$

Nejmenší délka dutého tělesa se vypočítá z následujícího vztahu mezi geometrickými parametry L/D a s/D na obr. 22):

$$L_{min} \geq 1,195D \cdot \left(\frac{s}{D}\right) \cdot 0,361 \quad (22)$$

Rozmezí délek dutých těles používaných ve výrobní praxi kování, zejména v rozsahu poměrů s/D od 0,18 do 0,33, je podstatně širší než stanoví ČSN. V praxi používaný rozsah je zakreslen do diagramu na obr. 22. Jeho rozbořením vyplývá, že podmínky uvedené v rov. (2) a (3) mají po úpravě následující tvar:

$$L \leq 18D \quad (23)$$

Pro $s/D \leq 0,18$ lze vypočítat délku L ze vztahu:

$$L \leq 1118D \cdot \left(\frac{s}{D}\right) \cdot 2,57 \quad (24)$$

Pro $s/D \geq 0,18D$, lze vypočítat délku L ze vztahu:

$$L \leq 0,11D \cdot \left(\frac{s}{D}\right) - 2,96 \quad (25)$$

5.2.2 Rozsah vnitřních průměrů dutých těles

Pro stanovení mezních hodnot vnitřních průměrů platí jednoznačně zásady uvedené v ČSN:

$$1600 \text{ mm} \geq D_a \geq 80 \text{ mm} \quad (26)$$

V praxi se však dutá tělesa s průměrem $D_a \leq 100 \text{ mm}$ a délky $L = 3$ až $4D$ obvykle vyrábějí jako plné podélné výkovky, které se, jak dále odst. 5.2.4 vysvětluje, vyvrtají.

5.2.3 Rozsah tloušťek stěny dutých těles

Pro stanovení mezních hodnot tloušťek stěny dutých těles platí vztahy:

$$0,33 D \geq s \geq 0,1D \quad (27)$$

Tyto zásady jsou dodržovány i v praxi kování až na případy uvedené v následujícím odstavci.

5.2.4 Výroba tlustostěnných dutých těles.

Při výrobě tlustostěnných dutých těles (tj. těles, kde $D_a < 0,5 D$) je vhodné posoudit, zda jeho výroba kovářím je ekonomicky výhodná. Jsou pro to následující důvody:

Spotřební hmotnost výkovku dutého tělesa je obvykle vyšší, než je hmotnost plného výkovku. Je to dáno tím, že:

- přídávky na obrábění pro výkovky dutých těles jsou větší než přídávky pro podélné výkovky,
- vypočtená spotřební hmotnost je u výkovku dutého tělesa nejméně o 9 % vyšší než u plného výkovku.

Zpracovací náklady na výrobu výkovku dutého tělesa jsou vzhledem k složitější technologii výroby vyšší než u podélných výkovků.

Dutou součást lze z plného výkovku vyrobit vyvrtáním jádra. Režie při obrábění je pro tuto operaci výrazně nižší, než jsou režie kovářny. Proto se v případě výroby štíhlých výkovků se stejnou spotřební hmotností jako u plných výkovků přistupuje k vrtání středového jádra po celé délce kusu.

5.2.5 Postup při výběru vhodného ingotu pro dutá tělesa

V zásadě se volí vždy nejmenší ingot, který vyhovuje pro daný výkovek z hlediska jeho užitkové hmotnosti.

Provede se kontrola na velikost stupně prokování PK pro nepěchovaný ingot. Pokud vybraný ingot nevyhovuje, tak se provede teprve kontrola na pěchování. Nevyhovuje-li ingot rozměrům u pěchovaného ingotu, volím se nejbližší těžší ingot a postup se opakuje až do splnění podmínky pro stupeň prokování PK .

Závěr

Výkovky kroužků a dutých těles se často používají pro výrobu tlakových nádob například v chemickém průmyslu nebo v jaderné energetice a energetice. Tyto výkovky mají velké rozměry a na jejich jakost a mechanické vlastnosti jsou kladeny vysoké nároky. Z toho důvodu je třeba věnovat jejich výrobě zvýšenou pozornost. Pokud se zvládne technologie výroby těchto výkovků s použitím dutých ingotů, je velký předpoklad, že vysoké nároky na požadované mechanické vlastnosti byly splněny a navíc tato technologie přináší snížení výrobních nákladů. Tato technologie se ve VHM a.s. postupně provozně zavádí, což významně přispívá k posílení postavení firmy na celosvětovém trhu s těmito komoditami.

Při kování dutých výkovků z dutých ingotů je nutné respektovat technologické zásady, jejichž dodržení umožňuje ekonomicky výhodnou a jakostní výrobu, která je výrazně ovlivněna stupněm prokovaní. Pro výpočet stupně prokovaní byl analyzován známý a při konvenčním kování běžně používaný vztah, který byl pro jeho využití při určení vhodného průměru těla D_i a tloušťky stěny ingotu upraven tak, aby zahrnoval účinky pěchování těla ingotu D_{ip} . Dále byl stanoven průměr ingotu D_i vhodný pro dosažení požadovaných rozměrů dutých těles. Základní vztah byl modifikován i pro výrobu dutých těles kovaných bez využití operace pěchování, a také s aplikací operace pěchování. Je nutno stanovit optimální stupeň prokovaní pro dosažení dostatečně prokované vnitřní struktury dutých výkovků kovaných z dutých ingotů, který by byl respektován i koncovými odběrateli dutých výkovků.

Tato problematika byla řešena v rámci grantového projektu TRIO – č. FV10360, za velmi účinné spolupráce s pracovníky VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická.

Poděkování

V článku jsou prezentovány poznatky získané při řešení projektu TRIO, č. FV 10360. Autoři článku děkují Ministerstvu průmyslu a obchodu ČR za podporu řešeného projektu.

Literatura

- [1] PETRŽELA, J., GREGER, M. Roční zpráva o řešení projektu FV 10360. (Výzkum a vývoj nové technologie výroby dutých výkovků v programu TRIO) Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2018, 32 s.
- [2] MACHOVČÁK, P., OPLER, A., CARBOL, Z., KORBÁŠ, M., KOVÁČ, M. and KRUTIŠ, V. The Development of Hollow Ingot Casting Technology at VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a. s. In *METAL 2013*, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, Brno, 2013, s. 43–49. ISBN 978-80-87294-41-3.
- [3] MACHOVČÁK, P., OPLER, A., CARBOL, Z., KORBÁŠ, M., KOVÁČ, M., KRUTIŠ, V. Vývoj technologie odlévání dutých ingotů na ocelárně VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a. s. In *Oceláři*, 28. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli, Sborník přednášek, Rožnov pod Radhoštěm, 2012. 68–74. ISBN 978-80-87294-28-4.
- [4] GLAWATÝ, L., CARBOL, Z. et al. Příprava výroby dutého ingotu 16Kd 115 z mat. A668 a vzorové kování dle zakázky – turbínová hřídel pro BELO MONTE (Alstom) ve VHM a.s. (Podniková zpráva) Ostrava: VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., 7 s.
- [5] GREGER, M., LÁSZLÓ V., PETRŽELA, J., KAWULOK, R., SUŠOVSKÝ, M., KWARTENG, O. Výkovky kroužků z oceli X10CrMoVNb9-1. *Kovárenství*, 62 (2017), 8–12. ISSN 1213-9289.
- [6] GREGER, M., PETRŽELA, J., LÁSZLÓ, V., SUŠOVSKÝ, M., KAWULOK R., JUHAS, M. Technologie výroby volných výkovků kroužků. *Kovárenství*, 60 (2017), 62–65. ISSN1213-9289.
- [7] WOLFGARTEN, M., ROSENSTOCK, D., SCHAEFFER, L. and HIRT, G. Implementation of an Open-die Forging Process for Large Hollow Shafts for Wind Power Plants with Respect to an Optimized Microstructure. *La Metallurgia Italiana*, (2015) 4, 43–49.
- [8] RECKER, D., FRANZKE, M. and HIRT, G. Forged Hollow Shafts for Wind Power Drives. In *Proc. of Conf. for Wind Power Drive*, Aachen. 2013, pp. 199–214.
- [9] SUM, M. et al. Mathematical Design and Finite Elements Method Simulation of Large Conical Shell Shape Forming for Nuclear Steam Generator. *Steel Research Journal*, (2012), 147–150.

Výrobci svařovaných ocelových trubek se dočkali nového vydání evropské normy!

www.ocelarskaunie.cz, 4. 6. 2019

Jedná se o EN 10217 pro výrobu svařovaných ocelových trubek pro tlakové nádoby a tlaková zařízení. Všechny 6 částí této normy bylo vydáno s platností od 04/2019.

