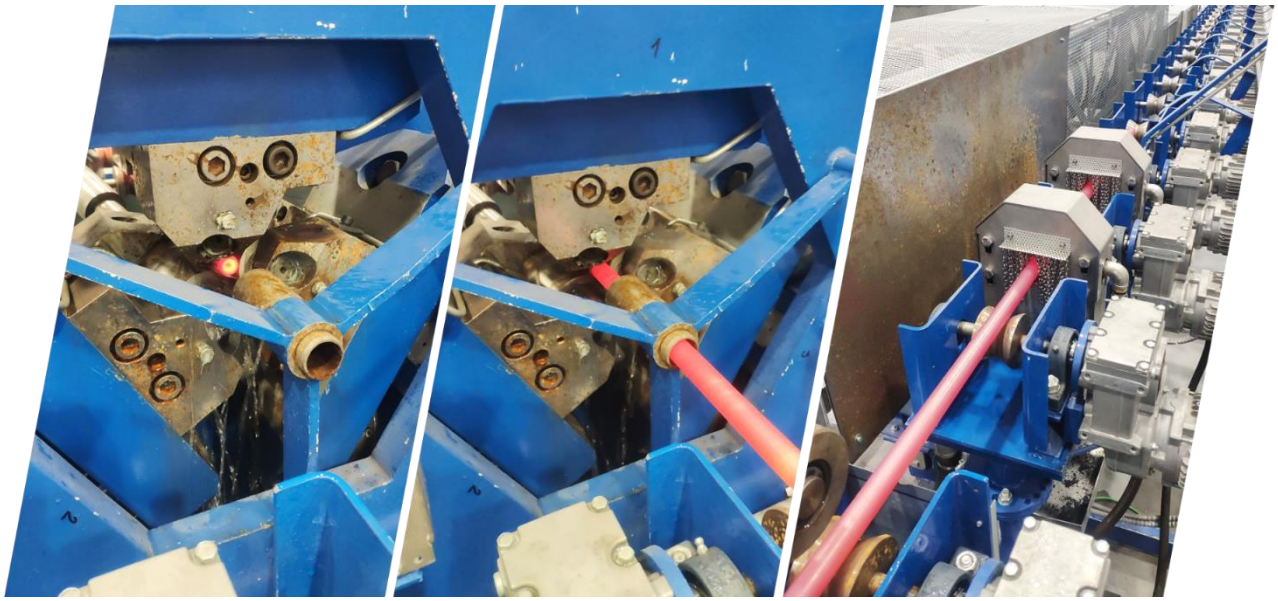


MODERN TRENDS IN MATERIAL ENGINEERING

PING JUNIOR 2020

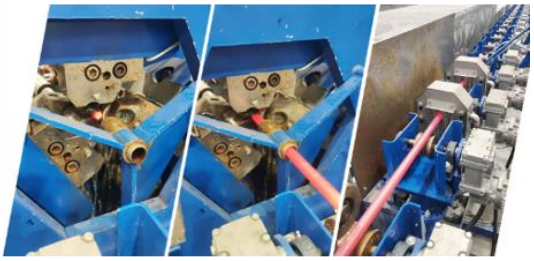
PROCEEDINGS

15. - 17. 9. 2020

PILSEN, CZECH REPUBLIC

Regional Technological Institute
EXPERIMENTAL FORMING LABORATORY

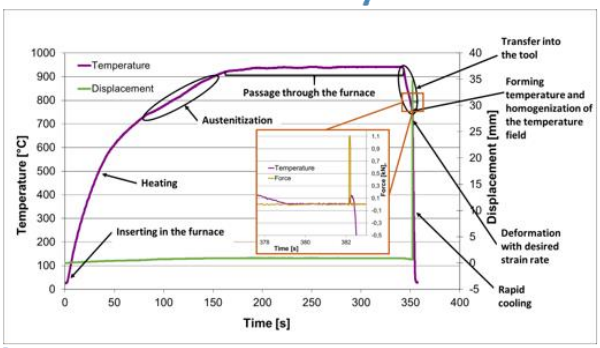
The Experimental Forming Laboratory works on heat treatment and thermomechanical treatment of metals and on testing new concepts in physical simulation of metalworking leading to optimization and integration of manufacturing processes. This effort can lead to extraordinary properties in materials and to greater effectiveness of manufacturing technologies.



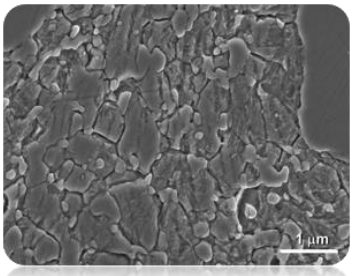
Unconventional thermomechanical treatment of steels and alloys

Development of new thermomechanical treatment sequences and processes for high-strength low-alloy steels and alloys.

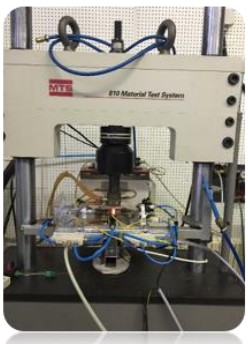
Sophisticated microstructures produced by means of unconventional metallurgical treatment for excellent strength and stress-strain characteristics.



Design of unconventional and unusual microstructures



Development of new metalworking processes is focused on creating unusual microstructures in ordinary materials. The new microstructures lead to enhanced properties, such as wear, corrosion, creep and fatigue resistance.



