

ROČNÍK/VOL. LXXII
ROK/YEAR 2019

6

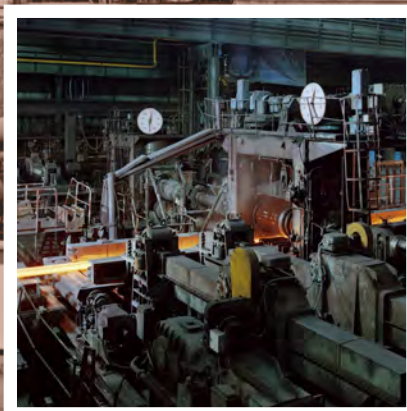


Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

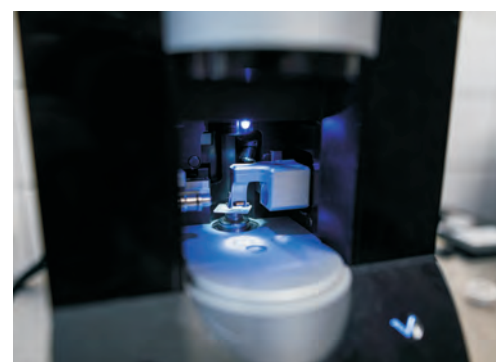
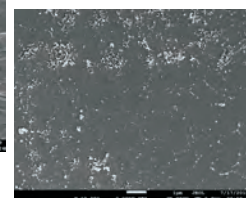
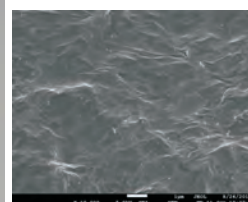
ODBORNÝ ČASOPIS PRO METALURGII A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ
PROFESSIONAL PERIODICAL FOR METALLURGY AND MATERIAL ENGINEERING

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069



STUDIJ NANOTECHNOLOGIE A NANOMATERIÁLY

- Naučíš se nanomateriály připravovat a charakterizovat
- Budeš pracovat s moderními přístroji, například s transmisním elektronovým mikroskopem a mikroskopem atomárních sil



Podrobnější informace najdete na adrese:

**www.fmt.vsb.cz
www.cnt.vsb.cz**

**www.facebook.com/studujmaterialy/
www.instagram.com/studuj_materialy/**

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 Parířák, CSc.
Ing. Vladimír Toman
Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.
prof. Wei SunPolitechnika Śląska, Katowice, Polsko
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
Southern Illinois University, Carbondale, USA
School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, China
TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Trinec, Česká republika
Univerzita obrany, Brno, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
Colorado School of Mines, USA
ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
Ocelářská unie, a.s., Praha, Česká republika
Liberty Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika
University of Nottingham, UK

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

Časopis vychází 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 výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

- doc. Dr. Ing. Monika Losertová; Ing. Veronika Jordanovová; Ing. Michal Štencek; Ing. Tereza Lukášová* 4
Vlastnosti nanostrukturovaných povlaků na slitině Ti6Al4V
Properties of nanostructured coatings on Ti6Al4V
- Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň* 12
Studium vnášení legující přísady bizmutu do taveniny automatové oceli v podmínkách atmosférické indukční tavicí pece
Study of Alloying Bismuth Additive into the Melt of Free-cutting Steel in Conditions of Atmospheric Induction Melting Furnace
- Ing. Michal Štencek; doc. Dr. Ing. Monika Losertová; prof. Ing. Jaromír Drápala, CSc.; Ing. Dalibor Matýšek, Ph.D.* 16
Vliv tepelného zpracování na strukturu a vlastnosti biokompatibilní NiTi slitiny
Influence of Heat Treatment on Structure and Properties of Biocompatible NiTi Alloy
- Ing. Jan Škoda; doc. Dr. Ing. Monika Losertová; Ing. Kateřina Konečná, Ph.D.; Ing. Vojtěch Machalla; Ing. Petr Czyz* 22
Vliv mikrostruktury na mechanické vlastnosti v tahu a charakter lomových ploch slitiny Al-Mn
Influence of microstructure on tensile mechanical properties and fracture feature of Al-Mn alloy
- Ing. Vojtěch Kubeš; doc. Dr. Ing. Monika Losertová; Ing. Kamila Dostálová; prof. Vittorio Di Cocco; prof. Francesco Iacoviello* 29
Mikrostruktura a mechanické vlastnosti slitiny Ti6Al4V připravené metodou selektivního laserového tavení
Microstructure and mechanical properties of Ti6Al4V alloy prepared by selective laser melting
- Ing. Martin Lampa, Ph.D.; Bc. Barbora Čapková; doc. Ing. Andrea Samolejová, Ph.D.* 35
Identifikace úzkých míst projektového managementu a jeho možné zlepšování v průmyslovém podniku
Identification of bottlenecks in project management and its possible improvement in an industrial enterprise
- Ing. Martin Lampa, Ph.D.; Bc. Barbora Čapková; doc. Ing. Andrea Samolejová, Ph.D.* 45
Využití metody VSM při analýze materiálového toku v průmyslovém podniku
Use of the VSM method in the analysis of material flow in an industrial enterprise

Informační články / Informative Articles

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

- Jiří Dufek* 51
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

Nová literatura / New Literature

- Slovo děkanky* 53
Petr Kašing aj. Příběh jedné fakulty 1849 – 2019 54
(Recenze Ing. Jan Počta, CSc.)

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

Konference „Iron and Steelmaking 2019“ 57

Společenská kronika / Social Chronicle

Odišel prof. Ing. Lubomír Mihok, DrSc. 58

Rozloučení s Ing. Frankem Wheelerem, CSc. 60

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části

• Ocelářská unie a.s. • VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická • Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálů, metalurgie a recyklácie • redakce

Inzerce

• TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. • VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická
• Czech Energy Team, s. r. o.

Recenzované výzkumné články

Vlastnosti nanostrukturovaných povlaků na slitině Ti6Al4V

Properties of nanostructured coatings on Ti6Al4V

doc. Dr. Ing. Monika Losertová; Ing. Veronika Jordanovová; Ing. Michal Štencek; Ing. Tereza Lukášová

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

Pro výrobu implantátů používaných v ortopedii, traumatologii a stomatologii se používají titanové slitiny, jejichž povrchové vlastnosti je možné modifikovat pomocí kompaktního nebo nanostrukturovaného povlaku TiO_2 . Nejčastěji používaná slitina Ti6Al4V je považována za vhodný materiál pro biomedicínu díky řadě jedinečných vlastností, jako je například biokompatibilita, dobrá mechanická pevnost nebo dobrá korozní odolnost. Velký potenciál pro zlepšení osteointegrace trvalého nebo dlouhodobého implantátu představuje úprava povrchů titanových materiálů pomocí povlaků tvořených samoorganizovanými nanotrubičkami TiO_2 , které podporují adhezi, proliferaci a diferenciaci osteoblastů. V této práci byl studován vliv charakteru povrchu Ti6Al4V substrátu a parametrů anodické oxidace na strukturní a korozní vlastnosti povlaků tvořených nanotrubičkami TiO_2 , které byly připraveny současnou oxidací povrchu a zároveň řízeným rozpouštěním oxidického filmu díky přítomnosti fluorových iontů. Anodizace probíhala na broušených nebo leštěných vzorcích po dobu 1 hodiny při zvoleném anodizačním napětí 30 V a za pokojové teploty. Vybrané anodizované vzorky byly následně 2 hodiny žhánuty při teplotě 500 °C v průtoku argonu. Korozní zkoušky ve fyziologickém roztoku prokázaly u vzorků s leštěným povrchem bez následné anodické oxidace nejnižší rychlost koroze, tedy 0,0043 mm za rok, zatímco u anodizovaných a anodizovaných-tepelně zpracovaných vzorků měla korozní rychlost rostoucí tendenci, tedy 0,0182 a 0,0998 mm za rok.

Klíčová slova: Ti6Al4V; mikrostruktura; oxidický povlak; anodizace; TiO_2 nanotrubičky; koroze; SEM

Titanium-based alloys are currently used as a biocompatible material for orthopedic, traumatology or dental implants and their properties can be modified by means of compact or nanostructured TiO_2 coating. Ti6Al4V alloy that is most commonly used is considered as convenient biomedical material due to its unique properties as a biocompatibility, good mechanical strength and corrosion resistance. The implant osseointegration can be improved by coating formed of self-organized TiO_2 nanotubes on titanium-based material surface that represents great potential in promoting osteoblast adhesion, proliferation and differentiation. This study was focused on the influence of surface features of the Ti6Al4V substrates and anodic oxidation parameters on the structure and corrosion properties of TiO_2 nanotube coatings that were formed by simultaneous surface oxidation and controlled dissolving of an oxide film due the fluorine ions. The anodization process was performed at 30 V for 1 hour and at room temperature on ground or polished experimental samples. Afterwards, selected samples were annealed at 500°C for 2 hours under flowing argon. The test of corrosion resistance in physiological solution showed the lowest corrosion rate of 0.0043 mm per year for the samples in polished and not-anodized condition, while increasing tendency of the corrosion rate was stated for as-anodized and anodized-heat treated samples when the values of 0.0182 and 0.0998 mm per year were reached, respectively.

Key words: Ti6Al4V; microstructure; oxide coating; anodization; TiO_2 nanotubes; corrosion; SEM

1. Úvod

Nanomateriály dnes představují velký potenciál pro zlepšení vlastností u mnoha produktů používaných v běžném životě. Jedinečné vlastnosti, které nanomateriály poskytují v široké škále aplikací, podpořily rychlý vývoj nanotechnologií. Velká pozornost je věnována zejména TiO_2

nanotrubičkám (NT) [1-3], které mají obrovský potenciál pro použití nejen v lékařství, ale také v plynových senzorech nebo solárních článcích.

Implantáty z nerezové oceli AISI 316L nebo slitiny Ti6Al4V, které se v současnosti pro biomedicínské aplikace nejvíce používají, vykazují v prostředí lidského těla stále rostoucí počet nepříznivých reakcí. Nežádoucí

procesy v souvislosti s korozními účinky tělních tekutin na materiál ortopedických, traumatologických, chirurgických nebo zubních implantátů následně ovlivňují nejen jejich životnost, ale mohou způsobit vážné zdravotní komplikace, jako například alergické nebo zánětlivé reakce.

Slitina Ti6Al4V, která se používá v lékařství jako biokompatibilní materiál díky mnoha jedinečným vlastnostem, může během kontaktu s korozivním prostředím lidského těla korodovat, a to i přesto, že je povrch chráněn oxidickou vrstvou [4]. Na druhé straně může modifikace povrchové struktury díky vzniku vrstvy, tvořené samoorganizovanými TiO_2 NT, usnadnit osteointegraci implantátu [5]. V současné době zůstává také důležitým problémem zvýšení biokompatibility implantátu s kostní tkání v souvislosti s potlačením bakteriálních infekcí [6].

Optimalizace korozních vlastností implantátů může být dosaženo různými metodami ochrany povrchů, jako je například tepelné nebo elektrochemické zpracování, dále také nanášení povlaků chemickou (CVD) nebo fyzikální (PVD) depozicí z par. Nicméně proces anodizace (nebo elektrochemické oxidace) je velmi běžnou metodou povrchové úpravy, který je často využíván při zpracování titanu nebo hliníku a jejich slitin. Metoda anodické oxidace s relativně nově optimalizovanými parametry procesu umožňuje připravit rovnoměrné nanostrukturované povlaky tvořené vysoce uspořádanými TiO_2 NT. Tato metoda, která je navíc velmi jednoduchá, levná, flexibilní a všestranná, umožňuje omezit či potlačit výše zmíněné nežádoucí korozní nebo zánětlivé účinky.

Principem metody přípravy povlaku s TiO_2 NT na titanovém substrátu pomocí anodizace je současná oxidace povrchu a řízené rozpouštění vzniklé oxidické vrstvy vlivem iontů fluoru (F^-) přítomných v roztoku. Příprava požadovaných morfologických a geometrických parametrů TiO_2 NT je důsledkem výzkumu různých metod anodizace substrátů Ti nebo Ti6Al4V ve vodných, bezvodých nebo organických elektrolytech [1,5]. Fyzikální vlastnosti a morfologii TiO_2 NT významně ovlivňují různé procesní parametry anodizace, jako je typ, složení, pH a teplota elektrolytu, a dále doba procesu a aplikované napětí. Dosud se poměrně málo publikací soustředilo na účinky pnutí vyvolané nevhodnou volbou anodizačního napětí. Podle autorů v [3] je při napětí vyšším než 80 V tvorba TiO_2 NT téměř nemožná. Nedávné výsledky výzkumu v oblasti anodizačního procesu [7-9] stanovily jako vhodné napětí v rozmezí od 10 do 75 V. K důležitým parametrům anodizace patří rovněž obsah iontů F^- v elektrolytu, neboť většinu případů vede absence těchto iontů k vytvoření kompaktní oxidické vrstvy TiO_2 [10].

Dalším důležitým parametrem, který může ovlivnit vlastnosti výsledné NT vrstvy, je charakter povrchu substrátu. V případě Ti6Al4V je charakter anodizovaných vrstev značně ovlivněn mikrostrukturou samotné slitiny, a tedy morfologií fáze α (hexagonální těsně uspořádaná struktura) a β (kubická prostorově centrovaná struktura) [11], které reagují odlišně [12] v chemických roztocích.

Povrchová úprava pomocí TiO_2 NT u skeletálních nebo zubních implantátů je zaměřena především na prevenci odmítnutí implantátu organismem, a tedy na prevenci reoperací, které by mohly být riskantní z hlediska pacientova života [6]. Z tohoto pohledu je dopad struktury a morfologie TiO_2 NT na jejich využití v povlacích implantátů velmi významný. Morfologie a složení TiO_2 NT ovlivňují biologickou kompatibilitu povrchu titanového implantátu prostřednictvím podpořené bioaktivity kostních buněk, jak bylo zjištěno při in vitro experimentech [8,13]. Pro podrobnější určení vlivu parametrů anodizace a mikrostruktury na vznik vnitřního pnutí v NT povlacích je nutné provést další experimentální studium.

V této práci byl studován vliv stavu povrchu substrátů na korozní vlastnosti vzorků bez anebo s povlakem TiO_2 NT vytvořeným pomocí anodizace. Morfologie a struktura anodizovaných povlaků před a po tepelném zpracování byla analyzována a diskutována v kontextu s mikrostrukturou substrátu.

2. Materiály a metody

2.1 Materiály

Vzorky kruhového průřezu o průměru 20 mm a tloušťce 5 mm byly připraveny z tyče biokompatibilní slitiny Ti6Al4V (Grade 5), dodané společností MEDIN, a.s., Česká republika. Použitý materiál je v souladu s ČSN EN ISO 5832-3, ASTM F620-11 a ASTM F1472-14.

Před anodizačním procesem byly povrchy vzorků upraveny mechanickým broušením na brusných papírech SiC (o zrnitosti Grit 600, 1000 a 2500) a leštěním v hliníkové suspenzi o zrnitosti 1 μm , 0,3 μm a 0,05 μm na plátně DP-Mol (metalografický materiál od společnosti STRUERS, GmbH, Rostoky u Prahy, Česká republika).

2.2 Příprava nanostrukturovaných vrstev

Nanotrubičková vrstva TiO_2 byla připravena na povrchu vzorku titanové slitiny pomocí metody elektrochemické anodizace. Broušené nebo leštěné vzorky byly ponořeny do elektrolytického roztoku tvořeného ethylenglykolem (EG), destilovanou vodou a fluoridem amonným NH_4F v poměru 89:10:1 (chemikálie od společnosti MERCK, Darmstadt, Německo) a anodizovány po dobu 60 minut s napětím 30 V při 23 °C pomocí stejnosměrného zdroje MCS-3204 MANSON (MANSON, Hong Kong). Proces anodizace probíhal ve dvoelektrodovém zapojení, tvořeném vzorkem Ti6Al4V jako anodou a platinovou sítí jako katodou, po dobu 60 minut při pokojové teplotě a zvoleném anodizačním napětí 30 V. Po anodizaci byly vzorky opláchnuty destilovanou vodou a usušeny.

Vybrané anodizované vzorky byly tepelně zpracovány (TZ) v peci LINN HT1800 (Eschenfelden, Německo) v průtoku argonu s následujícím režimem: rychlost ohřevu 16,7 °C·min⁻¹, výdrž 120 minut na teplotě 500 °C a následné pomalé ochlazování v peci.

2.3 Stanovení mikrostruktury a vlastností povrchu

Před anodizací byla mikrostruktura na povrchu vzorků ze slitiny Ti6Al4V studována pomocí optické mikroskopie (OM) a skenovací elektronové mikroskopie (SEM). Pro hodnocení mikrostruktury byly vzorky Ti6Al4V broušeny na brusných SiC papírech až do zrnitosti Grit 2000 a následně leštěny na plátně DP-Mol v hliníkové suspenzi o zrnitosti 1 μm a 0,3 μm . Pro rozlišení fází byly vzorky dále leptány v Krollově roztoku složeného z 6 ml HNO_3 , 2 ml HF a 92 ml destilované vody (chemikálie od společnosti MERCI, s.r.o., Brno, Česká republika). Pozorování mikrostruktury bylo provedeno pomocí mikroskopu Lab-robot Top-EyeTM LT (Schoondijke, Holandsko).

Fázové složení substrátů před anodizací a morfologie povrchu anodizovaných vzorků před a po žhání při 500 °C byly analyzovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu JEOL JSM-6490LV (SEM) vybaveného energiově disperzním spektrálním (EDS) analyzátozem Oxford INCA x-act (JEOL, Tokyo, Japan). Fotodokumentace stavu anodizovaných povrchů byla provedena v režimu sekundárních elektronů (SEI) s urychlovacím napětím 20 kV.

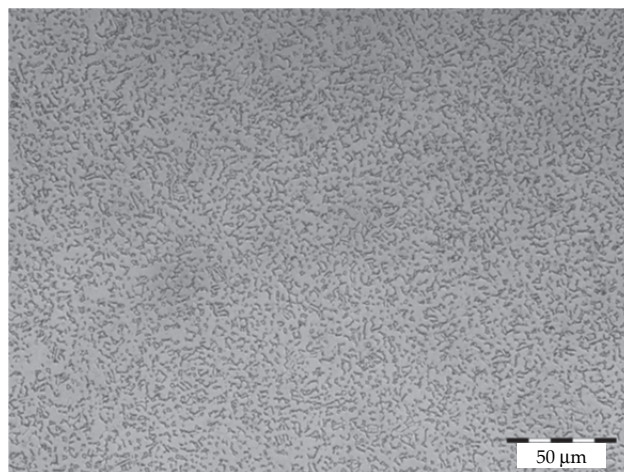
2.4 Korozní zkoušky

Vzorky pro korozní zkoušky byly vybrány tak, aby bylo možné porovnat vliv jednotlivých kroků přípravy na rychlost koroze. Analyzovány byly tedy vzorky broušené nebo leštěné ve stavu před anodizací, dále anodizované a anodizované-tepelně zpracované. Během zkoušení byl vzorek zapojen v tříelektrodovém zapojení jako pracovní elektroda, platinová mřížka tvořila pomocnou elektrodu a jako referenční elektroda byla použita AgCl/3M KCl elektroda (METROHM, USA). Elektrolytem byl infuzní roztok o složení 0,9% chlorid sodný (B. BRAUN, Melsungen AG, Německo), jehož teplota byla po celou dobu testování udržována na 37 °C. Měření korozního chování bylo prováděno v rozmezí potenciálů -550 až 1300 mV na zařízení Autolab PGSTAT128N (METROHM, USA) vybaveném programem Nova 1.10 Autolab. Korozní chování vzorků Ti6Al4V bylo vyhodnoceno pomocí Voltampérových charakteristik a Tafelovy analýzy.

3. Výsledky a diskuze

3.1 Mikrostruktura před a po anodizaci

Mikrostruktura substrátu Ti6Al4V byla vyhodnocena s cílem určit její vliv na morfologii anodizovaných a anodizovaných-tepelně zpracovaných TiO_2 NT povlaků. Bimodální morfologie slitiny Ti6Al4V, která je znázorněna na obr. 1, je tvořena rovnoosými α -zrny a transformovanou β -fází, jak bylo analyzováno v [14,15]. Zrna α -fáze jsou na snímku zobrazena jako světlé oblasti na rozdíl od transformované β -fáze složené z ($\alpha+\beta$) lamel, která se jeví jako tmavé oblasti. Vzhledem k tomu, že fáze α a β reagují s chemickými leptadly odlišně, je možné předpokládat, že obě fáze také odlišně reagují v anodizačním elektrolytu EG obsahujícím fluoridové ionty (NH_4F).



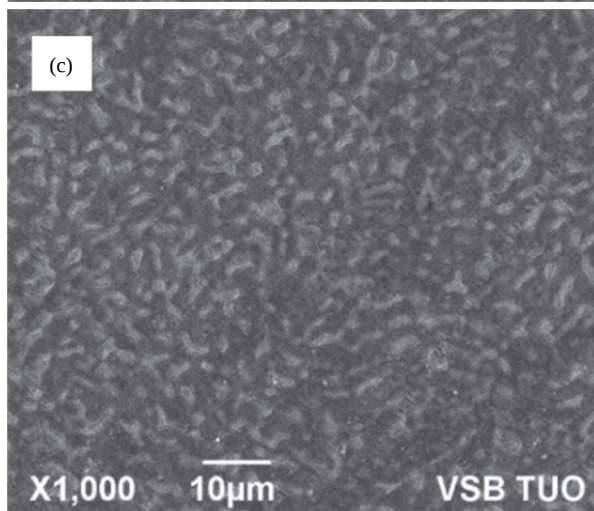
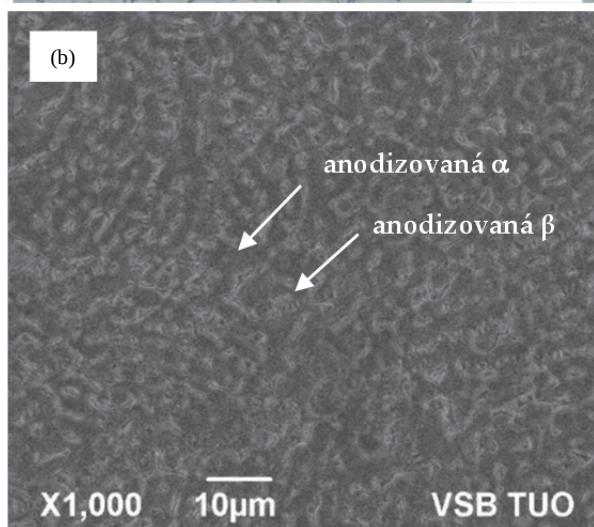
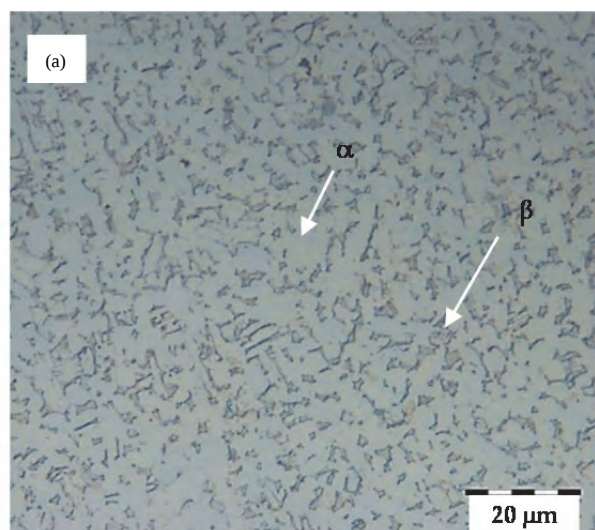
Obr. 1 Mikrostruktura povrchu Ti6Al4V substrátu (optický mikroskop, leptáno)

Fig. 1 Microstructure of Ti6Al4V substrate surface (optical microscopy, etched)

Morfologie anodizovaných a anodizovaných-tepelně zpracovaných vzorků byla pozorována pouze pomocí SEM v režimu SEI. Jak je patrné z obr. 2(a) a (b) je zbarvení α - a β -fáze na snímcích SEM SEI obrácené oproti optické mikroskopii (OM): α -fáze je pozorována jako tmavá oblast a transformovaná β -fáze jako světlá oblast. Ze srovnání morfologie povrchu anodizovaných a anodizovaných-tepelně zpracovaných vzorků pomocí SEM analýzy na obr. 2 (b) a (c) je patrná závislost růstu TiO_2 NT na počáteční $\alpha+\beta$ mikrostruktuře substrátu. Po tepelném zpracování připravených vzorků s NT povlakem nebyly pozorovány výrazné změny charakteru povrchu.

Snímek na obr. 3 znázorňuje charakter oblastí NT povlaku nad transformovanou β -fází, který se výrazně liší od oblastí nad α -fází. Nestejnorodý vzhled vrstvy NT je způsoben různými elektrochemickými reakcemi obou fází, vyplývajících z jejich odlišného chemického složení a krystalické struktury. Rozdíly v obsahu Ti v α - a β -fázi [15] hrají důležitou roli v růstu oxidické vrstvy v elektrolytu EG při vyšších aplikovaných potenciálech [7-9].

Při růstu vrstvy NT hraje úlohu také difuze Ti k povrchu. Z tohoto hlediska je nutné uvažovat, že difuzní koeficient atomů Ti je pro obě zmiňované fáze odlišný. Díky rychlejší difuzivitě Ti ve struktuře kubické prostorově centrované mřížky než v hexagonální těsně uspořádané by měla být během anodizace vyšší rychlost růstu oxidické vrstvy pro β -fázi. Difuzní koeficient Ti ve α -fázi je například při teplotě 500 °C přibližně o řád nižší než ve fázi β [16], takže je možné předpokládat rozdíly v hodnotách koeficientů i při pokojové teplotě. Při anodizaci však během růstu NT probíhá kontroverzně proces rozpouštění TiO_2 přednostně přes β -oblasti, což je možné dát do souvislosti s vyšším obsahem vanadu v této fázi jako β -stabilizátoru [15,16] a lokálně rychlejší reakcí jeho oxidu s roztokem. To tedy znamená, že bimodální $\alpha+\beta$ mikrostruktura na povrchu substrátu Ti6Al4V vede ke tvorbě dvou odlišných morfologií TiO_2 NT, což významně ovlivňuje pravidelnost a homogenitu vznikajícího povlaku.

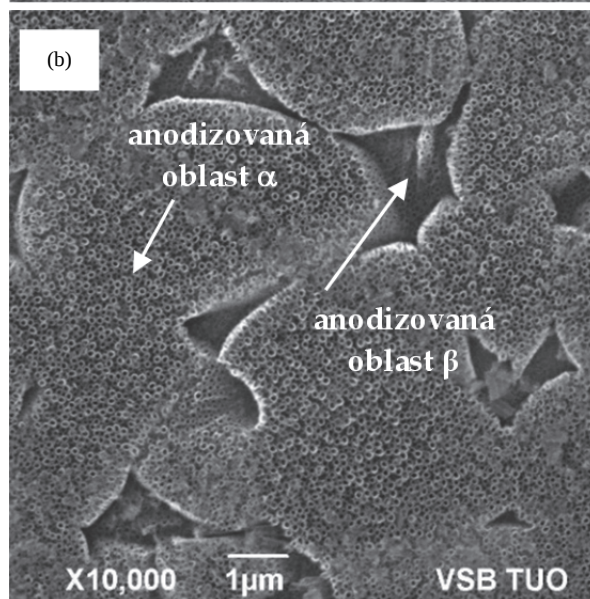
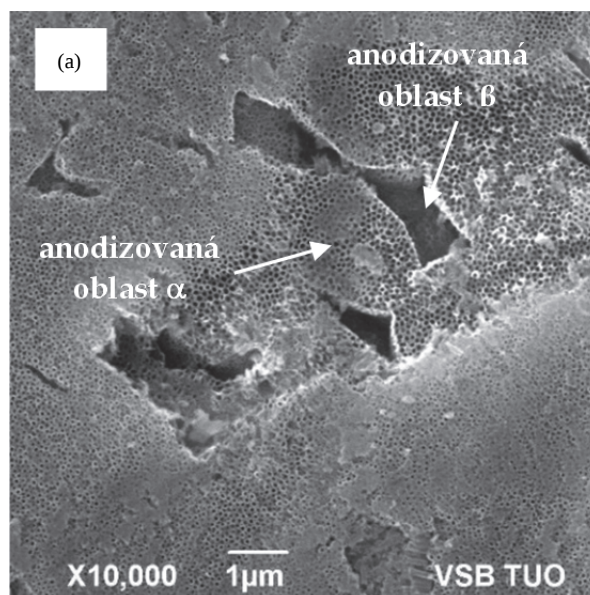


Obr. 2 Srovnání struktury povrchů vzorků: (a) před anodizací (OM, leptáno), (b) po anodizaci (SEM SEI) a (c) po anodizaci a tepelném zpracování (SEM SEI)

Fig. 2 Comparison of the morphology of sample surfaces: (a) before anodization (OM, etched), (b) after anodization (SEM SEI), and (c) after anodization and annealing (SEM SEI)

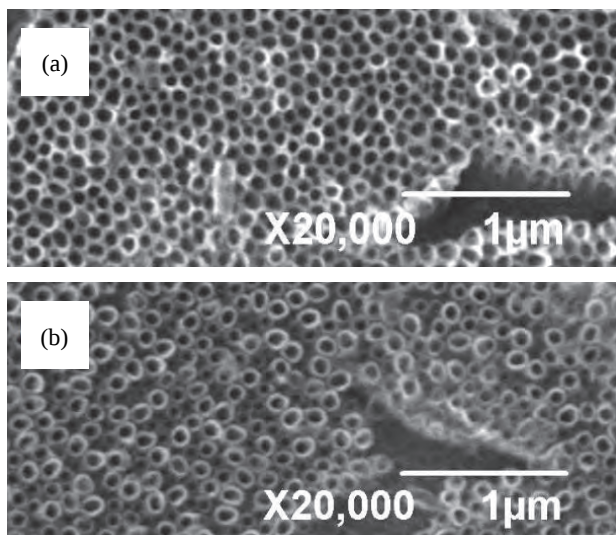
Morfologii a vlastnosti anodizované NT vrstvy ovlivňuje významně také stav povrchu substrátu. Ze srovnání charakteru NT vrstev na obr. 3(a) a 3(b), připravených na

broušeném a leštěném povrchu (bez následného tepelného zpracování), je zřejmý vliv předcházejícího zpracování povrchu na pravidelnost a homogenitu rostoucích NT. Úprava povrchu leštěním zajišťuje vznik primární rovnoměrné kompaktní vrstvy TiO_2 s více homogenní krystalografickou orientací, na které se pak tvoří vlivem F^- iontů póry a rostou nanotrubičky. Nepravidelnosti broušeného povrchu naopak zvyšují množství důlků, případně trhlin na oxidovaném povrchu, což vede ke snadnější tvorbě nukleačních center NT. Rostoucí NT na broušeném povrchu jsou však nepravidelnější a vznikající vrstva se může jevit jako hustší, protože dochází k intenzivnějšímu kontaktu mezi stěnami sousedících NT. Naopak na leštěném povrchu vzniká vrstva NT s řidším rozložením a nepravidelnější výškou. Některé části broušeného substrátu jsou pokryty dokonce kompaktní oxidickou vrstvou.



Obr. 3 SEM SEI snímek morfologie NT po anodizaci povrchu (a) broušeného a (b) leštěného

Fig. 3 SEM SEI image of the NT morphology after anodization of the surface (a) ground and (b) polished



Obr. 4 SEM SEI snímky detailů anodizovaného povrchu pro vzorek (a) broušený a (b) leštěný

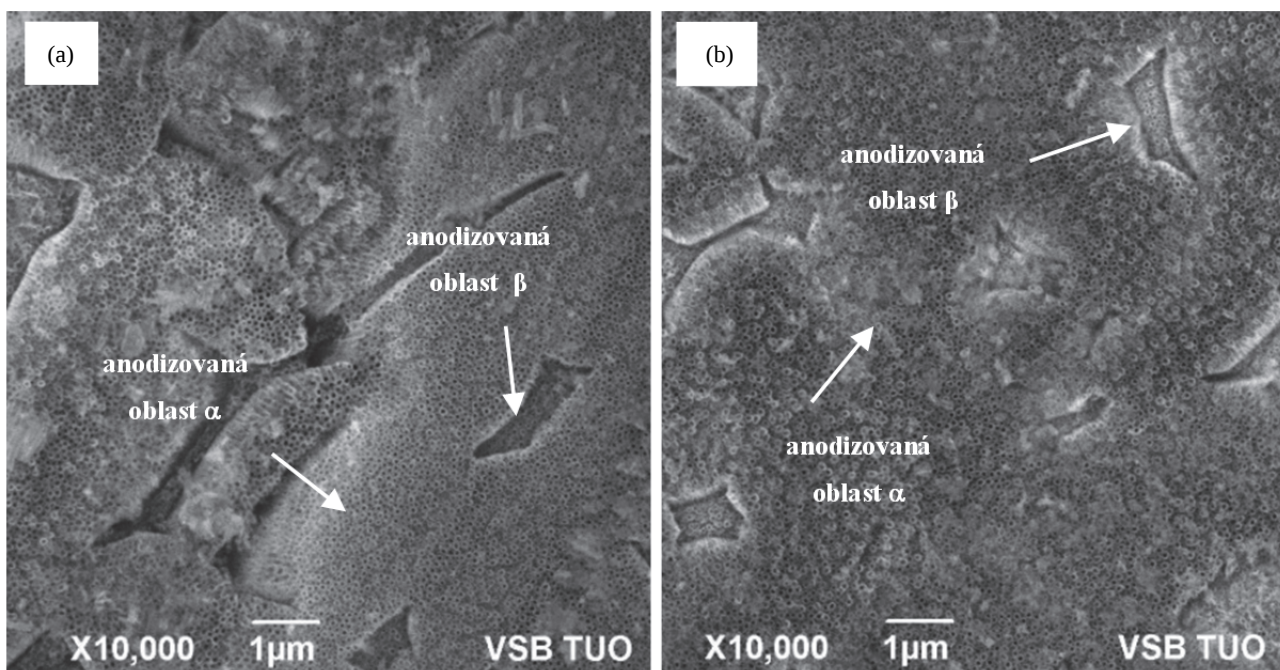
Fig. 4 Details of SEM SEI images of the anodized surfaces of sample (a) ground and (b) polished

Jak je detailně znázorněno na obr. 4 a v tab. 1, leštěný povrch vedl k růstu NT s větším vnějším průměrem a tloušťkou stěny než v případě pouze broušených vzorků. Tato tendence zůstala zachována u obou typů povrchů i ve stavu po tepelném zpracování. Morfologie výsledného NT povlaku byla tedy závislá na stavu povrchu před anodizací, tedy na povrchové úpravě (obr. 5).

Tab. 1 Rozměry NT před a po žíhání anodizovaných vzorků Ti6Al4V.
Tab. 1 Dimensions of NT before and after annealing of the anodized Ti6Al4V samples.

NT rozměry Vzorek	Vnější průměr	Vnitřní průměr	Tloušťka stěny
	[nm]		
Broušený AN ¹	122	82	40
Leštěný AN	131	84	48
Broušený TZ ²	98	62	36
Leštěný TZ	106	56	50

Poznámka: ¹anodizovaný; ²anodizovaný-tepelně zpracovaný



Obr. 5 SEM SEI snímky povrchu anodizovaného-tepelně zpracovaného pro vzorek (a) broušený a (b) leštěný

Fig. 5 SEM SEI images of the surfaces anodized-heat treated of the sample (a) ground and (b) polished

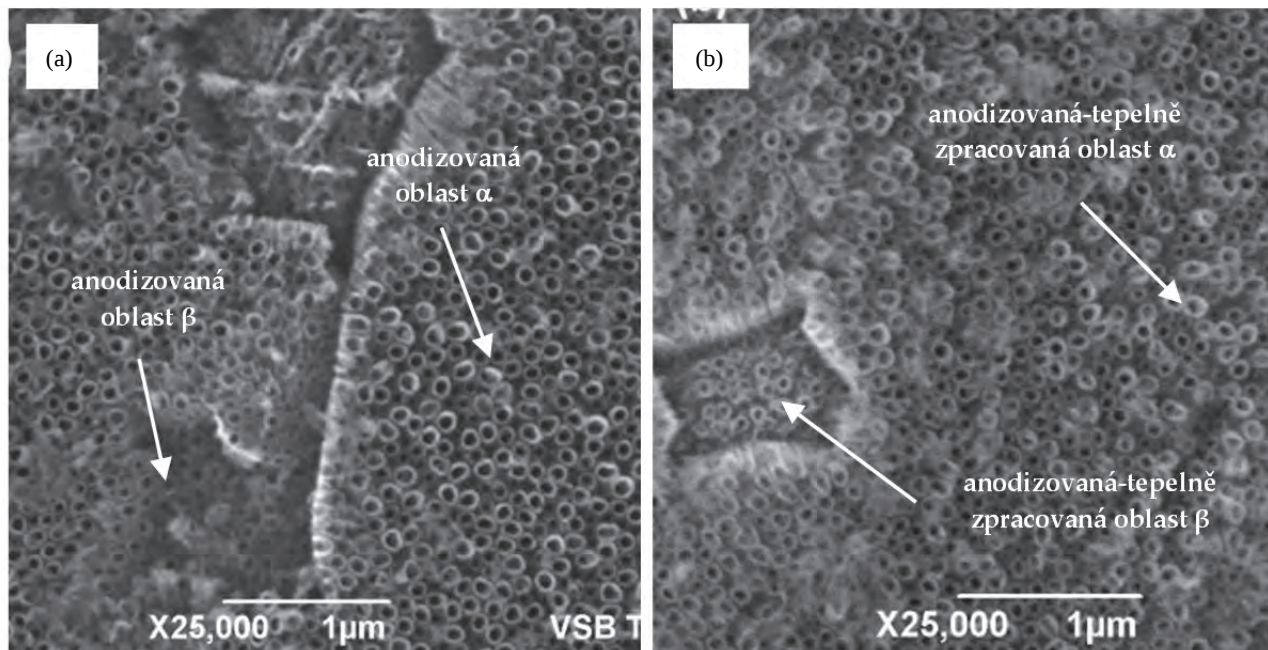
Na základě strukturních analýz v [1, 3, 5, 17-19] bylo potvrzeno, že anodizované TiO₂ NT jsou v amorfním stavu. Jsou-li však tepelně zpracovány žíháním při vyšších teplotách, krystalizují NT na anatasovou fázi nebo směs anatasu a rutilu. Slinovací procesy, které jsou aktivovány teplotou, se urychlují vlivem velkého specifického povrchu a amorfního charakteru NT. Rychlejší průběh procesu slinování může podpořit také přítomnost zbytkového množství fluoridových iontů z anodizačního roztoku [5]. Fluoridové ionty obsažené ve vnějších vrstvách amorfních NT mohou mít nižší bod tání amorfní fáze, a tím zlepšit podmínky pro slinování NT.