Od května 2019 jsou v platnosti rovněž nová vydání EN 10210-2 a EN 10219-2 pro výrobu dutých profilů a norma EN 10225 pro výrobky ze svařitelných konstrukčních ocelí pro ropná zařízení ukotvená při pobřeží. Tato norma je oproti minulému vydání nově rozdělena do 4 samostatných částí (část 1 – plechy, část 2 – profily, část 3 – duté profily tvářené za tepla a část 4 – svařované duté profily tvářené za studena).

A ještě jedna dobrá zpráva na závěr, v květnu 2019 byly komisí CEN TC 459/SC konečně schváleny finální návrhy FprEN 10025-2 až 6 pro výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí. Předpokládaný termín vydání těchto norem je 09/2019.

Vliv nastavení parametrů laboratorní děrovací stolice na rozměry vyděrovaného polotovaru oceli 4130

Effect of Setting of Laboratory Piercing Parameters on Dimensions of Hollow Semi-product the 4130 Steel

Ing. Roman Noga¹; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.¹; Ing. Miroslav Liška, CSc.¹; Ing. Rostislav Turoň²; Ing. Radek Jurča²

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

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

Předložený článek se zabývá zkouškami děrovatelnosti oceli 4130 na univerzální laboratorní děrovací stolici. Sledován byl zejména vliv nastavení děrovací stolice pro kosé válcování na dosažené rozměry vyděrovaného polotovaru. K experimentům byly použity vzorky o průměru 50 mm a délce 200 mm. Na základě získaných zkušeností z předchozích experimentálních zkoušek byl upraven tvar a průměr děrovacího trnu na 38 mm. Zkoušení děrovatelnosti bylo realizováno na třech sadách vzorků při nastavení konstantního úhlu posuvu 4° a s proměnným tvářecím úhlem. Dosažené výsledky zkoušek ukázaly změnu vnějšího průměru po vyděrování v rozsahu -14 až +4 %, což v terminologii výrobců trubek představuje rozsah od tzv. rozšíření po úžení vzhledem k průměru výchozího polotovaru, resp. vzorku pro děrování.

Klíčová slova: předvalky z oceli 4130; univerzální laboratorní děrovací stolice; parametry děrování; rozměry vyděrovaných vzorků

Experimental piercing tests on laboratory piercer are currently performed in a manner analogous to the operational piercing process, with full or centrally pre-drilled samples with a circular cross-section. The versatility of the laboratory piercer offers the possibility of its classical configuration with two piercing rollers and one support roller or its modification as an elongating bench with three conical cylinders. The bench allows for the adjustment of the axes of the piercing rollers with respect to the piercing axis by means of both the feed and forming angles. It also allows the selection of piercing roller revolutions in the range up to 120 rpm and is equipped with the automatic measurement of quantities, such as piercing roller forces, torques, the force on the mandrel rod bearing, speeds of rollers and current input with respect to time during piercing. The electric resistance furnace is used for heating the samples, with the possibility of setting the heating mode and registering its course by the control computer.

This paper deals with tests of pierce ability of 4130 steel on universal laboratory piercer. Especially the effect of the setting of the piercing mill on the achieved dimensions of the pierced semi-product was monitored. 50 mm diameter and 200 mm length samples were used for the experiments. Based on the experience gained in previous experimental tests, the shape and diameter of the piercer mandrel diameter were adjusted. The testing of pierce ability was performed on three sets of samples, with a constant displacement angle of 4 ° and a variable forming angle. The results of the tests showed a change in the outer diameter after piercing in the range of -14 and 4%, which in the terminology of tube manufacturers represents the range from the so-called extension to the reduction with respect to the diameter of the starting semi-product, or the sample for piercing.

Key words: semi-products made of the 4130 steel; universal laboratory piercing mill; piercing parameters; hollow samples dimensions

1. Zkoušky děrovatelnosti při kosém válcování

Klasická zkouška děrovatelnosti je charakterizována rozdílným stlačením průřezu původně kuželového vzorku při průchodu mezi válci bez použití děrovacího trnu. Popis mechanismu vzniku dutiny na základě rozboru stavu napjatosti při deformaci mezi děrovacími válci, především na základě prací ruských autorů, publikoval

O. Pejčoch a B. Pošta [1, 2]. Ve stručnosti lze shrnout, že se při děrování jedná o speciální stav napjatosti způsobený kombinací tlaku vyvozeného na materiál děrovacími válci a nerovnoměrnosti deformace. Ve středu provalku působí objemové schéma tříosé napjatosti se dvěma hlavními tahovými napětími tahovými. Ty v daném průřezu působí kolmo na hlavní tlakové napětí způsobené tlakem válců a v ose provalku způsobují v podstatě křehké porušení materiálu bez vyvolání plastické deformace.

Ve srovnání s jinými zkouškami tvařitelnosti, nebo i s technologickými zkouškami děrovatelnosti s čistě válcovými vzorky, umožňují kuželové vzorky vyhodnotit velikost kritických úběrů, při kterých vzniká dutina, a tím získat základní parametry pro seřízení děrovací stolice a nastavení děrovacího trnu [3, 4].

Vyhodnocení kuželových vzorků děrovatelnosti je ovšem mimořádně obtížné, neboť vyžaduje vysoce profesionální zařízení a zkušenosti při ultrazvukovém šetření, nebo použití nákladných metod rentgenového nebo metalografického stanovení místa vzniku porušení.

Zkoušky děrovatelnosti na ULDS (obr. 1) jsou v současné době prováděny způsobem analogickým provoznímu děrovacímu procesu [5, 6], a to s použitím plných, případně centrálně předvrtaných vzorků kruhového průřezu. Univerzálností děrovací stolice se rozumí její klasická konfigurace se dvěma děrovacími a jedním opěrným válcem nebo její úprava na elongovací stolici se třemi kuželovými válci. Stolice umožňuje nastavení os kuželových (děrovacích) válců vzhledem k ose děrování jednak pomocí změny úhlu posuvu a jednak pomocí změny tvářecího úhlu. Umožňuje dále volbu frekvence otáček děrovacích válců v rozsahu 0 až 120 min⁻¹ a je vybavena automatickým měřením veličin, jako jsou síly působící na děrovací válce, krouticí momenty, síla na ložisko trnové tyče, frekvence otáček válců a příkon elektrického proudu v závislosti na čase při vlastním děrování. Pro ohřev vzorků slouží elektrická odporová pec s možností nastavení režimu ohřevu a registrace jeho průběhu řídicím počítačem.

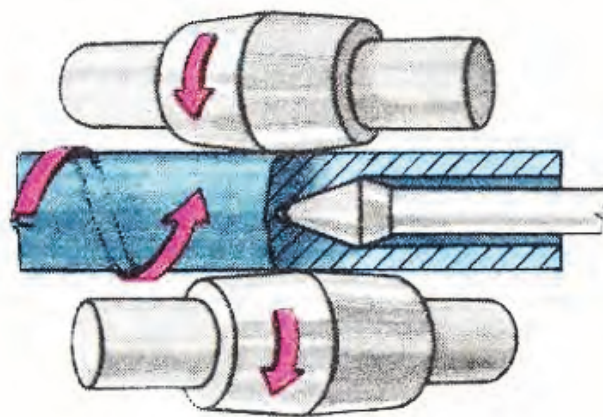


Obr. 1 Univerzální laboratorní děrovací stolice
Fig. 1 Universal laboratory piercing mill

2. Podmínky laboratorního děrování na laboratorní děrovací stolici

Je známo, že Mannesmannův princip tvaru a uspořádání válců děrovací stolice představuje sestavu dvou kuželových (děrovacích) válců a opěrného válce v děrovací stolici (obr. 2). Osy děrovacích válců jsou mimoběžné jak vůči sobě, tak vůči ose válcování (děrování), která odpovídá směru pohybu děrovaného

kusu děrovací stolici. Mimoběžnost os děrovacích válců je definovaná úhlem posuvu α , který svírají průměty os válců s průmětem osy děrování v nárysné rovině a jeho velikost se udává mezi 3 až 7° (nejčastěji 3 – 4°) [2, 7]. Za tvářecí úhel β se považuje úhel, který svírají průměty os děrovacích válců s průmětem osy děrování v půdorysné rovině. V základním postavení děrovacích válců je úhel $\beta = 0$ a jeho změny souvisejí s požadavkem na výraznější změny vnějšího průměru vyděrovaného dutého polotovaru oproti výchozímu průměru děrované vsázky. Dle [2] platí, že vnější průměr vyděrovaného předválku se přibližně rovná průměru výchozí vsázky, případně bývá o 2 – 4% menší, výjimečně až o 10% menší u menších průměrů. Při omezeném rozsahu průměrů vstupní vsázky současné požadavky tyto rozsahy přesahují.