V důsledku takového přednostního slinování mohou vznikat NT s menším vnitřním průměrem, jak je patrné také z výsledků po tepelném zpracování uvedených v tab. 1, a to pro oba stavy povrchů, tedy pro broušený i leštěný.

Z tabulky 1 je možné potvrdit zmenšení průměru v důsledku tepelného zpracování pro oba typy povrchů. Snížení velikosti průměru mohlo být způsobeno fázovou transformací amorfního NT TiO₂ povlaku do krystalického stavu, což bylo potvrzeno výsledky XRD a Ramanova spektroskopie v [19]. Během tepelného zpracování

se mění hustota NT v souvislosti s procesem slinování a transformací z amorfni TiO_2 na anatasovou fázi. V souladu se zvyšující se hustotou NT se jejich objem a průměr zmenšuje, tak aby se zachovala jejich integrita. Nicméně pro potvrzení těchto předpokladů bude nutno provést další

experimenty. Zvýšené teploty, které v tomto případě představovaly 500°C , vyvolávají tepelně indukovanou oxidaci, která vede k dalším změnám morfologie povlaku, jak je možné pozorovat zejména nad oblastmi α -fáze na obr. 6.

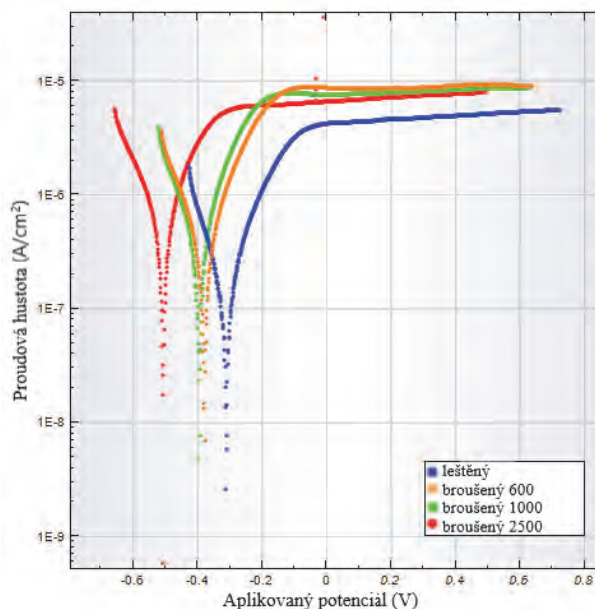


Obr. 6 SEM SEI snímky leštěného vzorku ve stavu (a) anodizovaném a (b) anodizovaném-tepelně zpracovaném
Fig. 6 SEM SEI images of the polished sample in (a) as-anodized and (b) anodized-heat treated condition

3.2 Korozní chování

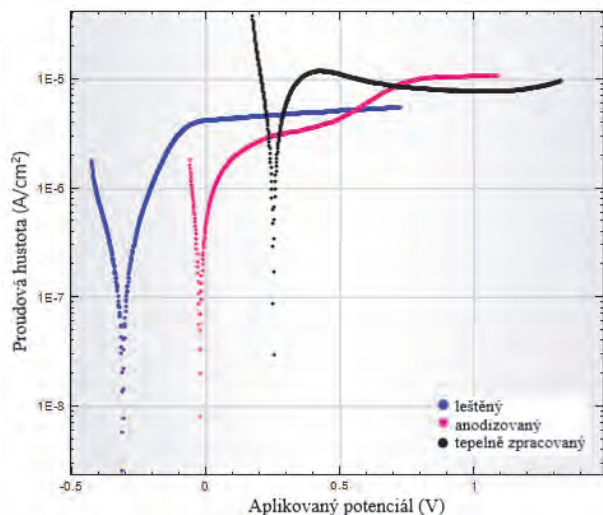
Výsledky korozních zkoušek, které byly provedeny stejným způsobem pro všechny připravené povrchy substrátu, jsou shrnuty v tab. 2. V první skupině vzorků, jejichž povrch byl upraven broušením na brusných papírech o zrnitosti 600, 1000 a 2500, je možné pozorovat nárůst korozní rychlosti v souladu se zvyšující se zrnitostí brusného papíru. Zvyšující se rychlost koroze odpovídá poklesu korozního potenciálu k zápornějším hodnotám a rostoucí hustotě korozního proudu. Při použití vyšší zrnitosti brusných papírů se vytvořil větší aktivní povrch substrátů. Naopak, leštěný vzorek s hladším a sníženým aktivním povrchem vykazuje až 5 krát sníženou rychlost koroze oproti broušenému povrchu na brusném papíru se zrnitostí 2500.

Anodizací za vzniku NT se rychlost koroze zvýšila, a to na úroveň broušených vzorků, i když korozní potenciál se posunul do kladnějších hodnot, což znamená pasivní charakter vrstvy. Nicméně nejvyšší korozní rychlost byla detekována pro anodizovaný-tepelně zpracovaný vzorek, u kterého byl také stanoven nejnižší polarizační odpor a nejvíce kladný korozní potenciál.



Obr. 7 Polarizační křivky Ti6Al4V vzorků s povrchem leštěným nebo broušeným

Fig. 7 Polarization curves for the Ti6Al4V surfaces polished or ground



Obr. 8 Polarizační křivky leštěného, anodizovaného a anodizovaného-tepelně zpracovaného vzorku Ti6Al4V

Fig. 8 Polarization curves of a polished, as-anodized, and anodized-heat treated Ti6Al4V samples

Srovnání polarizačních křivek testovaných vzorků je uvedeno na obr. 7 a 8. Polarizační křivky na obr. 7 ukazují

potenciálu pro vzorky broušené ve srovnání se vzorkem zřetelný posun k negativnějším hodnotám korozního leštění. Polarizační křivky pro leštěný, anodizovaný a anodizovaný-tepelně zpracovaný substrát na obr. 8 znázorňují obdobný trend pro katodickou část křivky u všech tří vzorků. V anodické části vykazuje stabilní pasivní chování pouze leštěný vzorek, zatímco u anodizovaného vzorku odpovídá anodická větve složitějšímu průběhu reakce NT vrstvy na 0,9% roztok NaCl, při které dochází k sekundární pasivaci v důsledku pórovité povahy NT povlaku. Anodizovaný povrch vykazuje přibližně 3,7 krát nižší polarizační odpor než pouze leštěný a jeho rychlost koroze je srovnatelná se substrátem broušeným na brusném papíru o zrnitosti 2500. U anodizovaného-tepelně zpracovaného vzorku je naopak pozorován výraznější pík aktivního rozpouštění v oblasti potenciálů 350 až 500 mV, po němž následuje oblast pasivace. Přibližně při potenciálu 1100 mV začíná proudová hustota narůstat, což může souviset s transpa-sivním rozpouštěním; sekundární pasivační účinek však v rozsahu měřených potenciálů nebyl pozorován. Průběh anodické větve odpovídá nejvyšší rychlosti koroze a nejnižšímu polarizačnímu odporu ze všech sledovaných povrchů, jak uvádí tab. 2.

Tab. 2 Výsledky korozních testů v roztoku 0,9% NaCl při 37 °C pro broušený, leštěný, anodizovaný a anodizovaný-tepelně zpracovaný substrát
Tab. 2 Results of corrosion tests at 37°C in 0.9% NaCl solution for ground, polished, as-anodized, and anodized-heat treated substrates

Vzorek Ti6Al4V	Korozní rychlost	Korozní potenciál	Korozní proudová hustota	Polarizační odpor
	[mm·rok ⁻¹]	[mV]	[nA·cm ⁻²]	[kΩ]
Broušený 600	0,0116	-379	337	72,6
Broušený 1000	0,0122	-395	352	63,6
Broušený 2500	0,0219	-507	635	48,5
Leštěný	0,0043	-311	123	158,3
Anodizovaný	0,0182	-24	527	42,9
Anodizovaný-tepelně zpracovaný	0,0998	251	2894	6,4

4. Závěr

V této práci byl sledován vliv charakteru povrchu na elektrochemické vlastnosti broušených, leštěných, anodizovaných a anodizovaných-tepelně zpracovaných substrátů Ti6Al4V. Studované vzorky byly povrchově upraveny pomocí anodické oxidace v EG elektrolytu obsahujícím fluoridové ionty. V závislosti na mikrostruktuře slitiny bylo potvrzeno, že růst a morfologie TiO₂ NT povlaků odpovídá morfologii bimodální α+β mikrostruktury na povrchu substrátů Ti6Al4V. Charakter NT vrstev je výrazně ovlivněn počáteční kvalitou povrchu a následným tepelným zpracováním.

Z výsledků korozních testů byl vyhodnocen vliv kvality povrchu na výslednou rychlost koroze, kdy se vzrůstající zrnitostí brusných papírů se rychlost koroze povrchů u broušených vzorků zvyšovala díky rostoucímu aktivnímu povrchu. Leštěné vzorky vykazovaly naopak nejvyšší odolnost proti korozi. Anodizovaný povlak

s TiO₂ NT vykazoval horší korozní vlastnosti, přičemž nejvyšší rychlost koroze byl prokázán pro anodizovaný substrát po tepelném zpracování.

Poděkování

Tato práce byla realizována v rámci projektu RRC/10/2018 „Podpora vědy a výzkumu v Moravskoslezském kraji 2018“ a CZ.1.05/2.1.00/19.0387 „Rozvoj výzkumně vývojové základny RMTVC“.

Autoři děkují paní Ing. K. Konečné, Ph.D. za zhotovení SEM fotodokumentace povlaků anodizovaných substrátů.

Literatura

- [1] NASIRPOURI, F. I., YOUSEFI, I., MOSLEHIFARD, E., KRALLIL-ALLAFI, J. Tuning surface morphology and crystallinity of anodic TiO₂ nanotubes and their response to biomimetic bone growth for implant applications. *Surf. Coat. Technol.* (2017), 315, 163–171.

- [2] HUANG, Y., XU, Z., ZHANG, X., CHANG, X., ZHANG, X., LI, Y. CH., YE, T., HAN, R., HAN, S., GAO, Y., DU, X., YANG, H. Nanotube-formed Ti substrates coated with silicate/silver co-doped hydroxyapatite as prospective materials for bone implant. *J. Alloys Compd.* (2017), 697, 182–199.
- [3] GRIMES, C. A., MOR, G. K. *TiO₂ nanotubes arrays: synthesis, properties, and applications*. Springer: New York, USA, (2009); 358 p.
- [4] BOOTHROYD, P., PHAM, X. N. *Socioeconomic renovation in Viet Nam: the origin, evolution, and impact of doi moi*. Singapore: Institute of Southeast Asian Studies, (2000); 174 p.
- [5] REGONINI, D., BOWEN, C. R., JAROENWORALUCK, A., STEVENS, R. A review of growth mechanism, structure and crystallinity of anodized TiO₂ NT. *Mater. Sci. Eng. R* (2013), 74, 377–406.
- [6] GUNPUTH, U. F., HUIRONG, L., HANDY, R. D., TREDWIN, CH. Anodised TiO₂ NT as a scaffold for antibacterial silver nanoparticles on titanium implant. *Mater. Sci. Eng.* (2018), 91, 638–644.
- [7] KHUDHAIR, D., BHATTI, A., LI, H. Y. HAMEDANI, A., GARMESTANI, H., HODGSON, P., NAHAVANDI S. Anodization parameters influencing the morphology and electrical properties of TiO₂ nanotubes for living cell interfacing and investigations. *Mater. Sci. Eng. C* (2016), 59, 1125–1142.
- [8] HILAEIO, F., ROCHE, V., NOGUEIRA, R. P., JORGE JUNIOR, A. M. Influence of morphology and crystalline structure of TiO₂ nanotubes on their electrochemical properties and apatite-forming ability. *Electrochim. Acta.* (2017), 245, 337–349.
- [9] MANSOORIANFAR, M., TAVOOSI, M., MOZAFARINIA, R., GHASEMI, A., DOOSTMOHAMMADI, A. Preparation and characterization of TiO₂ nanotube arrays on Ti6Al4V surface for enhancement of cell treatment. *Surf. Coat. Technol.* (2017), 321, 409–415.
- [10] LEE, B. G., CHOI, J. W., LEE, S. E., JEONG, Y. S., OH, H. J., CHI, Ch. S. Formation behavior of anodic TiO₂ nanotubes in fluoride containing electrolytes. *Trans. Nonfer. Metals Soc. China*, 19 (2009) 4, 842–845.
- [11] WU, G., WANG, Y., LIU, J., YAO, J. Influence of the Ti alloy substrate on the anodic oxidation in an environmentally-friendly electrolyte. *Surf. Coat. Technol.* (2018), 344, 680–688.
- [12] PETRÁŠOVÁ, I., LOSERTOVÁ, M. Electrochemical behavior of biocompatible alloys. *Mater. Technol.* (2015), 49, 207–211.
- [13] BRAMMER, K. S., FRANDSEN, CH. J., JIN, S. TiO₂ nanotubes for bone regeneration. *Trends Biotechnol.* (2012), 30, 315–322.
- [14] LOSERTOVÁ, M., ŠTAMBORSKÁ, M., LAPIN, J., MAREŠ, V. Comparison of deformation behavior of 316L Stainless Steel and Ti6Al4V alloy applied in traumatology. *Metalurgija* (2016), 55, 667–670.
- [15] ELMER, J. W., PALMER, T. A., BABU, S. S., SPECHT, E. D. In situ observations of lattice expansion and transformation rates of α and β phases in Ti–6Al–4V. *Mater. Sci. Eng. A* (2005), 391, 104–113.
- [16] BREME, J., EISENBARTH, E., BIEHL, V. *Titanium and its Alloys for Medical Applications. Titanium and Titanium Alloys* [online]. Weinheim, FRG: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2003, p. 423 [cit. 2017-03-04]. ISBN 9783527602117. Dostupné z doi: 10.1002/3527602119.ch16.
- [17] ATAPOUR, M., PILCHAK, A., FRANKEL, G. S., WILLIAMS, J. C., FATHI, M. H., SHAMANIAN, M. Corrosion Behavior of Ti-6Al-4V with Different Thermomechanical Treatments and Microstructures. *Corrosion* (2010), 66, 065004-9.
- [18] LOSERTOVÁ, M., ŠTEFEK, O., GALAJDA, M., KONEČNÁ, K., SIMHA MARTYNKOVÁ, G., ČECH BARABASZOVÁ, K. Microstructure and Electrochemical Behavior of TiO₂ Nanotubes Coated on Titanium-based Substrate Before and After Thermal Treatment. *J. Nanosci. Nanotechnol.* (2019), 19, 2989–2996.
- [19] JORDANOVÁ, V., LOSERTOVÁ, M., ŠTENČEK, M., LUKÁŠOVÁ, T., SIMHA MARTYNKOVÁ, G., PEIKERTOVÁ, P. Microstructure and Properties of Nanostructured Coating on Ti6Al4V. *Materials*, 13 (2020), 708; doi:10.3390/ma13030708.

MORAVIA STEEL PŘIBÍRÁ DO SKUPINY DALŠÍ KOVÁRNU

Strojírenskou firmu MSV Metal Studénka, a.s. spolu s její polskou dceřinou společností Kuźnia Ostrów Wielkopolski Sp. z o.o. koupila v listopadu 2019 akciová společnost Moravia Steel. Moravia Steel přebrala 100% balík akcií od investiční společnosti Jet Investment a.s.

MSV Metal Studénka (pokračovatel Vagonky Studénka) i její polská dceřiná společnost se zabývají výrobou zápusťkových výkovků z oceli tvářením za tepla s možností tepelného zpracování, obrábění, svařování i montáží dílů a sestav.

„Akvizicí pokračujeme v naplňování naší dlouhodobé strategie prodlužování výrobních řetězců. Spojení s naším významným odběratelem bude přínosem pro obě společnosti,“ **podotýká předseda představenstva Moravia Steel Petr Popelář.** Firmy ve skupině Třinecké železárny - Moravia Steel dlouhodobě dodávají ocelové polotovary do Studénky v sortimentu tyčové oceli, bezešvých trub i ploché oceli.

Celková roční výrobní kapacita MSV Metal Studénka přesahuje 16 000 tun výkovků. 81 % produkce směřuje na export, zejména na evropské trhy. Výrobky nachází uplatnění především v železničním, dále pak ve stavebním, automobilovém, zemědělském a těžebním průmyslu. Zaměstnává přes 400 lidí ve Studénce a dalších více než 200 nedaleko polské Vratislavi. Konsolidovaný objem tržeb za rok 2018 přesáhl jednu miliardu korun.

MSV Metal Studénka je již druhou kovárenskou firmou ve vlastnictví Moravia Steel. Vhodně doplňuje a rozšiřuje stávající technologie a sortiment Kovárny VIVA ve Zlíně.

– red –

Studium vnášení legujících přísady bizmutu do taveniny automatové oceli v podmínkách atmosférické indukční tavicí pece

Study of Alloying Bismuth Additive into the Melt of Free-cutting Steel in Conditions of Atmospheric Induction Melting Furnace

Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Dr. Ing. Zdeněk Kuboň

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

Strojní opracování součástí vyžaduje z hlediska ceny a rychlosti opracování dobrou lámavost třísky, včetně jejího rychlého odvodu a zachování všech potřebných pevnostních charakteristik materiálu. V této publikaci je popsán vývoj technologie výroby automatové oceli určené k cementování s obsahem běžných legujících přísad. Práce je popisuje technologii vnášení legujících přísady bizmutu, který zlepšuje obrobiteľnosť oceli. Tato technologie byla ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. navržena a ověřována na experimentálních tavných na atmosférické indukční tavicí peci s odlitím ingotů.

Klíčová slova: bizmut; ocelová tavenina; legování; automatová ocel

Machined parts require good chip breakage in terms of cost and machining speed, including fast chip removal and preservation of all necessary material strength characteristics. Steel with the content of sulphur, phosphorus and lead additions is currently used for this purpose. A replacement for the lead alloy is sought, which will have the same effects on chip breakage while preserving other properties. One of these alloying additives is bismuth, and this work describes the study of adding this alloy into experimental steel melts. The work is focused on the description of the technology that deals mainly with adding of alloying bismuth additive, which improves workability. The technology was designed and verified in the company MATERIAL AND METALLURGICAL RESEARCH Ltd. on experimental melts in an atmospheric induction melting furnace with a nominal melt weight of 350 kg followed by bottom casting of the melt into ingots. It was proposed to alloy the steel melt to three levels of Bi content, which was successful and the resulting contents were: 0.00 % Bi, 0.08 % Bi and 0.12 % Bi. Experiments have shown that in the case of production of small melts (low weight) it is best to alloy Bi directly into the stream of the melt cast from the atmospheric induction melting furnace into the ladle. The efficiency of the alloying with Bi into the steel melt in an atmospheric induction melting furnace is 3.3 %. When alloying Bi into the steel melt stream cast into the ladle, the alloying efficiency of Bi is 9.8 – 15.2%.

Keywords: bismuth; steel melt; alloying; free-cutting steel

Rostoucí potřeba rychlé, jednoduché a bezproblémové výroby dílů třískovým obráběním, především pro automobilový průmysl, a zároveň snaha o snížení ceny konečných produktů si vyžaduje hledání nových alternativních materiálů či modifikaci stávajících. Pro třískové obrábění se využívají materiály s dobrou lámavostí třísky, kterou v materiálu zajišťuje přídavek olova. Při výrobě materiálu v metalurgických agregátech vyžaduje legování olova velmi přísné hygienické podmínky, které představují odsávání haly a přilehlých prostor, pravidelná kontrola a čištění pracovního prostředí; a především pravidelné lékařské prohlídky pracovníků metalurgických agregátů a pomocných pracovníků. Olovo se totiž řadí mezi karcinogenní prvky [1]. V této práci se budeme zabývat vývojem materiálu legovaného bizmutem, který se jeví jako vhodná potenciální náhrada za olovo.

Ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. byly provedeny experimentální tavyby s legováním bizmutu do taveniny automatové oceli.

Studiu legování ocelové taveniny byla podrobena automatová ocel (dále jen ocel) s obsahem 0,20 % C, 1,30 % Mn, 0,10 % Si, 1,15 % Cr, která byla legována na tři úrovně obsahu Bi: a) 0,00 % Bi, b) 0,08 % Bi, c) 0,12 % Bi.

Ke studiu vlivu legování na obrobiteľnosť oceli byla použita legující přísada Bi s obsahem CaCO_3 v poměru 93 % Bi a k 7 % CaCO_3 , tedy ve stejném poměru, který běžně využívají metalurgické výrobní společnosti a který je pro ně běžně relativně dostupný. Směs Bi a CaCO_3 byla v podobě prášku zalisována do plněného kovového profilu (obr. 1) s obsahem 707 g směsi legujících přísady na 1 m délky.

Studium vlivu legování Bi na obrobiteľnosť oceli bolo ve spoločnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. provedeno na atmosférické indukční tavicí peci (dále jen IP) s nominální hmotností vsázky 350 kg.



Obr. 1 Plněný profil legující přísady Bi/CaCO₃
Fig. 1 Xored wire containing the alloy Bi/CaCO₃

1. Studium legování Bi

Experimentální legování bizmutu to taveniny oceli bylo provedeno dvojím způsobem: nejprve do vlastní IP a poté do lící pánve při odlévání taveniny z IP.

Bylo provedeno dvanáct experimentů legování taveniny, z nichž se podařilo finálně dokončit šest. Zde je představeny výsledky pouze šesti dokončených taveb. V těchto šesti experimentech bylo provedeno legování bizmutu na hodnoty uvedené v tab. 1 pomocí plněného profilu přidávaného do proudu taveniny odlévané z IP do lící pánve.

Vnášení legující přísady Bi do taveniny oceli v IP znázorňuje obr. 2. Na tomto obrázku tavič ručně tlačí plněný profil s Bi na dno kelímku a přitom využívá maximální ferostatický tlak k rozpuštění Bi. Plněný profil obsahoval Bi, který má dle [2] teplotu varu cca 1559 °C, byl smíchaný s CaCO₃, jež má teplotu varu 899 °C [3]. Nízká teplota varu CaCO₃ vyžaduje větší ferostatický tlak taveniny oceli, takže se zajistí plné využití CaCO₃ pro následnou dezoxidaci taveniny. Vzhledem k malé hloubce taveniny v kelímku IP se legování přímo do kelímku projevilo jakožto velmi neúčinné. Jeho výťažnost

dosahovala jen 3,3 % (viz 1. experiment v tab. 1). S takto nízkou účinností se podařilo nalegovat ocel na 0,02 % Bi. Obsah Bi v tavenině byl analyzován ze vzorku kovu odebraného z IP cca 5 minut po nalegování taveniny. Odstup 5 minut byl zvolený z důvodu zachování časové prodlevy, která simulovala čas potřebný na odlití taveniny z IP do lící pánve, převoz taveniny nad lící pole, připravení lící pánve pro odlévání a začátek odlévání.



Obr. 2 Legování Bi přímo do kelímku indukční tavicí pece
Fig. 2 Adding Bi directly into the crucible of the induction melting furnace

Z důvodu vysokého propalu Bi při legování v IP bylo přistoupeno k legování Bi přímo do lící pánve (obr. 3). Lící pánve svou výškou hladiny vytvoří sice stejný ferostatický tlak jako IP, ale zvýšeným dynamickým prouděním taveniny lze předpokládat zvýšení účinnosti legování Bi i do velmi malého obsahu taveniny.

Při legování Bi do proudu taveniny odlévané z IP do lící pánve dochází, jak ukazuje obr. 3, k vývinu velkého množství žlutého kouře, pravděpodobně zplyněného bizmutu.



Obr. 3 Legování Bi do proudu taveniny odlévané z atmosférické indukční tavicí pece do lící pánve
Fig. 3 Adding Bi into the stream of melt casted from the the induction melting furnace

Tab. 1 Hodnoty obsahu Bi v experimentálních tavbách
Tab. 1 Values of Bi contents in experimental melts

		Označení experimentu						Jednotky
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	
Způsob legování do		IP	Licí pánev	Licí pánev	Licí pánev	Licí pánev	Licí pánev	-
Hmotnost tavby		377,5	361,3	435,6	322,8	334,9	312	[kg]
Hmotnost legující přísady	celkem Bi a CaCO ₃	2,460	3,535	3,535	3,535	-	1,768	[kg]
	přepočtený obsah Bi ve směsi	2,288	3,288	3,288	3,288	-	1,644	[kg]
Obsah Bi v tavenině	teoreticky vypočtený	0,606	0,910	0,755	1,018	-	0,527	[%]
	skutečný	0,020	0,120	0,100	0,100	0,003	0,080	[%]
Účinnost legování Bi = skutečný/teoretický		3,3	13,2	13,2	9,8	-	15,2	[%]

Vyhodnocení pěti experimentů označených č. 2 až 6, kde byla tavenina legována pomocí Bi do LP, je uvedeno v tab. 10. Z ní je patrné, že účinnost legování Bi se u jednotlivých taveb odlišuje a pohybuje se od 9,8 do 15,2 %. To můžeme ve srovnání s hodnotami dosahovanými u velkých metalurgických výrobních společnostech označit za velmi nízkou účinnost. Velcí výrobci totiž dosahují účinnost legování Bi do licí pánve kolem 50 – 60 %. Použitím větších agregátů (licí pánve) s větším objemem tavby, a tedy i výškou hladiny tavby, využívají větší ferostatický tlak roztavené oceli.

Experimentální tavby ukázaly, že při legování Bi do taveniny v IP je účinnost cca 5× nižší než při legování do proudu odlévané taveniny v licí pánvi.

Tavenina legovaná bizmutem byla ihned převezena na atmosférické odlévací pole, kde byla odlita přes hubičku z licí pánve do licího kůlu, který spodem plnil dvě kokily o kruhovém průřezu (obr. 4). I přes malý objem taveniny odlévaný do kokil, musely být ingoty odlévány cca stejnou rychlostí jako větší ingoty. Důvodem bylo zachování rychlosti proudění v licích kanálcích z důvodu jejich prohrátí taveninou, tj. aby v nich tavenina nezamrzla. Příklad odlitého ingotu z tavby s 0,12 % Bi z experimentu č. 2 je uveden na obr. 5.

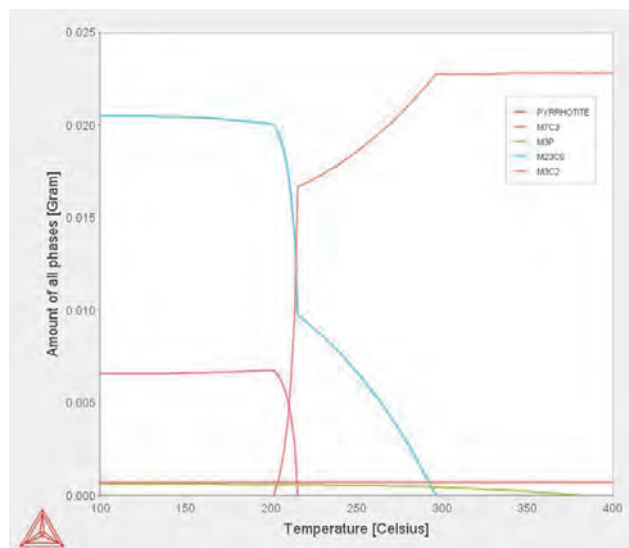


Obr. 4 Odlévání taveniny oceli z licí pánve, spodem do předem připravených kokil
Fig. 4 Bottom casting of molten steel from pouring ladle into the prepared ingot moulds



Obr. 5 Odlitý ingot z oceli s 0,12 % Bi
Fig. 5 Ingot část from steel with 0.12 % Bi

V tavbách s obsahem bizmutu 0,12 %, který je nejvyšší ze všech provedených experimentů, nastaly při vyhodnocování obavy, že by mohlo dojít k vylučování Bi v jiných strukturních fázích. Proto bylo provedeno šetření na možné vylučování Bi, konkrétně v softwaru Thermocalc (obr. 6). Strukturní rozbor podle obr. 6 ukázal, že bizmut se v celém průběhu tuhnutí nevylučuje v žádné fázi. Svědčí o tom průběh křivky M3P, která dosahuje téměř nulové hodnoty v celém teplotním rozsahu 0 – 1600 °C. Na obr. 6 je znázorněn výřez jen pro rozsah 100 – 400 °C závěry ze stěžejního obrázku pro myšlenku transformace nebo netransformace Bi do strukturních fází.



Obr. 6 Podíl vznikajících fází během tuhnutí oceli s 0,12 % Bi podle softwaru Thermocalc

Fig. 6 Fraction of the phases formed during solidification of steel with 0.12 % Bi according to software Thermocalc

2. Závěr

Předmětná práce se zabývala studiem možnosti legování ocelové taveniny v podmínkách atmosférické indukční tavicí pece o nominální hmotnosti taveniny 350 kg. Bylo požadováno legovat taveninu oceli na tři úrovně obsahu Bi, což se podařilo a výsledné obsahy činily: 0,00 % Bi, 0,08 % Bi a 0,12 % Bi.

Provedené experimenty prokázaly, že při výrobě malých taveb je nejvhodnější legování Bi přímo do proudu

taveniny odlévané z atmosférické indukční tavicí pece do lící pánve.

Účinnost legování Bi do taveniny oceli v atmosférické indukční tavicí peci činí 3,3 %. Při legování Bi do proudu taveniny odlévané do lící pánve je účinnost legování Bi násobně vyšší a dosahuje hodnot 9,8 – 15,2 %.

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] OTTP, M., MÜHLENDahl, K.E. Olovo. Dostupné online: <http://www.allum.de/toxickelatky/olovo> [cit. 2019-12-02].
- [2] CAHILL, J.A., KIRSHENBAUM, A.D. The density of liquid bismuth from its melting point to its normal boiling point and an estimate of its critical constants. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*. 25 (1963) 5, 501–506. Dostupné online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002219026380233X>
- [3] CaCO₃ - Calcium carbonate. Dostupné online: <https://byjus.com/chemistry/caco3/>
- [4] NAZABAL, J.L., URCOLA, J.J., FUENTES, D.M. Hot Ductility of Lead Free-Cutting Steels. *Metallography*, 17 (1984), 439–454.
- [5] LIU, H.T., CHEN, W.Q. Hot Ductility of Eco-friendly Low Carbon Resulphurised Free-cutting Steel with Bismuth. *Ironmaking & Steelmaking*, Jan. 2014, 41 (2014) 1, 19–25. DOI: 10.1179/1743281212Y.00000000095.
- [6] KIM, M.S., LII, H.J., CHANG, Y.W. The Effect of Mn/S Ratio on Hot Ductility of Bi Bearing Free-cutting Steels. *Key Engineering Materials*, 345-346 (2007), 169-172. Dostupné online: www.scientific.net [cit. 2007-08-15].

Kovací soubor pro ruský trh

Společnosti ŽĎAS ze Žďáru nad Sázavou se podařilo koncem roku 2019 dosáhnout dalšího úspěchu na ruském trhu, když došlo k podpisu kontraktu na dodávku kovacího souboru v hodnotě převyšující 140 milionů korun.

Akciová společnost ŽĎAS podepsala v uplynulých dnech kontrakt na dodávku kovacího souboru se společností z města Kolpino, které leží jihovýchodně od Petrohradu. Jedná se o další kontrakt v pořadí, který se podařilo společnosti v Rusku dojednat. „Nejen díky těmto úspěchům se potvrzuje, že společnost ŽĎAS patří ke špičkám ve strojírenském oboru a dokáže uspět i ve velmi silné světové konkurenci. Aby tomu bylo i nadále, je naší prioritou podporovat rozvoj firmy a jejich technologií,“ zhodnotil Roman Náhončík, výkonný viceprezident společnosti CITIC Europe Holdings a.s., do jejíhož portfolia ŽĎAS spadá.

Z hlediska technické specifikace půjde o kovací soubor s hydraulickým lisem CKV 1250/1600, kolejovým manipulátorem QKK 8 NK a otočnými stoly QHZ 8 a QWK 4. Po delší době se jedná o komplexní dodávku kovacího zařízení na ruský trh. „Se zákazníkem z Kolpina budujeme dlouhodobé partnerské vztahy, již historicky jsme zde realizovali modernizace kovacích zařízení a manipulátorů a na základě dobré technologické i servisní zkušenosti s naší společností, si zákazník vybral právě nás,“ uvedl generální ředitel společnosti ŽĎAS Pavel Cesnek. „V tomto roce vidíme velký nárůst investičních příležitostí v tomto teritoriu, intenzivně pracujeme na mnoha projektech jak ve standardní výrobní nomenklatuře firmy ŽĎAS, tak také například v energetickém segmentu.“

– Z tiskové zprávy říjen 2019 –

Vliv tepelného zpracování na strukturu a vlastnosti biokompatibilní NiTi slitiny

Influence of Heat Treatment on Structure and Properties of Biocompatible NiTi Alloy

Ing. Michal Štencek¹; doc. Dr. Ing. Monika Losertová¹; prof. Ing. Jaromír Drápala, CSc.¹; Ing. Dalibor Matýsek, Ph.D.²

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

² VŠB – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

Projevy tvarové paměti či superelastické chování NiTi slitin s obsahem Ni vyšším než 50,6 at. % Ni jsou silně závislé na mikrostrukturních změnách, které je možné řídit pomocí tepelného zpracování. Difuzní proces během zvýšených teplot vede k precipitaci fází, což ovlivňuje průběh martenzitické transformace v NiTi slitině. V závislosti na teplotě a době výdrže se může ve struktuře slitiny tvořit několik typů částic, přičemž se obvykle uvažuje sekvence transformace: metastabilní Ni_4Ti_3 – metastabilní Ni_3Ti_2 – stabilní fáze Ni_3Ti . Vyloučení sekundárních fází může přispět k podstatnému navýšení pevnostních vlastností NiTi slitin. Složení slitiny, tedy poměr obsahu Ni a Ti, je rovněž velmi vlivným faktorem s účinkem na vlastnosti těchto materiálů. Experimentální vzorky biokompatibilní NiTi slitiny s obsahem 50,7 at. % Ni byly podrobeny tepelnému zpracování při 300, 350 a 400 °C po dobu 0,5 h s následným ochlazením na vzduchu. Mikrostruktura slitiny před a po tepelném zpracování byla studována pomocí optické a skenovací elektronové mikroskopie. Studium struktury bylo doplněno analýzou pomocí rentgenové difrakce a měřením mikrotvrdosti. Z výsledků vyplynulo, že volené teploty vedly ke strukturním změnám odpovídajícím změnám v mikrotvrdosti slitiny.

Klíčová slova: NiTi slitina; tepelné zpracování; mikrostruktura; RTG analýza

The shape memory effects or superelastic behavior of Ni-rich NiTi alloys (> 50.6 at. % Ni) are significantly dependent on microstructural changes during heat treatment that can be controlled by heat treatment. Furthermore, the diffusion process during thermal treatment induces precipitation of phases that can have a major impact on the martensitic transformation in NiTi alloys. Depending on temperature and holding time, several types of precipitates can be formed in microstructure of the alloy. The transition sequences are considered: metastable Ni_4Ti_3 - metastable Ni_3Ti_2 - stable Ni_3Ti . In addition, the precipitation of secondary phases can also contribute to a substantial increase in the strength of NiTi alloys. The alloy composition is another influential factor affecting the properties of these materials. The experimental samples of biocompatible NiTi alloy with 50.7 at. % Ni were subjected to heat treatment at 300, 350 and 400°C for 0.5 h followed by air cooling. The microstructure was observed before and after the heat treatment by optical and scanning electron microscopies. The study was completed by X-ray analysis and microhardness measurement. The results show that the applied temperatures led to microstructural and hardness changes of the investigated alloy.

Key words: NiTi alloy; heat treatment; microstructure; XRD analysis

1. Úvod

Binární slitiny na bázi NiTi, běžně nazývané jako Nitinol, patří do skupiny tzv. materiálů s jevem tvarové paměti a jsou často označovány jako „chytřejší materiály“. Z hlediska typu krystalové mřížky a vysokého uspořádání struktury se jedná o intermetalické sloučeniny. Z binárního diagramu soustavy Ni-Ti je možné v závislosti na teplotě omezit výskyt těchto slitin pro obsahy niklu v rozmezí přibližně 49-55 at. %. Jedinečnost těchto materiálů spočívá zejména ve schopnosti vykazovat, při dodržení určitých tepelně mechanických a experimentálních podmínek, jev tvarové paměti nebo superelasticitu. Tyto výjimečné vlastnosti silně závisí zejména na chemickém

složení a tepelně mechanickém zpracování slitiny. K dalším významným vlastnostem patří také velmi dobrá korozní odolnost, biokompatibilita, výhodný poměr pevnost/hustota, nízké hodnoty modulu pružnosti (ve srovnání například s nerezovou ocelí AISI 316L) nebo vysoká tlumící schopnost. Pro tyto vlastnosti jsou NiTi slitiny dnes hojně využívány především v lékařství, například ve stomatologii jako endodontické nástroje pro čištění kořenových kanálků a rovnátka, v traumatologii jako dlahy nebo hřebíky či v kardiochirurgii jako stenty nebo katetry [1].

Korozní odolnost a biokompatibilita slitiny jsou dány tvorbou tenké povrchové oxidické vrstvy TiO_2 , která se obecně na povrchu Ti slitin vytváří přirozeně velmi

rychle. Superelasticita je pak charakteristická nelineárním vratným deformačním chováním v austenitické oblasti, tedy v intervalu teplot mezi A_f (austenit finiš) a M_d (deformační martenzit). Velikost této vratné deformace může za jistých podmínek dosáhnout až 10 %. Toto chování je způsobeno tvorbou napěťově indukovaného martenzitu, vznikajícího při mechanickém zatížení a následnou austenitickou (reverzní) transformací při odtížení [1, 2]. Na rozdíl od tvarově paměťového jevu spojeného s termolestickým martenzitem, dochází v případě superelasticity k transformaci austenit $\leftrightarrow$ martenzit pouze vlivem aplikovaného zatížení, nikoliv změnou teploty. K dosažení superelastického chování je však nutné zachovat určité podmínky. Předpokladem je existence matrice ve zcela austenitickém stavu. Dalšími faktory, které mohou ovlivnit následný návrat do původního stavu, jsou teplota, stav tepelného zpracování, způsob namáhání nebo mikrostruktura (zejména textura) [2].

Významný vliv na superelasticitu vykazuje také chemické složení slitiny. V binárních slitinách NiTi s obsahem více než 50,4 at. % Ni (téměř ekvatomární slitiny), je superelasticita pozorována ve vzorcích, které byly tvářeny za studena a následně žháný při teplotách pod jejich kritickou teplotou pro rekrytalizaci. Pro dosažení optimálního superelastického chování je dle různých autorů udávána teplota žhání v rozmezí přibližně 400 – 500 °C. Takto zpracované materiály obsahují vysokou hustotu dislokací vyvolanou zejména tvářením za studena. Pro slitiny s obsahem nad 50,6 at. % Ni může být superelastického chování dosaženo také pomocí tepelného zpracování zahrnujícího rozpouštěcí žhání a stárnutí v rozmezí teplot 350 – 450 °C. Stárnutí v tomto teplotním rozmezí podporuje tvorbu koherentních precipitátů obohacených o Ni, jako jsou např. Ni_4Ti_3 nebo Ni_3Ti_2 . Společným znakem obou takto zpracovaných superelastických materiálů je zvýšená meze kluzu. V prvním případě se však jedná o zpevnění dislokační, v druhém potom o zpevnění precipitační [3, 4]. Komerčně nejpozžívanější superelastická NiTi slitina obsahuje přibližně 50,8 at. % Ni [1, 2].

Tepelné či tepelně mechanické zpracování a konkrétní chemické složení slitiny jsou tedy zásadní faktory, které určují finální vlastnosti, a tím aplikace těchto slitin. Cílem této práce bylo studium mikrostruktury biokompatibilní NiTi slitiny s 50,7 at. % Ni, která je v praxi využívána k výrobě endodontických nástrojů, a to před a po různém tepelném zpracování.

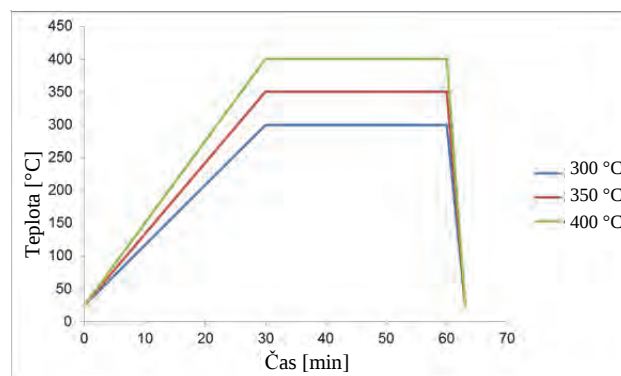
2. Experimentální metody a materiál

Experimentální materiál zahrnoval slitinu NiTi SE508 obsahující 50,7 at. % Ni, jejíž nominální chemické složení je uvedeno v tab. 1. Vzorky byly dodány firmou MEDIN, a.s. ve formě jehel, které se dále obrábějí pro endodontické nástroje.

Tab. 1 Chemické složení slitiny NiTi SE508 [1]

Tab. 1 Chemical composition of NiTi SE508 alloy [1]

Prvek	Obsah [hm. %]
Nikl	55,8
Titan	zbytek
Kyslík	≤ 0,05
Uhlík	≤ 0,02



Obr. 1 Schématické znázornění režimů tepelného zpracování

Fig. 1 Schematic illustration of thermal treatment regimes

Vzorky byly tepelně zpracovány v komorové peci LAC s odporovým ohřevem při 300, 350 a 400 °C po dobu 0,5 h s následným rychlým ochlazením na vzduchu. Doba náběhu na žhací teplotu byla pro všechny tři režimy stejná, a to 0,5 hodiny. Schéma teplotních režimů je uvedeno na obr. 1. Pro srovnání výchozí a žháné mikrostruktury byl jeden vzorek ponechán v dodaném stavu.

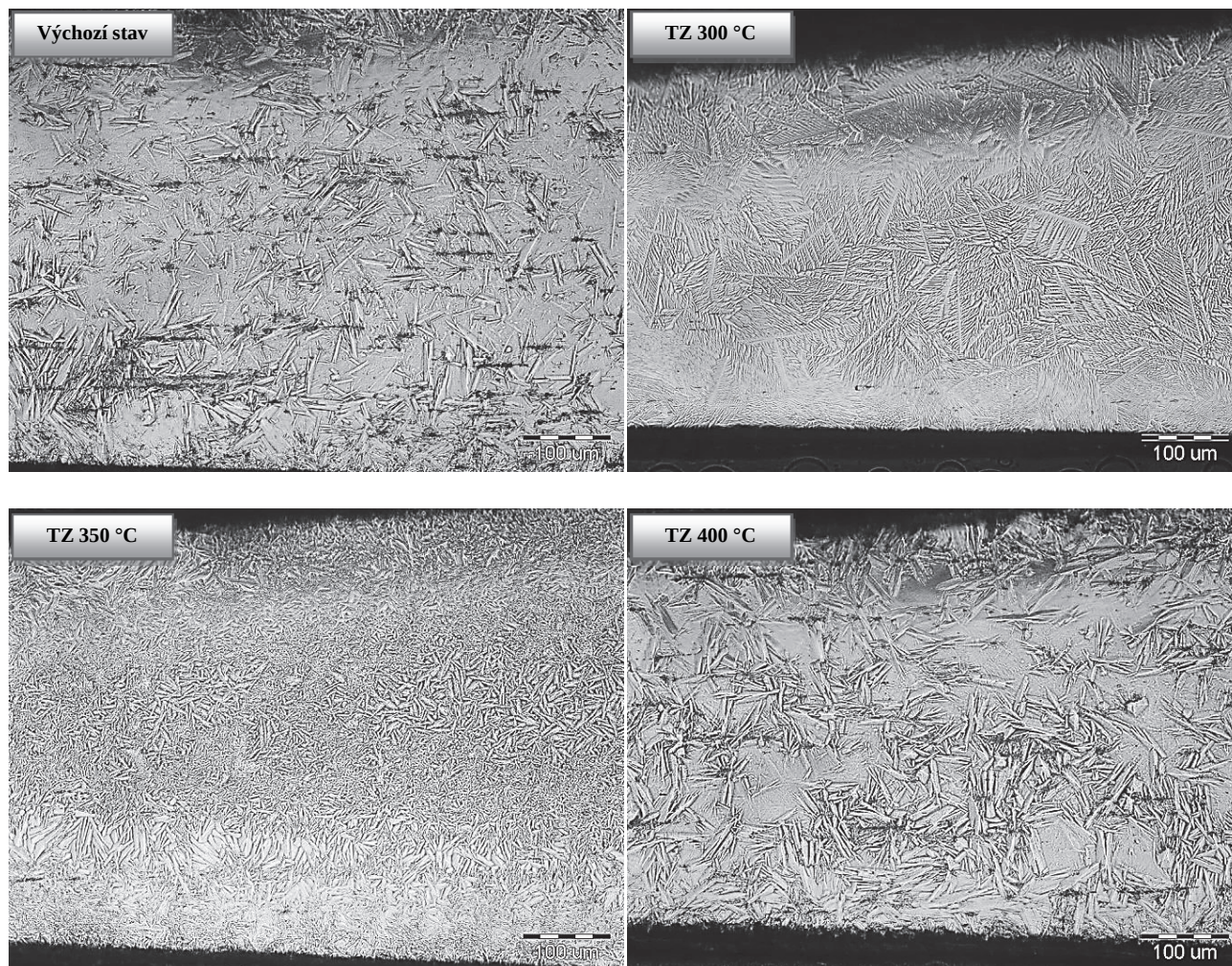
Podélné řezy všech vzorků byly zality za studena do nevodivé akrylátové pryskyřice LevoCit (Struers) a následně broušeny i leštěny na zařízení LaboPol-5 (Struers), vybaveném poloautomatickým přítlačným mechanismem LaboForce-3. Mikrostruktura vzorků byla leptána po dobu 4-5 s v roztoku tvořeném kyselinami CH_3COOH (99,8%), HF (38–40%) a HNO_3 (65%) s poměrem 3:3:5.

Mikrostrukturní vlastnosti naleptaných vzorků byly studovány pomocí optické mikroskopie (OLYMPUS GX51) a skenovací elektronové mikroskopie (SEM - JEOL JSM-6490LV). Studium materiálu bylo doplněno měřením tvrdosti dle Vickerse na automatickém mikrotvrdoměru FUTURE-TECH FM-100 s řídicí jednotkou FM-ARS900 a RTG analýzou na aparatuře Bruker D8 Advance vybavené Lynx-Eye PSD (CuK α zdroj/Ni filtr). Mikrotvrdot byla měřena ve středové části paralelně s okrajem vzorku, a to v rozsahu 5 vpichů, se zatížením 0,1 kg. Rentgenová difrakce byla pak měřena při urychlovacím napětí 40 kV, anodovém proudu 40 mA s krokovým režimem 0,0147, v rozsahu 5 až 80°; detailní měření v oblasti spektra od 38 do 47°, kde se nachází vhodné podmínky pro vyhodnocení fází.

3. Výsledky a diskuze

Mikrostrukturu vzorků ve špici NiTi nástrojů je možné pozorovat na jednotlivých snímcích obr. 2. Vybrané mikrostrukturní detaily, odpovídající uvedeným vzorkům, jsou znázorněny na obr. 3. Je patrné, že vzorky vykazují různé typy mikrostruktur v závislosti na konkrétní teplotě tepelného zpracování. Obecně lze říci, že mikrostruktura vzorků je tvořena jehlicovitým martenzitem s různou prostorovou orientací, tloušťkou či délkou jehlic/desek

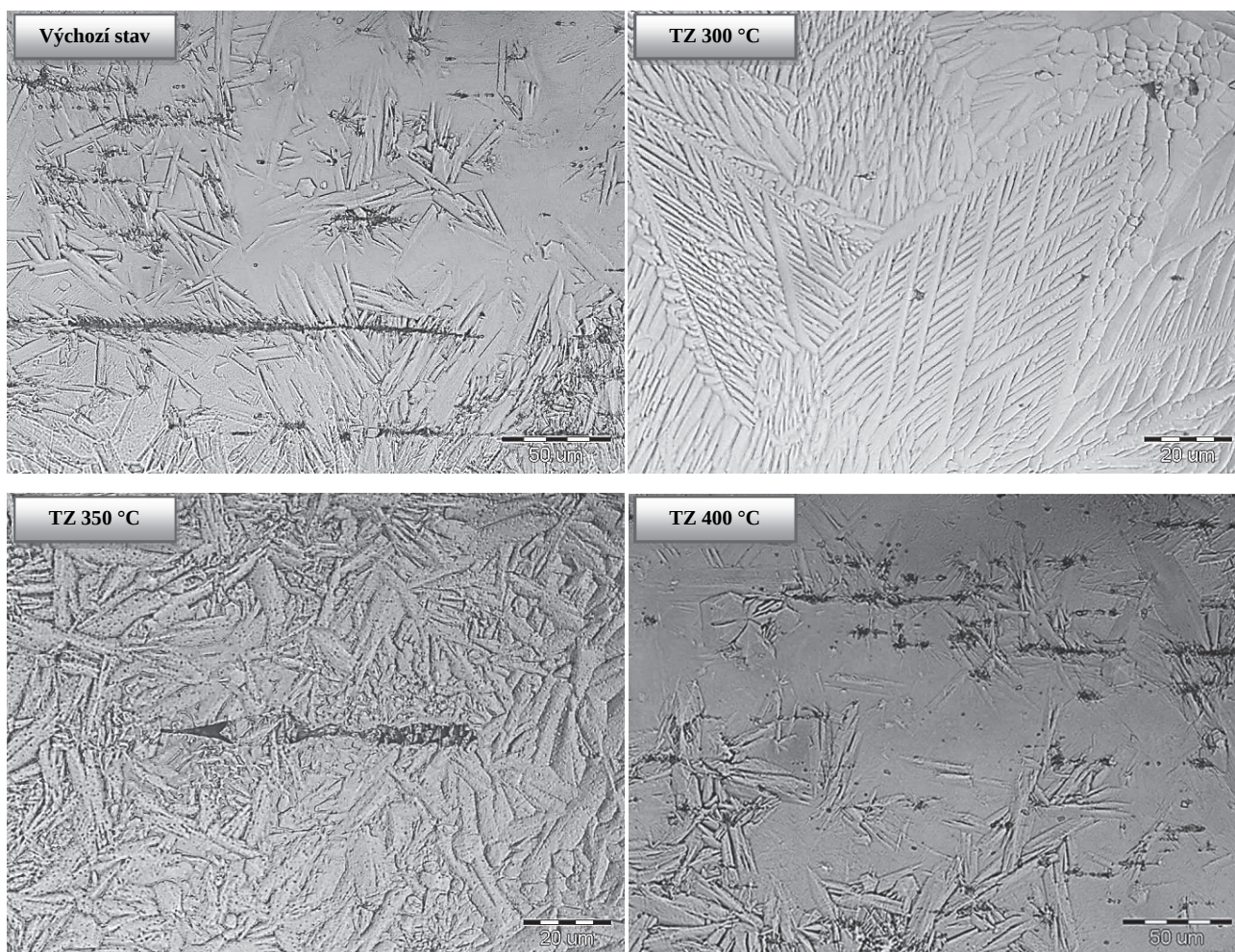
a dále zbytkovým podílem austenitické fáze NiTi. Mikrostruktura je tvořena hrubými martenzitickými deskami u vzorku ve výchozím stavu a po tepelném zpracování při 400 °C, nebo velmi jemnými martenzitickými jehlicemi, které v podstatě vyplňují celý objem vzorku po tepelném zpracování při 350 °C. Nejvíce pravidelná martenzitická struktura byla pozorována po tepelném zpracování při 300 °C, kdy jemné martenzitické jehlice tvořily pakety.



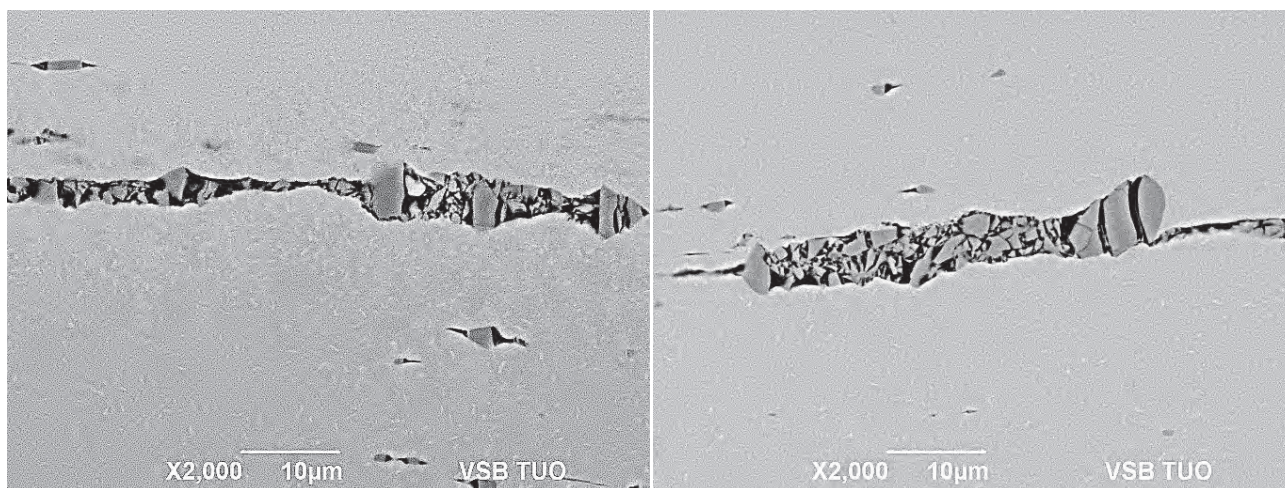
Obr. 2 Snímky mikrostruktury v blízkosti špičky endodontického nástroje v různém stavu tepelného zpracování
Fig. 2 Optical micrographs in the vicinity of the tip of the endodontic tools after different thermal treatment

V mikrostruktuře všech vzorků se vyskytuje ostrohranná fáze převážně seřazená rovnoběžně s osou endodontického nástroje, jak je patrné z obr. 3. Délka útvarů dosahuje velikosti i několik desítek µm. Na základě výsledků EDX SEM analýzy a prací dalších autorů [4-7] lze tyto objekty označit za zoxidovanou fázi NiTi₂, jak

uvádí obr. 4. Přítomnost NiTi₂ fáze je tedy pozorována u všech vzorků, tzn. bez ohledu na tepelně mechanické zpracování, takže je možné předpokládat, že výskyt této fáze je svázán s technologií výroby původního materiálu ve formě drátů, který byl následně použit k výrobě endodontických nástrojů.



Obr. 3 Mikrostruktura jednotlivých stavů po tepelném zpracování: charakter fází martenzitu a austenitu
Fig. 3 Microstructure of samples in different thermal conditions: feature of martensite and austenite phases



Obr. 4 SEM snímky částic NiTi_2 fáze pozorovaných ve slitině NiTi SE508 [5, 6]
Fig. 4 SEM micrographs of NiTi_2 particles observed in NiTi SE508 alloy [5, 6]

Endodontické nástroje jsou při praktickém používání vystaveny namáhání, vyvolaném silnou rotací. Existence fáze NiTi_2 v nástrojích, ve formě ostrohranných či deformovaných částic, je z hlediska únavy obecně považována

za negativní. Při používání může při významném rotačním napětí docházet k iniciaci únavových trhlin, které ve výsledku mohou vést až k úplnému porušení nástroje.

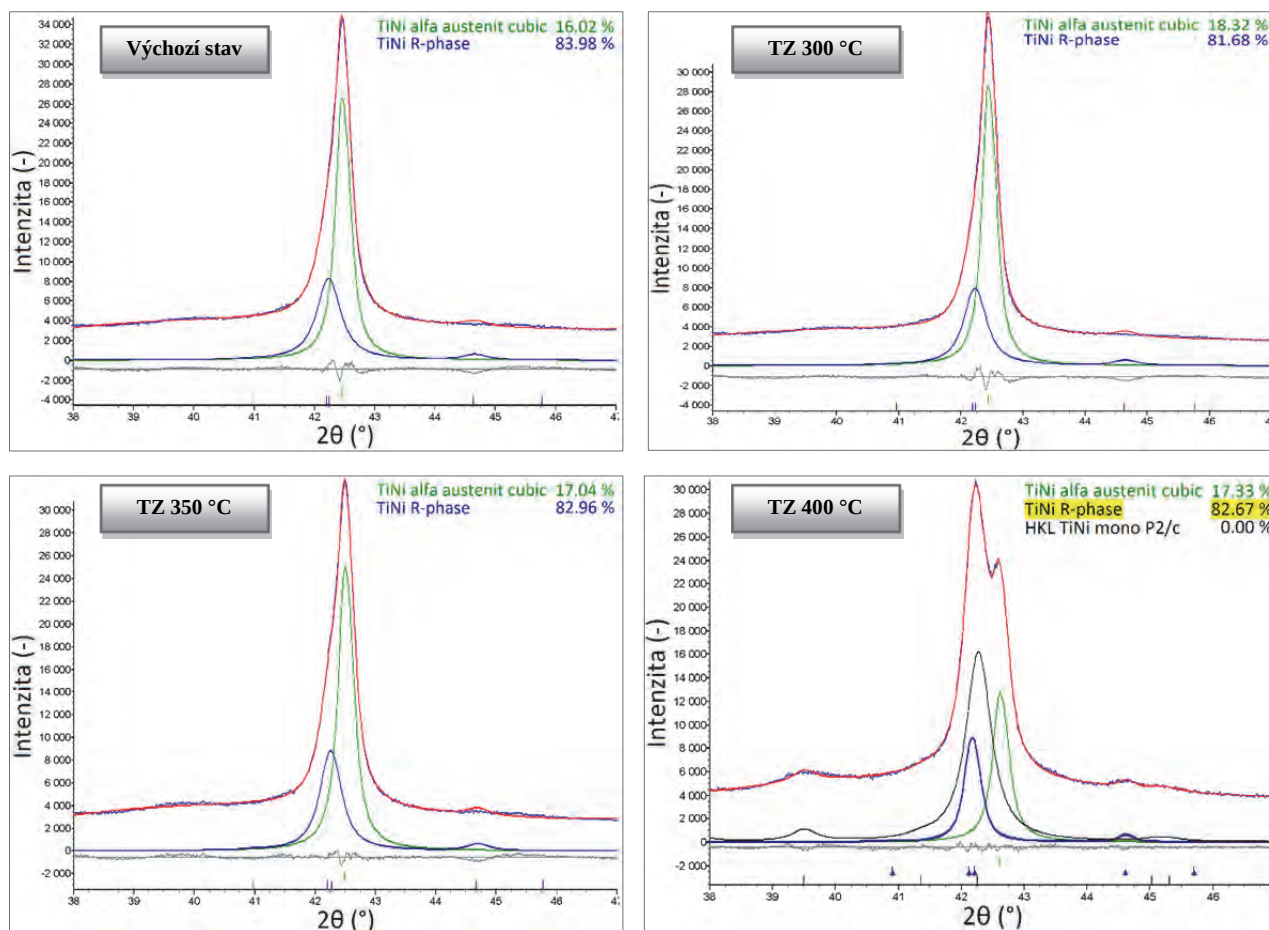
Výsledné průměrné hodnoty mikrotvrdosti vzorků se stanovenou směrodatnou odchylkou jsou shrnuty v tab. 2 a pohybují se v rozmezí přibližně od 370 do 410 HV0,1. Zvolené tepelné zpracování tedy mělo určitý vliv na mikrotvrdost, ale nikoli zásadní. Rozdíly v hodnotách mikrotvrdosti lze s největší pravděpodobností přisuzovat zejména rozdílné morfologii martenzitu či jeho distribuci. Nejvyšší průměrné hodnoty mikrotvrdosti HV0,1 dosahuje vzorek tepelně zpracovaný při 350 °C, jehož mikrostruktura je tvořena velmi jemnými, ale nikoli příliš uspořádanými martenzitickými jehlicemi (obr. 2 pro TZ 350 °C). Naopak nejnižší mikrotvrdost 373 HV0,1 vykazuje vzorek tepelně zpracovaný při 400 °C, jehož mikrostruktura vykazuje odlišný charakter, a je tvořena hrubými martenzitickými jehlicemi a latěmi. Vzorek tepelně pracovaný při 300 °C, s velmi pravidelnou martenzitickou strukturou, pak dosahuje hodnoty

390 HV0,1, což je velmi blízké hodnotě mikrotvrdosti, odpovídající vzorku ve výchozím stavu (395 HV0,1), i přesto, že tento je tvořen zcela odlišnou morfologií mikrostruktury.

Tab. 2 Hodnoty mikrotvrdosti HV0,1 NiTi vzorků v rozdílných stavech tepelného zpracování (TZ)

Tab. 2 Microhardness values HV0.1 of NiTi samples in different states of thermal treatment

STAV	HV0,1
Výchozí	395 ± 47
TZ při 300 (°C)	390 ± 14
TZ při 350 (°C)	406 ± 29
TZ při 400 (°C)	373 ± 28



Obr. 4 RTG difraktogramy NiTi vzorků v rozdílných stavech tepelného zpracování (TZ)

Fig. 4 XRD patterns of NiTi samples in different states in different states of thermal treatment

I přes podstatný rozdíl v mikrostruktuře, vykazují RTG difraktogramy, odpovídající vzorkům ve výchozím stavu a dále tepelně zpracovaných při 300 a 350 °C, velmi podobný průběh (obr. 4). V již zmíněných grafech byly detekovány pouze dva hlavní píky, jež odpovídají austenitické fázi (výchozí B2 struktura NiTi) a R-fázi NiTi

(romboedrická varianta martenzitické struktury). Průběh RTG difraktogramu pro vzorek tepelně zpracovaný při 400 °C je pak odlišný a pouze v tomto případě lze v grafu nalézt přítomnost tří spekter, která odpovídají austenitické fázi B2, R-fázi NiTi a monoklinické martenzitické fázi. Je také zajímavé, že vzorek s tímto konkrétním fázovým

složením, obsahující monoklinický martenzit (B19'), vykazuje současně také nejnížší naměřené hodnoty mikrotvrdosti, jak uvádí tab. 2. Vzhledem k nehomogenní distribuci částic fáze NiTi₂ a pravděpodobným nanometrickým velikostem metastabilních částic fází Ni₄Ti₃ či Ni₃Ti₂, nebyly v difraktogramech detekovány žádné další výrazné píky, než ty, jež odpovídají již uvedeným fázím.

4. Závěr

Mikrostrukturní změny ve slitině NiTi SE508, která se používá pro výrobu endodontických nástrojů, byly studovány po tepelném zpracování 0,5 h při 300, 350 a 400 °C s následným ochlazením na vzduchu. Studium vlivu tepelného zpracování bylo provedeno pomocí optické a skenovací elektronové mikroskopie, měření mikrotvrdosti a RTG analýzy. Na základě diskutovaných výsledků je možné uvést následující závěry:

- 1) Mikrostruktura všech vzorků, před i po tepelném zpracování, má odlišnou morfologii a je tvořena martenzitem s různou prostorovou orientací, tloušťkou či délkou jehlic/desek a dále zbytkovým podílem austenitické fáze NiTi.
- 2) Aplikované tepelné zpracování vykazuje jen velmi malý dopad na výskyt či distribuci částic NiTi₂ fáze, která zůstává seřazena rovnoběžně se středovou osou nástroje.
- 3) Hodnoty mikrotvrdosti jednotlivých vzorků leží v rozmezí od 373 do 406 HV_{0,1} a jsou tedy konkrétními tepelnými režimy ovlivněny jen velmi mírně.
- 4) RTG analýza potvrdila existenci austenitické fáze NiTi a R-fáze u všech studovaných vzorků, tedy jak pro výchozí stav, tak u vzorků po tepelném zpracování. U vzorku tepelně zpracovaného při 400 °C byl detekován navíc monoklinický martenzit.

Poděkování

Tato práce byla realizována v rámci následujících projektů: LO1203 „Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - Program udržitelnosti“, TH01020487 „Vývoj endodontických nástrojů“, 04766/2017/RRC „Podpora talentovaných studentů doktorského studia na VŠB-TUO“ financovaný z rozpočtu Moravskoslezského kraje v rámci dotačního programu RRC/10/2017 „Podpora vědy a výzkumu v Moravskoslezském kraji 2017“, a dále SGS SP2019/128 a SP2019/43.

Autoři děkují Ing. Kateřině Konečné, PhD. za zhotovení fotodokumentace na skenovacím elektronovém mikroskopu JEOL JSM-6490LV.

Literatura

- [1] NITINOL PRODUCTS & FRAMES: Nitinol Material Properties. Confluent Medical Technologies [online]. Fremont (California): Confluent Medical Technologies, 2019 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://confluentmedical.com/capabilities/nitinol-component-manufacturing/>.
- [2] ELAHINIA, M.H., HASHEMI, M., TABESH, M., BHADURI, S.B. Manufacturing and processing of NiTi implants: A review. *Progress in Materials Science* 57 (2012) 5, 911–946.
- [3] LIU, Y., GALVIN, S.P. Criteria for pseudoelasticity in near-equiatomic NiTi shape memory alloys. *Acta Materialia*. 45 (1997) 11, 4431–4439.
- [4] KHALIL-ALLAFI, J., DLOUHY, A., EGGER, G. Ni₄Ti₃-precipitation during aging of NiTi shape memory alloys and its influence on martensitic phase transformations. *Acta Materialia*. 50 (2002), 4255–4274.
- [5] ŠTENČEK, M. *Vliv tepelného zpracování na superelasticitu slitiny TiNi*. Ostrava, 2016. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Monika Losertová.
- [6] LOSERTOVÁ, M., ŠTENČEK, M., DRÁPALA, J., ŠTEFEK, O., KONEČNÁ, K., KAMENSKÝ, M. Influence of heat treatment on microstructure properties of NiTi alloy. In: *METAL 2017: Conference Proceedings: 26th International Conference on Metallurgy and Materials: (reviewed version): May 24th-26th 2017, Hotel Voroněž I, Brno, Czech Republic, EU, 1866–1873.*
- [7] BHAGYARAJ, J., RAMAIAH, K.V., SAIKRISHNA, C.N., BHAUMIK, S.K., GOUTHAMA. Behavior and effect of Ti₂Ni phase during processing of NiTi shape memory alloy wire from cast ingot. *J. Alloy. Comp.* (2013), 581, 344–351.

STUDENTI VŠB – TUO V OSTRAVĚ VYUŽÍVAJÍ KE STUDIU NOVOU BUDOVU K VÝUCE PRAKTICKÝCH PŘEDMĚTŮ

Přístup k nejmodernějším přístrojům, na nichž si mohou vyzkoušet teorii v praxi, nabízí VŠB-TUO od konce roku 2019 svým studentům v přístavbě budovy CPIT TL1.

Nová budova slouží studentům Fakulty strojní (FS) a Fakulty materiálově-technologické (FMT) ve výuce praktických předmětů. K nejmodernější technice se tak dostanou studenti dopravních oborů, strojírenské technologie chemického a environmentálního inženýrství.

„Budoucí strojaři se mohou těšit na zkušební a vývojové centrum automobilů a motocyklů, stejně jako na laboratoř vybavenou technologiemi pro konvenční i nekonvenční obrábění, aditivní výrobu a souřadnicové měření“, představuje nové zázemí fakulty její děkan prof. Hlavatý. Studenti FMT se během výuky podívají do laboratoře procesního inženýrství.

- red -

Vliv mikrostruktury na mechanické vlastnosti v tahu a charakter lomových ploch slitiny Al-Mn

Influence of microstructure on tensile mechanical properties and fracture feature of Al-Mn alloy

Ing. Jan Škoda¹; doc. Dr. Ing. Monika Losertová¹; Ing. Kateřina Konečná, Ph.D.¹; Ing. Vojtěch Machalla²; Ing. Petr Czyz³

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

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

³ Hanon Systems Autopal s.r.o., Lužická 984/14, 741 01 Nový Jičín, Czech Republic

Hliníkové slitiny se především díky své specifické pevnosti a korozním vlastnostem staly v podstatě standardním materiálem pro automobilový průmysl. Slitiny na bázi Al-Mn (třída 3XXX), které se používají pro výrobu jak klimatizačních komponent v automobilovém průmyslu, tak pro různé konstrukční prvky nebo produkty ve stavebnictví a spotřebním průmyslu, jsou často vystaveny účinkům mechanického namáhání vedoucím k jejich poškození nebo selhání. V této práci bylo pro slitinu 3003-H12 provedeno studium mikrostruktury, pevnosti v tahu a morfologie lomových ploch. Z tahové zkoušky, která byla provedena na pěti vzorcích, vyplynula střední hodnota meze kluzu 118 MPa a maximální pevnosti 123 MPa. Vzorky při tahové zkoušce tvořily krček a morfologie lomových ploch odpovídala pozorované mikrostruktuře, která byla tvořená tuhým roztokem α , částicemi fází $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$ a $\alpha\text{-Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$. Zrna α měla nestejnou velikost v průřezu vzorku, podle oblastí se jejich rozměry pohybovaly od 30 do 500 μm v příčném a až do 1000 μm v podélném řezu. Houževnatý lom byl charakteristický jamkami, uvnitř kterých byly pozorovány díry po intermetalických částicích. Slitina svými vlastnostmi dle očekávání patří spíše mezi materiály s nižší pevností a dobrou houževnatostí. Výsledky představují první etapu výzkumu únavového chování slitin 3XXX, neboť jsou velmi často podrobovány cyklickým zatížením při jejich provozu v chladicích nebo klimatizačních jednotkách v automobilech.

Klíčová slova: slitina Al-Mn; tahová zkouška; SEM; fraktografie; mez kluzu; morfologie lomu

Owing to their specific strength and corrosion properties, aluminium alloys have become standard choice of material in automotive industry. Al-Mn based alloys (3XXX class) are used in several applications in automotive industry as well as in construction and consumer industry. Based on the application, the components are often subjected to mechanical loading which can cause their damage or failure. This paper is focused on the investigation of the microstructure, tensile strength and fracture surface morphology of the 3003-H12 alloy. The tensile testing that was carried out on five specimens resulted in average values of 118 MPa for yield strength and 123 MPa for ultimate tensile stress. The necking was observed during tensile testing for all specimens and fracture morphology corresponded to observed microstructure which consists of α solid solution and particles of $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$ or $\alpha\text{-Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$ phases. The α grain size varied from 30 to 500 μm in transversal and up to 1000 μm in longitudinal section of tensile specimens. The ductile fracture showed small dimples with voids inside them due to broken intermetallic particles. The mechanical properties allowed to classify the alloy investigated into material group of lower strength and good ductility as we expected. The results represent the first stage of the fatigue behaviour research of 3XXX alloys, which are very often submitted to cyclic loading during their operation in automotive cooling or air-conditioning units.

Key words: Al-Mn alloy; tensile test; SEM; fractography; yield strength; fracture morphology

1. Úvod

Automobilový průmysl klade velké požadavky na snižování hmotnosti součástí, avšak zároveň zvyšuje důraz na životnost používaných materiálů. Mezi nejpoužívanější materiály patří v současnosti hliníkové slitiny, a to především díky své specifické pevnosti a korozním vlastnostem, které je předurčují pro aplikace jak v automobilovém, tak stavebním nebo spotřebním

průmyslu, kde jsou často vystaveny účinkům mechanického namáhání vedoucím k jejich poškození nebo selhání. Z tohoto důvodu je nutné sledovat kromě jejich pevnostních a korozních vlastností také jejich únavové vlastnosti. Lomové chování hliníkových slitin není v literatuře tak detailně prozkoumáno jako v případě ocelí, přičemž u některých typů slitin údaje chybí úplně [1, 2].

Slitiny na bázi Al-Mn, jejichž složení shrnuje tab. 1 a které jsou dle Aluminum Association řazeny do třídy 3XXX, patří do skupiny tvařitelných, tepelně nevytvrzovaných hliníkových slitin (tab. 2), se zpevňují mechanicky a používají se mimo jiné i pro výrobu komponent v klimatizačních modulech pro automobilový i stavební průmysl. V těchto aplikacích jsou často vystaveny vibracím, které při velkém zatížení mohou způsobit praskání materiálu. Pokud dojde k selhání komponenty, je podle charakteru porušení možné rozlišit lom vzniklý při statickém zatížení od únavového lomu, přičemž tento se dále dělí dle typu zatěžování na lom vysokocyklový nebo nízkocyklový [2, 3].