Obr. 2 Schéma Mannesmannova děrování
Fig. 2 Scheme of the Mannesmann piercing

3. Experimentální materiál a nastavení parametrů děrování

Materiálem vzorků určených k děrování byla ocel označovaná 4130 podle normy ASTM A519. Jedná se o středně uhlíkovou ocel k zušlechťování, s obsahem uhlíku okolo 0,3 %, legovanou 0,5 % Mn, 1 % Cr a 0,2 % Mo.

Rozměr vstupních vzorků (kruhových špalků) byl ϕ 50 mm a délka 187 mm. Nastavení parametrů laboratorního děrování bylo následující:

- teplota ohřevu a děrování 1290 °C,
- rychlost otáčení válců děrovacího stroje 120 min⁻¹,
- úhel posuvu $\alpha = 4^\circ$,
- tvářecí úhel $\beta = +2$ až -2° , odstupňovaný po 0,5°,
- úběr ve válcovací mezeře ve vazbě na tvářecí úhel: 7 mm při $\beta = 0 - 1^\circ - 2^\circ$; 5,5 mm při $\beta = 0$ až -2° ; 5,5 až 3,5 mm při $\beta = 0$ až -2° (snižující se s rozevíráním úhlu).

Pro účely zkoušek děrovatelnosti označujeme kladnými hodnotami rozevírání úhlu β ze strany vstupu polotovaru do děrovací stolice a zápornými hodnotami naopak jeho svírání.

Průměr děrovacího trnu byl 38 mm, délka 63 mm, pozice špičky trnu byla 22 mm před rovinou průchodu; tvar trnu odpovídal návrhu společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV).

Cílem experimentů bylo vymezení limitů tzv. úžení a rozšíření materiálu při děrování, resp. dosažitelné celkové deformace a změn vnějšího průměru a tloušťky stěny v závislosti na velikosti tvářecího úhlu.

4. Vyhodnocení provedených experimentů

Celkem bylo vyděrováno 13 vzorků s poměrně vysokou úspěšností. U několika vzorků došlo k nepříjemnému, ale častému typickému jevu, kdy při děrování vzorku na polotovaru s malou tloušťkou stěny dochází při průchodu zadního, tj. hlavového konce vzorku rovinou průchodu k porušení plynulosti průchodu již vyděrovaného vzorku válcovací mezerou. V těchto případech se po vyděrování vzorek deformuje (smáčkne) mezi pracovním a opěrným válcem. Tento problém nastává po doděrování vzorků s malou tloušťkou stěny. V těchto případech se hodnotily rozměry vzorků po vyděrování pouze na předním patním konci a ve středu délky.

Vyděrované laboratorní vzorky lze pro účely podrobnějšího hodnocení rozdělit do tří experimentálních sad.

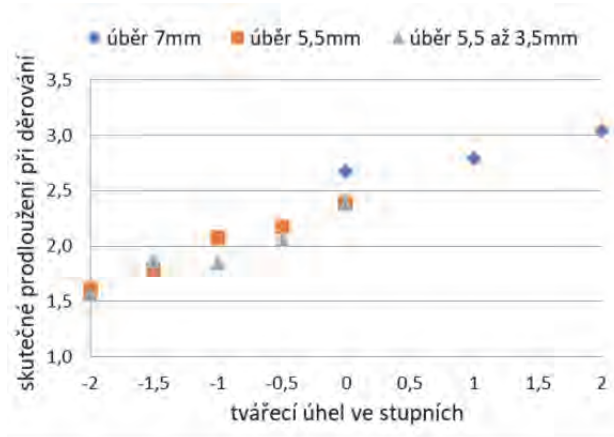
Prvou sadu tvořily tři vzorky děrované při stejném nastavení mezery mezi válci s úběrem průměru ve válcovací mezeře 7 mm a při třech nastaveních tvářecího úhlu $\beta = 0, 1$ a 2° , což prakticky představuje rozevření úhlu os válců s osou děrování ze strany vstupu materiálu do děrovací stolice.

Druhá sada se děrovala s menším úběrem 5,5 mm a u pěti vzorků byl tvářecí úhel β nejdříve 0 a poté se postupně po $0,5^\circ$ ze strany vstupu do stolice svíral.

Třetí sada čtyřmi vzorky navázala na pozici tvářecího úhlu $\beta = 0^\circ$ s úběrem 5,5 mm a dále se u dalších vzorků při svírání po $0,5^\circ$ zároveň zmenšoval úběr z původních 5,5 na 3,5 mm.

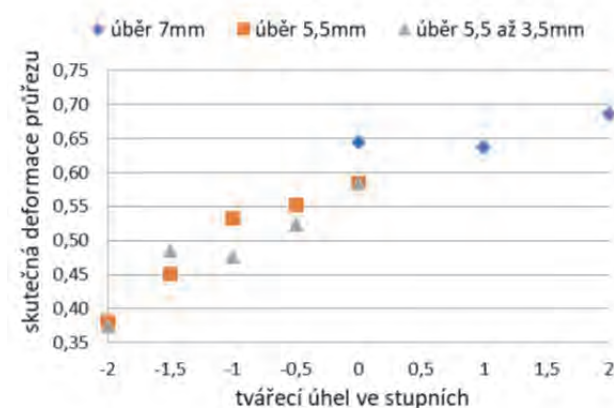
Dopad popsaných úprav děrovacích podmínek na dosažené rozměry vzorků po děrování lze sledovat v grafickém znázornění na obr. 3 až 6.

Výsledky děrování jsou znázorněny jako závislost celkového prodloužení vyděrovaných vzorků v poměru k délce výchozího špaluku na tvářecím úhlu β a velikosti úběru (obr. 3) nebo jako deformace průřezu, což je poměr mezi plochou průřezu po a před děrováním, závislého rovněž na tvářecím úhlu β a velikosti úběru (obr. 4). U všech tří pokusných sad je vidět, jak změny tvářecího úhlu β (polohy os válců) ovlivňují velikost deformace, ke které dochází při děrování. Z obr. 4 je zároveň vidět, že největší dosažená deformace při děrování u provedeného laboratorního programu přesáhla poměr průřezu 0,65, což odpovídá trojnásobnému prodloužení výchozího špaluku.



Obr. 3 Prodloužení experimentálních vzorků při děrování v závislosti na úběru a tvářecím úhlu

Fig. 3 Elongation of experimental specimens during piercing depending on material removal and forming angle

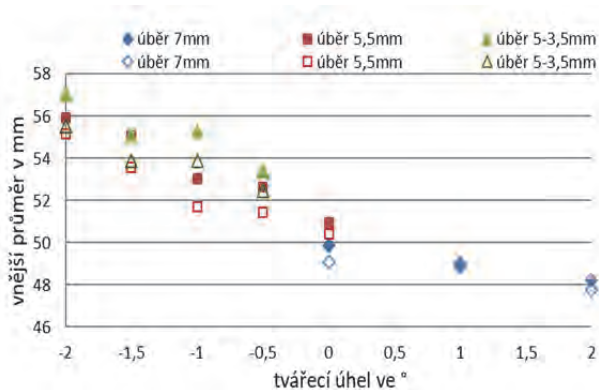


Obr. 4 Deformace průřezu při děrování v závislosti na úběru a tvářecím úhlu; střed délky vzorku

Fig. 4 Cross-section deformation during piercing depending on material removal and forming angle; middle of the sample length

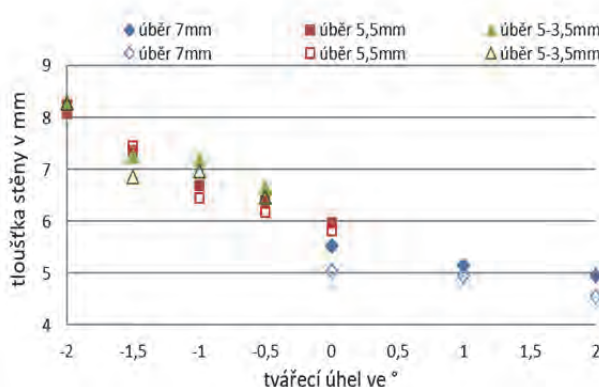
V dalších grafech jsou uvedeny měřené rozměry nebo z nich vypočtené parametry pro přední (patní) konec vzorku pomocí plných značek a pro střed vzorku pomocí značek bez výplně. Údaje pro zadní konec (hlavu) jsou vynechány, protože nejsou k dispozici pro všechny vzorky, jak bylo zmíněno výše.

Na obr. 5 a 6 jsou zachyceny dopady úběrů a tvářecích úhlů na základní rozměrové parametry po děrování, tj. na vnější průměr a tloušťku stěny dutého polotovaru. Bez ohledu na velikost úběru, konstantní nebo mírně se zmenšující, je vidět, jak tvářecí úhel β z rozevřené polohy na vstupu do děrovací stolice s postupným svíráním vede jak ke zvětšení vnějšího průměru, tak ke zvětšení tloušťky stěny. Největší deformace, jak ukazuje obr. 4, byla spojena s nejmenší tloušťkou stěny i nejmenším průměrem vzorku po děrování a naopak, nejmenší deformace se zjistila při zvětšeném průměru a velké tloušťce stěny po děrování.



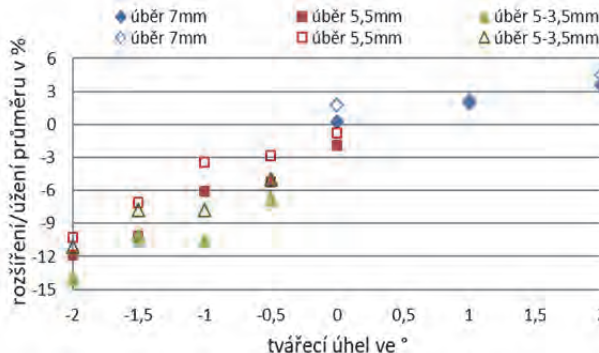
Obr. 5 Vliv velikosti úběru a tvářecího úhlu na vnější průměr vyděrovaného vzorku

Fig. 5 Effect of material removal and forming angle on outer diameter of the pierced sample



Obr. 6 Vliv velikosti úběru a tvářecího úhlu na tloušťku stěny vyděrovaného vzorku

Fig. 6 Effect of material removal and forming angle on wall thickness of the pierced sample



Obr. 7 Úžení materiálu (kladné hodnoty) a rozšíření (záporné hodnoty)
Fig. 7 Material shrinkage (positive values) and expansion (negative values)

Obr. 7 dokumentuje dosažení mezních hodnot úžení a rozšíření při laboratorním děrování za daných podmínek. Z hlediska tvářecího úhlu představuje jeho sevření na 2° již limitní hodnotu vzhledem k úhlu kuželové vstupní části děrovacích válců a patrně i vzhledem k malému aplikovanému úběru 3,5 mm. Vzhledem k dobré tvařitelnosti zkoušené oceli by jinak bylo možno uvažovat i s vyšším potenciálem rozšiřování

při děrování, než bylo možno dosáhnout provedeným experimentem. Pokud jde o úžení, byla volba velikosti tvářecího úhlu a úběru limitována výslednou tloušťkou stěny vyděrovaného vzorku, která se přibližovala 3 mm s dopadem na výše zmíněný problém smáčkutí hlavového konce. Má se za to, že při volbě většího výchozího průměru vzorků a pomocí úprav nastavení laboratorní děrovací stolice v širších mezích (tvářecí úhel i velikost úběru) by bylo možné dosáhnout pozitivních výsledků děrování i při parametrech děrování vedoucích k vyšším hodnotám úžení, než se podařilo dosáhnout při experimentech v MMV. Příklady úspěšně vyděrovaných vzorků v celé délce jsou znázorněny na obr. 8 a 9.



Obr. 8 Vzorek po ideálně povedeném děrování s nepoškozeným děrovacím trnem; nastavení úhlů $\alpha = 4^\circ$, $\beta = -1,5^\circ$, úběr 5,5 mm, deformace 45 %, průměrné rozšíření 9 %

Fig. 8 The sample after ideal piercing with undamaged piercing mandrel; adjustment of angles $\alpha = 4^\circ$, $\beta = -1,5^\circ$, material removal 5,5 mm, deformation 45 %, average expansion 9 %

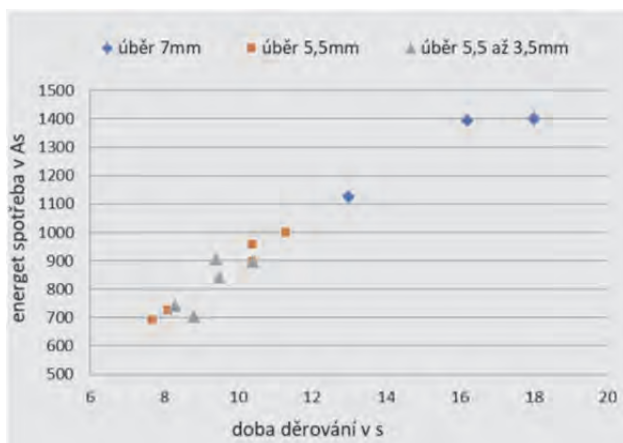


Obr. 9 Vzorek vyděrovaný s největším rozšířením cca 14 % a nejmenší deformací; nastavení úhlů $\alpha = 4^\circ$, $\beta = -2^\circ$, úběr 3,5 mm (malý), deformace okolo 36 %, průměrné rozšíření 13 %

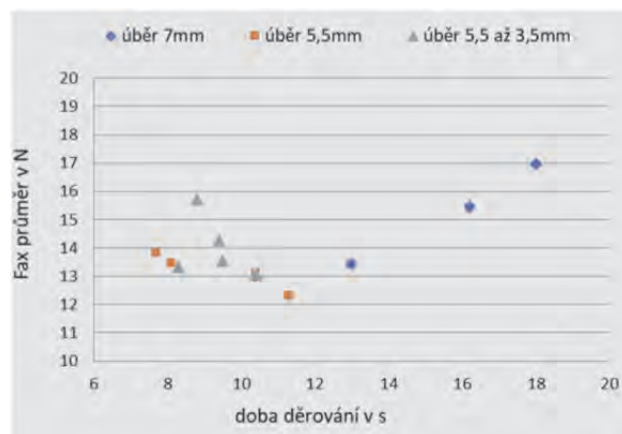
Fig. 9 Sample pierced with maximum material expansion of approx. 14 % and minimal deformation; adjustment of angles $\alpha = 4^\circ$, $\beta = -2^\circ$, material removal 3.5 mm (small), deformation about 36 %, average expansion 13 %

Kromě rozměrových charakteristik vyděrovaných vzorků byl vyhodnocen rovněž i vliv změn tvářecího úhlu na energosilové parametry děrování. Jednoznačná závislost přímé úměrnosti se ukázala ve vztahu doby děrování a energetické spotřeby vyjádřené v Ampérsekundách [As], tedy součinem průměrného příkonu a doby děrování (obr. 10). Relace obou zmíněných parametrů se velmi podobá závislosti energetické spotřeby na deformaci při děrování (obr. 11). Takto jednoznačné vztahy se však nepodařilo zaznamenat u naměřených silových veličin (obr. 12 – 14).

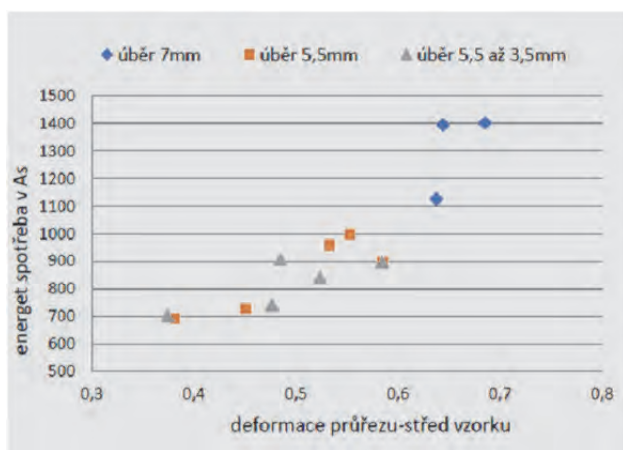
Při rostoucí době děrování vykázal krouticí moment nečekaně spíše pokles. Tlaková síla působící na děrovací trn a měřená na ložisku trnové tyče vykázala mírný vzestup s delším časem, resp. deformací při děrování, a síla působící mezi válci a děrovaným vzorkem vykázala jen malé odchylky od jakési střední hodnoty v celém rozsahu dob či deformací při děrování.