Legování manganem zajišťuje zjemnění zrna a brání jeho růstu při ohřevu, což má za následek navýšení pevnosti za současného zachování tvažitelnosti. Mikrostruktura slitiny na bázi Al-Mn je po odlití v nerovnovážném stavu a je tvořena základní matricí tuhého roztoku hliníku a primárně solidifikovanými intermetalickými částicemi na bázi Al-Mn-Fe(Si) [4]. Částice intermetalických fází ve tvaru tyčinek nebo destiček, které se vyskytují jako eutektikum, jsou především ortorombické fáze $Al_6(Fe,Mn)$, s menším podílem kubické $\alpha-Al_{12-15}(Fe,Mn)_3Si_2$. Prvním krokem při optimalizaci mechanických vlastností je homogenizační

žhánění. Částice $Al_6(Mn,Fe)$ precipitují za nižších teplot, zatímco částice $\alpha-Al_{12-15}(Fe,Mn)_3Si_2$ precipitují spíše za vyšších teplot. Zvyšování teplot, nebo prodloužení homogenizace má za následek rozpouštění částic $Al_6(Mn,Fe)$ a jejich transformaci na $\alpha-Al_{12-15}(Mn,Fe)_3Si_2$ [5, 6]. Z označení slitiny je zřejmé, že 3003 patří mezi výše zmíněné precipitačně nevytvrzované slitiny, tedy její pevnost nemůže být výrazně ovlivněna tepelným zpracováním. Většina zpevňujícího účinku v případě této slitiny je dána zpevněním tuhého roztoku, tedy zejména vlivem přítomnosti atomů legujících prvků s rozdílným atomovým poloměrem a modulem pružnosti. Pouze malou část zpevnění je možné přičítat precipitaci výše zmíněných částic. Celkový příspěvek ke zpevnění je ovšem velmi malý a slitina 3003 má v litém stavu velmi nízkou mez kluzu, jak uvádí tab. 3. Největší vliv na pevnost těchto slitin má zpevnění plastickou deformací, která je do materiálu vnesena tvářením za studena (tab. 3). V kombinaci se žháněním pak dostáváme slitinu s požadovanými mechanickými vlastnostmi. Tepelně mechanická historie materiálu, tedy stav po tepelně - mechanickém zpracování, je označována jako tzv. „temper“ a zapisuje se pomocí písmena a číslice, jak uvádějí následující tabulky (tab. 2 a 3) [7].

Tab. 1 Složení slitin na bázi Al-Mn třídy 3XXX [7]

Tab. 1 Composition of Al-Mn based alloys of 3XXX class [7]

Prvek Slitina	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	V	Zr	Ti	Ostatní
3002	0,08	0,1	0,15	0,05-0,25	0,05-0,2	-	-	0,05	0,05	-	0,03	0,1
3003	0,6	0,7	0,05-0,2	1-1,5	-	-	-	0,1	-	-	-	0,15
3004	0,3	0,7	0,25	1-1,5	0,8-1,3	-	-	0,25	-	-	-	0,15
3005	0,6	0,7	0,3	1-1,5	0,2-0,6	0,1	-	0,25	-	-	0,1	0,15
3009	1-1,8	0,7	0,1	1,2-1,8	0,1	0,05	0,05	0,05	-	0,1	0,1	0,15
3103	0-0,5	0-0,7	0-0,1	0,9-1,5	0-0,3	0-0,1	-	0-0,2	-	-	-	0,15

Tab. 2 Označování stavu po tepelném nebo tepelně-mechanickém zpracování u slitin třídy 3XXX [7]

Tab. 2 Denotation of temper (thermal or thermal mechanical treatment condition) of 3XXX alloys [7]

Stav tepelně-mechanického zpracování	Popis
O	Žháněno, bez deformačního zpevnění (měkký stav)
H	Tvářeno, deformačně zpevněno (vytvrzený stav)
H1X	Deformačně zpevněno na požadovaný stupeň pevnosti bez dalšího tepelného zpracování
H2X	Deformačně zpevněno na vyšší stupeň pevnosti, poté žháněno
H3X	Deformačně zpevněno a tepelné zpracování na stabilizaci (zlepšení tvárnosti)
H4X	Deformačně zpevněno a tepelné zpracování během sušení nebo vypalování po lakování nebo barvení
Doplňková číslice	
HX2	Zpevněno na čtvrtinu
HX4	Zpevněno na polovinu
HX6	Zpevněno na tři čtvrtiny
HX8	Zcela zpevněno

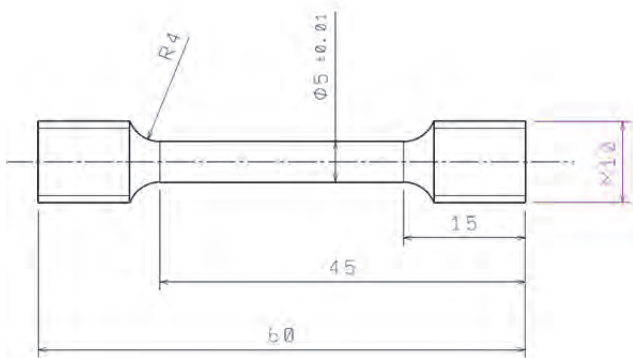
Tab. 3 Hodnoty mechanických vlastností pro slitinu 3003 [7]
Tab. 3 Mechanical properties values of 3003 alloy [7]

Slitina	Stav	Mez pevnosti	Mez kluzu	Modul elasticity	Tvrdość HB	Mez únavy
		[MPa]		[GPa]		[MPa]
3003	O	110	40	69	28	50
	H12	130	125	69	35	55
	H14	150	145	69	40	60
	H16	180	170	69	47	70
	H18	200	185	69	55	70

V této práci se autoři zaměřili na stanovení charakteru lomových ploch po tahové zkoušce v souvislosti s mechanickými vlastnostmi v tahu a mikrostrukturou slitiny 3003 ve stavu H12. Výsledky tohoto studia budou sloužit jako podklad pro studium únavového chování sledované Al-Mn slitiny.

2. Experimentální materiál a metody

Materiál ve formě tyčoviny ze slitiny Al-Mn v tvářeném stavu H12 (deformačně vytvrzeno na $\frac{1}{4}$, bez následného žíhání) byl dodán firmou Hanon Systems Autopal s.r.o. Pro tahovou zkoušku bylo připraveno pět vzorků s průměrem pracovní části 5 mm o celkové délce 60 mm a délce pracovní části 30 mm, jak uvádí obr. 1. Zatěžování v tahu s rychlostí $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ bylo provedeno na univerzálním zkušebním stroji M500-50CT řízeného počítačem vybaveného softwarem WinTest Analysis.



Obr. 1 Schéma vzorku pro tahovou zkoušku
Fig. 1 Schematic of tensile test specimen

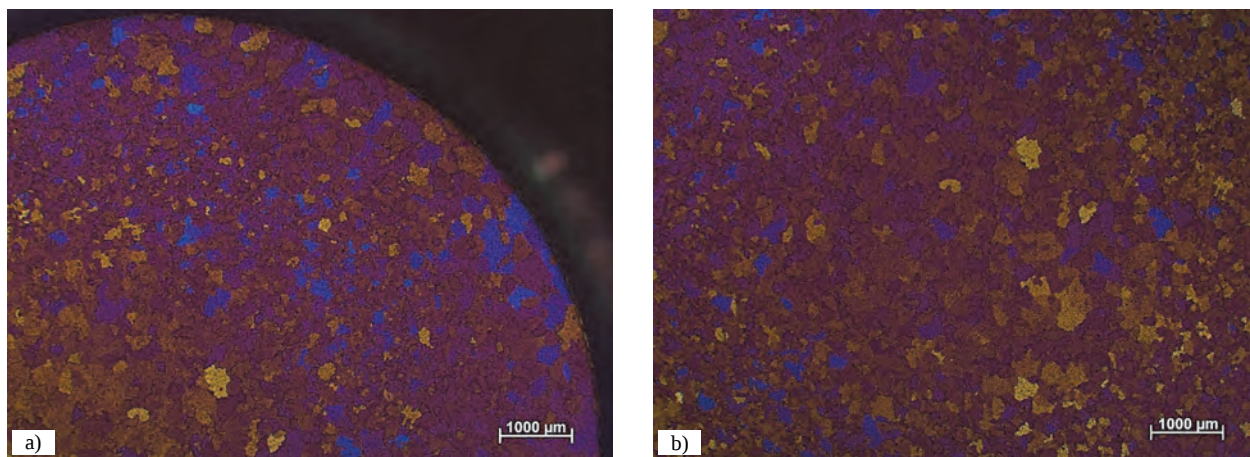
Pro metalografickou analýzu byly odebrány vzorky z hlavové části po tahové zkoušce. Příčné i podélné řezy byly zastudena zality do nevodivé pryskyřice SpeciFix (Struers) a na přístroji Compact 1031 (MTH Hrazdil) ručně broušeny na brusných papírech SiC s postupně rostoucí zrnitostí do 2500. Leštění bylo provedeno na plátně MD Chem v kombinaci s roztokem OP-U Suspension (Struers). Mikrostruktura byla studována na optickém mikroskopu Olympus GX51 vybaveného digitálním fotoaparátem DP1, a to bez leptání, anebo po elektrolytickém

barevném leptání na přístroji Lectropol – 5 (Struers) v Barkerově činidlo složeném z 5 ml 48% HBF_4 a 200 ml H_2O . Fázová analýza mikrostruktury a studium lomových ploch byly provedeny na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM) JEOL JSM-6490LV vybaveného sondou OXFORD INSTRUMENTS INCA x-act.

3. Výsledky a diskuze

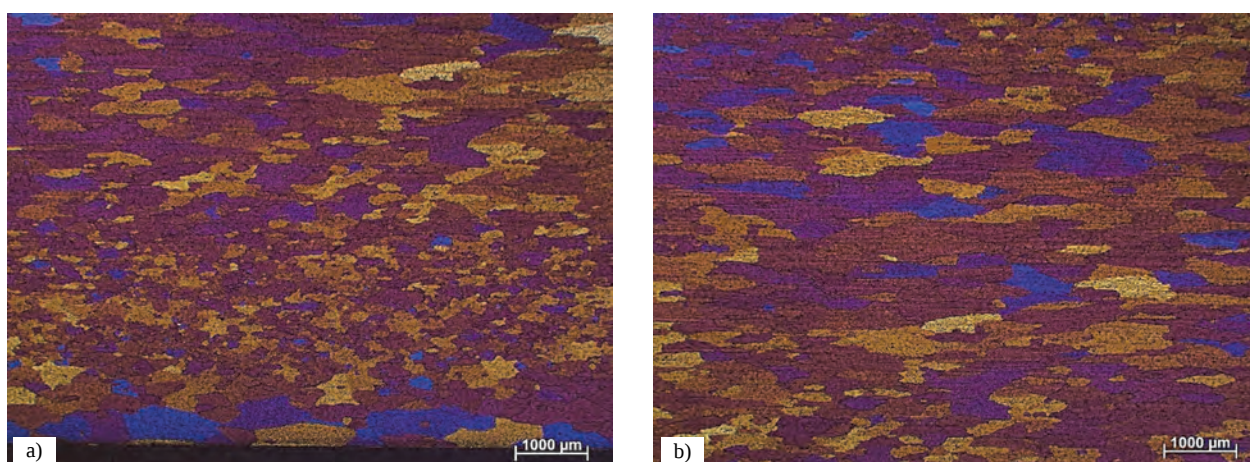
Mikrostruktura vzorku experimentální Al-Mn slitiny, odebraného z hlavové části tahové zkoušky, se vyznačuje různou velikostí zrn a je pro příčný a podélný řez uvedena po barevném leptání na obr. 2 a 3. Tvářená mikrostruktura je v příčném řezu charakterizována rovnoosými zrny. Zrna jsou po okrajích a ve středu vzorku hrubší (od 200 do 500 μm) s pozvolným přechodem k jemnější mikrostruktuře (od 30 do 100 μm) mezi okrajovou a středovou částí vzorku, a to vlivem předcházejícího tepelně mechanického zpracování (dodaný stav). V podélném řezu vzorku z hlavové části jsou zrna protáhlá až na 1000 μm ve směru tváření, distribuce tvarů a velikosti odpovídají příčnému řezu, tedy na okrajích vzorku je mikrostruktura hrubší, směrem ke středu přechází na jemnější a ve středu opět zrna hrubnou (obr. 3).

Částice intermetalických fází v mikrostruktuře byly sledovány bez leptání jak na optickém mikroskopu (obr. 4), tak pomocí SEM (obr. 5). V případě podélného řezu (obr. 4b) je vidět přednostní orientace částic ve směru tváření. Z výsledků analýzy EDX v tab. 4 je možné považovat tyto částice obsažené v mikrostruktuře za fáze typu $\alpha\text{-Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$ a $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$. Jedná se o fáze typické pro studovanou slitinu a k jejich vzniku dochází ochuzováním základní matrice vlivem difuze prvků Mn, Fe a Si při tuhnutí i následném homogenizačním žíhání [5, 8]. Jejich výskyt a poměr zastoupení lze do určité míry upravovat pomocí výrobních podmínek, různými poměry prvků Fe:Si:Mn ve slitině a tepelným zpracováním. Tyto intermetalické fáze, které je velice obtížné eliminovat pomocí žíhání pod teplotou 650 $^{\circ}\text{C}$ kvůli nebezpečí natavení, mohou ovlivňovat jak rekrytalizační a precipitační chování, tak také únavovou pevnost. Podrobný vliv těchto částic na únavové chování slitin Al-Mn doposud nebyl publikován.



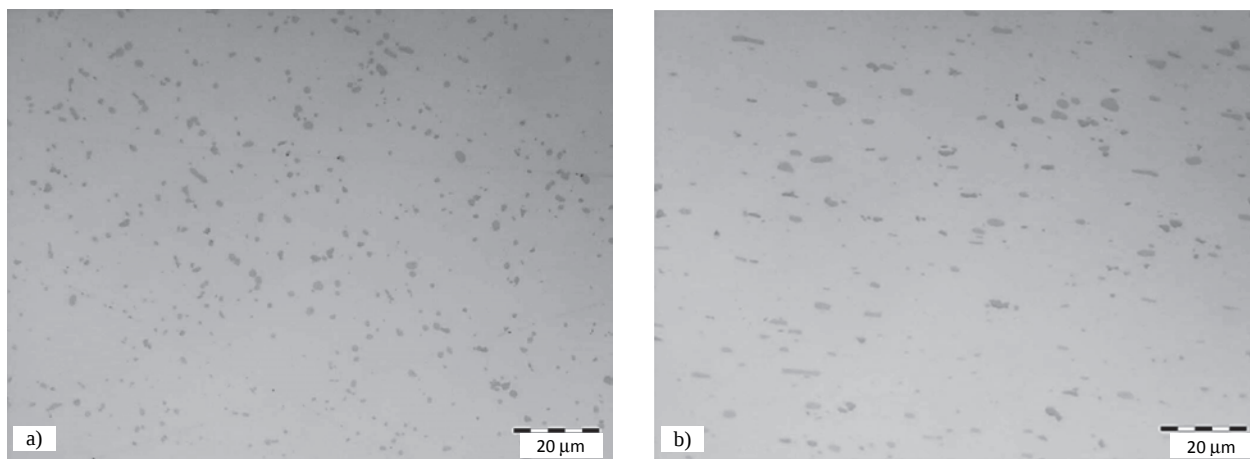
Obr. 2 Mikrostruktura vzorku Al-Mn: a) okrajová a b) středová část příčného řezu; leptáno elektrolyticky

Fig. 2 Microstructure of Al-Mn sample: a) edge and b) centre area of the cross section; electrolytic etching



Obr. 3 Mikrostruktura vzorku Al-Mn: a) okrajová a b) středová část podélného řezu; leptáno elektrolyticky

Fig. 3 Microstructure of Al-Mn sample: a) edge and b) centre area of longitudinal section; electrolytic etching



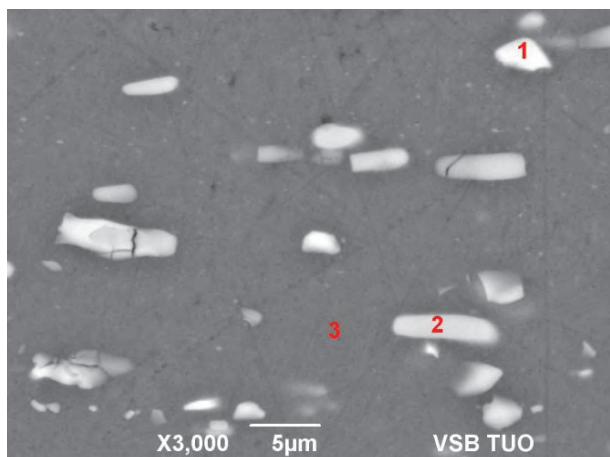
Obr. 4 Mikrostruktura vzorku Al-Mn v a) příčném a b) podélném řezu, neleptáno

Fig. 4 Microstructure of Al-Mn sample in a) cross and b) longitudinal section, non-etched

Tab. 4 Chemické a fázové složení slitiny 3003

Tab. 4 Chemical and phase composition of 3003 alloy

Fáze \ Prvek	Al	Si	Mn	Fe
α -Al ₁₂ (Fe,Mn) ₃ Si	73,88	5,04	10,67	10,41
Al ₆ (Fe,Mn)	82,76	0,12	9,56	7,56
Tuhý roztok α (matrice)	99,45	0,02	0,53	-



Obr. 5 SEM snímek mikrostruktury slitiny Al-Mn: 1- α - $\text{Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$,

Fig. 5 SEM micrograph of Al-Mn alloy: 1- α - $\text{Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$,
2- $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$ and 3- α solid solution Al (matrix), non-etched

Tab. 5 Mechanické vlastnosti slitiny Al-Mn v tahu

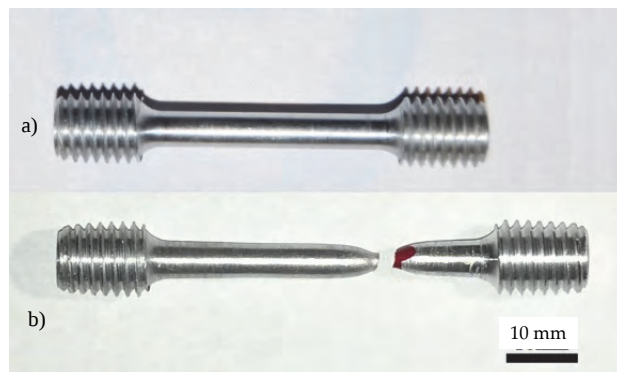
Tab. 5 Tensile mechanical properties of Al-Mn alloy

Vzorek	Mez kluzu $R_{p0,2}$	Mez pevnosti R_m
	[MPa]	
1	116	123
2	117	123
3	121	124
4	118	123
5	117	123
Střední hodnota	$117,8 \pm 1,9$	$123,2 \pm 0,4$

Vzorky zatěžované v tahu se deformovaly za tvorby krčku, jak je patrné na obr. 6. Z výsledků tahové zkoušky, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tab. 5, je patrné, že se jedná obecně o slitinu s nízkou úrovní zpevnění. Dosažené pevnosti jsou nepatrně nižší, než je pro slitinu 3003 za pokojové teploty uvedeno v tab. 3, nicméně

hodnoty jsou v souladu s intervaly hodnot uváděnými v jiných zdrojích [9-11].

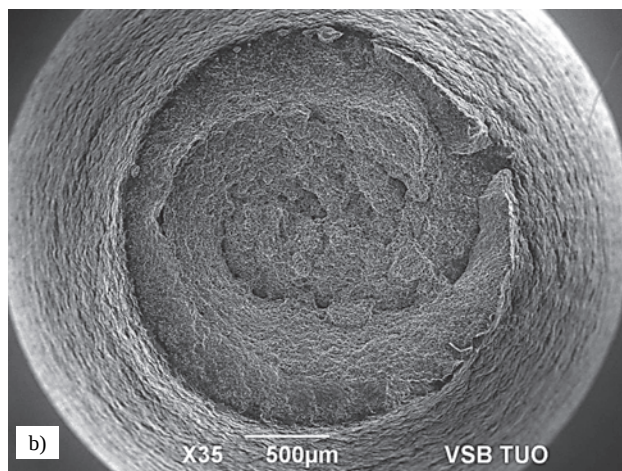
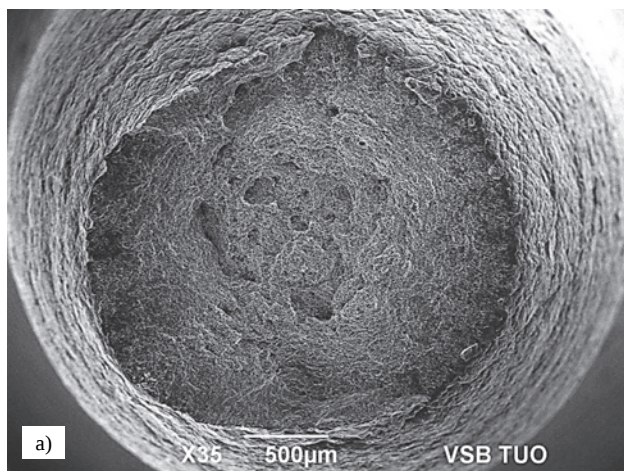
Plasticita slitiny, tedy velmi malý rozdíl mezi mezí kluzu a mezí pevnosti, odpovídá zpevněnému stavu H12. V případě nezpevněného stavu O by měla slitina výrazně nižší mez kluzu, ve srovnání s mezí pevnosti, jak je patrné z tab. 3.



Obr. 6 Vzorky ze slitiny Al-Mn a) před a b) po tahové zkoušce

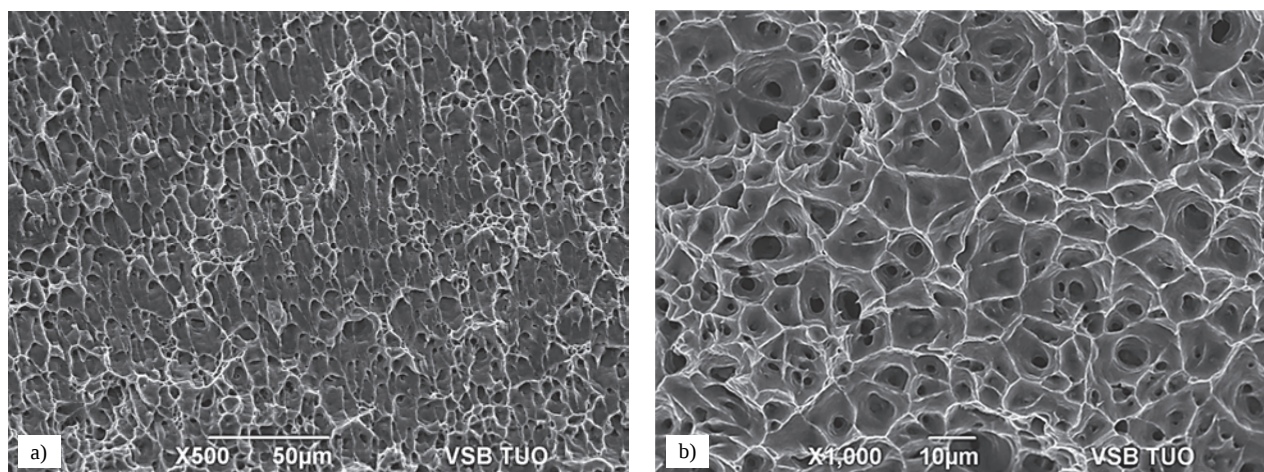
Fig. 6 Specimens of Al-Mn alloys a) before and b) after tensile test

Vzhled porušení vzorků má z makroskopického hlediska houževnatý charakter, což dokládají také snímky lomových ploch ze skenovacího elektronového mikroskopu (obr. 7). Lomové plochy jsou tvořeny jamkami, hranice zrn nejsou patrné (obr. 8 a 9), což odpovídá tvárnému transkrystalickému lomu. Směr protažení jamek v oblastech při okrajích vzorku nasvědčuje tomu, že tvárný lom proběhl také částečně smykem. Na detailních snímcích SEM v režimu SEI (obr. 9b) není možné čtení výskyt částic uvnitř jamek pozorovat, naopak v režimu BEI (obr. 10) je již zřejmé, že každá jamka obsahuje částici nebo dutinu po jejím vytržení během tahové zkoušky. Částice v matici slitiny je možné považovat za iniciační centra při tvárném porušení.



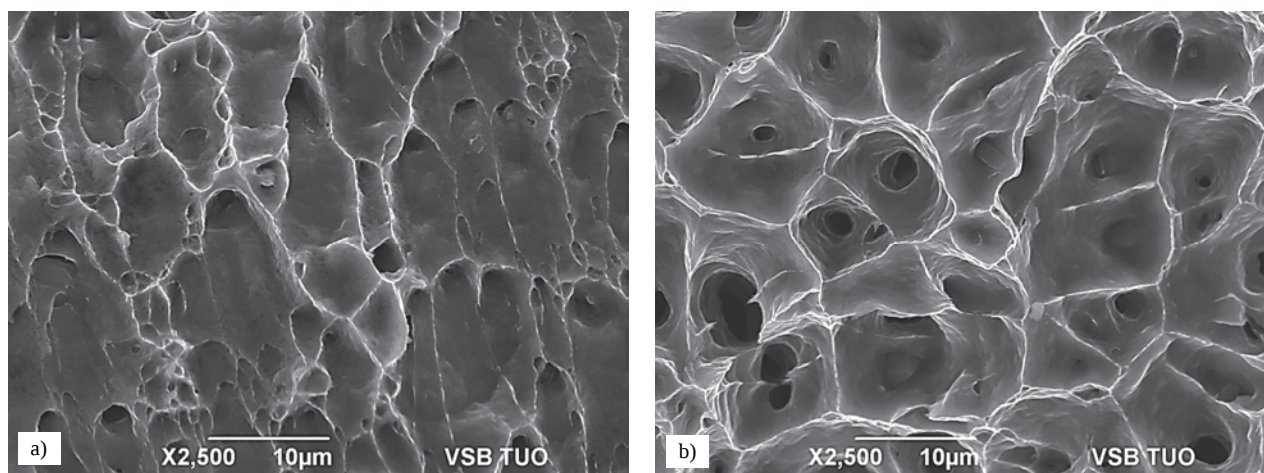
Obr. 7 SEM SEI snímky charakteru lomového porušení dvou vybraných vzorků slitiny Al-Mn, a) a b) u obou je patrný smykový charakter na okraji a členitý ve středu vzorku

Fig. 7 SEM SEI images of fracture surfaces of two selected Al-Mn specimens, a) and b) shear feature near the edge and rugged character in the centre of the specimen



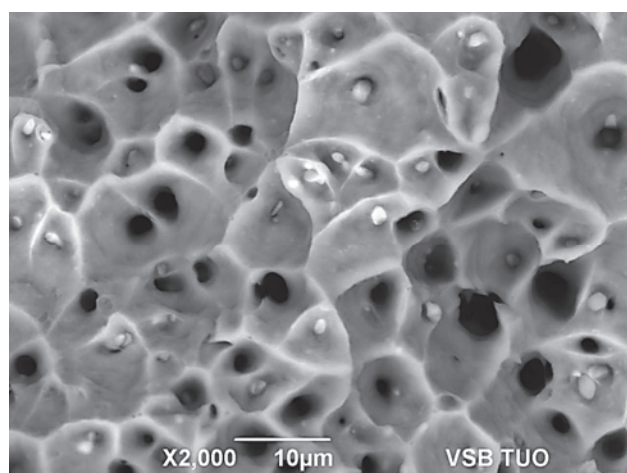
Obr. 8 SEM SEI snímky charakteru lomu slitiny Al-Mn po tahové zkoušce: a) na okraji a b) ve středu lomové plochy

Fig. 8 SEM SEI fractography of Al-Mn specimen after tensile testing: a) near the edge and b) in the centre of the fracture surface



Obr. 9 SEM SEI detail lomové plochy slitiny Al-Mn po tahové zkoušce: a) na okraji a b) ve středu vzorku

Fig. 9 SEM SEI detail of the fracture surface for tensile tested Al-Mn alloy: a) near the edge and b) in the centre of the specimen



Obr. 10 SEM BEI detail částic fází $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$ a $\alpha\text{-Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$ ve tvárných jamkách na lomové ploše slitiny Al-Mn

Fig. 10 SEM BEI detail of $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$ and $\alpha\text{-Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$ phase particles in the ductile dimples of the fracture surface of Al-Mn alloy

4. Závěr

Bylo provedeno studium mechanických vlastností a lomových ploch po tahové zkoušce za pokojové teploty u slitiny 3003-H12. Z výsledků je možné vyvodit následující závěry:

- Výsledné střední hodnoty dosahovaly pro mez kluzu 118 MPa a mez pevnosti 123 MPa.
- Lomové plochy mají charakter typického tvárného transkrystalického lomu.
- Studium pomocí SEM potvrdilo výskyt částic $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$ a $\alpha\text{-Al}_{12}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}$ v jamkách, na kterých dochází k iniciaci trhlin.

Dosažené výsledky jsou součástí výzkumu únavového chování slitiny 3003 s cílem stanovit vliv typu cyklického zatěžování na charakter lomových ploch.

Poděkování

Tato práce byla realizována v rámci projektů RRC/10/2018 „Podpora vědy a výzkumu v Moravskoslezském kraji 2018“ financovaného z rozpočtu Moravsko-Slezského kraje a SGS SP2019/128 and SP2019/43 podpořených z rozpočtu MŠMT české republiky.

Literatura

- [1] CAMPBELL, F. C. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. ASM International (2008); 656 s. ISBN 978-08-717-0867-0.
- [2] MILELLA, P. P. *Fatigue and Corrosion in Metals*. Springer-Verlag Italia (2013); 844 s. ISBN 978-88-470-2335-2.
- [3] YAGUCHI, H., MITANI, H., NAGANO, K. Fatigue-damage evaluation in aluminum heat-transfer tubes by measuring dislocation cell-wall thickness *Mater. Sci. Eng. A* 315 (2001), 1-2, 189–194.
- [4] LI, Y. J., MUGGERUT, A. M. F., OLSEN, A., FURU, T. Precipitation of partially coherent α -Al(Mn,Fe)Si dispersoids and their strengthening effect in AA 3003 alloy *Acta Mater.* 60 (2012), 3, 1004–1014.
- [5] DEHMAS, M., WEISBECKER, P., GEANDIER, P., ARCHAMBAULT, P., AEBY-GAUTIER, E. Experimental study of phase transformations in 3003 aluminium alloys during heating by in situ high energy X-ray synchrotron radiation *J. Alloys Compds.* (2005), 400, 116–124.
- [6] HUANG, H. W., OU, B. L. Evolution of precipitation during different homogenization treatments in a 3003 aluminum alloy. *Materials and Design* (2009), 30, 2685–2692.
- [7] DAVIS, R. *Metal Handbook*. DESK Edition, ASM International, 1998, 1521 s. ISBN 0-87170-654-7.
- [8] ŠKODA, J., LOSERTOVÁ, M., KUBEŠ, V., KONEČNÁ, K., HLINKA, P., CZYZ, P. Study of fatigue fractures of Al-Mn alloy. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (2018), 461, 012083.
- [9] Aluminium Alloy Data Sheet 3003. Atlassteels. Revised October 2013. [Cit. 23.1.2015] Dostupné z: www.atlassteels.com.au.
- [10] POKOVÁ, M., CIESLAR, M., LACAZE, J. Enhanced AW3003 Aluminum Alloys for Heat Exchangers. *WDS'11 Proceedings of Contributed Papers, Part III* (2011), 141–146.
- [11] ZANDER, J., SANDSTROM, R., VITOS, L. Modelling mechanical properties for non-hardenable aluminium alloys. *Computational Materials Science* (2007), 41, 86–95.

RECYKLACE OCELI

Žádný jiný materiál se v Evropě nerecykluje v takové míře jako ocel. Přes 90 procent vysloužilé oceli se vrací do oceláren, aby se přeměnila na nové výrobky. „Ať už je to karosérie auta, mostní konstrukce, plechovka nebo šroub, všude je recyklovaná ocel. Obrovskou výhodou oceli je, že se dá recyklovat neomezeně, aniž by přitom ztrácela kvalitu,“ říká Daniel Urban, statutární ředitel Ocelářské unie.

V zájmu vyšší míry recyklace se Evropská unie vydala do boje s jednorázovými plasty. U některých výrobků na jedno použití se plasty nebudou smět vůbec používat. Hrozí něco takového oceli?

Ocel ze své podstaty není jednorázový materiál, který by po použití ztratil svou funkčnost nebo vlastnosti. Naopak, ocel je věčná. Staré železné a ocelové výrobky ve formě šrotu se jednoduše promění na novou ocel, často dokonce s mnohem lepšími vlastnostmi, než měla ta původní. Ze staré ocelové haly se tak dnes mohou vyrobit třeba vysokopevnostní dráty, které používají automobilky do moderních aut, nebo kolejnice pro rychlovlaky. Vyrábět ze starého, odpadního materiálu kvalitnější produkty, než byly ty původní, se dá jen z oceli. Papír ani plasty nic takového nenabízí.

V jakých výrobcích najdeme recyklovanou ocel? Prakticky ve všech z oceli, protože stará ocel ve formě šrotu se při tavení používá vždycky. Takže ať už se podíváte na větrnou elektrárnu, auto nebo domácí nářadí, všude najdete část recyklované oceli. Obrovskou výhodou oceli je, že se dá recyklovat neomezeně, pořád dokola, protože s další recyklací neztrácí nic ze svých vlastností. Ty se naopak dají znovu a dále upravovat podle toho, jakému účelu bude oživená ocel sloužit.

Míra recyklace se v Evropě pohybuje u oceli nad 90 procenty, což z ní dělá nejvíce recyklovaný materiál. Každý rok se do evropských hutí vrátí na přepracování skoro 90 milionů tun staré oceli. Pro srovnání papíru se každý rok recykluje přes 70 procent. Podobné je to u skleněných obalů. Plastů se recykluje jen 30 procent.

Téměř stoprocentně se recykluje stavební ocel, tedy nejrůznější výztuže či nosníky. Oceli z automobilů se dnes v Evropské unii znovu využije 93 procent. U oceli používané v domácích spotřebičích je míra recyklace kolem 90 procent. Pak jsou tady ještě ocelové obaly, což jsou konzervy nebo lahve, v nichž se neprodávají jen potraviny, ale také barvy, chemikálie nebo plyny. Těch se v Evropě recykluje skoro 80 procent. Takovými čísly se nemůže pochlubit žádný jiný materiál.

– red –

Mikrostruktura a mechanické vlastnosti slitiny Ti6Al4V připravené metodou selektivního laserového tavení

Microstructure and mechanical properties of Ti6Al4V alloy prepared by selective laser melting

Ing. Vojtěch Kubeš¹; doc. Dr. Ing. Monika Losertová¹; Ing. Kamila Dostálová²; prof. Vittorio Di Cocco³; prof. Francesco Iacoviello³

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

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

³ Università degli Studi Cassino e del Lazio Meridionale, Department of Mechanics, Structures, Environment and Territory, Viale dell'Università, Cassino, Italy

Aditivní technologie výroby, mezi něž patří selektivní laserové tavení, představují pokročilé výrobní metody umožňující snižovat počet výrobních kroků, efektivně využívat materiál a vyrábět přesné tvary přímo z 3D modelů. I přes potenciálně široké uplatnění v různých průmyslových odvětvích zůstává stále problémem procesu selektivního laserového tavení výskyt výrobních vad spojených s velkými teplotními gradienty v důsledku krátkodobých interakcí a vysoce lokalizovaných teplotních přenosů. Produkt připravený touto metodou tak může obsahovat póry, fázovou nehomogenitu nebo zbytkové pnutí, které vedou k odlišnému mechanickému a lomovému chování.

Studium v této práci bylo zaměřeno na srovnání mechanických vlastností v tahu vzorků ze slitiny Ti6Al4V vyrobených pomocí selektivního laserového tavení a připravených konvenčním litím a kování. Materiál bez tepelného zpracování byl podroben tahové zkoušce a pomocí fraktografické analýzy byly studovány lomové plochy. Mez kluzu a mez pevnosti vykazovaly vyšší hodnoty v případě vzorků připravených selektivním laserovým tavením, a to 1021 MPa a 1163 MPa, oproti kovaným vzorkům s 863 MPa a 978 MPa. Naopak tažnost byla o 40 % vyšší v případě materiálu připraveného litím a kování. Výsledky fraktografického studia obou typů vzorků byly hodnoceny v souvislosti s mikrostrukturními charakteristikami. Lom vzorků připravených selektivním laserovým tavením vykazoval křehčí charakter v souladu s mikrostrukturou tvořenou téměř pouze martenzitem, na rozdíl od konvenčně připravené slitiny, u které rovnoosá ($\alpha+\beta$) mikrostruktura vedla k tvárnému lomu.

Klíčová slova: selektivní laserové tavení; mikrostruktura; výrobní vady; pnutí; pevnost v tahu; martenzit

Additive manufacturing including selective laser melting are advanced manufacturing technologies that allow minimization of producing steps, effectiveness of material use and produce net shape parts directly from 3D computer models. Although these technologies can be potentially used in many industries, the main problem of the selective laser melting process is existence of manufacturing defects related with high temperature gradients due short time interactions and localised heat transfers. Thus, product prepared by this method can contain voids, phase inhomogeneities or residual tensions providing variant mechanical properties and fracture behaviour.