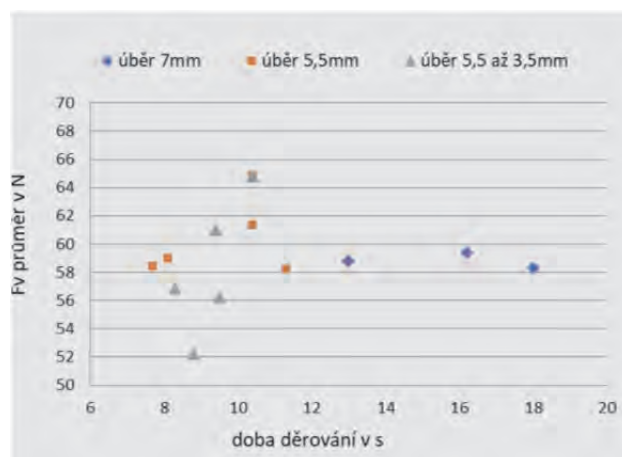
Obr. 10 Závislost energetické spotřeby na době děrování
Fig. 10 Dependence of energy consumption on piercing time



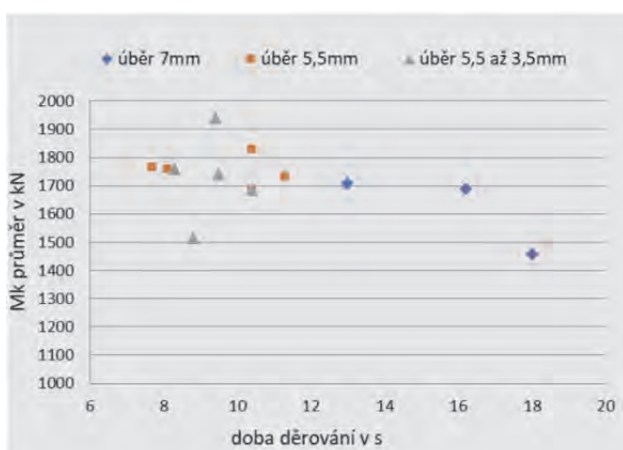
Obr. 13 Síla působící na ložisko trnové tyče v závislosti na době děrování vzorků
Fig. 13 The force applied to the bearing of the piercer bar rod depending on the duration of piercing of the sample



Obr. 11 Závislost energetické spotřeby na deformaci při děrování
Fig. 11 Dependence of energy consumption on deformation caused by piercing



Obr. 14 Závislost síly působící na kuželové (děrovací) válce na době děrování vzorků
Fig. 14 Dependence of force acting on the conical (piercing) rollers at the time of sample piercing



Obr. 12 Závislost krouticího momentu na době děrování vzorků
Fig. 12 Dependence of torque on duration of piercing of samples

Závěr

Laboratorní děrovací stolice má, jako každé laboratorní zařízení, oproti provozním možnostem jisté výhody, ale také jistá omezení. U univerzální laboratorní děrovací stolice v MMV lze však nalézt vhodné modelové podmínky srovnatelné s provozními parametry děrování, při kterých je možné využít toto zařízení k fyzikální simulaci chování materiálu při děrování, ověřování tvarů nástrojů, např. kuželových (děrovacích) válců, děrovacích trnů atp. Výsledky uvedené v tomto článku byly zaměřeny na oblast nastavení úhlů os válců děrovací stolice.

Zvětšování velikosti tvářecího úhlu ve smyslu rozevření vstupní části pásma deformace při stejném úběru vedlo ke zmenšování vnějšího průměru i tloušťky stěny děrovaného vzorku, a celkově tedy ke zvětšování deformace při děrování.

Naopak zmenšování tvářecího úhlu, tedy svírání vstupní části pásma deformace při stejném úběru, vedlo ke zvětšování vnějšího průměru i tloušťky stěny děrovaného vzorku a celkově ke zmenšování deformace při děrování. Podobné chování vykazala experimentální sada se současným zmenšováním tvářecího úhlu i velikosti úběru ve válcovací mezeře.

Při zvolených vstupních rozměrech vzorků a parametrech děrování se dosáhlo rozšíření při děrování okolo 14 % a úžení okolo 4 %.

Prodloužení doby děrování je v přímé úměrnosti s velikostí deformace u jednotlivých děrovaných vzorků, bez výraznějšího vlivu dalšího parametru, tj. úběru, resp. mezery mezi válci. Vliv doby děrování na energosilové parametry již není zcela jednoznačný. U síly se projevuje nejprve pokles a pak růst tohoto parametru, zatímco u krouticího momentu se projevuje nejprve růst a poté jeho konstantní průběh.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci čerpání a užití institucionální podpory na Dlouhodobý a koncepční rozvoj výzkumné organizace v roce 2019, poskytovatel Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.

Literatura

- [1] PEJČOCH, O. Mechanismus vzniku dutiny a podmínky optimální děrovatelnosti trubkových ocelí kosým válcováním. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě*, XII, řada hutnická, 1966 č. 5, čl. 270, s. 555–561.
- [2] POČTA, B. *Ocelové trubky*, 1. díl. Praha: SNTL, 1963, 413 s.
- [3] KAZUTAKE, K., MIZUNO, K. Study of Plastic Deformation in Cone-type Rotary Piercing Process Using Model Piercing Mill for Modelling Clay. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (2009), 4994–5001.
- [4] GUILLEAUME, C., BROSIUS, A. Simulation Methods for Skew Rolling. *Procedia Manufacturing*, 27 (2019), 1–6.
- [5] UNUCKA, P.: Laboratorní zařízení pro výzkum technologických procesů válcování bezešvých trubek. *Hutnické listy*, 65 (2012) 6, 48–52, ISSN 0018-8069.
- [6] UNUCKA, P., NOGA, R., TUROŇ, R., JURČA, R. Ověřování procesních parametrů děrování na laboratorní válcovací stolici. *Hutnické listy*, 67 (2014) 4, 36–39. ISSN 0018-8069.
- [7] KATO, K., HIRASAWA, T. Study on Plastic Deformation in Mannesmann Piercing Process Using Model Piercing Mill for Plasticine. *Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity*, 5 (1964), 485–491.

Na strojírenském veletrhu v Brně představila Liberty Ostrava nový typ důlní výztuže

Nová hut', říjen 2019, ročník X, č. 10, s. 8

Nový typ důlní výztuže, který byl na trh uveden po téměř ročním vývoji, má specifický tvar a vyznačuje se lepšími mechanickými vlastnostmi než stávající výztuže. Oproti dosud vyráběným výztužím jsou válcovány s přesnější tolerancí a dosahují vyšších únosností.

Důlní výztuže se používají především pro dobývání nerostných a uhelných ložisek v hlubinných dolech, ale také pro stavbu tunelů, vodovodů, teplovodů a kanalizací. Rozšířením portfolia důlních výztuží se hut' snaží zvýšit svou konkurenceschopnost na strategických trzích. Zavedení nové důlní výztuže umožní posílit významné postavení hutě na regionálních trzích a v tuzemsku.

Těžba uhlí se celosvětově snižuje, takže za posledních sedm let klesla roční spotřeba důlních výztuží přibližně o polovinu. Hledají se proto nové příležitosti k uplatnění výztuží.

Výroba důlních výztuží byla v ostravské huti zahájena v roce 1961. Vyrábějí se válcováním za tepla v hrubé válcovně a dokončují se za studena stříháním a ohýbáním s maximální přesností. V Česku najdeme ostravské ocelové výztuže kromě hlubinných dolů například v pražském tunelu Blanka.

Zprávy z Ocelářské unie a.s.