The tensile mechanical properties of specimens prepared of Ti6Al4V alloy produced by selective laser melting technology or by conventional casting and forging were compared in this paper. Material in non-heat treated condition was tensile tested and fracture surfaces were analysed. The values of yield strength and ultimate tensile stress of selective laser melted specimens reached 1021 MPa and 1163 MPa, respectively, which was higher than for forged material with values of 863 MPa and 978 MPa. Conversely, the ductility was higher by 40 % for traditionally prepared material. The results of the fractography observation for both types of the samples were evaluated on the base of the microstructure analysis. The fracture surface of selective laser melted specimens showed more brittle feature due to the microstructure composed almost fully of martensite unlike conventionally prepared alloy with equiaxed ($\alpha+\beta$) microstructure and more ductile character of fracture surfaces.

Key words: selective laser melting; microstructure; manufacturing defects; tensions; tensile strength; martensite

1. Úvod

Mezi nejčastěji používané biokompatibilní materiály v traumatologii nebo ortopedii patří ocel AISI 316L

(ASTM F55 nebo F138), slitiny CoCr (ASTM F75 nebo F90) a slitiny Ti6Al4V (ASTM F136) [1-3]. Vzhledem k rostoucí citlivosti lidského těla na přítomnost niklu v materiálech je většina implantátů nyní vyráběna ze

slitiny Ti6Al4V, která má vyšší biologickou kompatibilitu, vyšší odolnost proti korozi a příznivé mechanické vlastnosti ve srovnání s ocelí 316L. Spolehlivost a bezpečnost implantátů jsou ovlivněny mechanickými vlastnostmi a rozložením napětí v materiálu, což závisí na mikrostruktuře slitiny Ti6Al4V, a tedy na tepelné mechanické historii zpracování [1, 4]. Biomechanická kompatibilita kovového materiálu s lidskou kostí je určena hodnotou Youngova modulu pružnosti, která by měla být co nejnižší a ideálně co nejbližší hodnotě kosti. Vlivem malých rozdílů v modulech je možné potlačit tzv. „stínění napětí“ při zatěžování léčené kosti a urychlit proces osteosyntézy. Modul pružnosti implantátů vyrobených konvenční metodou ze slitiny Ti6Al4V se pohybuje okolo 112 GPa, což je sice téměř poloviční oproti oceli 316 L (206 GPa), přesto je stále ještě vysoký v porovnání s modulem pružnosti lidské kosti (10-40 GPa) [1].

Nové nebo inovované materiály lze připravit pomocí progresivních technologií nebo legujících prvků. Proces selektivního laserového tavení (dále uváděno jako SLM – z anglického Selective Laser Melting) představuje pokročilou výrobní techniku, která umožňuje snižování počtu výrobních operací, efektivní využití materiálu a výrobu přesných tvarů přímo z 3D modelů [5-8]. SLM umožňuje tvorbu dílů s vysokou geometrickou složitostí postupným vrstvením (building) materiálu, a nabízí tak široké uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Konečné produkty však mohou vykazovat některé problémy a vady spojené s velkými teplotními gradienty, které se vyskytují v procesu SLM vlivem krátkých intervalů interakcí a vysoce lokalizovanému přenosu tepla. Materiál připravený touto metodou může tedy obsahovat některé výrobní vady, jako jsou póry, fázová nehomogenita nebo zbytkové pnutí [5-7], což může vést k odlišnému mechanickému a lomovému chování ve srovnání s konvenčně připravenými výrobky. Kvalita výsledného produktu SLM závisí na vhodném nastavení parametrů výroby, jako jsou skenovací rychlost, výkon laseru, tloušťka vrstvy, skenovací strategie, vzdálenost šrafování a další. Tyto parametry ovlivňují například velikost roztavené lázně, tepelně ovlivněné oblasti nebo množství neroztavených částic, a tím také výslednou hustotu či drsnost povrchu.

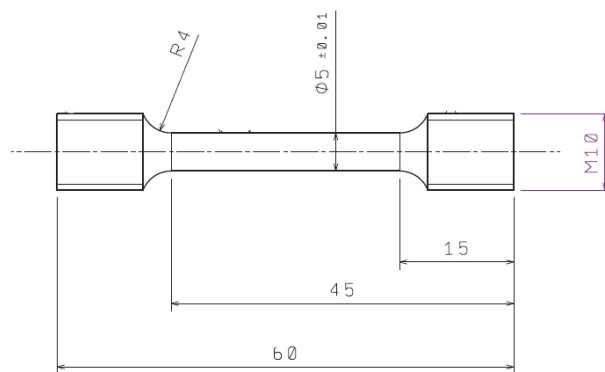
Vliv parametrů procesu SLM i post - building tepelného zpracování je předmětem zvláštního zájmu zejména u slitiny Ti6Al4V [6, 7], která je široce používána pro biokompatibilní implantáty v ortopedii a traumatologii. Proces SLM vytváří vrstvu po vrstvě, takže dochází k tvorbě vysoce směrové mikrostruktury. Vyrobený materiál v dodaném stavu obsahuje jemný, acikulární α' martenzit, který po tepelném zpracování transformuje na bimodální nebo lamelární rovnovážnou strukturu tvořenou fázemi α a β . Relaxace zbytkového pnutí a modifikace rychle ztuhlé mikrostruktury po žhání vedou k zajištění vhodnější kombinace pevnosti a houževnatosti materiálu.

Tato práce, která je součástí výzkumu mechanických vlastností v tahu i při cyklickém zatěžování implantátů vyrobených pomocí SLM, je zaměřena na vyhodnocení lomových ploch po tahové zkoušce ve vztahu

k mikrostrukturním charakteristikám a mechanickým vlastnostem u vzorků v dodaném stavu po SLM. Výsledky hodnocení byly srovnány s výsledky pro materiál připravený tradiční metodou, tedy litím a kováním.

2. Experimentální metody a materiál

Byly studovány dvě série vzorků z Ti6Al4V, jejichž rozměry pro tahovou zkoušku jsou uvedeny na obr. 1. První skupinu tvořilo pět zkušebních vzorků, které byly připraveny z tradičně kovaných tyčí, dodávaných společností BIBUS METALS CZ, a jsou dále uváděny jako *kované*. Druhá skupina zahrnovala pět zkušebních vzorků, které byly připraveny selektivním laserovým tavením ve společnosti ProSpon, spol. s r.o. a jsou dále uváděny jako *SLM*. Stavba vzorků SLM byla prováděna ve vertikální orientaci (v ose tahového zatěžování) se stanovenými parametry: výkon laseru 200 W, tloušťka vrstvy 30 μm , velikost skenovacích ostrůvků $5 \times 5 \text{ mm}$ – s úhlem 45° , skenovací rychlost 800-900 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Před tahovou zkouškou byl povrch SLM vzorků dodatečně vyhlazen a hlavy byly u obou sad opatřeny závity.



Obr. 1 Schéma tahové tyče pro obě sady vzorků
Fig. 1 Schematic of tensile test rod for both specimen sets

Tahová zkouška obou sad byla provedena se zatížením při $F = 17,3 \text{ kN}$, rychlosti deformace $\dot{\epsilon} = 0,0025 \text{ s}^{-1}$ na zařízení GALDABINI, Sun 10 za pokojové teploty. Pro metalografické hodnocení mikrostruktury byly vzorky, které byly odebrány z hlav tahových zkoušek, broušeny, leštěny a leptány pomocí Krollova činidla (roztok 6 % HF, 8 % HNO_3 , 86 % H_2O) po dobu 10–60 sekund. Mikrostruktura byla studována pomocí optického mikroskopu OLYMPUS GX51, přičemž pro vyhodnocení pórovitosti bylo využito softwaru Image-Pro Plus společnosti Media Cybernetics. Lomové povrchy byly dokumentovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu PHILIPS SEM 505.

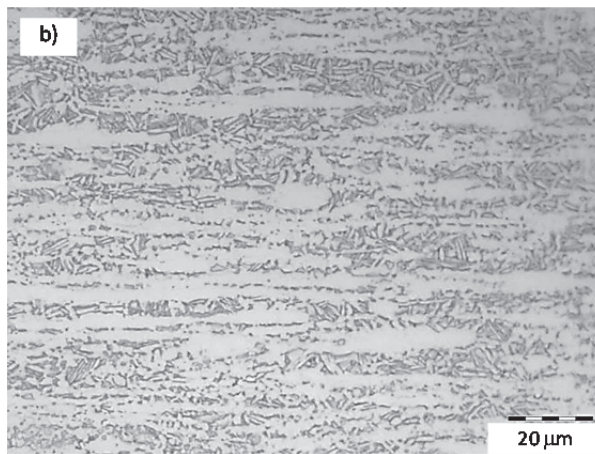
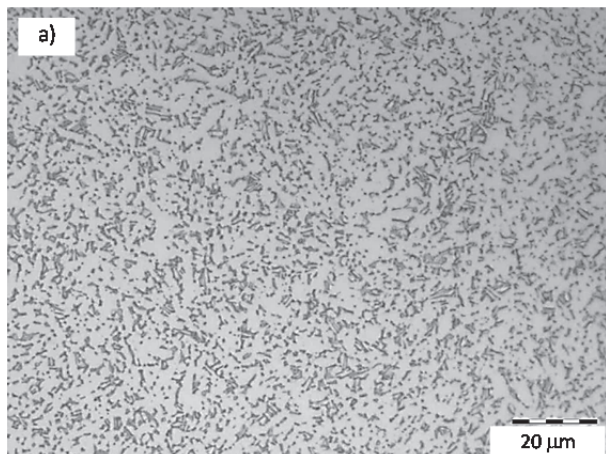
3. Výsledky a diskuse

Mikrostruktura kovaných vzorků v příčném a podélném řezu je zobrazena na obr. 2. Velmi jemná rovnoosá zrna v příčném řezu (obr. 1a) jsou tvořena α fází (světlá fáze) o velikosti 5 μm , mezi nimi se vyskytuje původní β fáze

transformovaná na $\alpha+\beta$ lamely (tmavě šedé oblasti). V podélném řezu (obr. 2b) jsou odpovídající zrna protažena kováním za tepla.

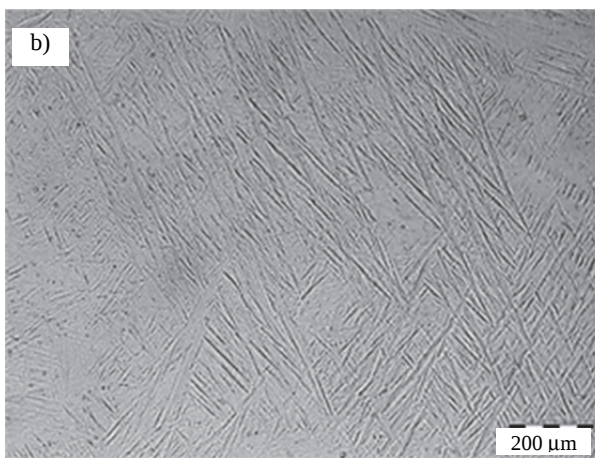
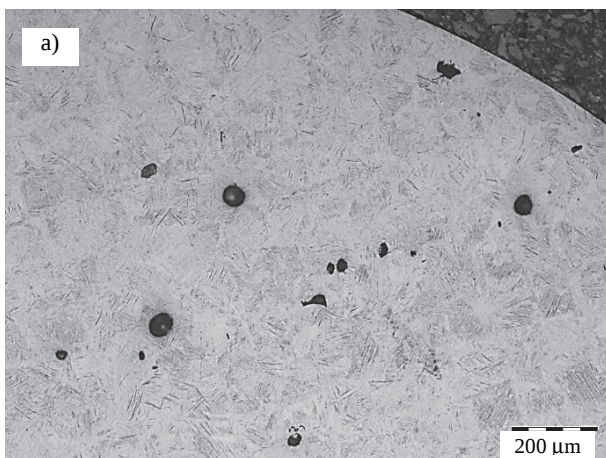
Makrostruktura SLM vzorků obsahovala v podélném řezu charakteristické vzory související s roztavenými lázněmi slitiny během procesu stavby vzorku, zatímco v příčném řezu byla pozorována textura odpovídající skenovací strategii laserového natavování (obr. 3a).

Mikrostruktura SLM vzorků v dodaném stavu je tvořena martenzitickými jehlicemi v původní fázi β , které vznikly v důsledku rychlého ochlazování roztavených lázní, jak je vidět na obr. 3b. Po tepelném zpracování jsou martenzitické jehlice transformovány na lamelární $\alpha+\beta$ strukturu, jak bylo potvrzeno v [6]. Velikost pórů se pohybovala od 1,8 do 159,3 μm , přičemž střední hodnota pórovitosti měřená u dodaného stavu (obr. 3a) dosáhla 3 %.



Obr. 2 Mikrostruktura kovaných vzorků z Ti6Al4V: a) rovnoosá zrna α fáze a velmi jemná zrna původní β fáze transformované na ($\alpha+\beta$) lamely v příčném řezu a b) detail protažených α a transformovaných β zrn v podélném řezu

Fig. 2 Microstructure of Ti6Al4V forged sample: a) equiaxed α grains with fine ($\alpha+\beta$) lamellae in the cross section and b) detail of elongated α and β transformed grains in the longitudinal section



Obr. 3 Mikrostruktura Ti6Al4V vzorků po SLM: a) příčný řez s póry, morfologie skenovací strategie a martenzitické jehlice; b) detail acikulární martenzitické struktury

Fig. 3 Microstructure of Ti6Al4V sample after SLM: a) cross section with pores, scanning strategy morphology and martensite needles; b) detail of acicular martensite structure



Obr. 4 Makroskopický pohled na přetržené vzorky po tahové zkoušce: a) vzhled lomových ploch (vlevo – kovaný a vpravo – SLM); tvorba krčku u vzorků b) kovaných ($\epsilon_f = 13,6 \%$) a c) SLM ($\epsilon_f = 7,2 \%$)

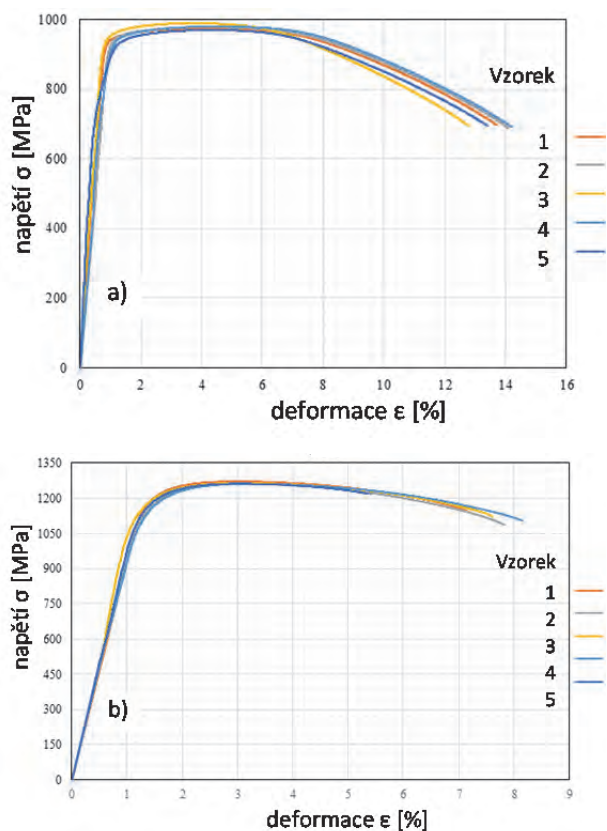
Fig. 4 Macrographs of tensile tested specimens: a) view of fracture surfaces (left – forged and right – SLM); necking feature for specimens b) forged ($\epsilon_f = 13.6 \%$) and c) SLM ($\epsilon_f = 7.2 \%$)

Tab. 1 Mechanické vlastnosti obou sérií vzorků Ti6Al4V v kovaném stavu a po SLM

Tab.1 Mechanical properties of both sets of Ti6Al4V specimens in forged and SLM state

Vzorek	σ_y	σ_m	ϵ_f	E
	[MPa]	[MPa]	[%]	[GPa]
<i>Kovaný</i>				
1	881	974	13,69	118
2	897	978	14,08	101
3	903	989	12,79	126
4	806	979	14,19	111
5	828	969	13,39	117
Průměr	863 ± 43	978 ± 7	13,6 ± 0,6	115 ± 9
<i>SLM</i>				
1	1091	1271	7,23	93
2	1005	1260	7,82	95
3	924	1263	7,61	102
4	1052	1260	8,16	92
5	1033	1261	5,34	91
Průměr	1021 ± 63	1263 ± 5	7,2 ± 1,1	95 ± 4

Pozn.: σ_y – mez kluzu v tahu, σ_m – mez pevnosti v tahu, ϵ_f – deformace do lomu; E – Youngův modul



Obr. 5 Tahové diagramy Ti6Al4V vzorků: a) kované a b) SLM

Fig. 5 Tensile test graphs of Ti6Al4V samples: a) forged and b) SLM

Průběh plastické deformace se pro obě sady lišil. Zatímco kované vzorky tvořily během zkoušky v tahu krček, jak je patrné z obr. 4, SLM vzorky vykazovaly makroskopicky křehčí rys porušení s velmi slabým náznakem vzniku krčku, což odpovídá martenzitické mikrostruktuře.

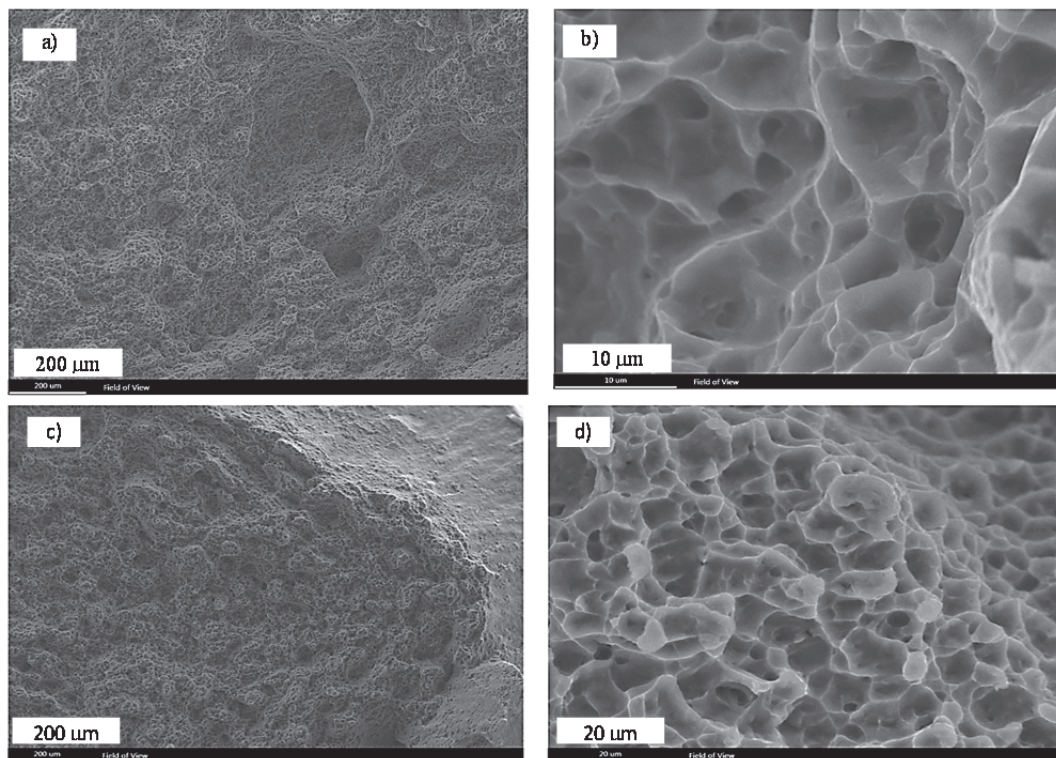
Výsledky mechanických vlastností v tahu obou sérií vzorků jsou shrnuty v tab. 1. Ze srovnání středních hodnot je zřejmé, že mikrostruktura martenzitu vedla k vyšší mezi kluzu (1021 MPa) a mezi pevnosti v tahu (1263 MPa). Oproti vzorkům s rovnoosou mikrostrukturou ($\alpha+\beta$), u níž mez kluzu dosahovala 863 MPa a meze pevnosti 978 MPa, se v materiálu po SLM zvýšily díky martenzitické mikrostruktuře průměrné hodnoty meze kluzu o 18 % a meze pevnosti v tahu o 29 %. Na obr. 5 jsou uvedeny typické křivky průběhu tahové zkoušky pro obě série vzorků Ti6Al4V, zatěžovaných až do přetržení. Z grafů pro zatížení do lomu je zřejmé, že se úroveň plasticity, a tedy i deformační chování obou materiálů, liší. Vzorek s rovnoosou mikrostrukturou ($\alpha+\beta$) vykazoval větší prodloužení ($\epsilon_f = 13,6$ %) ve srovnání se vzorkem SLM s martenzitickou strukturou ($\epsilon_f = 7,2$ %).

Z tabulky 1 je rovněž patrné snížení Youngova modulu o 17 % (z 115 na 95 GPa) vlivem přítomné pórovitosti, která vzniká během procesu SLM v objemu vzorku. Vyšší elasticita materiálu po SLM může být prospěšná pro lékařské aplikace, nicméně zatím není dostatečně prozkoumán vliv morfologie a četnosti pórovitosti na únavové a korozní chování pro tento typ mikrostruktury.

Zjevné rozdíly v lomových plochách vzorků zkoušených tahem spočívaly v charakteru jamek a smykových ploch (obr. 6 a 7). Tvárné porušení s hlubokými důlky je charakteristické pro středovou část lomové plochy u kovaných vzorků, kde existující dutiny odpovídají křehčí fázi α , zatímco na okraji vzorku byla pozorována přechodová oblast mezi tažným a smykovým lomem (obr. 6a a 6b).

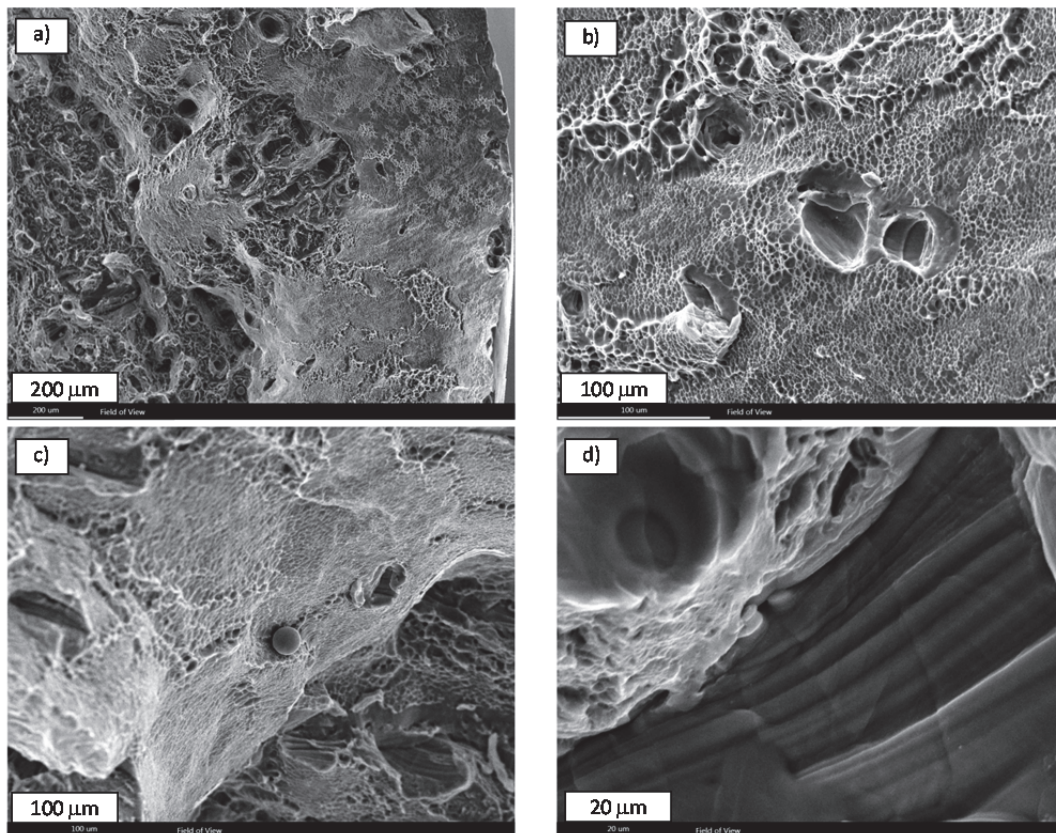
V některých oblastech lomů SLM vzorků byly pozorovány dutiny s neroztavenými částicemi prášku (obr. 7b a 7c). Mělké prohlubně s prasknutými jehlicemi martenzitu obklopenými tvárnou β fází na lomových plochách SLM vzorků (obr. 7d) odpovídají křehčímu typu porušení.

Z fraktografického pozorování je zřejmé, že vady vzešlé ze SLM procesu byly v mikroskopickém měřítku hnacím faktorem pro iniciaci trhliny. Kromě toho se při zatížení koncentrovalo napětí také v okolí pórů (obr. 3a a 7a), zejména pokud se vyskytovaly na povrchu vzorků, kde tak představovaly nežádoucí vruby. Slitina Ti6Al4V vykazuje obecně ve srovnání s austenitickými oceli nižší plasticitu, ale proces SLM může v důsledku výskytu zbytkového napětí, pórovitosti a metastabilních fází v rychle ochlazené mikrostruktuře přispívat k dalšímu zvyšování koncentrace napětí a k poklesu plastických vlastností.



Obr. 6 Charakter lomových ploch kovaných vzorků Ti6Al4V po tahové zkoušce: a) tvárné porušení ve středové části lomu; b) detail jamek a dutin souvisejících s křehčí fází α ; c) přechod tvárného a smykového porušení materiálu na okraji vzorku; d) detail hlubokých jamek a smykových faset v přechodové oblasti

Fig. 6 SEM fractography of tensile tested Ti6Al4V specimens produced by forging: a) ductile failure in central part of fracture surface; b) detail of dimples and voids related with more brittle α phase; c) transition of ductile and shear fracture at the specimen edge; d) detailed deep dimples and shear facets at the transition area



Obr. 7 Charakter lomových ploch u SLM vzorků Ti6Al4V po tahové zkoušce: a) smykový lom s póry na okraji vzorku; b) detail velmi mělkých jamek a pórů na smykovém lomu; c) detail částice nepřetaveného prášku; d) detail martenzitu a póru

Fig. 7 SEM fractography of tensile tested Ti6Al4V specimens prepared by SLM method: a) shear fracture with pores at specimen edge; b) detail of very shallow dimples and pores on shear surface; c) detail of powder particle not re-melted; d) detail of martensite and pore

4. Závěr

Na základě výsledků studia mechanických vlastností v tahu, mikrostruktury a fraktografické analýzy vzorků Ti6Al4V připravených z kovaných tyčí a selektivním laserovým tavením je možné vyvodit následující závěry:

- 1) Pro dodaný stav kovaných vzorků je charakteristická velmi jemnozrnná rovnoosá mikrostruktura složená z α a $(\alpha+\beta)$ zrn v důsledku předchozího tepelně mechanického zpracování. Hodnoty mechanických vlastností dosáhly 863 MPa pro mez kluzu, 978 MPa pro mez pevnosti a 13,6 % deformace do lomu. V důsledku vyšší plasticity byl charakter lomu tvárnější s hlubokými jamkami.
- 2) Mikrostruktura vzorků vyrobených pomocí technologie SLM sestávala z jemných martenzitických jehlic, vzniklých v původních β zrnech, což vedlo k vyšším hodnotám meze kluzu a pevnosti, tedy 1021 a 1263 MPa, zatímco deformace do lomu se snížila o 40 % na 7,2 %. Vlivem martenzitické struktury, pórovitosti a dalších technologických vad měly lomové plochy křehčí charakter s velmi mělkými důlky a popraskanými martenzitickými lamkami.

Poděkování

Tato práce byla zpracována v rámci projektu; FV40306 „Vývoj nových implantátů pro regulaci růstu dolní končetiny ve sterilním provedení“, za podpory ministerstva průmyslu a obchodu

České republiky; RRC/10/2018 „Podpora vědy a výzkumu v Moravskoslezském kraji 2018“, financovaného z rozpočtu Moravskoslezského kraje; SGS projekty SP2019/128 a SP2019/43, financované ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] NIINOMI, M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. *J Mech. Behav. Biomed. Mater.* (2008), 1, 30–42.
- [2] GEETHA, M., SINGH, A-K., ASOKAMANI, R. Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants. *Progress in Materials Science* (2009), 54, 397–425.
- [3] ENDERLE, J-D., BROZINO, J-D., BLANCHARD, S-M. *Introduction to Biomedical Engineering* (Second ed.). Elsevier Academic Press, Amsterdam (2005); 1253 s.
- [4] *Titanium and Titanium Alloys. Fundamentals and Applications.* Ed. by Ch. Leyens, M. Peters, 2003 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 513 s. ISBN 3-527-30534-3.
- [5] CRAEGHS, T., THIJS, L., VERHAEGHE, F., KRUTH, J-P., VAN HUMBEECK, J. A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti–6Al–4V. *Acta Mater.* (2010), 58, 3303–3312.
- [6] SUN, J., YANG, Y., WANG, D. Parametric optimization of selective laser melting for forming Ti6Al4V samples by Taguchi method. *Optics & Laser Technology* (2013), 49, 118–124.
- [7] LOSERTOVÁ, M., KUBEŠ, V. Microstructure and mechanical properties of selective laser melted Ti6Al4V alloy. *IOP Confer.Ser.: Mater. Sci. Eng.* (2017), 266, 012009.
- [8] LOSERTOVÁ, M., KUBEŠ, V., DRÁPALA, J., DOSTÁLOVÁ, K., SEVOSTYANOV, M.A., DI COCCO, V., IACOVIELLO, F. Influence of microstructure on fracture feature of Ti6Al4V alloy prepared by 3D printing. *IOP Confer.Ser.: Mater. Sci. Eng.* (2020), 726, 012020.

Svaz průmyslu si určil priority na rok 2020

Svaz průmyslu a dopravy ČR má nové programové prohlášení na rok 2020. Schválili ho delegáti listopadové valné hromady, kterou hostily v listopadu 2019 Třinecké železářny. „**Výsledky HDP tomu zatím nenavědčují, ale pro oceláře je tato doba těžká. Evropa si klade přehnané cíle, chce být uhlíkově neutrální. Na světových emisích se ale podílí jen 9 procenty. Dopad na průmysl může být velký. EU ani nebrání dovozu ocelářských výrobků s vysokou uhlíkovou stopou, i když na to nástroje má,**“ zmínil při přivítání delegátů jedno z témat programového prohlášení Jan Czudek, generální ředitel Třineckých železáren a viceprezident Svazu průmyslu.

Programové prohlášení obsahuje prioritní témata, jimiž by se měla zabývat vláda, a střednědobé cíle, které zajistí dlouhodobou konkurenceschopnost českého průmyslu. Dosažení klimatické neutrality je jedním z nich. Svaz průmyslu nicméně zdůrazňuje, že politická opatření ke snižování emisí je nutné uskutečňovat racionálně s ohledem na zachování dlouhodobé a udržitelné konkurenceschopnosti evropského průmyslu a socioekonomické stability. Zároveň připomíná, že je třeba hledat globální řešení klimatických změn. Moderní výrobu oceli a ocelářských výrobků si mohli prohlédnout i delegáti valné hromady. Dvě dopolední exkurze je zavedly do provozu kontinuálního válcování drátu. Na několikasetmetrové válcovací trati se drát prohání rychlostí více než 400 kilometrů za hodinu. Parametry výroby hlídá řada senzorů, které předávají informace do velína, kde celou výrobu řídí jen dva operátoři.

Budoucnost země je vzdělanost

V programovém prohlášení na rok 2020 se Svaz průmyslu soustřeďuje na třináct oblastí. „**Klíčová pro budoucnost země je vzdělanost. Ta rozhodne o tom, že nebudeme zemí levné práce, ale posuneme se v produktivitě práce díky novým technologiím a digitalizaci,**“ uvedl na valné hromadě jedno z témat prezident Svazu průmyslu Jaroslav Hanák.

– red –

Identifikace úzkých míst projektového managementu a jeho možné zlepšování v průmyslovém podniku

Identification of bottlenecks in project management and its possible improvement in an industrial enterprise

Ing. Martin Lampa, Ph.D.; Bc. Barbora Čapková; doc. Ing. Andrea Samolejová, Ph.D.

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

Problematika projektového managementu je velmi zajímavá a projektový management jakožto relativně mladý obor s velmi širokým rozsahem je důležitý pro řešení malých i velkých projektů. Zajímavé také je, že neexistuje projekt, na který by nešla aplikovat většina teoretických poznatků. Je však velmi důležité, jak moc se daný projekt manažer této teorie drží a jak ji také „uchopí“. Právě porovnáním procesů se dá navrhnout jejich zlepšení a zefektivnění a není nutno znovu vymýšlet, co již bylo vymyšleno a ověřeno.

Hlavním cílem článku je na základě provedené analýzy procesů projektového managementu navrhnout zlepšení celého procesu v oblasti průmyslové automatizace. Především jde o úspora času projektového manažera při realizaci projektu. Bude provedena procesní analýza celého projektu, která bude porovnána s obecně známými předpoklady z teorie projektového managementu a k vyhodnocení výsledků se použije běžná metodika pro řešení problémů, která je v daném podniku používána.

Klíčová slova: projektový management; průmyslová automatizace; zlepšování procesů

The issue of project management is very interesting and project management as a relatively young field with a very wide range is important for solving small and large projects. It is also interesting that there is no project to which most theoretical knowledge cannot be applied. However, it is very important how much the project manager holds this theory and how he "grabs" it. By comparing processes, it is possible to suggest their improvement and streamlining, and there is no need to rethink what has already been devised and verified. The main goal of the article is based on the analysis of project management processes to propose improvements to the entire process in the field of industrial automation. Above all, it is about saving the project manager's time during project implementation. A process analysis of the entire project will be performed, which will be compared with generally known assumptions from the theory of project management and the evaluation of the results will use the usual methodology for solving problems, which is used in the company.

Key words: project management; industrial automation; process improvement

Projektový management nebo také projektové řízení je pro mnohé poměrně nový pojem [1]. O profesi jako je projektový manažer se začalo mluvit až po druhé světové válce, ovšem kořeny této profese spadají až do dávné minulosti. Projektové řízení se začalo používat již při výstavbách mnohých starověkých staveb, ale v té době ještě přesně nebyl vymezen pojem projektový management [2].

„Projektový management je aplikace znalostí, schopností, nástrojů a technologií na aktivity projektu tak, aby tyto splnily požadavky projektu.“ [3]

Jelikož každý projekt může být z jiného odvětví, všechny standarty, soubory norem a doporučení o projektovém řízení jsou napsány velmi obecně. Projektovým manažerem se nemůže stát kdokoli, je potřeba kvalifikace, schopnosti, návyky i osobní charakteristiky. Vzhledem k rozsahu znalostí, které jsou potřebné pro vykonávání této profese, se manažer stává odborníkem, který ale musí

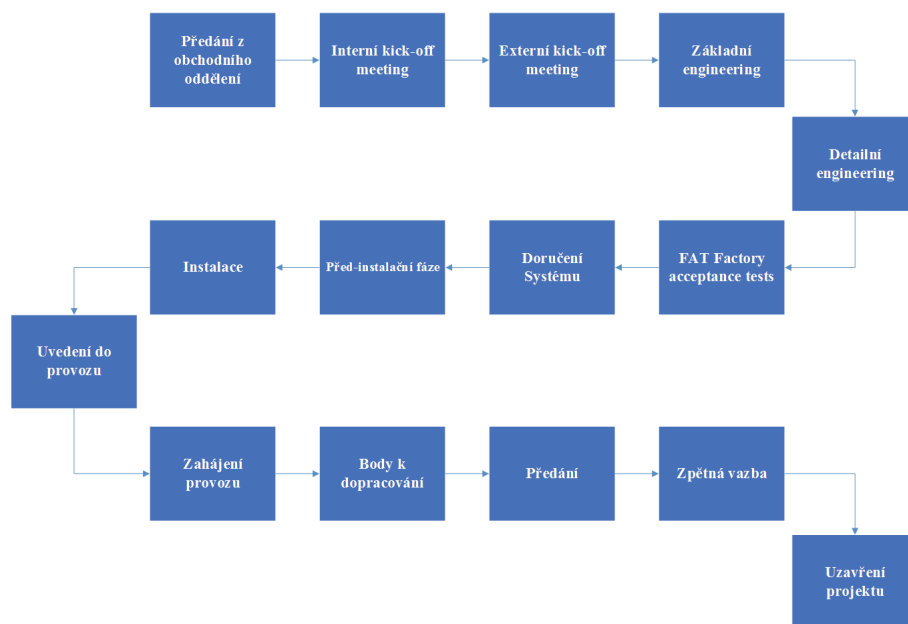
dále rozvíjet své schopnosti a znalosti (jak v podniku, tak i v řízení projektů) [4]. Má odpovědnost za projekt jako celek, především dosažení projektem stanovených cílů. Mezi hlavní jevy a veličiny projektového řízení patří: předmět projektu, čas a náklady [5]. Až když se splní všechny požadavky a předem plánované cíle ve stanoveném termínu, můžeme projektový management považovat za úspěšný.