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	září	říjen	leden-říjen	září		říjen		leden-říjen	
	2019	2019	2019	2018	2019/18	2018	2019/18	2018	2019/18
	(tis. t)			(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)
KOKS									
ČR	128,77	133,83	1 390,65	150,09	85,80	163,04	82,08	1 540,30	90,28
AGLOMERÁT									
ČR	448,70	350,26	4 343,43	414,46	108,26	442,91	79,08	4 799,09	90,51
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	293,92	218,46	3 062,54	296,70	99,07	308,08	70,91	3 375,40	90,73
SUROVÁ OCEL									
ČR	373,89	270,50	3 868,17	374,16	99,93	375,50	72,04	4 143,39	93,36
KONTISLITKY									
ČR	348,31	244,72	3 585,45	345,43	100,84	342,43	71,47	3 864,51	92,78
BLOKOVNY									
ČR	51,28	46,69	497,69	50,63	101,27	56,27	82,98	521,87	95,37
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	356,04	329,48	3 860,44	440,04	80,91	415,54	79,29	4 333,55	89,08
TRUBKY									
ČR	32,85	33,29	339,45	38,39	85,55	45,65	72,93	389,43	87,16
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	15,43	11,78	160,37	18,07	85,39	14,27	82,57	186,74	85,88
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,13	1,11	11,17	1,42	79,75	1,28	86,68	12,42	89,93

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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

Ze života škol

Skvelý tím na Fakulte materiálov, metalurgie a recyklácie

Na slávnostnej udalosti Plese Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie (FMMR) Technickej univerzity v Košiciach spojenej s tradičnou hutníckou slávnosťou Šachtákom, ktorá sa uskutočnila 8. novembra 2019 v Dome umenia v Košiciach, sa zišli študenti, absolventi, zamestnanci, predstavitelia vzdelávacích a vedecko-výskumných organizácií zo Slovenska aj zahraničia. Okrem akademikov a priaznivcov fakulty sa na tomto podujatí zišli aj zástupcovia významných firiem a spoločností, s ktorými FMMR spolupracuje.

Celú slávnosť svojím príhovorom otvorila dekanka FMMR doc. Ing. Iveta Vasková, PhD. slovami: „Nie je ten najsilnejší, kto prežije, ani ten najinteligentnejší, ale ten, kto sa dokáže najlepšie prispôbiť. Máme svoju históriu, máme svoju budúcnosť, a to, čo teraz potrebujeme, je vidieť príležitosti a využiť ich. Rada by som pri tejto príležitosti vyslovila nádej, že naša fakulta bude aj naďalej hrdο nieseť vlajku šíriteľa vzdelanosti, bude vychovávať ďalšie a ďalšie generácie bakalárov, inžinierov a doktorandov a bude svedkom formovania budúcich generácií našich potomkov.“

Na Plese FMMR všetkých prítomných oslovil svojimi príhovormi aj prorektor pre zahraničné vzťahy a mobilitu Technickej univerzity v Košiciach doc. Ing. Radovan Hudák, PhD. v ktorých poprial fakulte veľa úspechov pri napĺňaní jej cieľov.

Súčasťou podujatia bolo odovzdávanie ceny „Osobnosť FMMR“. V tomto roku cenu získal tím zamestnancov z FMMR za projekt Chemgeneration. Ide o interaktívny vedecký program, ktorého hlavným poslaním je popularizovať vedu, zapájať študentov stredných škôl (vo veku 14 až 18 rokov) do objavovania tajomstiev chémie s cieľom porozumieť im a zároveň podnietiť ich tvorivosť a záujem o vedu. Študenti prostredníctvom tohto programu majú príležitosť zúčastniť sa na interaktívnych experimentoch a na vlastné oči sa presvedčiť, ako dokáže veda riešiť každodenné problémy a aká je jej dôležitá úloha pri záchrane planéty.

Vedecký program Chemgeneration je organizovaný pod patronátom svetovej chemickej spoločnosti BASF v spolupráci s univerzitami a vedeckými inštitúciami v strednej Európe. Na Slovensku tento program vznikol práve v spolupráci s tímom z FMMR Technickej univerzity v Košiciach, ktorý tvoria: doc. RNDr. Alena Fedoročková, PhD., doc. Ing. Gabriel Sučík, PhD., Ing. Ľuboš Popovič, PhD., RNDr. Jana Kavuličová, PhD., Ing. Dana Ivánová, PhD. a Ing. Maryna Kyslytsyna.

Toto ocenenie odzrkadľuje ciele fakulty, že práve tvorivosť, kreativita a záujem riešiť problémy vo vede sú základom pre úspešnú kariéru a riešenie problémov v praxi pre našich absolventov po ich opustení brány alma mater.



Z odovzdania ceny Osobnosť FMMR zástupcom kolektívu projektu Chemgeneration (zľava: prorektor pre zahraničné vzťahy a mobilitu Technickej univerzity v Košiciach doc. Ing. Radovan Hudák, PhD., dekanka FMMR doc. Ing. Iveta Vasková, PhD. a ďalej vyznamenaní členovia riešiteľského kolektívu Ing. Dana Ivánová, PhD., doc. Ing. Gabriel Sučík, PhD. a Ing. Maryna Kyslytsyna, prezident spoločnosti U. S. Steel Košice James Bruno)

– red.–, foto: archiv

Studenti ve vědecko-výzkumné činnosti

Katedra metalurgie a slévárenství Fakulty materiálově-technologické Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava trvale usiluje o zvyšování povědomí o současných trendech při výrobě a zpracování oceli nejen mezi laickou a odbornou veřejností, ale snaží se podpořit zájem o obor i u svých studentů. Letos se proto měli možnost oborové studenti magisterského a doktorského studia zúčastnit 24. celostátního školení tavičů a mistrů oboru výroby oceli a litiny pořádaného ve dnech 25. až 27. září 2019 v rekreačním zařízení ŽĐAS, a.s. ve Svatce. Akce se zúčastnilo přibližně 95 zájemců z podniků a škol. Součástí školení byla i soutěž jednotlivých týmů ve znalostech. Studenti doktorského studia katedry metalurgie a slévárenství Fakulty materiálově-technologické Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava obsadili pěkné druhé místo, hned za svými kolegy z Fakulty strojní Vysokého učení technického v Brně. Hlavním cílem akce ale nebylo vyhrát, nýbrž zúčastnit se, pobavit se, prohloubit vztahy mezi univerzitami a podniky či navázat nové kontakty a především obohatit své znalosti v dané oblasti v rámci řešení vědecko-výzkumných projektů katedry s podniky.



Art and Science a Noc vědců

V letošním roce se již tradičně zapojili akademičtí pracovníci katedry metalurgie a slévárenství a katedry tváření materiálů do veřejných akcí, které mají podpořit zájem veřejnosti o technické obory. Že ocel a metody výzkumu její výroby a zpracování nepatří do „starého železa“, se mohli přesvědčit návštěvníci Art and Science či Noci vědců.

Na Art and Science, která se uskutečnila 5. 9. 2019 v areálu a prostorách Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, byly současné trendy výroby a zpracování oceli představeny pod názvem Nesmrtelná ocel. Kromě technických informací si mohli návštěvníci vyzkoušet ale i své znalosti, vyrazit si vlastní minci či vyrobit ocelový šperk z ocelových drátků.



Obdobně byla koncipována i prezentace v rámci Noci vědců, konané dne 27. 9. 2019. Při této příležitosti však využili akademičtí pracovníci katedry metalurgie a slévárenství a katedry tváření materiálů zázemí expozice U6 v Dolní oblasti Vítkovic, která nabízí například pohled do řídicí kabiny vysoké pece pro výrobu surového železa či modely výrobních zařízení oceli. Během 4 hodin si tak přišlo vyslechnout komentované prohlídky bezmála 200 návštěvníků. Návštěvníci si mohli ale i zasoutěžit o drobné upomínkové předměty či se svými dětmi strávit čas nad výrobou železorudných peletek

Workshopy technických oborů vzbudily zájem

Studentů technických oborů ubývá a zájem o techniku je proto potřeba vzbuzovat již u dětí. I z toho důvodu se akademičtí pracovníci Katedry metalurgie a slévárenství i Katedry tváření materiálu z Fakulty materiálůvě-technologické VŠB – Technické univerzity Ostrava zapojili do projektu „Zlepši si techniku“ a cíleně připravují workshopy „Technologie výroby kovů“ pro děti druhého stupně základních škol a studenty středních škol. Programy workshopů jsou sestavovány na míru podle potřeb jednotlivých škol. Jde o spojení teoretické přípravy s praktickými ukázkami a cvičeními. Žáci se dozvědí ucelenou informaci o daném oboru, ale zároveň se zapojí do konkrétní činnosti. Individuální práce se školními kolektivy probíhají v učebnách a laboratořích Fakulty materiálůvě-technologické.



Letos na podzim si měli možnost v rámci workshopů procvičit své znalosti a dovednosti děti ze Základní školy A. Hrdličky z Ostravy-Poruby či studenti Střední průmyslové školy v Ostravě Vítkovicích. Během workshopů se žáci seznámili s teorií výroby a tváření oceli, zhlédli animační ukázky, navštívili laboratoř fyzikálního a numerického modelování a laboratoř válcování tyčí. Po krátké přestávce se žáci rozdělili do týmů a soutěžili ve znalostním a poznávacím kvízu, skládání technického puzzle a válcování na modelech válcovacích stolic. Za svou statečnost získali ocenění, diplomy, hodnotné ceny i certifikáty o absolvování školení. Věříme, že akce vryla do srdcí naší mladé generace nesmazatelnou stopu, vzbudila jejich zájem o obor a povede k jejich studiu na naší alma mater.

Text i foto: doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.

Hutnictví ve světě

HANNOVER MESSE 2020 se blíží

tisková zpráva, říjen 2019

Veletrh HANNOVER MESSE 2020 proběhne ve fázi technologických proměn a ekonomicko-politických výzev. Nové vedoucí téma Industrial Transformation předního světového průmyslového veletrhu, kterého se zúčastní okolo 6000 vystavovatelů, odkryje šance, které plynou z nových technologií, změny chování na straně poptávky a rostoucího povědomí o nutnosti ochrany klimatu.

Digitalizace, individualizace a ochrana klimatu, tři megatrendy, jsou motorem proměny průmyslu. Současně je průmysl konfrontován s výzvami rámcových ekonomicko-politických podmínek. „Vstupujeme do fáze změn, jaké jsme už dlouho nezažili,“ říká Dr. Jochen Köckler, předseda představenstva veletržní správy Deutsche Messe AG. „Veletrh HANNOVER MESSE má v této fázi mimořádně velkou důležitost, protože je jedinou veletržní platformou, která komplexně odráží a kontinuálně provází proces průmyslové transformace. Díky rozmanitosti a kompetenci našich vystavovatelů z různých oblastí udává veletrh HANNOVER MESSE s jeho vedoucím tématem Industrial Transformation směr a je zdrojem impulzů pro globální a digitálně propojený průmysl.“

Průmyslová klientela má dnes jiné požadavky než ještě před několika roky. Výzkum, vývoj, výroba, logistika a energetika se přizpůsobují novému chování na straně poptávky. Podniky stojí před výzvou, jak tuto proměnu aktivně spoluutvářet. Součástí agendy veletrhu HANNOVER MESSE jsou témata jako Průmysl 4.0, Logistika 4.0, umělá inteligence, 5G a emisně neutrální výroba stejně jako řešení pro lehké konstrukce nebo další vývoj elektropohonů.

Tato veletržní témata spolu s důrazem na průmyslovou transformaci reagují přesně na potřeby a zaměření vystavovatelů z oblasti strojírenství. „Strojírenské firmy ukážou mezinárodnímu publiku svou sílu prostřednictvím nabídky řešení pro digitálně propojený svět výroby. To platí pro celý řetězec tvorby hodnot – od nákupu materiálu přes výrobu a logistiku až po zásobování energiemi nebo nové možnosti prodeje prostřednictvím digitálních platform. Vystavující firmy zde mohou samy nasbírat zkušenosti pro proces potřebných změn ve svých firmách. Veletrh HANNOVER MESSE je jedinečným místem setkávání, které ukazuje cestu do budoucnosti,“ říká Thilo Brodtmann, hlavní jednatel VDMA (Svaz německých výrobců strojů a zařízení).

Ředitelé průmyslových podniků, inženýři z vývoje a konstrukce, vedoucí výroby, vedoucí logistiky a IT, manažeři podniků pro zásobovací řetězec a energetiku najdou na veletrhu HANNOVER MESSE všechny

technologie od komponent přes systémová řešení až po digitální ekosystémy. Veletrh jim tak pomůže zajistit konkurenceschopnost a dále rozvíjet obchodní model firmy.

Mezi šesti tisíci vystavujícími firmami jsou ABB, Amazon Web Services, Arburg, Beckhoff, Bosch Rexroth, Cisco, Dematic, Endress+Hauser, Festo, Fraunhofer, Harting, IBG, IBM, ifm, igus, Kawasaki, Knapp, Lapp, Lenze, Microsoft, Mitsubishi, Phoenix Contact, Pepperl+Fuchs, Rittal, SAP, Schaeffler, Schneider Electric, Schunk, SEW-EURODRIVE, SICK, Siemens, Software AG, Still, Toyota Materials Handling, Wago, Weidmüller nebo Yaskawa.

J. Köckler dodává: „Na veletrhu HANNOVER MESSE se představí průmysl ve své plné síle. Návštěvníci zde zažijí celý proces od vývoje produktů přes výrobu až po nový obchodní model založený na datech. Pro inteligentní továrnu je nezbytné těsné digitální propojení výroby a logistiky.“

Vedoucí světový průmyslový veletrh HANNOVER MESSE představí v rámci zastřešujícího tématu Industrial Transformation všechny aktuální oblasti průmyslu jako je Průmysl 4.0, umělá inteligence, 5G nebo smart logistics. Výstavními oblastmi jsou: Future Hub, Automation, Motion & Drives, Digital Ecosystems, Energy Solutions, Logistics & Engineered Parts & Solutions. Program veletrhu doplní přes 80 konferencí a fór. Příští veletrh se koná 20. – 24. dubna 2020. Partnerskou zemí veletrhu HANNOVER MESSE 2020 je Indonésie.

Evropská ocel v číslech 2019

www.ocelarskaunie.cz, 19.3.2019

Evropská ocel v číslech 2019 (74 str.) je právě vydaným statistickým průvodcem Evropské asociace oceli (EUROFER). Zachycuje sektor na samém konci období růstu, během něhož se zaměstnanost začala zotavovat a poptávka po oceli se kontinuálně zvyšovala. Je však také patrné ohrožení rostoucím dovozem, který v průběhu roku 2018 vzrostl o 12 %. To bude mít dopad na budoucí údaje o zaměstnanosti, nicméně rok 2018 si připsuje nárůst pracovních míst. V odvětví bylo opět 330 000 přímých pracovních míst jako v letech 2014–2015. Celková zaměstnanost, tedy pracovní místa přímá i nepřímá – navázaná na odvětví – nyní činí 2,6 milionu. Celková hrubá přidaná hodnota sektoru v roce 2018 byla 148 miliard EUR.

Tento průvodce poprvé představuje obchodní mapu, která znázorňuje dovoz a vývoz z EU. Srozumitelným názor-

ným způsobem tak rozkládá dříve používaná čísla. Kromě toho se publikace mnohem podrobněji věnuje oblasti udržitelnosti. Obsahuje podrobné informace o produkci strusky a její další využití navazujícími odvětvími.

Průvodce můžete stáhnout na www.eurofer.eu European Steel in Figures 2019.

EU navýšila kvóty na dovoz oceli do Evropy a ohrožuje tím pracovní místa v ocelářství

Nová huť, srpen 2019, ročník X, č.8., s. 7,14

V roce 2018 zaznamenaly dovozy levné oceli do Evropy prudký nárůst o 13% na celkem 39,2 mil. tun, což představuje roční výrobu 15 velkých hutních podniků velikosti českých integrovaných hutí. Přesto, že trh stagnuje a že se na podzim 2019 očekává v rámci EU pokles poptávky po oceli, došlo letos již dvakrát k navýšení dovozních kvót. Eurofer kritizuje Komisi za ignorování oprávněných obav ocelářství z navyšování kvót, které neodráží vývoj situace na trhu. Komise tak ponese velký díl zodpovědnosti za to, že dojde k ohrožení zaměstnanců ocelářského průmyslu, jelikož se odvětví zbytečně zmenšuje, a to i přes závažná varování výrobních společností a členských států. Celkově sektor zajišťuje v rámci EU 2,6 mil. pracovních míst včetně přímých, nepřímých a míst v navazujících odvětvích. Eurofer formuloval celou řadu doporučení, jak zlepšit fungování ochranných opatření. Aby firmy vyrábějící ocel v EU mohly být konkurenceschopné, musejí dovozci ze zemí mimo Unii dodržovat srovnatelné podmínky, jaké platí pro zdejší producenty oceli. Hlavně pracovní podmínky a ekologické parametry. Pokud takové podmínky nedodržují, pak se EU musí bránit daňovými a dalšími opatřeními, které jejich levné dovozy prodraží. Zvyšování kvót na dovoz oceli bez zmíněných opatření by mohlo mít pro oceláře v EU neblahé důsledky.

Česká výroba a obchod s ocelí v roce 2018

www.ocelarskaunie.cz, 19.3.2019

V roce 2018 se v Česku vyrobilo 5 milionů tun surové oceli, což je o desetinu víc než v roce 2017. Dovoz do ČR i do EU vloni byl nejvyšší v historii. Domácí spotřeba loni dosáhla 7,2 mil. tun.