1. Charakteristika projektu v průmyslové automatizaci

Pro projekty v průmyslové automatizaci je charakteristické, že probíhají v horizontu 3 – 6 měsíců. Ve velké většině projektů dochází ke zdokonalení výrobní technologie tím, že je současná technologie nahrazena novou [6]. Projekt se skládá z těchto tří částí: dodávka materiálu a technologického vybavení, inženýrská činnost a projekt

manažerská činnost. Druhá a třetí část je reprezentována především objemem odpracovaných hodin na příslušné činnosti. Na obr. 1 je možné vidět posloupnost jednotlivých fází v projektech.

Malý projekt se považuje zpravidla do hranice 200 000 €, závisí to však na posouzení konkrétního projektu.



Obr. 1 Návaznost jednotlivých fází projektu
Fir. 1 Continuity of individual phases of the project

Předání z obchodního oddělení (Hand over)

Průběh projektu začíná při předání projektu z obchodního oddělení do inženýrského centra. Při tomto předání se zhodnocují všechny základní aspekty projektu jako je např. kontrakt a objednávka, důležité kontakty, projektové cíle a rozsah dodávky. Inženýrské centrum dodává tyto projekty pro celý region EMEA (Evropa, blízký východ, Afrika). Z toho hlediska je důležité, aby při předání byly prověřeny také veškeré kontakty. Velmi důležité informace v průběhu předání projektu jsou také informace o celkovém rozpočtu, výnosech a dohodnutých slevách. Většina projektů prochází přes tzv. Pass-thru model, kdy lokální pobočka podepisuje kontrakt a objednávku a předává jej interně do jiné jednotky v rámci jejich společnosti. Z tohoto obchodu se odvádí lokální jednotce procentuální hodnota z výnosu.

Důležitými informacemi při předání projektu jsou také podmínky doručení a záruky, popř. jiné garance.

V oblasti automatizace velmi často existují tzv. Technické nebo Produkční garance, které bývají přílohou smlouvy a jejich nedodržení je penalizováno ze strany zákazníka. Tyto garance se vztahují ke kvalitě nebo výnosu produkce a musí být dodrženy.

Po předání projektu z obchodního oddělení k realizaci je za projekt plně zodpovědný projektový manažer, a to včetně finanční stránky. Následně dochází k interním procesům, které jsou nezbytné při „vykonávání“ projektu, tzv. kick-off.

Interní kick-off meeting

Na základě závěrů z hand-overu je znám rozsah projektu a dá se mj. odhadnout velikost hlavního projektového týmu. Všichni členové projektového týmu se seznámí na úvodní projektovou poradou, která se nazývá interní kick-off. Kick-off můžeme popsat jako jakési vykopnutí projektu. Projekt manažer podrobně představí projektovému týmu celý rozsah projektu, a to včetně jeho financování. Jednotliví členové projektového týmu, zpravidla odborníci zodpovědní za určitou oblast činnosti, nezbytnou k úspěšné realizaci projektu, napomáhají projektovému manažerovi sestavit podrobný projektový plán a harmonogram činnosti, nutných k realizaci projektu.

Externí kick-off meeting

Na základě výstupu z interního kick-off jednání je představeno zákazníkovi detailní zpracování projektového plánu. Projektový plán zahrnuje projektový tým včetně kompletního seznamu zainteresovaných osob s kontakty na ně, tzv. kontakt list a komunikační plán, dále pravidla a pokyny projektového managementu, obecné informace o zákazníkovi, zhodnocení zdravotních a bezpečnostních rizik při dodávání projektu. Také se zákazníkovi představuje, jakým způsobem se dokumenty budou zasílat a časový harmonogram, kdy zákazník má očekávat dílčí části plnění projektu, zejména dokumenty, které jsou důležité k odsouhlasení zákazníkem. Dále je důležité představit zákazníkovi časový plán s vyznačenými milníky.

Další nedílnou částí externího kick-offu je detailní představení rozsahu dodávky. Zodpovědní členové projektového

týmu v tomto okamžiku řeší se zákazníkem technické detaily a vymezí odpovědnosti jednotlivých stran.

Základní engineering

V této části projektového plánu jsou zpracovávány základní návrhy projektu odsouhlasené na kick-off meetingu, jako jsou např. I/O listy (input, output), systémová specifikace, kabelové listy, schémata rozvaděčů, komunikační rozhraní atd.

Detailní engineering

V detailním engineeringu se vychází ze základních návrhů ze základního engineeringu a detailně se zpracovávají úkoly, samozřejmě v souladu s projektovým plánem. Mezi tyto úkoly patří například detailní programování nebo projekce.

FAT (Factory acceptance tests)

V této fázi je téměř dokončena inženýrská část projektu a zákazník je pozván k odsouhlasení dosavadního průběhu realizace projektu. Kontrolují se jednotlivé automatizační smyčky včetně interpretace grafického rozhraní. Na základě těchto testů se opravují případné chyby a nedostatky, popřípadě kontrolují další funkcionality systému. Důležitou součástí těchto testů je tzv. FAT protokol, ve kterém se stvrzují již hotové a odsouhlasené dílčí části projektu, popřípadě také provedené změny.

Doručení systému

Doručení k zákazníkovi, to znamená termín, kdy zákazník přejímá systém.

Předinstalační fáze

Zákazníkovi se musí vyspecifikovat vše, co je důležité, aby přichystal a připravil podmínky před samotnou vlastní instalací systému na místě. V této fázi je také důležité doručit zákazníkovi spoustu potřebné dokumentace, aby vše mohl vyhotovit a připravit podle obvyklých standardů a v souladu s touto dokumentací. Pokud nejsou tyto požadavky splněny, nemůže začít další fáze projektu.

Instalace

V této fázi se instaluje dodaný systém na místo, zpravidla při současné odstávce výroby. Je velmi důležité podrobně a detailně zpracovat časový harmonogram jednotlivých prací, protože délka odstávky je omezená a stojí zákazníka peníze.

Uvedení do provozu

Po nainstalování všech součástí se uvádí systém do provozu a ověřují se všechny funkcionality. Nedílnou součástí je např. I/O check, kdy se kontrolují jednotlivé vstupní a výstupní signály. Poté se může hotový systém spustit a zprovoznit do testovacího režimu.

Zahájení provozu

Je fáze, kdy systém přechází z testovacího do produkčního módu a nově dodaný systém přebírá veškerou kontrolu nad

technologii výroby. V této fázi je důležitý tzv. start-up protokol, kde se zaznamenávají chyby, případné vady a záruky dané ve smlouvě.

Body k dopracování (Open points)

Na základě chyb nebo nedodělků ze start-up protokolu je vytvořen seznam závad a nedodělků, které musí být odstraněny. Tyto nedodělky neovlivňují produkci, ale musí být vyřešeny před finálním předáním projektu.

Předání (Final acceptance)

Po vyřešení všech nedostatků a nedodělků se přistupuje k tzv. final acceptance, tedy finálnímu předání projektu. Tento milník je velmi důležitý z hlediska převzetí záruky za dílo, mj. to také současně znamená, že od tohoto data podpisu final acceptance protokolu běží záruka, pokud není v kontraktu uvedeno jinak.

Zpětná vazba od zákazníka

Po uzavření projektu je důležité získat zpětnou vazbu od zákazníka, jak byl spokojený s prací celého projektového týmu, jestli systém splnil jeho očekávání v plném rozsahu, a také je požadováno, aby zhodnotil celý průběh projektu.

Uzavření projektu

V tomto závěrečném bodu se interně zhodnocuje průběh projektu a společně se zpětnou vazbou od zákazníka se reportuje časová a finanční oblast.

1. Specifikace problému

Základním podnětem pro zlepšování procesu projektového managementu v daném podniku byl počet spotřebovaných hodin projekt manažerů, který výrazně přesahoval u některých projektů rozpočet. Obecné pravidlo kalkulovaných hodin projekt managementu se nachází mezi třemi až pěti procenty z celkové ceny projektu. Po prověření několika posledních projektů se zjistilo, že tato část rozpočtu byla překročena, a to mnohdy o více než 5 %. Proto podnik hledá cesty, jak vylepšit některé procesy a zjednodušit tyto procesy pro výrazné snížení spotřebovovaných hodin manažerských. Z předchozí analýzy vzešlo, že průmyslové projekty nejsou výrazně odlišné od obecné praxe a rozpočty projektového managementu nebyly podhodnoceny.

Na základě brainstorming meetingu manažerský tým vyhodnotil průběh celého průmyslového projektu.

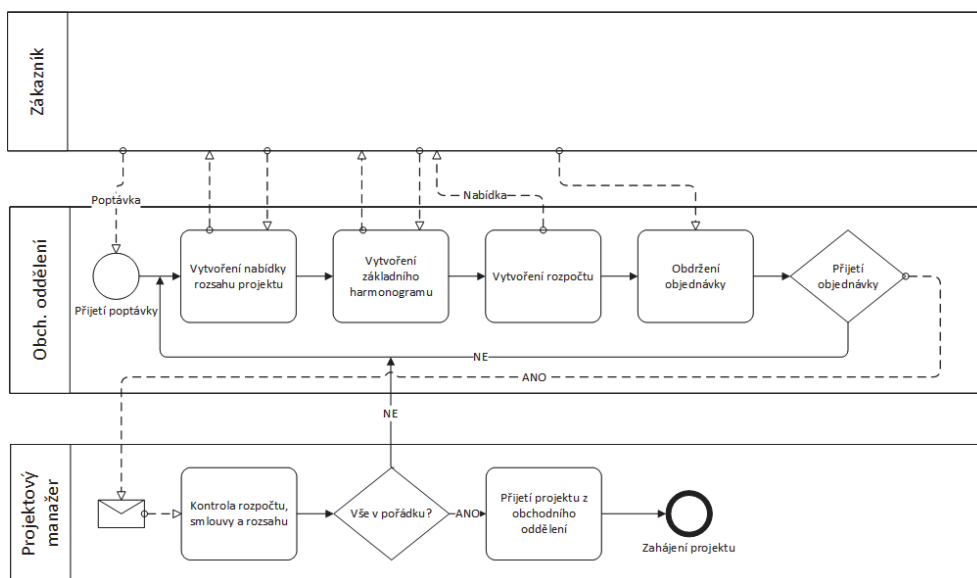
2. Řešení

Pro popis projektu byly použity procesní mapy jednotlivých fází projektu, jejich zhodnocení na základě délky a časové souslednosti procesu. Zhodnocení procesních map sloužilo k zjištění informací, kde se v podniku nacházejí potenciální slabá místa a překážky. Po nalezení problémů se následně vyhodnotil celý proces a bylo navrženo řešení.

Předání z obchodního oddělení

Jako první impuls je v této procesní mapě (obr. 2) zobrazena poptávka od zákazníka, kde se po zpracování obchodním oddělením odesílá nabídka rozsahu projektu, základní harmonogram a rozpočet. Pokud to zákazníkovi vyhovuje a obchodní oddělení objednávku přijme, zasílají

se informace projektovému manažerovi, který musí schválit rozpočet, rozsah, smlouvy a další náležitosti. Pokud je to všechno v pořádku, přechází se k další fázi, která se nazývá interní kick-off. Pokud něco v pořádku není, či neproběhne přijetí objednávky obchodním oddělením, musí se jednotlivé fáze zopakovat.



Obr. 2 Zpracování obchodním oddělením
Fig. 2 Processing by the sales department

Již zde je vidět prostor pro zlepšení, protože u malých projektů dochází k podcenění nutnosti vytvoření plnohodnotného plánu.

V průběhu projektu se dělají běžné činnosti jako např. hledání základních údajů o projektu. Pro příklad je možné myslet na to, že takové údaje hledá manažer zhruba 10krát za projekt a tato činnost trvá v přepočtu přibližně 10 minut. Důvodem je absence detailního plnohodnotného plánu, který se běžně zpracovává pro rozsáhlejší projekty. Při dalších činnostech jako je jednání se zákazníky se tvoří nové dokumenty, kde se znovu vytváří hlavička, seznam účastníků apod. což se zpracovává přibližně 15krát za projekt. Vytvoření takového dokumentu může trvat 15 minut.

Další plýtvání z hlediska času je zejména při reportování na konci projektu nebo při průběžném reportování, kdy je důležité udržovat přehled o rozpočtu. Vytvoření takových dokumentů trvá desítky minut.

Jako poslední důležitá činnost je vytvoření úplné analýzy rizik spojených s projektem. Vytvoření takové analýzy nezabere zdaleka tolik času, v porovnání se skutečným rizikem a jeho případnými následky, což může být i 8-10 hodin za projekt.

$$T = \sum(i_n * t_n) \quad (1)$$

T – celkový čas, [min]

i – počet cyklu opakování procesů, [1]

t – čas trvání jednoho procesu, [min]

n – počet hodnot, [1]

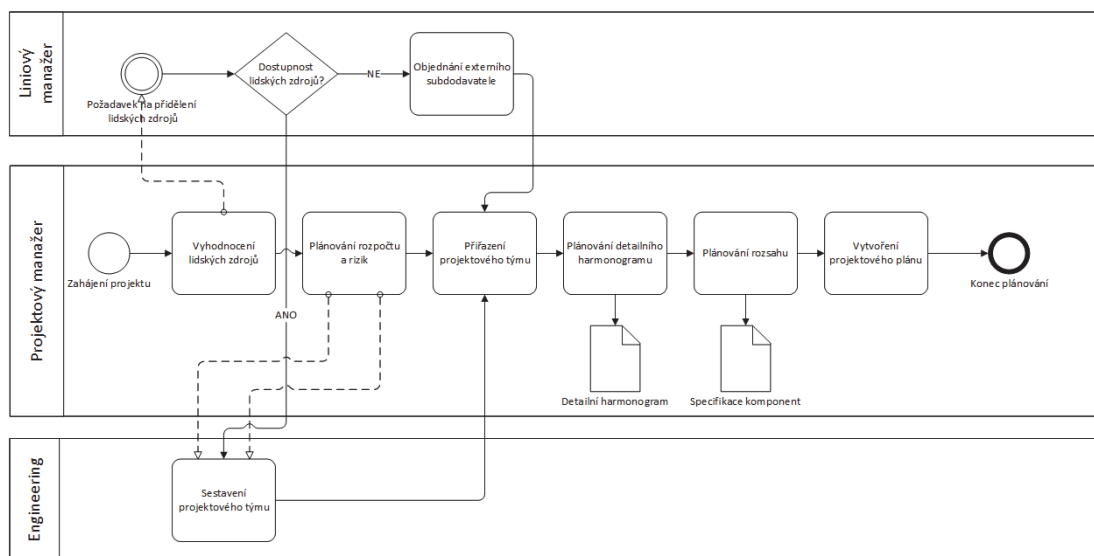
$$T_1 = (10 * 20) + (15 * 20) + (2 * 600)$$

$$T_1 = 1700 \text{ min} \approx 28,33 \text{ hod}$$

Bylo zjištěno, že projektový manažer potřebuje až 28 hodin času na plnění operací bez vytvoření plánu malých projektů. V úvaze bylo počítáno s řešením dvou rizik.

Interní kick-off

Interní kick-off probíhá pouze ve firmě, zákazník se této fázi neúčastní (obr. 3). Potom, co projektový manažer schválí objednávku, je jeho úkolem vyhodnotit lidské zdroje a vyslat požadavek na přidělení lidských zdrojů liniovému manažerovi. Pokud jsou lidé pro práci dostupní, úkol přebírá engineering, který musí projektový tým sestavit. Pokud lidé pro práci dostupní nejsou, je třeba využít externích subdodavatelů. Dále musí projektový manažer detailněji naplánovat rozpočet a určit možná rizika. Poté se mu přiřadí projektový tým, kde společně naplánují detailní harmonogram a plánování rozsahu projektu z čehož vyplývá specifikace komponent a následně vytvoření projektového plánu. Z praxe u menších projektů se ne vždy koná Interní kick-off v celé své hloubce, a ne vždy se vytváří projektový plán. Z hlediska obecného projektového managementu dle PMBoK je však vytvoření projektového plánu nezbytné. Funguje pak jako hlavní dokument, který se udržuje po celou dobu projektu a zapisují se tam možná rizika a změny.

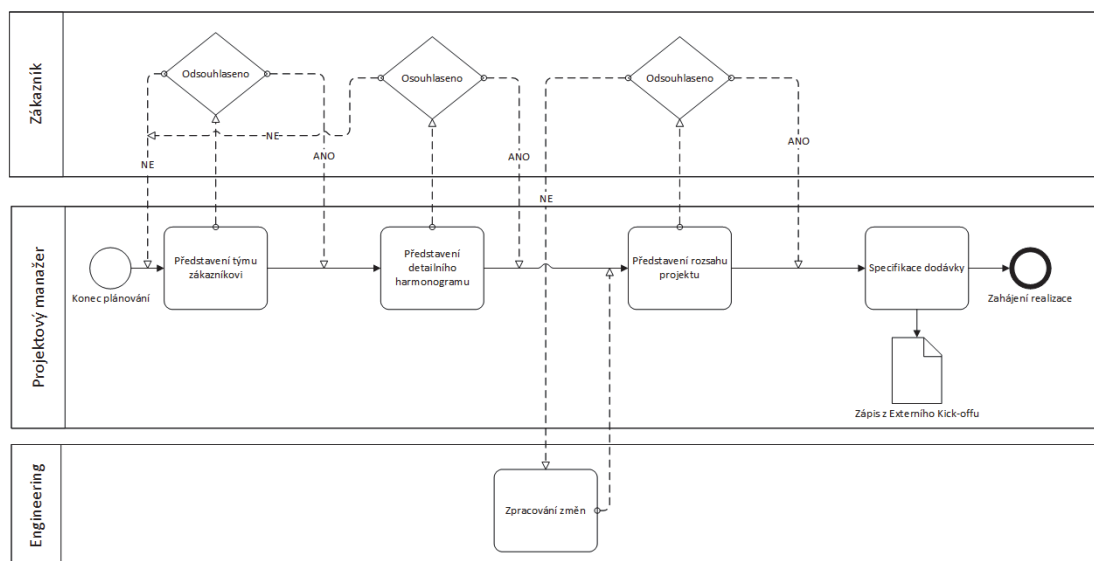


Obr. 3 Interní kick-off
Fig. 3 Internal kick-off

Externí kick-off

V této fázi (obr. 4) je důležité zaměřit se na komunikaci mezi zákazníkem a projekt manažerem. Zákazníkovi se

představuje projektový tým, detailní harmonogram, rozsah projektu, a pokud se vším souhlasí, přechází se do specifikace komponent a následné zahájení realizační fáze projektu.

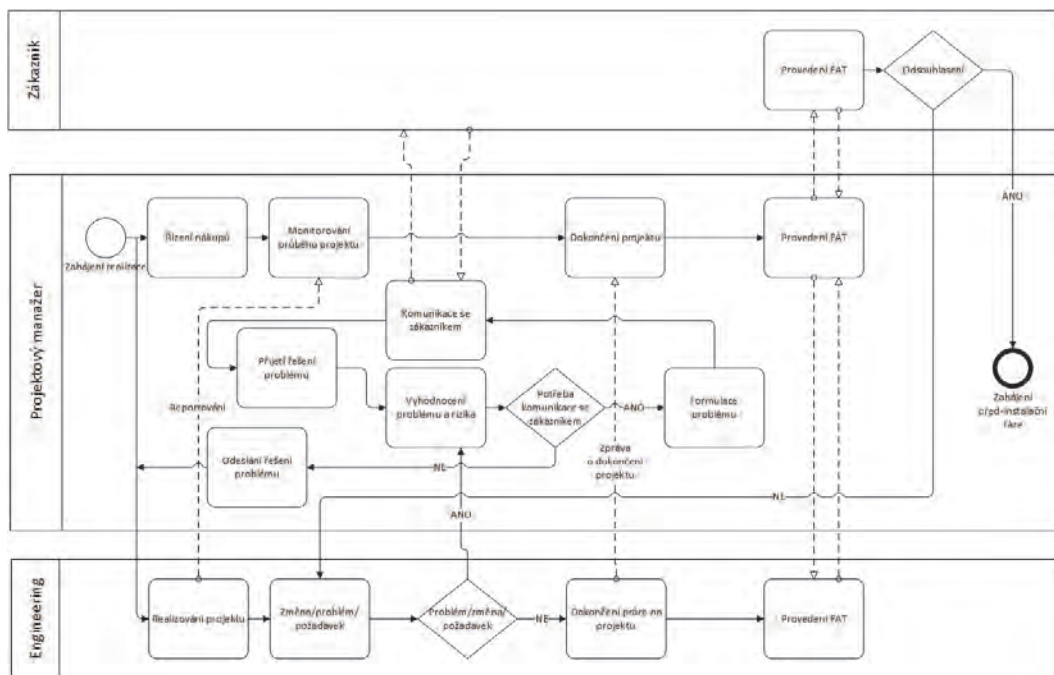


Obr. 4 Externí kick-off
Fig. 4 External kick-off

Základní engineering, detailní engineering a FAT

Zahájení realizace začíná ze strany projektového manažera (viz obr. 5). Ten z jedné strany řídí nákupy, komunikuje se zákazníkem, monitoruje bezproblémový průběh projektu a na druhé straně je engineering, kde se starají o práce na projektu, realizují změny, problémy či nové požadavky a pokud se dokončí práce na projektu, přechází se k doručení projektu. Pokud dochází k problému nebo je potřeba změny, rozhoduje projektový manažer a začne se

pracovat na změně. V případě, že je potřeba větší změny, komunikuje se se zákazníkem. Z hlediska obecného projektového managementu je důležité věnovat pozornost vytvoření komunikační matice, kdy ne u každého požadavku musí být nutně vtažen projektový manažer. Stačí, aby byl o tomto problému obeznámen nebo jen přidán v kopii do emailové korespondence. Z hlediska úspory hodin projektového manažera je přínos vyloučení tohoto procesu velmi důležitý.



Obr. 5 Základní engineering, detailní engineering, FAT

Fig. 5 Basic engineering, detailed engineering, FAT

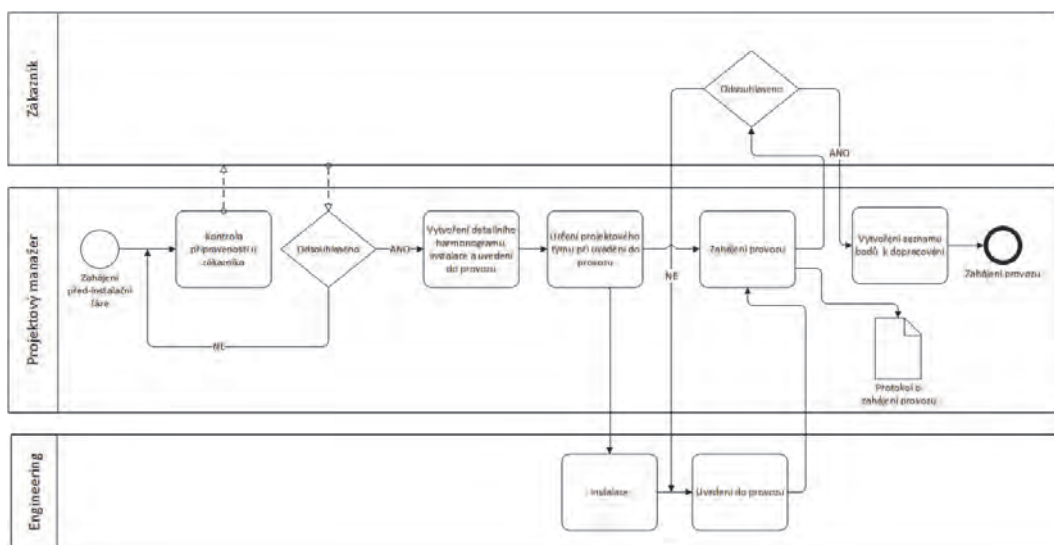
Když nastává problém v engineeringu, tento tým nejdříve sděluje problémy projektovému manažerovi, který musí informace přeposílat zákazníkovi. Projekt manažer však nerozumí do detailu technickým záležitostem. Při vyjasnění komunikace mezi týmem, který se stará o realizaci a zákazníkem, by se ušetřila spousta času projektovému manažerovi. Jednoduchých technických problémů bez nutnosti zapojení projektového manažera je přibližně 20 za projekt a jeden takový e-mail trvá zpracovat (vyhodnotit a přepsat) cca 10 minut.

$$T_2 = 20 * 10 \quad T_2 = 200 \text{ min} \approx 3,33 \text{ hod}$$

Po propočtu bylo zjištěno, že komunikace, která prochází přes projektového manažera, u menších projektů zabírá až 3 hodiny času.

Před-instalační fáze, instalace, uvedení do provozu, zahájení provozu

Při zahájení před-instalační fáze (obr. 6) je pro projektového manažera důležitým úkolem zajištění připravenosti zákazníka na instalaci. Pokud je vše v pořádku, je zhotoven detailní harmonogram pro instalaci a uvedení do provozu. Dalším krokem je určení projektového týmu při uvádění do provozu. Po těchto přípravách je možné přejít k instalaci, uvedení do provozu a zahájení provozu se souhlasem zákazníka a k opětovnému obnovení provozu. Po úspěšném zakončení a uvedení do provozu je vytvoření seznamu bodů k dopracování a následuje samotné zahájení provozu.



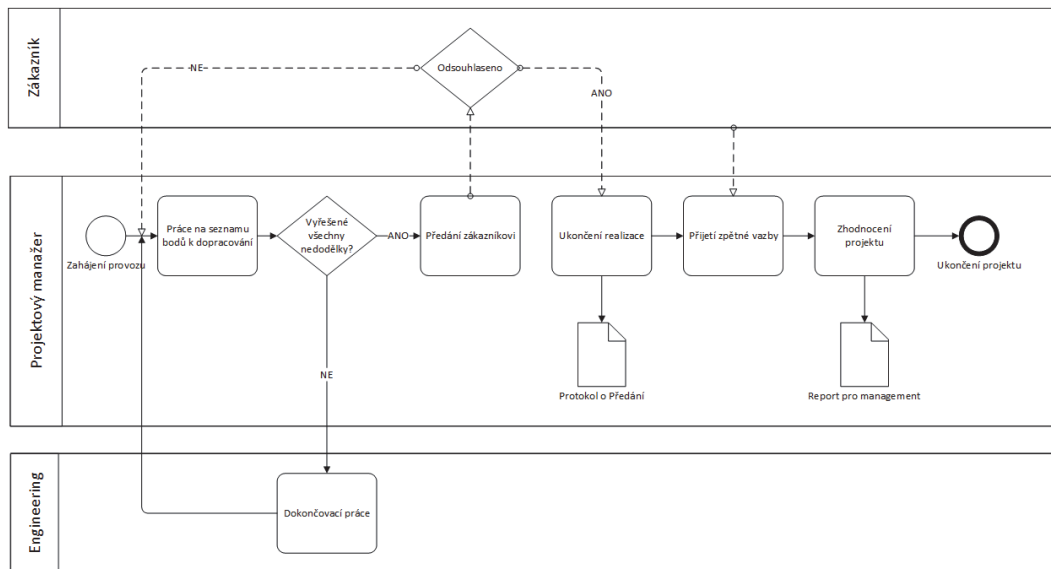
Obr. 6 Před-instalační fáze, instalace, uvedení do provozu, zahájení provozu

Fig. 6 Pre-installation phase, installation, commissioning

Ukončení projektu

Po zahájení provozu je systém funkční, ale je důležité vyřešit všechny vady a nedodělky (obr. 7). Po vyřešení začíná ukončovací fáze projektu a projekt se předává zákazníkovi.

Důležitá je zpětná vazba od zákazníka a celkové zhodnocení projektu, kde se hodnotí finanční stránka, stránka dodržení časového harmonogramu a případné ponaučení se z chyb.



Obr. 7 Ukončení projektu
Fig. 7 Project completion

Standardizace projektových dokumentů

Ve všech částech projektu je nutné vytváření a doručování dokumentů. Jedná se např. o doručení části projektu, zaslání podkladů pro schvalovací proces apod. Stávající způsob vytváření specifických dokumentů k jednotlivým částem projektu zabírá mnoho hodin projektové práce. Podle vytvořených procesních map je k doručení 7 dokumentů a každá výroba jednotlivého dokumentu trvá v přepočtu 1-2 hodin.

$$T_3 = 7 * 120 \quad T_3 = 840 \text{ min} = 14 \text{ hod}$$

Po výpočtu bylo zjištěno, že vytváření projektové dokumentace může zabrat až 14 hodin času.

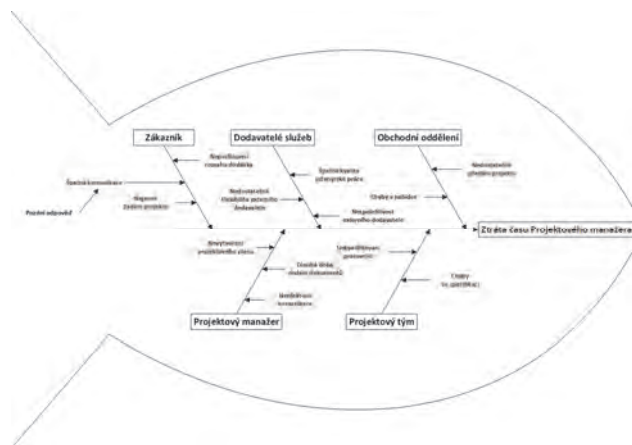
V tabulce 1 jsou shrnuty všechny celkové časy.

Tab. 1 Souhrn celkových časů
Tab. 1 Summary of total times

Fáze	Čas T_n	hod
Předání z obchodního oddělení	1	28,33
Engineering	2	3,3
Standardizace dokumentů	3	14

Ishikawův diagram

V této části byla pozornost zaměřena na analýzu opravdových příčin, které přispívají ke vzniku ztráty času projektového manažera. Byl vytvořen Ishikawův diagram příčin a následků. (obr. 8).



Obr. 8 Ishikawův diagram příčin a následků ztráty času projektového manažera
Fig. 8 Ishikawa's diagram of the causes and consequences of the project manager's loss of time

Většinu zmíněných problémů v této analýze nelze ovlivnit přímou prací projektového manažera. Ta je závislá na ostatních subjektech. Pouze větve Projektový manažer náleží přímo jemu včetně doručovaných výsledků.

Jak je zmíněno v předchozí části, mezi nejzásadnější problémy patří:

- Nevytvoření projektového plánu – u malých projektů,
- neefektivní komunikace – nedostatečně rozlišené role při komunikaci,
- dlouhá doba dodání dokumentů – standardizace.

3. Zlepšení procesu projektového managementu

Z předcházejících kroků vyplynula tři úzká místa projektového managementu, která by bylo možné zlepšit. Následují návrhy, které vedou k úspoře času projektového manažera a k zefektivnění celého procesu.

3.1 Vytvoření plánu i u malých projektů

Vytvoření projektového plánu má smysl i u malých projektů, a to zejména v běžných činnostech, kdy projektový plán slouží jako základní dokument celého projektu. Zde jsou naznačena možná řešení, jak zlepšit stávající situaci:

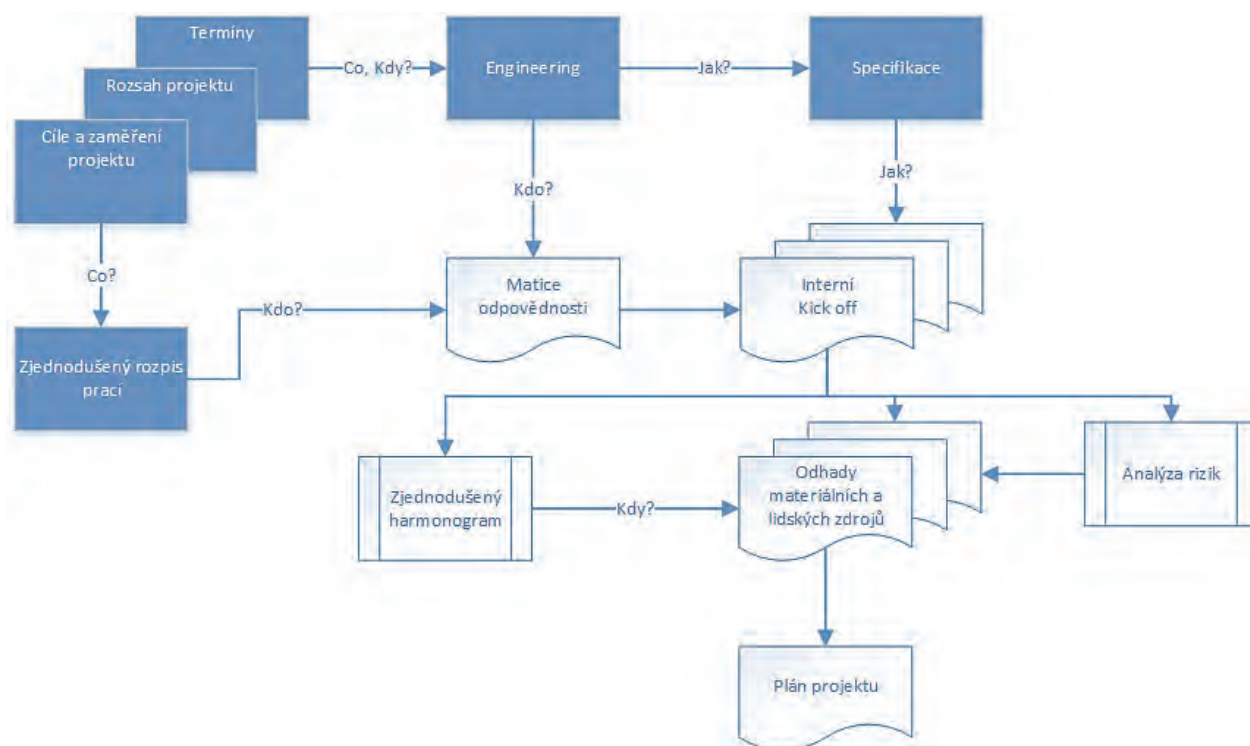
- Vytvoření plnohodnotného plánu pro každý projekt včetně těch malých,
- vytvoření zjednodušeného projektového plánu pro malé projekty,

- nevytvářet projektový plán pro malé projekty, ale stanovit akční plán jednotlivých úkolů.

Nevytvořením projektových plánů je základní problém, a ačkoliv se vytvoří akční plán, kde se určí všechny základní aspekty projektu, je podcenění zejména v oblasti rizik velice riskantní a může vést i k nedokončení projektu. Na druhou stranu vytváření plnohodnotného projektového plánu se zdá být zbytečné a z hlediska potřebného času velmi drahé.

Nejlepším řešením je najít pomyslný střed, jakýsi kompromis mezi krajními řešeními, který by zahrnul analýzu rizik a ušetřil čas projektovému manažerovi ve všech běžných činnostech. Jedná se o vytvoření zjednodušeného projektového plánu, který však zahrne všechny oblasti plnohodnotného plánu.

Realizace takového řešení by byla možná následujícím způsobem (obr. 9):



Obr. 9 Vytvoření zjednodušeného projektového plánu u malých projektů
Fig. 9 Creating a simplified project plan for small projects

U velkých projektů se vytváří detailní zpracování třech dokumentů. Návrhem tohoto řešení je vytvoření zjednodušeného plánu, který by měl alespoň v minimu obsahovat termíny, rozsah projektu, cíle a zaměření projektu, které se přeposílají z obchodního oddělení. Následovně by se měl zpracovat zjednodušený rozpis prací, který povede k vytvoření matrice odpovědností, aby se ujasnilo, kdo za co nese odpovědnost. Následně se návrh zjednodušeného plánu přeposílá engineeringu, který musí zpracovat specifikaci, a poté se následně provádí interní kick-off. Z něj by

měl vyplynout zjednodušený harmonogram, odhady materiálních a lidských zdrojů, analýza rizik a vyhotovený finální zjednodušený plán projektu.

Bylo zjištěno, že bez projektového plánu zabírají běžné administrativní úkony až 28 hodin, včetně vyřešení 2 rizik, se kterými se na počátku nepočítalo. Naopak vytvoření zjednodušeného plánu může zabrat 16 hodin.

Dle těchto předpokladů tedy vyplývá, že úsporou času může být až 14 hodin práce projektového manažera.

3.2 Efektivnější komunikace

Bylo zjištěno, že při komunikaci vzniká prostor pro zlepšení mezi projektovým manažerem, engineeringem a zákazníkem.

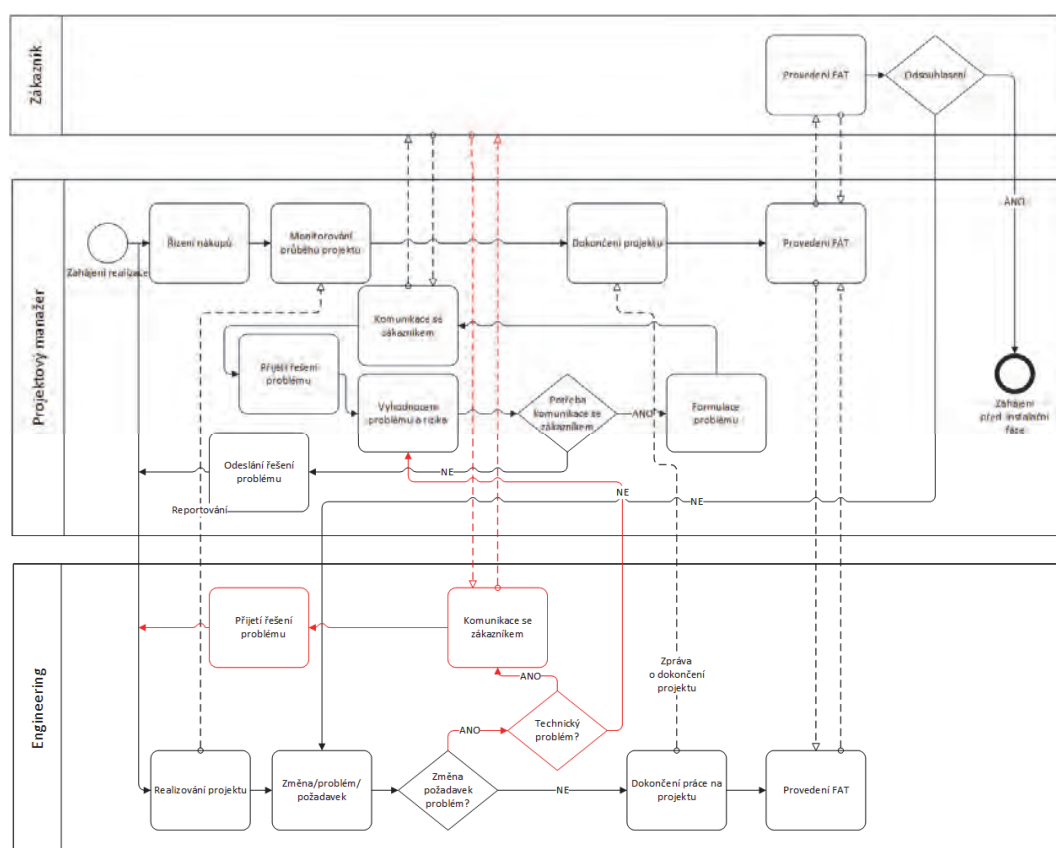
Možná řešení, jak vylepšit stávající situaci jsou následující:

- Pořádat více projektových schůzek celého projektového týmu a zákazníka,
- vyhradit pracovníky zodpovědné pro řízení komunikace mezi projektovým manažerem, engineeringem a zákazníkem,
- vytvořit komunikační matici.

Vyhrazení pracovníka, který by řídil komunikaci je velmi finančně náročné, proto není výhodné. V průběhu projektu je nutné pořádat projektové porady a schůzky, ale kvůli dodatečným dotazům není efektivní pořádat je znovu

a s účastí celého projektového týmu. Nejvýhodnější se jeví vytvoření komunikační matice, kde budou jasně definovány typy komunikací, jejich četnost, médium a zodpovědný pracovník.

Nejdříve je třeba upravit procesní mapu (obr. 10), z důvodu zlepšení rozhodovacího procesu. V aktualizované procesní mapě je červenou barvou zobrazena změna oproti mapě předchozí. Pokud vznikne problém při realizační fázi u projektového týmu, důležitou otázkou je, zdali je problém technického charakteru. Pokud ano, tým zasílá e-mail o problému přímo zákazníkovi a projektovému manažerovi se zasílá pouze kopie tohoto dokumentu. V původní procesní mapě šly všechny problémy ať už technické či netechnické přes projektového manažera a tím se zbytečně ztrácí čas. V případě, že problém není technický a je závažný, komunikace zůstává stejná s tím, že se nejdříve zašle e-mail projektovému manažerovi a až poté zákazníkovi.



Obr. 10 Návrh nové procesní mapy pro komunikaci se zákazníkem a engineeringem
Fig. 10 Design of a new process map for communication with the customer and engineering

Základem komunikační matice je vyjasnění rolí a odpovědnosti za jednotlivé typy komunikace. Dále se zohledňuje prostředek, kterým se komunikuje a také jak často. Nakonec je také vhodné zmínit druhy výstupů, a komu se tyto budou zasílat.

V návrhu je také určeno, že veškerá technická dokumentace a její změny se budou řešit emailovými zprávami nebo

konferenčními hovory a jejich četnost bude dle potřeb daného týmu. Zodpovědný je za ni vedoucí pracovník projektového týmu a tuto komunikaci bude hlásit projektovému manažerovi.

Na obr. 11 je zobrazen možný návrh komunikační matice. Vytvořením komunikační matice je možno ušetřit až 3 hodiny u každého projektu.

Komunikační matice					
Typ komunikace	Cíle	Prostředek	Frekvence	Odpovědnost	Výstupy
Kick off meeting	Představení projektového týmu a projektu, posouzení projektových cílů a přístupu k řízení	Osobně	Jednou	Projektový manažer	- Program jednání - Zápis z porady
Technická komunikace	Kontrola stavu projektu s týmem	E-mail Konferenční hovor	Podle potřeby	Vedoucí Projektového týmu	-Hlášení PM
Komunikace přes e-mail	Distribuce poznámek z jednání, sdílení informací a otázky a odpovědi mezi jednáními	E-mail	Podle potřeby	Projektový tým (kopie vždy projektovému manažerovi)	-E-mail -Doručitelné dokumenty
Průběžné projektové jednání	Oznámení stavu projektu včetně aktivit, problémů a pokroků	Konferenční hovor	1x za týden	Projektový manažer	- Program jednání - Zápis z porady

Obr. 11 Návrh komunikační matice
Fig. 11 Communication matrix design

Závěr

Tento článek řešil problematiku zlepšování procesů projektového managementu v průmyslovém podniku zabývajícím se průmyslovou automatizací. Základním podnětem pro zlepšování procesu projektového managementu v daném podniku bylo, že počet spotřebovaných hodin projektových manažerů u některých projektů výrazně přesahoval rozpočet, a to někdy až o 5 % z celkového rozpočtu projektového managementu. Byly vytvořeny procesní mapy průběhu projektu a analýzou těchto map bylo zjištěno, že vznikají dvě hlavní úskalí při realizaci projektu. Prvním návrhem je vytvoření projektového plánu i u malých projektů, což dosud nebylo obvyklé. Plán se aktuálně vytváří pouze u větších projektů, ale důležitý je i plán u projektů jakéhokoli charakteru a velikosti. Vytvoření takového plánu zabere přibližně 16 hodin, ale po vytvoření se může návaznými procesy, které z projektového plánu vychází, ušetřit navíc až 12 hodin. Druhý návrh řeší potíže technického charakteru, zbytečně se projektový tým obrací

na projektového manažera, který informaci přeposílá zákazníkovi, zákazník zpět projektovému manažerovi a ten projektovému týmu. Konceptem návrhu je vytvoření komunikační matice, kdy jsou dána jasná pravidla a v konkrétním případě, projektový tým při technických dotazech zasílá informaci o technickém problému přímo zákazníkovi s kopií projektovému manažerovi. Při každém projektu se tak může ušetřit až 3,5 hodiny práce projektového manažera. Téma článku je velmi obsáhlé a podobnou analýzou by se dalo uspořit také i v jiných oblastech, návazných na projektový management a samotnou realizaci.

Poděkování

Práce byla podpořena specifickým univerzitním výzkumem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. SP2019/42.

Literatura

- [1] KRŠŇÁKOVÁ, M., JOHN, J., et al. *Projektové řízení*. 1. vyd. Krajský úřad kraje Vysočina, 2006.
- [2] SVOZILOVÁ, A. *Projektový management: systémový přístup k řízení projektů*. 3., aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Grada publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-0075-0.
- [3] *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide*. 3rd ed. Newtown square, Pa.: Project Management Institute, ©2004. ISBN 1-930699-50-6.
- [4] DOLEŽAL, J. *Projektový management: komplexně, prakticky a podle světových standardů*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5620-2.
- [5] DOLEŽAL, J., KRÁTKÝ, J. and CINGL, O. *5 kroků k úspěšnému projektu: 22 šablon klíčových dokumentů a 3 kompletní reálné projekty*. Praha: Grada, 2013. Management (Grada). ISBN 978-80-247-4631-9.
- [6] KERZNER, H. *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. 10th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley, ©2009. ISBN 978-0-470-27870-3.

V TŘINECKÝCH ŽELEZÁRNÁCH vyvinuli těžký beton z vedlejších produktů hutní výroby

Unikátní složení takzvaného těžkého betonu na bázi vedlejších produktů z hutního podniku vyvinuli na podzim 2019 v rámci aplikovaného výzkumu v Třineckých železárnách ve spolupráci s Hornicko-geologickou fakultou Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (VŠB – TUO) a výzkumníkem Jiřím Šafratou.

Podle principů systému cirkulární ekonomiky hledali výzkumníci možnosti dalšího využití vedlejších produktů hutního podniku. „Jedná se o vhodnou kombinaci poměru ocelárenské strusky, metalických odprašků, obrusu ze zpracování kovu a metalurgického granulátu z otryskávání železa. Jejich vhodnými kombinacemi spolu s cementem vznikne těžký betonový kompozit, jenž je schopný konkurovat těžkým betonům, vyráběným z těžkého přírodního kameniva,“ **upřesňuje technický ředitel Třineckých železáren Henryk Huczala.**

Těžký beton, připravený na bázi vedlejších produktů z hutního podniku lze využít například pro výrobu prvků městského mobiliáře, jako jsou například lavičky, koše, květináče, stínící konstrukce proti ionizujícímu záření v nemocnicích či laboratořích. Ale také pro výrobu obalů pro ukládání radioaktivního odpadu na speciálních uložistištích. První prototypy laviček městského mobiliáře firma odlila v ostravské betonárce včera ráno. Až vyzrají, budou nejméně rok testovány ve venkovním prostoru.

Specifikem třineckého těžkého betonu je jeho objemová hmotnost. „Za těžký beton považujeme takový, který má objemovou hmotnost v suchém stavu větší než 2600 kg/m³. Objemová hmotnost obyčejného betonu na bázi přírodního kameniva se pohybuje v intervalu 2200 – 2400 kg/m³,“ **vysvětluje Vojtěch Václavík Katedry environmentálního inženýrství z Hornicko-geologické fakulty VŠB – TUO.** Navýšení objemové hmotnosti nad hodnotu 2600 kg/m³ je podle něj možné zajistit použitím těžkého přírodního kameniva, jako je baryt, limonit, hematit, magnetit a další anebo vedlejšími produkty z hutního průmyslu. „Hlavní výhodou Třineckého těžkého betonu je to, že jej umíme připravit v různých objemových hmotnostech dle požadavku zákazníka. Jsme schopni připravit těžký beton na bázi vedlejších produktů o objemových hmotnostech 2700, 2900, 3200, 3600 a 3800 kg/m³,“ **doplňuje technolog hutě Petr Mlčoch.**

Výsledkem několik let trvajícího výzkumu je zapsání užitého vzoru s názvem „Těžká betonová směs“ na Úřadu průmyslového vlastnictví. Původci technického řešení jsou Petr Mlčoch, Vojtěch Václavík a Jiří Šafrata.

Tým provedl také sérii několika měření stínících vlastností sudů pro ukládání radioaktivního odpadu. „Náš vyvinutý těžký beton, který slouží jako výplň těchto sudů, má výrazně lepší stínící vlastnosti, a to až 1,86krát více v porovnání s obyčejným betonem na bázi přírodního kameniva, který se v současné době používá,“ **vypočítává další výhody směsi Petr Mlčoch.**

A v čem spočívá celé kouzlo? První výhodou je, že pro výrobu těžkého betonu se využívají vedlejší produkty, dochází tudíž k úsporám přírodních zdrojů těžkého kameniva. Druhá výhoda spočívá v tom, že jsme schopni připravit těžký beton v objemové hmotnosti 2600 – 3800 kg/m³. Třetí výhodou je možnost přípravy „čerpatelného těžkého betonu“ o objemové hmotnosti až 3500 kg/m³, který umožní zjednodušit proces zpracování těžkého betonu například při výrobě odlévaných stavebních konstrukcí.

– Z tiskové zprávy listopad 2019 –

Využití metody VSM při analýze materiálového toku v průmyslovém podniku

Use of the VSM method in the analysis of material flow in an industrial enterprise

Ing. Martin Lampa, Ph.D.; Ing. Jana Karasová; doc. Ing. Andrea Samolejová, Ph.D.

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

Podstatou logistiky je organizace toků od zdroje surovin ke spotřebiteli. Jedním z těchto toků je materiálový tok, který představuje řízený pohyb materiálu, jenž je prováděn pomocí manipulačních, dopravních, přepravních a pomocných prostředků a to tak, aby se k zákazníkům dostal výrobek v požadované dobu, v požadovaném množství, na určité místo a očekávané kvalitě. Tyto požadavky mohou být splněny, jestliže je tok materiálu naplánován tak, aby nedocházelo během procesu k jeho poškození, znehodnocení nebo zbytečnému čekání. Pracovníci, kteří mají na starost plánování, musí mít dokonalé znalosti o charakteristických vlastnostech materiálu a procesech, kterými tento materiál prochází. Správné nastavení logistických toků ovlivňuje fungování a hospodaření podniku, protože v zájmu podniku je mít zajištěn přísun správného materiálu, v požadované kvalitě a také čase na správném místě. Každý výkyv, ať již nedostatek nebo přebytek, může mít za následek zvýšení nákladů, omezení výrobní kapacity, zvýšení zásoba s tím spojené potřeby na skladovací prostory. Cílem článku je popsat, analyzovat a vyhodnotit materiálový tok pomocí metody VSM v daném průmyslovém podniku.

Klíčová slova: materiálový tok; logistika; metoda VSM

The essence of logistics is the organization of flows from the source of raw materials to the consumer. One of these flows is the material flow, which represents the controlled movement of material, which is carried out by means of handling, transport, transport and auxiliary means, so that the customers get the product at the required time, in the required quantity, to a certain place and expected quality. These requirements can be met if the material flow is planned so that it is not damaged, degraded or unnecessarily waited during the processes. Workers in charge of planning must have a thorough knowledge of the characteristics of the material and the processes that the material goes through. The correct setting of logistics flows affects the functioning and management of the company. Any fluctuation, whether shortage or surplus, can result in increased costs, reduced production capacity, increased inventory and associated storage needs. The aim of the article is to describe, analyze and evaluate the material flow using the VSM method in a given industrial enterprise.

Key words: material flow; logistics; VSM method

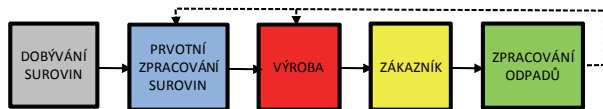
Výroba je posláním výrobní sféry, představuje tvorbu nových užitných hodnot, které podnik vyžaduje ke své existenci a pro svůj následující rozvoj [1]. Cílem podnikové logistiky je snaha o to, aby podnik uspokojil požadavky trhu produkcí zboží v požadované úrovni a zároveň se snažil optimalizovat logistické činnosti tak, aby maximalizoval své zisky, optimalizoval a minimalizoval náklady v daném čase zvýšením pružnosti a přizpůsobivosti podniku vzhledem k měnícím se podmínkám ekonomickým, technologickým, výrobním a podmínkám na trhu. Výrobní podnik používá své veškeré dostupné prostředky k výrobě nebo případně převodu řady různých vstupů od dodavatelů na výstupy pro zákazníka [2]. Podniková logistika zahrnuje: plánování, organizování, koordinování, informování, rozhodování, provádění a kontrolu strategických, taktických a operativních logistických činností a operací [3]. Plánování a řízení výroby je z větší části zaměřeno na střednědobý až krátkodobý časový horizont [4]. Předmětem zkoumání

podnikové logistiky je identifikace míst, mezi kterými vznikají hmotné nebo nehmotné toky a s tím související potřeba racionalizace a optimalizace řízení procesů dopravy, manipulace s materiály, skladování a balení, identifikaci výrobků, přes všechny fáze výrobního procesu včetně informačních a řídicích procesů, až po směnu výrobků a jejich přechod do spotřeby (podniková logistika = výrobní a obchodní logistika). [5]

1. Materiálový tok

Materiálovým tokem (viz obr. 1) se rozumí organizovaný pohyb materiálů od zdrojů surovin přes jejich prvotní zpracování, jejich další zhodnocení ve výrobním procesu až po dodání hotových výrobků konečnému spotřebiteli, popř. až ke zpracování odpadů. Na něj v opačném směru navazuje tok obalových materiálů k recyklaci a likvidaci. Materiálový tok je možno vyjadřovat v různých veliči-

nách (kilogramech, tunách, litrech, metrech kubických, počtech kusů, apod.), dále je potřeba jej vhodným způsobem organizovat. Organizace zahrnuje balení, manipulaci a přepravu.



Obr. 1 Materiálový tok

Fig. 1 Material flow

Při rozboru toku materiálu je zkoumán jednak neefektivnější sled pohybu materiálu v rámci nutných fází výrobního procesu, zároveň také intenzita těchto pohybů. Důležitou činností v oblasti tohoto sledu pohybuje řízení ve spolupráci s logistickou funkcí dopravy materiálu směrem do podniku a zároveň v rámci tohoto podniku. Pro efektivní tok je vyžadováno, aby materiál postupoval ve výrobním procesu postupně bez zbytečných oklik a bez protisměrných pohybů. Nové podniky jsou v rámci návrhu svého uspořádání charakteristické třemi hlavními druhy toku materiálu[6]:

- přímý,
- ve tvaru písmene L,
- ve tvaru písmene U.

2. Metoda VSM

Metoda VSM (Value Stream Mapping) se zabývá mapováním toku hodnot. Jedná se o metodu, která je využívána při sladění toků. Vychází z konceptu štíhlé výroby. Slouží k popisu procesů, které přidávají (VA – Value Added) nebo nepřidávají hodnotu (NVA – Non Value Added) ve strukturách výrobních, servisních i administrativních. Pomáhá pochopit celý tok produkčních procesů, které prochází napříč celou organizací a jeho návaznost na systém řízení organizace, plánování a požadavky zákazníka. Přidanou hodnotou se rozumí činnost, která je prováděna na určitém výrobku a tato činnost zvyšuje stávající hodnotu výrobku (např. proces tepelného zpracování). Protipólem přidané hodnoty je „nepřidaná hodnota“. Jde o činnost, která výrobku nedodává přidanou hodnotu, ale je nutné ji vykonat, aby výrobek bylo možné dokončit (např. výměna nástrojů). Účelem mapování toku hodnot je sledovat cestu materiálu nebo služby od dodavatele k zákazníkovi a zakreslit každý proces v materiálovém a informačním toku. Poté určit skupinu klíčových otázek a nakreslit budoucí stav (mapu s budoucím průběhem). Pomocí tohoto nástroje je možné odhalit skryté rezervy ve formě úzkých míst a také plýtvání. [7]

Tuto metodu je vhodné využít [7]:

- u výrobku, kdy jeho výroba se bude zavádět,
- u výrobku, u kterého jsou plánovány změny,
- při návrhu nových výrobních procesů,
- při novém způsobu rozvrhování výroby,
- i při obyčejné analýze bez plánování změn.

2.1 Sestavení mapy VSM

Postup při mapování toku hodnot se skládá ze čtyř základních kroků [7]:

- výběr skupiny výrobků pro proces mapování,
- znázornění současného stavu,
- znázornění budoucího stavu,
- realizace.

U metody VSM dochází k jejímu utváření postupně, od provedení výběru určitého typu výrobku až po zanesení všech informací o toku výrobků příslušným výrobním procesem do mapy. Dalším krokem je určení jakým způsobem, jak často a v jakém množství přichází materiál do podniku. Následně zaznamenání množství, četnosti a způsobu odběru výrobků zákazníkem. V další fázi je potřeba stanovit veškeré operace, kterými materiál projde při všech procesech. U těchto operací se taktéž zapisují důležité informace, které napomáhají zjištění podmínek vzniku výrobku. K těmto informacím patří:

- C/T (cycle time) – čas cyklu (doba, která výrobku dodává přidanou hodnotu),
- C/O (change over) – čas změny – přetypování (čas, který je využit na přechod výroby z jednoho typu výrobku na druhý),
- počet operátorů,
- typ daného procesu,
- manipulační čas – čas, který je určený k manipulaci výrobku,
- časový fond pracoviště,
- směnnost,
- velikost dávek,
- počet variant výrobku,
- zmetkovitost,
- využití strojů, ad.

Každý podnik si do své mapy VSM zaznamenává ty údaje, které jsou z jeho pohledu důležité. Poté jsou určeny zásoby před jednotlivými pracovišti, kdy je tento údaj možné zapsat jako dostupný počet kusů nebo ve formě času. Zakreslí se materiálový tok. Zároveň také informační toky, které mají vliv na výrobní proces (mohou to být objednávky zákazníků, předpovědi na následující období – dny, týdny, měsíce). Tyto jsou značeny pomocí šipek. Těmito šípkami lze odlišit obvyklé informační toky a elektronické informační toky. Spodní část diagramu tvoří časová linie, která poskytuje informace o indexu přidané hodnoty.

Na obr. 2 jsou zobrazeny příklady užití grafických znaků v diagramu VSM [8]:

	elektronická informace		zásobník, bezpečnostní sklad
	manuálně předaná informace		skladování
	operátor		systém FIFO
	výroba po 1 kusu		výrobní mix
	výroba v dávkách		způsob dopravy
	oddělení nebo výrobní proces		dodavatelé nebo odběratelé

Obr. 2 VSM diagram – základní symboly
Fig. 2 VSM diagram - basic symbols

V diagramu VSM jsou prováděny výpočty:

Čas přidávající hodnotu [s]:

$$VA = (PT + TCT + RT) \cdot NO \quad (1)$$

PT – čas výroby, [s]

TCT – čas výměny nástroje, [s]

RT – čas náběhu, [s]

NO – počet operátorů.

Čas nepřidávající hodnotu [s]:

$$NVA = ND + NTD \quad (2)$$

ND – počet prostojů, [s]

NTD – počet technických prostojů, [s]

Účinnost procesu [%]:

$$PE = \frac{VA}{RTP} \quad (3)$$

RTP – průběžná doba procesu [s]

Procesní čas [s]:

$$TPT = \Sigma PT \quad (4)$$

Průběžná doba výroby [s]:

$$CPT = \Sigma MS \quad (5)$$

MS – materiál na skladě [s]

Celkem čas přidávající hodnotu [s]:

$$TVA = \Sigma VA \quad (6)$$

Účinnost cyklu procesu [%]:

$$PCE = \frac{\Sigma VA}{\Sigma RTP} \quad (7)$$

3. Vytvoření diagramu VSM

Prvořadým úkolem při tvorbě diagramu VSM je zjistit informace z vazeb mezi řízením výroby, dodavateli a zákazníky. Dle jednotlivých zakázek od zákazníků daného podniku je sestaven roční plán, který plní funkci hrubé

kapacitní bilance. Pro tento plán je využívána analýza SPV (skupiny příbuzných výrobků) pro určení množství materiálu, který bude potřeba pro výrobu a zároveň je využíván plánovací systém APS – JDA Factory Planner, který poskytuje informace o časovém využití zdrojů (tzn. naplnění výrobních kapacit). Ze zjištěných výsledků těchto dvou analýz je sestaven čtvrtletní plán. Další úrovní je měsíční operativní plán (MOP). Tento plán obsahuje konkrétní obchodní zakázky, které mají být v daném měsíci zařazeny do výroby a zároveň prodeje. Soubor těchto zakázek je základem pro dílenské plánování pro jednotlivé úseky tak, aby byly pokryty i jednotlivé výrobní linky. Posledním krokem v plánování je zadání termínu expedice pro každou vyrobenou dávku.

Nákup materiálu je prováděn jednou za měsíc. Je sestaven plán traťové výroby na daný měsíc, následně je posouzena potřeba oceli pro výrobu a je provedeno srovnání se stavem zásob na skladě. V případě potřeby je provedena objednávka. Následně dodání objednaného materiálu od dodavatele je vyřizováno za 60 dní. Informační vazby jsou zobrazeny v diagramu VSM. Diagram VSM zde není znázorněn, protože je velmi rozsáhlý. Byl vytvořen v MS Excelu.

Do diagramu jsou zakresleni dodavatelé, jak často je od jednotlivých dodavatelů nakupován materiál, způsob přepravy, četnost a způsob skladování materiálu. Materiál, který je přivážen nákladními auty nebo po železnici, je uložen do skladu kontisliček. Další částí při sestavování diagramu je zakreslení jednotlivých pracovišť. Musí být zachován sled výrobních operací. U každého pracoviště je vyznačena tabulka a zde jsou zaznamenány údaje o času cyklu (C/T). Na pracovišti mohou být úkony prováděny manuálně nebo strojově. Z času cyklu by byl určen podíl manuální a strojní práce. V tomto případě je na daném provozu podniku zpracován pouze strojní čas, jelikož jsou veškeré činnosti automatizované. Také je zde uvedeno, zda tyto činnosti přidávají (VA) nebo nepřidávají hodnotu (NVA), protože tyto údaje jsou potřebné pro výpočet indexu přidané hodnoty. Pokud by zde byl manuální čas, byl by tento podíl důležitý pro případnou optimalizaci daného pracoviště.

Ve skladu kontisliček a na celém pracovišti č. 1 probíhá přemísťování materiálu pomocí jeřábu. Provádí se zde dělení materiálu, jednotlivé špalky jsou zváženy a označeny etiketou. Poté jsou jednotlivé kusy převezeny do meziskladu a odtud jsou vkládány do zásobníku ke karuselové peci. Pod symbolem označujícím sklad je uvedeno množství daného materiálu, který je v danou chvíli k dispozici a zároveň počet dnů, na které tento materiál bude postačovat.

Od procesu dělení materiálu po průchod materiálu v tunelových pecích, v kalicím zařízení a v popouštěcích pecích dochází k přesunu materiálu automatizovaně. Špalky jsou systémem manipulátorů a dopravníků přesouvány k jednotlivým pracovištím. Po ukončení těchto procesů jsou polotovary již přemísťovány pomocí vysokozdvizného vozíku.

Následuje odstranění okují tryskáním, poté rozměrová kontrola a vyřídění. Zároveň je vybrán jeden kus, u kte-

rého jsou provedeny materiálové a mechanické zkoušky vlastností. Po uvolnění (úspěšně provedených zkouškách) jsou polotovary umístěny do skladu. Odtud mohou být expedovány zákazníkovi, v případě, že požaduje dodání nebo jsou tyto polotovary převezeny na další provoz, kde dochází k opracování na zákazníkem požadované rozměry a dále jsou umístěny do skladu hotových výrobků a expedovány zákazníkům.

K expedici zákazníkem specifikovaných výrobků dochází dle zákazníkem stanovené podmínky dodání. Je využívána kamionová doprava, železniční přeprava, případně letecká přeprava. V tomto místě končí materiálový tok.

Pomocí šipek jsou zakresleny údaje, které mají vliv na výrobní proces. K těmto informacím patří kontrola plnění výrobního plánu, také požadavky na výrobní dávky, aktualizace plánu, mimořádné požadavky zákazníka (např. změna sjednaného termínu dodávky, urgentní potřeba) atd. Vychází se z měsíčního operativního plánu obsahující soubor obchodních zakázek, které mají být v daném měsíci zařazeny do výroby a do prodeje. Tyto zakázky jsou základními informacemi pro dílenské plánování, aby jednotlivé výrobní linky byly vytíženy. Dílenské plány jsou aktualizovány každý den. Pro sladění veškerých plánovacích a navazujících kontrolních činností slouží porada Odboru plánování výroby a porady managementu výroby Útvaru provozního ředitele, které probíhají jednou za týden.

Poslední částí při vytváření diagramu VSM je zobrazení tabulky s činnostmi přidávajícími hodnotu a nepřidávajícími hodnotu (VA/NVA) a vytvoření časové linie.

4. Výpočty provedené v diagramu VSM

V této kapitole jsou uvedeny výpočty dílčích pracovišť, dle vzorců (1), (2) a (3), které byly provedeny z tabulek v diagramu VSM.

Pracoviště č. 1 – DĚLÍČÍ LINKA

$$VA = (14400 + 1800) \cdot 2 = 32400 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{32400}{32400} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 2 – KARUSELOVÁ PEC

$$VA = (18000 + 1800 + 1200) \cdot 2 = 42000 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{42000}{42000} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 3 – KOVACÍ LIS

$$VA = 3456 \cdot 2 = 6912 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{6912}{6912} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 4 – DĚROVACÍ LIS

$$VA = 3456 \cdot 1 = 3456 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTR} = \frac{3456}{3456} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 5 – VÁLCOVÁNÍ

$$VA = 3456 \cdot 2 = 6912 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{6912}{6912} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 6 – PROHÝBACÍ LIS

$$VA = 3456 \cdot 2 = 6912 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTR} = \frac{6912}{6912} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 7 – TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

$$VA = (28800 + 1800) \cdot 3 = 91800 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{91800}{91800} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 8 – ODSTRANĚNÍ OKUJÍ (zařízení OTECO)

$$VA = 43200 \cdot 1 = 43200 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{43200}{43200} \cdot 100 = 100\%$$

Pracoviště č. 9 – ROZMĚROVÁ KONTROLA A VYTŘÍDĚNÍ

$$VA = 23040 \cdot 4 = 92160 \text{ s}$$

$$NVA = 0 \text{ s}$$

$$PE = \frac{VA}{RTP} = \frac{92160}{92160} \cdot 100 = 100\%$$

5. Vyhodnocení diagramu VSM

Jakmile jsou zjištěny všechny potřebné informace o výrobě, je možné sečíst časové údaje dílčích pracovišť. Pro výpočty budou využity vzorce (4), (5), (6) a vzorec (7).

Nejprve je vypočítán procesní čas tak, že jsou sečteny všechny výrobní časy, které se týkají dané zakázky.

$$\begin{aligned} \text{Procesní čas} &= 32400 + 42000 + 6912 + 3456 \\ &\quad + 6912 + 6912 + 91800 + 43200 \\ &\quad + 92160 = \mathbf{325752 \text{ s}} \\ &= \mathbf{3,770277778 \approx 3,77 \text{ dne}} \end{aligned}$$

Dále je vypočítána průběžná doba výroby. Jsou sečteny veškeré časy, kdy je materiál uložen na skladě.

$$\begin{aligned} \text{Průběžná doba výroby} &= 14 + 0,2 + 3 + 2 \\ &= \mathbf{19,2 \text{ dne}} \end{aligned}$$

Následně je vypočítána doba výroby, která přidává hodnotu. Tato doba je vypočtena tak, že jsou sečteny všechny časy přidávající hodnotu na dílčích pracovištích.

$$\begin{aligned}\sum VA &= 32400 + 42000 + 6912 + 3456 + 6912 \\ &+ 6912 + 91800 + 43200 + 92160 \\ &= 325752 \text{ s} = 3,76 \text{ dne}\end{aligned}$$

Na závěr je vypočítána účinnost cyklu procesu. Výsledek je hodnotou podílu sumy časů přidávajících hodnotu a sumy průběžných dob výroby.

ÚČINNOST CYKLU PROCESU

$$\begin{aligned}&= \frac{\sum VA}{\sum \text{Průběžné doby výroby}} \\ &= \frac{325752}{1658880} = 0,1963 = 19,63 \%\end{aligned}$$

Výsledná hodnota účinnosti cyklu procesu je 19,63 %. Tento výsledek se může jevit jako hodnota nízká. V zakázkové výrobě se dal se tento výsledek očekávat. Významně se na hodnotě účinnosti podílí doba skladování oceli. Je v ní zohledněna fronta práce na pilách a doba na kompletaci taveb ve skladě oceli. Tato účinnost celého cyklu procesu by zřejmě byla ještě nižší, pokud by do výpočtů byly zahrnuty i procesy z dalších navazujících úseků. Na těchto úsecích by již byl patrný větší rozdíl v podílu přidávajících a nepřidávajících hodnot, které by měly v konečném důsledku vliv na celkový výsledek tím, že by hodnota účinnosti cyklu ještě poklesla. Jedná se zejména o čekací doby ve frontě práce. Tento jev bývá v zakázkové výrobě marginální a může být umocněn neuspořádaným tokem materiálu a různými výkony dílčích strojů, což je fenomén převážně strojírenské výroby.

6. Závěr

I když materiálův tok na úseku je plynulý, byla na vybraném sortimentu vypočtena hodnota účinnosti cyklu procesu 19,63 %. Z VSM diagramu je patrné, že zásadní podíl neproduktivního času čerpá skladování oceli.

Následně sklad po tepelném zpracování rovněž netvoří hodnotu. Z hlediska technologie, je doba skladování po tepelném zpracování nezbytná k tomu, aby výrobek vychladnul a byl tak použitelný v dalším výrobním procesu. Proto je nezbytné v této fázi výroby s dobou na chladnutí počítat. Je možné navrhnout zlepšení přechodu materiálu mezi Provozem Válcovna kol a Tepelným zpracováním Pro optimalizaci výkonu Tepelného zpracování by bylo vhodné zřídit mezisklad před tímto výrobním uzlem. Jelikož při průchodu zpracovávaných zakázek se stejnými nebo velice podobnými charakteristikami materiálu by tyto zakázky mohly být kumulovány, což by vedlo k úsporám času, nákladů na jednotlivé přestavby tepelných režimů v pecích a spotřebu vstupů do výroby (spotřeba plynu).

Poděkování

Práce byla podpořena specifickým univerzitním výzkumem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky č. SP2019/42.

Literatura

- [1] NOVÁK, J. *Organizace a řízení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2006, 106 s. ISBN 80-248-1223-1.
- [2] GRANT, D. B. *Logistics management*. 1. vyd. Harlow: Pearson Education Limited, 2012, 288 s. ISBN 978-0-273-73135-1.
- [3] KONEČNÝ, M. *Logistika v systému řízení podniku*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1999, 150 s., ISBN 80-7078-667-1.
- [4] SCHULTE, Ch. *Logistika*. 1. vyd. Praha: Victoria Publishing, 1994, 303 s. ISBN 80-85605-87-2.
- [5] [ČUJAN, Z, MÁLEK, Z. *Výrobní a obchodní logistika*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati Akademia centrum, 2008, 202 s. ISBN 978-80-7318-730-9.
- [6] SLÍVA, A. *Základy logistiky*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2004, 102 s. ISBN 80-248-0678-9.
- [7] IPA CZECH. *IPA slovník* [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/vsm>.
- [8] MACINNES, R. L. *Štíhlý podnik - Memory Jogger™*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, 168 s. ISBN 80-02-01849-4.

Technická univerzita v Košicích bude součástí aliance Ulysseus

Zástupci šesti evropských vysokých škol a velký počet přidružených partnerů se začátkem roku 2020 sejdou v Bruselu, aby podepsali programové prohlášení Ulysseus. Šest evropských univerzit se spojilo ve snaze vytvořit jednu z prvních dlouhodobých nadnárodních aliancí pro vzdělávání a výzkum.

Cílem aliance je vytvářet dlouhodobé spojení, společné struktury a strategie v oblasti vzdělávání a výzkumu, které souvisejí s prioritami regionů a měst členských států. Jejím cílem je přispívat ke konkurenceschopnosti, inovaci a zaměstnatelnosti, a podporovat aktivní občanství, sociální začlenění, soudržnost a osobní rozvoj studentů a zaměstnanců.

Členy aliance jsou Univerzita v Seville (Španělsko, koordinátor), Univerzita v Janově (Itálie), Univerzita Cote d'Azur (Francie), Manažerské centrum Innsbruck (Rakousko), Technická univerzita v Košicích (Slovensko) a Univerzita aplikovaných věd Haaga-Helia (Finsko). Ulysseus však tvoří více než šest členů, protože získává silnou podporu místních samospráv, regionálních vlád, jakož i sociálních a hospodářských subjektů ze všech šesti zapojených institucí.

- red -

Zprávy z Ocelářské unie a.s.

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	říjen	listopad	leden-listopad	říjen		listopad		leden-listopad	
	2019	2019	2019	2018	2019/18	2018	2019/18	2018	2019/18
	(tis. t)			(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)
KOKS									
ČR	133,83	127,65	1518,30	163,04	82,08	147,23	86,71	1687,53	89,97
AGLOMERÁT									
ČR	350,26	391,13	4734,56	442,91	79,08	437,38	89,43	5236,47	90,42
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	218,46	278,87	3341,41	308,08	70,91	302,59	92,16	3677,99	90,85
SUROVÁ OCEL									
ČR	270,46	350,04	4218,17	375,50	72,03	390,31	89,68	4533,70	93,04
KONTISLITKY									
ČR	244,72	324,61	3910,05	342,43	71,47	359,36	90,33	4223,87	92,57
BLOKOVNY									
ČR	46,69	51,65	549,35	56,27	82,98	51,98	99,38	573,84	95,73
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	329,48	330,09	4190,53	415,54	79,29	411,16	80,28	4744,71	88,32
TRUBKY									
ČR	33,29	29,86	369,31	45,65	72,93	42,60	70,09	432,03	85,48
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	11,78	14,38	174,75	14,27	82,57	18,85	76,29	205,59	85,00
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,11	1,08	12,25	1,28	86,68	1,19	91,05	13,60	90,02

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2018 a 2019

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	listopad	prosinec	leden-prosinec	listopad		prosinec		leden-prosinec	
	2019	2019	2019	2018	2019/18	2018	2019/18	2018	2019/18
	(tis. t)			(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)
KOKS									
ČR	127,65	130,85	1649,15	147,23	86,71	143,73	91,04	1831,26	90,06
AGLOMERÁT									
ČR	391,13	468,31	5202,86	437,38	89,43	484,94	96,57	5721,40	90,94
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	278,87	293,92	3635,34	302,59	92,16	327,36	89,79	4005,35	90,76
SUROVÁ OCEL									
ČR	350,04	361,12	4579,29	390,31	89,68	432,61	83,47	4966,30	92,21
KONTISLITKY									
ČR	324,61	345,73	4255,78	359,36	90,33	379,84	91,02	4603,71	92,44
BLOKOVNY									
ČR	51,65	41,99	591,33	51,98	99,38	54,07	77,65	627,92	94,17
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	330,09	282,83	4473,37	411,16	80,28	324,59	87,14	5069,30	88,24
TRUBKY									
ČR	29,86	19,04	388,35	42,60	70,09	28,87	65,96	460,90	84,26
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	14,38	8,71	183,45	18,85	76,29	11,70	74,38	217,29	84,43
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,08	0,85	13,10	1,19	91,05	0,65	131,02	14,25	91,89

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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

Nová literatura

Úvodní slovo děkanky

Vážený přátelé,

dostáváte do rukou publikaci, která vás provede 170 lety života Fakulty materiálově-technologické, jedné ze zakládajících fakult Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Počátky naší alma mater jsou úzce spojeny s rozvojem těžkého průmyslu v českých zemích v 18. a 19. století a potřebou vzdělaných odborníků v báňských vědách.