Tradičně se dařilo výrobcům trubek, kteří jich vyrobili přes půl milionu tun, tedy stejně jako mnohem větší Francie.

Český export vzrostl meziročně o 6 % na 4,9 mil. tun, přičemž jeho hodnota dosáhla díky zaměření na sofistikovanější výrobky rekordu: 108 miliard korun. Objem dovážené oceli bohužel rostl ještě rychleji a dosáhl historického maxima: 7,5 mil. tun. Z loňských čísel je patrné, že

se nám daří zvyšovat hodnotu exportu, ale i to, že dovozy do Česka i Evropy jsou na rekordní úrovni kvůli přetrvávající nadkapacitě v Číně a dalších rozvíjejících se zemích.

Klíčovým trhem pro českou ocel zůstává Evropa, kam mířilo plných 89 % exportu. Německo je pak nejen naším největším odběratelem s 24 %, ale zároveň i dodavatelem s podílem 21 % z celkového objemu dovozu.

Pozici největšího světového producenta oceli potvrdila Čína, která vyrobila 928 mil. tun, což je přes polovinu globální produkce a o 100 mil. tun víc než rok předtím. Výroba v zemích EU dosáhla loni 168 mil. tun, což je méně než v roce 2017, ale stále víc než americká a ruská produkce dohromady (87 a 72 mil. tun). Evropa loni dovezla rekordních 43 mil. tun a dovážená ocel dále vytlačovala evropskou produkci. USA a EU zůstávají zdaleka největšími cílovými trhy pro cizí ocel, když dohromady dovezly 75 mil. tun výrobků, tj. pětikrát víc než Čína.

EU v únoru zavedla v reakci na americká cla konečná ochranná opatření, která budou platit až do 30. 6. 2021. "Čeští oceláři nejsou z ochranných opatření nijak nadšeni, nicméně když politická krátkozrakost přivedla svět na kraj obchodní války, není jiná možnost než se bránit" vysvětluje Jan Czudek, prezident Ocelářské unie.

V dalších dvou letech Ocelářská unie očekává zpomalování evropské ekonomiky včetně klíčových sousedních zemí, což negativně ovlivní i české oceláře.

Rozvojové projekty pro zvýšení produkce a kvality transformátorové ocele

www.ocelovepasy.cz, www.ocelarskaunie.cz 16.11.2019

Pod tímto názvem uskutečnila Společnost OCELOVÉ PÁSY ve dnech 13. - 15. 5. 2019 pro své členy svůj již 83. pracovní seminář, věnovaný problematice transformátorových ocelí (GOES). Seminář organizoval jediný výrobce těchto progresivních ocelí v České republice, firma GO Steel Frýdek Místek a.s. Závod byl ještě nedávno součástí ArcelorMittal Ostrava než byl prodán polské firmě Stalprodukt, která vyrábí podobný sortiment. Společná kapacita výroby tak nyní dosahuje asi 150 kt/r.

V přednáškové části semináře účastníci vyslechli přednášky „Využití doménového zjemňování metodou Laser Scribing pro zlepšení elektromagnetických vlastností transformátorových ocelí“ a „Aplikace nových bezchromových izolací na transformátorové pásy na termorovnacích linkách“, doplněné dvěma přednáškami o inovacích výrobního zařízení.

Na závěr semináře byla exkurze do výrobního závodu, kde měli účastníci mj. možnost vidět nové zařízení pro aplikaci technologie Laser Scribing.



36. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli

1. OZNÁMENÍ

2. - 3. dubna 2020

Wellness Hotel Energetic****

Rožnov p. Radhoštěm, Česká republika



TANGER, spol. s r.o.
VŠB - Technická univerzita Ostrava

© 2019 TANGER, spol. s r.o.

VŠEOBECNÉ INFORMACE

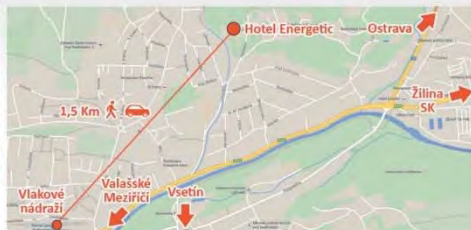
DOPRAVA

Beskydský hotel Energetic**** se nachází v malebném valašském městečku Rožnov pod Radhoštěm. Historické centrum města je dostupné pěšky, cca 15 minut chůze.

Autobusem - Spojte přes Rožnov pod Radhoštěm.

Vlakem - Rychlíková stanice Valašské Meziříčí, dále osobním vlakem do stanice Rožnov pod Radhoštěm.

Autem - Dojezd až k hotelu, parkoviště.



DŮLEŽITÁ DATA A TERMÍNY

FEB 1	FEB 15	MAR 15	MAR 15	APR 1	APR 2	APR 2
ABSTRAKTY	PLNÉ TEXTY	REGISTRACE	PLATBY	NAHRÁNÍ PREZENTACE	ZAHÁJENÍ	SPOLEČENSKÝ VEČER

REKLAMA A SPONZOŘI

Ceny uvedeny bez DPH 21%

Firemní prezentace formou přednášky (vstup zdarma pro 1 účastníka)	5.000,- Kč
Doprovodná výstavka po dobu konání konference* (vstup zdarma pro 1 účastníka)	7.000,- Kč
Barevná reklama na vnějším obalu Sborníku (obsazeno)	8.000,- Kč
Barevná reklama uvnitř Sborníku	6.000,- Kč
Černobílá reklama uvnitř Sborníku	4.000,- Kč
Logo v sále	3.000,- Kč
Distribuce propagačních materiálů při prezenci účastníků	1.000,- Kč
SPONZOR KONFERENCE	20.000,- Kč

*) Vystavovatelé jsou povinni vystavované předměty pojistit pro případ poškození, krádeže, apod.

TEMATICKÉ OKRUHY, TERMÍNY, VLOŽNÉ,
DOPRAVA, HOTEL, OKOLÍ, INSTRUKCE PRO
AUTORY, REGISTRACE, VLOŽENÍ ABSTRAKTŮ,
PŘEDNÁŠEK A PREZENTACÍ ATP:

www.OCELARI.cz



INTERNET NA KONFERENCI



KONTAKTY

ústředna +420 595 227 111

Bc. Monika BAROŠOVÁ
koordinátorka konference +420 595 227 121

Ing. Kateřina SEDLÁČKOVÁ
zástupce +420 595 227 117

Eva HŮLOVÁ
koordinátorka občerstvení +420 595 227 112

Fax: +420 595 227 110
E-mail: info@ocelari.cz

OCELÁŘI 2020
TANGER, spol. s r. o.
Pavlovova 2644/6
704 00 Ostrava
Česká republika, EU

Banka
ČSOB a.s., Ostrava,
č.ú.: 9595143/0300
VS: číslo pokynu k platbě

Prosíme registrujte se na:
www.OCELARI.cz



METAL[®] 2020

**29. ročník mezinárodní
konference metalurgie a materiálů**

20. - 22. května 2020

Hotel Voroněž I, Brno Česká republika, EU



Registrace je zahájena - [METALCONFERENCE.eu](https://www.metalconference.eu)

V případě přihlášení přednášky nebo posteru máte nárok na autorské vložné.

Zvýhodněné vložné pro "Early Bird" registraci platí do 31.3.2020.

Proč přijet na METAL?

- Konference s téměř třicetiletou historií, která propojuje různé výzkumné komunity s aplikační sférou;
- témata konference reagují na aktuální výzvy a trendy ve výzkumu metalurgie a materiálů;
- největší akce svého druhu ve Střední Evropě;
- ceny pro vítěze Soutěže o nejlepší poster;
- kulturní doprovodný program;
- sborník konference je zaslán ke zveřejnění ve Web of Science a Scopus;
- atraktivní konferenční poplatek, zahrnující kompletní catering a účast na společenském večeru spolu s ochutnávkou vín a živou hudbou.

KONTAKT

METAL 2019
TANGER, spol. s r. o.
Pavlovova 2644/6
704 00 Ostrava-Zábřeh

tel: +420 595 227 117

mobil: +420 774 435 816

e-mail: info@metalconference.eu

TEMATICKÉ OKRUHY, TERMÍNY, VLOŽNÉ, DOPRAVA, HOTEL, OKOLÍ, INSTRUKCE PRO AUTORY,
REGISTRACE, VLOŽENÍ ABSTRAKTŮ, PŘEDNÁŠEK A PREZENTACÍ, PLATBY ATP:

www.METALCONFERENCE.eu