V roce 1849, v důsledku národnostních konfliktů na Báňské akademii v Báňské Štiavnici v tehdejších Uhrách, bylo dekretem císaře Františka Josefa I. rozhodnuto o zřízení Montánního učiliště v Příbrami a tím položeny základy k vybudování Vysoké školy báňské. Výuka hutnických disciplín byla v Příbrami rozvíjena jak v oblasti teoretické, tak praktické, včetně těsné spolupráce s hutními podniky. Hutní inženýr musel být zároveň chemikem a strojařem. Rozvoj vzdělávací instituce v Příbrami byl ovlivňován tehdejší politickou a hospodářskou situací v Evropě. Škola v Příbrami přestála dvě světové války, včetně násilného uzavření vysokých škol nacisty v roce 1939. Tyto události ji však oslabily jak z hlediska personálního, tak materiálního. Po druhé světové válce, v roce 1945, bylo dekretem prezidenta republiky rozhodnuto o přemístění VŠB do Ostravy, centra významného průmyslového regionu, který pro svůj další rozvoj potřeboval technologicky vzdělané odborníky. Od roku 1951 se VŠB začala dělit na fakulty, jednou z nově vzniklých fakult byla i naše Hutnická fakulta. Ta reagovala na rozvíjející se průmysl a v průběhu dalších 40 let vychovala řadu předních odborníků nejen v metalurgii a dalších průmyslových technologiích, ale také v oblasti materiálového inženýrství. Důraz byl kladen i na organizaci a řízení průmyslových podniků. V důsledku očekávaného dalšího společenského a hospodářského vývoje byl v roce 1990 změněn název fakulty na název Fakulta metalurgie a

materiálového inženýrství. V dalších letech fakulta posilovala svůj interdisciplinární charakter a rozvíjela své pedagogické a vědeckovýzkumné aktivity nejen v metalurgických a materiálových disciplínách, ale také chemických, ekonomických a ekologických oborech. S dotací téměř 900 mil. Kč ze strukturálních fondů EU bylo na fakultě v minulých letech vybudováno unikátní pracoviště Regionální materiálově-technologické výzkumné centrum zaměřené na přípravu vysoce čistých materiálů, speciálních slitin, biomedicinských materiálů, vývoj materiálů pro vysokoteplotní aplikace a energetiku a další řešení materiálově technologických problémů. Na základě tohoto oborového rozvoje se fakulta v roce 2018 přejmenovala na Fakultu materiálově-technologickou.

V průběhu celé její historie na fakultě působily výrazné osobnosti, které svými zkušenostmi určovaly profil jednotlivých pracovišť, charakter vědecko-výzkumné práce a úroveň vzdělávací činnosti. V Příbramské etapě to byli zejména významní odborníci z praxe, v dalších obdobích také nová generace osobností, většinou již absolventů VŠB v Ostravě, ale také jiných vysokých škol technického nebo přírodovědného zaměření. Typická pro naši fakultu je těsná spolupráce s technologickou praxí, zejména s průmyslovými podniky, a to po celou dobu její historie. Nezbytná pro rozvoj fakulty je i mezinárodní spolupráce. Důležité zahraniční kontakty rozvíjeli profesori VŠB jak v jejím příbramském období, tak po přesídlení do Ostravy. Tyto kontakty se zahraničními vysokými školami vytvářely předpoklady pro úspěšnou pedagogickou i vědeckou spolupráci.

Závěrem dovoluji, abych popřála naší Fakultě materiálově-technologické do dalších let stále kvalitní pedagogy a vědecko-výzkumné pracovníky, cílevědomé studenty, významné projekty a zachování tvůrčí a přátelské atmosféry na fakultě. Současně děkuji všem, kteří se podíleli na přípravě této knihy.

Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.

Petr Kašing aj.

Příběh jedné fakulty 1849 – 2019

(Recenze Ing. Jan Počta, CSc.)



Již podle letopočtů v titulu publikace *Příběh jedné fakulty 1849 – 2019* poznají znalci jednoho z nejstarších školských ústavů v oboru montanistiky, že obsahem této publikace je historie Fakulty materiálů technologické (FMT) z VŠB – Technické univerzity Ostrava (VŠB – TU Ostrava), nástupkyně Vysoké školy báňské v Příbrami, později v Ostravě. Hlavním autorem publikace je Mgr. Petr Kašing, který se ve funkci vedoucího archivu VŠB – TU Ostrava ujal této záslužné činnosti. Využil k ní bohaté sbírky školních archiválií a fotografických dokumentů, odborných textových i fotografických dokladů svých spoluautorů ze všech odborných pracovišť fakulty, dokladů z Archivu města Ostravy, Státního okresního archivu v Příbrami, Hornického muzea v Příbrami a také některých příspěvků pamětníků.

Historie jedné z nejstarších fakult VŠB – TU Ostrava byla napsána paradoxně až jako poslední v řadě fakultních historií. V letech 1996 – 2007 si svou historii v písemné podobě zpracovaly všechny ostatní fakulty univerzity, do r. 2012 pak i opakovaně a aktualizované verze, zatímco FMT se to podařilo v konečné podobě teprve v roce 2019. Práce na publikaci započaly v roce 2014, kdy VŠB – TU Ostrava oslavovala 165 let od svého založení. FMT je nástupnická fakulta po Hutnické fakultě VŠB v Ostravě. Tato původní fakulta měla částečně zpracovanou svou historii již v roce 1986 a doplněnou počátkem 90. let minulého století, avšak k publikaci v té době nedošlo. Záměr byl realizován teprve nyní, v období let 2014 – 2019.

Publikace má 265 stran. Lze ji rozdělit na dvě hlavní části, navazující na nezbytné úvodní kapitoly. První část je textové zpracování vývoje montanistické výuky na našem území a vlastní historie školy, resp. fakulty. Druhá část představuje popis současnosti fakulty.

- První část, obsažená na s. 10 – 93, je rozčleněná do kapitol koncipovaných podle nejdůležitějších časových mezníků ve výuce montanistiky a v historii školy:

- Kap. „Hutnictví v počátcích báňského školství“ uvádí hornictví a hutnictví logicky jako jedem celek a připomíná nejvýznamnější osobnosti, které se od doby novověku nejvíce zasloužily o rozvoj oboru. A tak se v textu objevuje jméno Georgia Agricoly, Johanna Mathesiuse, Lazara Ercknera, Jana Františka Lauera a všech dalších jejich významných nástupců, a to až u těch, kteří se podíleli na řízení dolů, hutí a báňských úřadů, nebo na výchově a výuce báňského personálu. Kdo se orientuje v historii české montanistiky, připomene si v této kapitole faktografii vztahující se k prvním školským organizacím, a to k báňskému učilišti v Jáchymově (1717), Banské akademii v Banské Štiavnici (1737), Horní škole ve Smolníku (1747) nebo Stolici báňských věd při pražské univerzitě (1763).
- Kap. „Vznik montánního učiliště v Příbrami“ uvádí čtenáře do nové éry ve vývoji báňských technologií nebo v nastalých požadavcích na výchovu a výuku báňského dorostu ze strany praxe. Je to tedy geneze vzniku školního institutu – báňského učiliště v Příbrami (1849), kam byla směřována iniciativa českých stavů v čele s Kašparem ze Šternberka. Kapitola již uvádí známá jména ředitelů a vyučujících na ústavu, časový a věcný průběh studia a strukturu výuky v hutní větvi, tj. první učební předměty.
- Kap. „Povýšení montánního učiliště na Báňskou akademii v Příbrami“ popisuje dobu, kdy se prestiž této školy, stejně jako ostatních sesterských škol v Habsburské monarchii, dostala na vyšší úroveň (1865), z čehož pramenil rozvoj obsahového zaměření výuky, personálního obsazení pedagogického sboru, zvýšení samostatnosti a oproštění od jiných technických vysokých škol v zajišťování teoretické výuky v prvních ročnících. Kapitola se však nevyhnula líčení těžké situace Báňské akademie v Příbrami v 70. letech 19. století, kdy tato škola musela bojovat o své rovnoprávné postavení mezi konkurenčními instituty.
- Kap. „Povýšení Báňské akademie na Vysokou školu báňskou v Příbrami“ obsahuje události, jež v souvislosti s prohlášením institutu za vysokou školu

VŠB (1904) znamenaly dosažení rovnoprávnosti mezi všemi vysokými školami technického směru a s tím souvisejícím dalším rozvojem ve výuce hutních předmětů. I přes tyto význačné úspěchy musela VŠB bojovat proti snahám o udržení své jednoty a samostatnosti, což prakticky trvalo až do vyhlášení samostatné Československé republiky. Do této kapitoly spadá líčení situace VŠB v době 1. světové války, která byla velice neradostná a vyvolala škole značné problémy hospodářské, výukové i personální.

- Kap. „Výuka hutnictví na VŠB v Příbrami v meziválečném období“ již uvádí jasné oddělení hutnické studijní větve od hornické, a to již od samého počátku studia, a diferenciaci jednotlivých hutních studijních směrů. Specializace přednášejících a personální posílení vyučujících z praxe vyústilo v novou koncepci odborných ústavů a stolic. V tomto období se již čtenáři setkají se jmény profesorů, jejichž učebnice a přednášky jsou dosud mnohdy citovány nejstaršími hutními pamětníky. Generace profesorů z tohoto období se čile zapojila do vědecké činnosti, jejíž výsledky se ve formě technologií a pracovních postupů využívají dodnes. Období, kterým se uvedená kapitola zabývá, končí okupací Československa, která v důsledku uzavření vysokých škol zapříčinila i ve VŠB v Příbrami těžké lidské osudy a nenahraditelné ztráty ve sbírkách, přístrojích a knihách.
- Kap. „Obnovení činnosti VŠB po 2. světové válce“ se zabývá zajímavým obdobím, kdy přesídlením VŠB z Příbrami do Moravské Ostravy byly definitivně ukončeny dřívější snahy o přemístění školy do Prahy, příp. jiných míst. Hlavním úkolem školy bylo obnovení její činnosti, zajištění budov a přednáškových sálů, zahájení ještě letního semestru ihned po válce, shromáždění ukrývaných nebo zcizených přístrojů, sbírek a knih, stabilizace pedagogického sboru, nové zápisy studentů, dokončení výuky pro starší ročníky v Příbrami a zahájení nové výuky v Ostravě.
- Kap. „Výuka hutnictví na VŠB v Ostravě do vzniku Hutnické fakulty“ popisuje náročnost stěhování školy do Moravské Ostravy a její lokaci ve městě. Dnešní nejstarší generace si ještě pamatuje všechna místa, kam byla vyjmenovaná pracoviště školy dislokována a kde všude probíhaly přednášky a cvičení. Umístění VŠB do Moravské Ostravy se při novém technickém vybavování školy ukázalo jako prozíravé, protože místní podniky (a jmenovitě v případě Hutnické fakulty to byly Vítkovické železárny) vypomáhaly ve výbavě školy pro její vědecko-výzkumnou činnost i výuku, a tím nahradily ztráty, které škola utížila během německé okupace. V této kapitole autor připomíná též neblahou etapu následující po Vítězném únoru 1948, která VŠB prakticky vrátila do potíží v zajišťování výuky jako na počátku 20. let minulého století v Příbrami.

- Kap. „Vznik Hutnické fakulty v roce 1951 a její další vývoj“ obsahuje činnost fakulty od doby jejího vzniku až do roku 1989. Organizace VŠB se do té doby v zásadě řídila ustanovením pro vysokoškolské instituce z roku 1873 s různými menšími změnami v průběhu času. Od počátku 50. let minulého století se VŠB přebudovala podle sovětského vzoru. Tato kapitola detailně popisuje situaci na Hutní fakultě v pěti časových etapách, a to tak, jak se měnilo členění fakulty na jednotlivé katedry, ústavy, jak se měnilo vedení kateder a ústavů, a to i kateder s celoškolskou působností. Kapitola líčí zavádění nových forem studia, z nichž některé v nové, transformované podobě přetrvávají dodnes. Podrobně jsou jmenováni pedagogové v jednotlivých profesích. Jejich jména si dnešní pamětníci jistě mohou ověřit ve svých indexech a vysvědčeních již z vlastního studia. I zde kapitola líčí někdy pohnuté osudy pedagogů v době po Vítězném únoru, stejně jako v době normalizace. Stejně jako několikrát v minulosti se Hutní fakulta musela vyrovnat s personálními ztrátami. Řada odborníků musela školu opustit, čehož velmi prozíravě využívaly okolní průmyslové podniky a instituce, když tyto postižené pracovníky s vysokou kvalifikací u sebe zaměstnávaly. Byla to doba, kdy se lámaly charaktery některých zaměstnanců. A je to doba relativně nedávná, takže autor decentně a milosrdně o těchto osobách pomlčel. Autorovi této recenze jsou jejich jména známa, protože s poměry na VŠB v Ostravě byl vždy detailně obeznámen.

Autor knihy však také popisuje tuto dobu jako etapu nebyvalého rozmachu výukového procesu a zejména vědecko-výzkumné činnosti, která byla výsledkem aktivit řady význačných osobností z tzv. silného ročníku VŠB. Celá 70. léta minulého století byla vyplněna budováním nového areálu pro školu v Ostravě-Porubě. Téma výstavby a stěhování fakulty spojil autor knihy s tématem přemístění celé školy, protože dislokace VŠB do nového místa měla za cíl synergické propojení všech obslužných pracovišť školy s fakultami. Toto období bylo spojeno s významným rozvojem Hutní fakulty v souvislosti s jejím začleněním do programů rozvoje vědy a techniky ve sféře průmyslových podniků. V důsledku toho došlo k dalšímu rozvoji výuky a zařazení nových studijních zaměření. S tím souvisel i vznik nových kateder. Nová generace pedagogů fakulty, jejichž řady byly doplněny z průmyslových závodů a institucí, se zasloužila o významné úspěchy ve vědecko-výzkumné činnosti i na poli mezinárodní spolupráce. Ne náhodou je ještě dnes znám pojem „ostravská škola metalurgie“ nebo „ostravská škola tvářeni“, na jejichž zavedení se zasloužil onen výše zmíněný silný ročník VŠB.

- Kap. „Transformace Hutnické fakulty na Fakultu metalurgie a materiálového inženýrství“ uvádí dobu, kdy se Hutnická fakulta v důsledku restrukturalizace hutního průmyslu a útlumu dolů komplexně transformovala od roku 1990 na moderní typ fakulty,

kdy ve svých studijních programech i ve vědecko-výzkumné činnosti reagovala na nové poptávky ze strany průmyslu a zaváděla zcela nové obory. Svou přeměnou spolu s transformací ostatních fakult a vznikem nových fakult tak přispěla k přebudování školy v univerzitu polytechnického typu. V té době se změnil název školy na Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB – TU Ostrava, 1994) a Hutnická fakulta si již před tím změnila název na Fakultu metalurgie a materiálového inženýrství (FMMI, 1990), posléze na Fakultu materiálově technologickou (FMT, 2018).

Tato kapitola podává obraz zcela nového systému výuky, který se oprostil od všech zbytků aplikovaného sovětského vzoru a stal se zcela kompatibilní se studijními systémy všech západních univerzit. To je předpoklad pro uplatnění mobility studentů i v mezinárodním měřítku. Stejně tak došlo k zásadní změně v řízení vědy a výzkumu, těsnějšímu propojení na průmyslové podniky a instituce v této oblasti. S tím souvisí vytváření nových vědecko-výzkumných pracovišť začleněných do struktury FMT.

- Druhá část knihy, uvedená na s. 91 – 263, je ryze faktografická. Kromě galerie fakultních činovníků obsahuje aktuální organizační schéma FMT, aktuální jmenné seznamy akademických orgánů, seznam všech

profesorů a docentů fakulty v minulosti i současnosti, detailní popis kateder, ústavů a odborných pracovišť s uvedením jejich historie, odborného zaměření, personálního obsazení, pedagogické a vědecko-výzkumné činnosti, spolupráce s domácím průmyslem i zahraničím. Dále tato část obsahuje kompletní seznam absolventů fakulty, absolventů vědecké přípravy a držitelů vědeckých hodností, ať to od založení montánního učiliště v Příbrami po současnou dobu. Tyto seznamy tak vhodně doplňují odpovídající seznamy uveřejněné v almanachu VŠB – TU Ostrava z roku 2005.

Do této druhé části autor knihy zařadil milou pasáž o spolkové stavovské činnosti studentů od příbramských dob po současnost a o tradičním skoku přes kůži. Tuto pasáž jistě ocení tradičně a historicky založení hutníci.

Přiložená bibliografická citace dokazuje, jak rozsáhlý úkol bylo zpracování historie fakulty.

Publikace není běžně distribuována na knižním trhu, ale je k dispozici ve Vědecké knihovně univerzity. Knihu jistě ocení pamětníci, ale je vhodná i pro mladé absolventy a studenty, aby poznali historii své alma mater a vypěstovali si k ní niterný vztah. Lze si jen přát, aby se práce na historii výuky hutnictví a navazujících oborů opakovala, a aby tak byly v pravidelných časových etapách k dispozici aktuální data.

Institucionální akreditace

VŠB – Technická univerzita Ostrava získala v prosinci 2019 od Národního akreditačního úřadu pro vysoké školství institucionální akreditaci. Znamená to, že univerzita získala právo sama rozhodovat o svých studijních programech, jejich rozsahu a množství. Institucionální akreditaci uděluje Národní akreditační úřad pro vysoké školství na deset let.

VŠB – Technická univerzita Ostrava uspěla v deseti oblastech vzdělávání. Jedná se o bezpečnostní a ekonomické obory, elektrotechniku, energetiku, informatiku, matematiku, stavebnictví, strojírenství, technologie a materiály, těžbu a zpracování nerostných surovin a vědy o Zemi. Akreditaci pro tyto oblasti získala univerzita ve všech stupních studia, bakalářském, navazujícím magisterském a doktorském stupni a pokrývají je všechny fakulty univerzity – Hornicko-geologická fakulta, Fakulta materiálově-technologická, Fakulta strojní, Ekonomická fakulta, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Fakulta stavební a Fakulta bezpečnostního inženýrství. „Po dobu deseti let máme potvrzeno, že můžeme jako univerzita poskytovat vysokoškolské vzdělávání v daných oblastech a studijních programech. Znamená to pro nás větší samostatnost, včetně možnosti schvalovat si nabízené studijní programy samostatně v rámci interního akreditačního řízení,“ říká o udělení akreditace rektor univerzity Václav Snášel.

Na univerzitě funguje Rada pro vnitřní hodnocení, která je jedním ze samosprávných akademických orgánů VŠB-TUO. Mezi její hlavní činnosti patří právě schvalování studijních programů v rámci institucionální akreditace či hodnocení kvality vzdělávání na univerzitě.

– Z tiskové zprávy prosinec 2019 –

Výstavy, veletrhy, konference

Konference „Iron and Steelmaking 2019“

Ve dnech 23. až 25. 10. 2019 se v hotelu Chopok v Dömenovské dolině na Slovensku uskutečnil již 28. ročník tradiční mezinárodní vědecké konference IRON AND STEELMAKING, na jejíž organizaci se pravidelně střídají Katedra metalurgie a slévárenství Fakulty materiálově-technologické Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Institut Technologii Metali Politechniki Śląskiej a Ústav metalurgie Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach. Hlavním organizátorem a garantem letošního ročníku byla Technická univerzita v Košicích pod vedením vedoucího ústavu Doc. Ing. Branislava Bul'ka, PhD. Poděkování patří všem členům ústavu, kteří i při plnění běžných pracovních úkolů spojených s výukou a řešením výzkumných úkolů úspěšně zvládli i organizaci konference.

Konference se zúčastnilo bezmála 110 registrovaných účastníků z více než 24 institucí a firem. Potěšující je, že se akce zúčastnila i řada mladých vědecko-výzkumných pracovníků z univerzit, výzkumných organizací i nová generace technických pracovníků významných průmyslových partnerů a ostatních tradičních partnerů z oboru metalurgie železa a oceli. Konference umožnila odbornou diskuzi mezi zástupci metalurgické akademické obce, průmyslových podniků a výzkumných institucí.

V plenární sekci a následující odborné sekci bylo předneseno celkem 24 příspěvků v češtině, polštině, slovenštině i angličtině. Odborné jednání bylo zaměřeno na otázky z oblasti teoretických zákonitostí metalurgických procesů, technologie výroby a zpracování surového železa, technologie výroby a zpracování oceli, modelování metalurgických procesů, ekologických aspektů výroby surového železa a oceli a výroby a rafinace kovů. Konference se uskutečnila v příjemné uvolněné atmosféře, každý přednášející byl za svou statečnost odměněn certifikátem. Součástí konference byla také posterová sekce, na které bylo prezentováno 18 příspěvků.

Poděkování patří tedy také všem účastníkům za jejich aktivní přístup a věcně vedené diskuse, které jen podtrhly význam tohoto již tradičního setkání odborníků z oblasti výroby a zpracování železa a oceli.

Mezinárodní konference IRON AND STEELMAKING 2019 i ve svém 28. ročníku splnila po všech stránkách představy účastníků i záměry pořadatelů. Již nyní se připravuje 29. ročník, jehož zabezpečení přejímá opět Katedra metalurgie a slévárenství Fakulty materiálově-technologické. Přejme si i dalším pořadatelům mnoho sil při přípravě a realizaci bezpočtu dalších úspěšných ročníků této významné mezinárodní konference.



Fotografie <https://ohaz.umet.fmmr.tuke.sk/iasm2019/>

*doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.
za spoluorganizátory konference*

Společenská kronika

Odišiel prof. Ing. Ľubomír Mihok, DrSc.

V minulom roku navždy opustil vedeckú komunitu významný vedec, vysokoškolský pedagóg, emeritný dekan Hutníckej fakulty VŠT v Košiciach a čestný a vzácny človek s renesančnými záujmy prof. Ing. Ľubomír Mihok, DrSc. (*23. 8. 1942, †21. 10. 2019).

Profesor Ľubomír Mihok, rodák z Prešova, po úspešnom ukončení inžinierskeho štúdia na Chemicko-technologickej fakulte SVŠT v Bratislave v roku 1964 nastúpil ako samostatný skúšobný technik do Laboratória oceliarne Východoslovenských železiarní Košice. Od roku 1973 začal pracovať ako vedúci laboratórií, vedúci prevádzky a neskôr ako výskumný pracovník na Hutníckej fakulte Vysokej školy technickej – terajšej Technickej univerzity v Košiciach. Ako 49ročný sa habilitoval na docenta a vo svojich 54 rokoch sa stal doktorom vied a riadnym profesorom v odbore Hutníctvo kovov. Svoje organizačné a riadiace schopnosti zúročil ako vedúci oddelenia, zástupca vedúceho Katedry metalurgie železa a zlievarenstva, ako prodekan Hutníckej fakulty a v rokoch 1997 – 2003 ako dekan tejto fakulty.

Profesor Ľubomír Mihok bol popredným odborníkom vo vedných odboroch: štruktúra a vlastnosti kovových materiálov, rafinácia neželezných kovov a zliatin, dejiny hutníctva a zlievarenstva. Bol zakladateľom interdisciplinárneho vedného odboru Archeometalurgia, ktorý nielen založil a vytvoril hlavnú osnovu bádania v tomto obore, ale i rozšíril záujem o tento obor na rôznych pracoviskách na Slovensku. Bol predsedom organizačného výboru periodickej medzinárodnej konferencie Archeometalurgia v strednej Európe.

Tento významný vedec zanechal po sebe dôležité vedecké výsledky, ako sú napr. spracované súbory nálezov z niekoľko desiatok nálezísk na Slovensku a v zahraničí, základné vedecké poznatky o počiatkoch hutníctva na Slovensku, spracované základné poznatky o čistote plynu odlievanej ocele v hutníckych závodoch na Slovensku, spracovaný súbor údajov o štruktúre vysokopecných vsádzkových surovín a oceliarskych trosiek a dejov prebiehajúcich pri tvorbe štruktúry a prezentácia širokých vedecko-výskumných poznatkov o spracovaní vysokopecných a oceliarskych trosiek, prachových úletov a okovín.

Profesor Mihok bol riešiteľom a zodpovedným riešiteľom množstva vedecko-výskumných úloh, z ktorých boli mnohé riešené v medzinárodnej spolupráci. Z výsledkov



svojej bohatej vedeckej činnosti publikoval okolo 400 pôvodných vedeckých prác vydaných v domácich a zahraničných časopisoch a prezentovaných na domácich a zahraničných konferenciách. Mimoriadne boli oceňované výsledky jeho spolupráce s priemyselnou sférou v oblasti hutníctva.

Bol členom vo vedeckých radách Hutníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach, Slovenského technického múzea, Fakulty metalurgie a materiálového inžinýrství VŠB – TU Ostrava, Slovenského banského múzea v Banskej Štiavnici a Ústavu materiálového výskumu SAV v Košiciach, ďalej členom Výboru pre historickú metalurgiu Únie pre vedy historické a protohistorické a členom v organizačných výboroch dvoch zaujímavých medzinárodných projektoch: Európska železná cesta

a Medzinárodná ekologická súťaž. Pôsobil taktiež v redakčných radách periodik: Acta Metallurgia Slovaca a Metalurgija (Chorvátsko).

Pedagogické pôsobenie profesora Mihoka sa neobmedzovalo len na Hutnícku fakultu košickej techniky, ale pravidelne prednášal aj na Fakulte metalurgie a materiálového inžinierstva VŠB – TU Ostrava. Podieľal sa na úzkej spolupráci obidvoch fakúlt a pri výchove študentov doktorandského štúdia na Fakulte metalurgie a materiálového inžinierstva VŠB – TU Ostrava formou odborných prednášok a konzultácií.

Profesor Mihok pôsobil pedagogicky a vedecky na Hutníckej fakulte 37 rokov a snažil sa podeliť o svoje vedomosti a skúsenosti s pracovníkmi a študentmi Hutníckej fakulty aj ako emeritný profesor. Patril medzi erudovaných pedagógov, zaslúžil sa o výchovu inžinierov pre mnohé hutnícke závody. Bol však známy nielen ako významný vedec, učiteľ, riadiaci pracovník vo funkciách

zástupcu vedúceho katedry, prodekana a dekana Hutníckej fakulty, ale v neposlednom rade aj ako priamy človek so zmyslom pre humor, zanietený záhradkár, milovník prírody a vážnej hudby. Jeho srdce sa navždy zastavilo vo veku nedávno dožitých 77 rokov. Jeho spomienky, rady, názory a odporúčania budú navždy chýbať všetkým, ktorí ho poznali.

Česť jeho večnej pamiatke!

Za hutnícku verejnosť a všetkých kolegov a priateľov

prof. Ing. Iveta Vasková, PhD.

dekanka FMMR Technickej univerzity v Košiciach

Redakční poznámka:

Redakce Hutnických listů se připojuje ke kondolenci kolektivu Fakulty materiálů, metalurgie a recyklácie TU v Košiciach a slovenské hutnícké komunity zastoupené profesorkou Ivetou Vaskovou, děkankou FMMR. Odborné zaměření a dílo zemřelého profesora Mihoka je redakci Hutnických listů velmi blízké, a to nejen v oboru metalurgie, ale i v jeho badatelském zaměření v historii hutnictví. Snahou redakce je totiž neustále popularizovat hutnícké a materiálové vědy jak v odborných, oborově zaměřených publikacích v recenzované části časopisu, tak i v publikacích o historii hutnictví, v čemž profesor Mihok vykonal značný kus práce a v čemž redakce také vidí svou úlohu pro popularizaci oboru.

K dotvoření profilu profesora Mihoka, jakožto odborníka vyrostlého v hutnickém prostředí od svých samých mladých let, zde redakce uvádí citaci slov samotného zesnulého z jeho dřívějších životopisných esejů, jak je získala od profesorky Vaskové:

„Vyrástol som v štvrti hneď vedľa súčasného areálu Technickej univerzity. V miestach, kde dnes stojí väčšina budov univerzity, boli zeleninárske polia a v blízkosti sa pásli kravy z majera. Bolo to miesto častých hier mojej rannej mladosti. Keď v roku 1952 vznikla Vysoká škola technická, mal som 10 rokov a moje záujmy o dianie v mojom bezprostrednom okolí boli diametrálne rozdielne.

Viac sa ku mne priblížila Vysoká škola technická na konci mojich gymnaziálnych štúdií, keď si otec želal, aby som pokračoval v štúdiu na Hutníckej fakulte. Neposlúchol som a svoje vysokoškolské vzdelanie som získal na Slovenskej vysokej škole technickej v Bratislave. Moje kontakty s Vysokou školou technickou začali až počas môjho pracovného pôsobenia vo vtedajších Východoslovenských železiarňach, realizované výpomocou pri testoch a analýzach a tiež recenziami diplomových prác.

Ponuku pracovať na Hutníckej fakulte som prijal ako výzvu na zmenu pomerne jednotvárnej práce v železiarňach. Neľutujem tento krok, hoci po materiálnej stránke nevýhodný, ktorý mi umožnil rozvoj mojich schopností. Až tu, na škole, som plne začal pozorovať a chápať rolu, ktorú naša univerzita vo východoslovenskom regióne aj na celom Slovensku hraje. Uvedomil som si, že je tvorcom a šíriteľom nových myšlienok a nápadov, že významne vplýva na vývin nielen materiálnej, ale aj duševnej kultúry obyvateľstva v svojom širokom okolí.“

– red. –

Rozloučení s Ing. Frankem Wheelerem, CSc.

Smutné sdělení z Kanady nás informovalo, že 6. září 2019 v Torontu zemřel Ing. Frank Wheeler, CSc. Jeho jméno je dobře známé českým a slovenským odborníkům, kteří se věnovali energetickým a tepelným režimům elektrických obloukových pecí a jejich řízení.

Frank se narodil v roce 1935 v USA. Jeho otec, absolvent ekonomických studií na Harvardově univerzitě, během 2. světové války narukoval do americké armády a v hodnosti plukovníka se po válce podílel na správě západního Berlína. V roce 1950 požádal s rodinou o azyl v Československu a usadil se v Praze, kde pak působil v Akademii věd. Toto je tedy geneze Frankových vazeb s českým hutnickým prostředím.

Frank se vyučil hutníkem v SONP Kladno. Pak v Kladně vystudoval i Střední průmyslovou školu. V Ostravě vystudoval Hutnickou fakultu VŠB, kterou absolvoval v roce 1962. Hutnický obor si tedy osvojil v mládí teoretickým i praktickým studiem. Nebylo tedy divu, že si doc. Ing. Zdeněk Bůžek, CSc., který vedl Ústav elektrometalurgie na Hutnické fakultě, vybral Franka nejprve jako diplomanta a následně jako vědeckého aspiranta a pracovníka pro vědu a výzkum. My, o něco mladší Frankovi kolegové působící tamtéž, jsme si tehdy vážili nejen jeho profesních, ale i všeobecných znalostí a celkového rozhledu. Ale nejen to. Byl pro nás i opravdovým přítelem.

Frank se tehdy podílel především na studiu a vývoji energetických režimů elektrických obloukových pecí, což byla zcela tehdy nová záležitost a znamenala zajímavý ekonomický přínos v hutní výrobě. Organizoval řadu měření na pecích v celém Československu, a to jak v ocelárnách, tak i slévárnách. V práci byl Frank velmi svědomitý a přesný. Byl autorem a spoluautorem řady původních publikací v tuzemských i zahraničních odborných časopisech. Velkou výhodou pro náš Ústav elektrometalurgie byla jeho znalost angličtiny jako mateřského jazyka. Takováto spolupráce se „skutečným živým Američanem“ byla za tehdejší situace v naší republice docela raritou.

Frank byl velice aktivní i společensky, zejména v mládežnickém hnutí. Nemohl se proto nezapojit do obrodného procesu v letech 1967 – 1968, kdy byl například vedoucím redaktorem celoškolského časopisu Baňák.

V těchto letech se oženil s Jeannie Vafiadis, která jako Američanka s řeckými kořeny přišla po válce s rodiči přes Maďarsko k nám. V Maďarsku zažila v roce 1956 známé „maďarské události“. Jeannie byla kantorkou na Pedagogické fakultě v Ostravě, kde učila angličtinu. Měli spolu syny Johna a Denise a dceru Sandru.

V situaci po 21. srpnu 1968 Frank správně odhadl budoucí vývoj u nás a v roce 1970 se s rodinou vrátil do Ameriky. Ne však do USA, ale do Kanady. Tato Frankova reemi-



grace byla jistě velkou ztrátou pro naši metalurgii. Na druhou stranu však znamenala ještě větší přínos pro metalurgii v globálním měřítku. V Kanadě Frank totiž nastoupil u firmy HATCH. A postupně se u této celosvětové organizace v oblasti projektování strojírenských a hutních závodů vypracoval až na funkci viceprezidenta pro speciální projekty v oboru hutnictví železa. Během této své profesní kariéry v Kanadě projektoval a uváděl do provozu hutní zařízení po celém světě. Nikdy se netajil tím, že tak zúročuje i svoje znalosti a zkušenosti nabyté u nás. V Kanadě také publikoval 30 svých původních prací a získal 4 patenty.

V roce 1992 navštívil svou alma mater v Ostravě, aby zde s odstupem 22 let dokončil svoji disertační práci a následně ji úspěšně obhájil. V roce 2000, ve svých 65 letech, odešel do řádného důchodu. Avšak i potom s firmou HATCH externě spolupracoval. Vedle toho od roku 2007 také deset let působil na University of Toronto jako lektor pro obor Projektování hutních závodů. Zde je vhodné připomenout obsáhlou publikaci Metallurgical Plant Design, na jejíž tvorbě se Frank s dalšími třemi spoluautory podílel. Kniha je k dispozici k prostudování v knihovně VŠB-TU Ostrava a její podrobná recenze byla zveřejněna v Hutnických listech č. 1, 2018, s. 29 – 31.

Velice pozoruhodné je i zamyšlení samotného Franka z roku 2012, které zveřejnily Hutnické listy (č. 6, 2012, s. 145 – 146) při příležitosti jeho tří osobních výročí. Snažil se odpovědět na otázku, jak jej (tehdy před 50 lety) jeho alma mater v Ostravě připravila k inženýrskému povolání. Frank odpovídá „velmi dobře“! Vysoce hodnotil teoretickou přípravu během 5letého studia zapojením jak základních předmětů (matematika, fyzika, chemie aj.), tak i dalších předmětů aplikovaných na obor hutnictví (fyzikální chemie, metalografie aj.). Velice hodnotil tehdejší zapojení pracovníků z provozů do výuky na VŠB a možnosti diskuse s nimi. Ze své další zkušenosti na postu vědecko-výzkumného pracovníka Ústavu elektrometalurgie vyzdvihl těsné propojení základního a aplikovaného výzkumu, záměry výzkumu danými potřebami praxe nebo víceoborovým přístupem. Co říci závěrem? Frank byl fantastický člověk. V průběhu mnoha let jsme mimo jiné oceňovali jeho přetrvávající vynikající znalost českého jazyka – psaného i mluveného. Bylo pro nás velkou ctí s Frankem spolupracovat a být s ním trvale ve velice blízkém vztahu. Jeden jeho kanadský kolega napsal: „Frank was such a kind man with a great knowledge of both metallurgy and people“. I my se s tímto ohodnocením plně ztotožňujeme.

Franku, velice Ti děkujeme za Tvoji práci pro českou a světovou metalurgii a za Tvé upřímné přátelství.

Za kolegy a spolupracovníky
doc. Ing. Václav Kafka, CSc.

ENERGIE ZE SLUNCE ENERGIE PRO KAŽDÉHO

**CZECH
ENERGY
TEAM**

Czech Energy Team, s. r. o.

Sídlo společnosti:

Svatojířské nábřeží 1208

686 01 Uherské Hradiště

www.czechenergyteam.cz

podpora@czechenergyteam.cz

Podpora: +420 604 140 411



czech energy team



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