KEY EQUIPMENT

- **Thermomechanical simulator**
- **Equipment for developing incremental forming processes**
- **CNC cutting machine – waterjet and plasma cutting**
- **MEBW-60/2 electron beam welder**
- **Equipment for bending and brake bending of precision sheet metal parts**
- **FASTCAM SA-X2 high-speed camera**
- **Wire-cut Electric Discharge Machine**

Ing. Štěpán Jeníček
Head of Experimental forming laboratory
tel.: +420 377638761
e-mail: jeniceks@rti.zcu.cz

www.rti.zcu.cz

Proceedings PING Junior 2020 - Moder Trends in Material Enginneering

Editors: Doc. Ing. Ludmila Kučerová, Ph.D.
Dr.-Ing. Hana Jirková, Ph.D.
Ing. Štěpán Jeníček

Published by:
University of West Bohemia
Univerzitní 2732/8, 301 00 Pilsen, Czech Republic, Europe

First edition, 47 pages
Pilsen 2020

ISBN 978-80-261-0958-7

© University of West Bohemia

PING Junior 2019 is organized with the support of funds for specific university research project SVK1-2020-005.

This publication has not undergone any editorial or linguistic revision.

This conference is organized under the patronage of the Regional Institute of Technology of the University of West Bohemia in Pilsen.

Scientific Commitee

Doc. Ing. Ludmila Kučerová, Ph.D., RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Ing. Štěpán Jeníček, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Dr.-Ing. Hana Jirková, Ph.D., RTI, University of West Bohemia, Czech Republic

Organizing Committee

Ing. Štěpán Jeníček, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Doc. Ing. Ludmila Kučerová, Ph.D., RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Ing. Kateřina Opatová, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Ing. Michal Peković, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Ing. Jiří Vrtáček, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Ing. Kateřina Rubešová, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic

Program Committee

Ing. Štěpán Jeníček, RTI, University of West Bohemia, Czech Republic
Doc. Ing. Ludmila Kučerová, Ph.D., RTI, University of West Bohemia, Czech Republic

Contacts

University of West Bohemia
Faculty of Mechanical Engineering – Regional Technological Institute – PING Conference
Univerzitní 8
306 14 Plzeň
Czech Republic
Phone: +420 377 638 762
E-mail: jeniceks@rti.zcu.cz

www.ping.zcu.cz

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING UNIVERSITY OF WEST BOHEMIA

REGIONAL TECHNOLOGICAL INSTITUTE

PING 2021

Fifth PING Conference

Modern trends in material engineering

7–10 September 2021

Pilsen, Czech Republic

Conference Focus

The conference will focus on recent trends and findings in the field of material engineering. The conference will cover metallography and microstructure analysis (light, electron microscopy, X-ray diffraction phase analysis), forming, heat treatment, additive manufacturing (3D printing), mechanical testing, defectoscopy, physical testing (DTA, dilatometry, etc.), modelling and simulation. The conference will provide a unique opportunity to share the latest information and knowledge and discuss them with other experts in the field.

Conference Topics

- Metal forming
- Heat treatment and thermomechanical processing of metals
- High-strength steels
- Non-ferrous metals
- Mechanical testing and thermophysical measurement
- Modelling (of processes and materials) and simulations in heat treatment and metal forming
- Use of microscopy and X-ray methods in research and in dealing with process issues
- Characterisation of microstructures produced by heat treatment and thermomechanical processing
- New techniques and methods in metallography
- Nanomaterials - not limited to mechanical engineering
- Additive manufacturing (3D print)

We look forward to meeting you at the PING 2021 Conference.

CONFERENCE THEMES, DEADLINES, CONFERENCE FEE, INSTRUCTIONS FOR AUTHORS, REGISTRATION, SUBMISSION OF ABSTRACTS, PAYMENT AND OTHER INFORMATION: WWW.PING.ZCU.CZ

Table of Content

Preface
Organizing committee of PING 2020 8

Session

Vliv rychlosti ochlazování v oblasti martenzitické přeměny na mechanické vlastnosti vysokopevné oceli s obsahem uhlíku 0,4 %
Dagmar Bublíková, Hana Jirková, Tomáš Janda, Jiří Vrtáček, Josef Mach 10

The influence of varying aluminium and manganese content on the corrosion resistance of high strength steels
Jan Hajšman, Ludmila Kučerová, Ondřej Chocholatý 12

Vliv parametrů tepelného zpracování a předchozí historie zpracování na mechanické vlastnosti korozivzdorné austenitické oceli stabilizované titanem
Tomáš Janda, Hana Jirková, Michal Pekovič, Jan Růžička, Josef Mach, Klára Hrdá 14

Využití ocelí třetí generace pro technologii hot stamping
Hana Jirková, Jiří Vrtáček, Michal Peković, Štěpán Jeníček, Josef Mach, Ludmila Kučerová 16

Představení projektu Zéta: Zvýšení odolnosti vůči opotřebení u nástrojových ocelí kombinací semi-solid zpracování s následným tvářením za tepla a kryogenního zpracování
Hana Jirková, Kateřina Rubešová, Kateřina Opatová, Michal Peković, Ludmila Kučerová 18

Představení projektu Zéta: Stanovení principů a dějů probíhajících při stabilizačním žíhání v korozivzdorné austenitické oceli používané v jaderné energetice
Hana Jirková, Tomáš Janda, Jiří Vrtáček, Kateřina Opatová, Štěpán Jeníček 20

Multi elements Simulation of Biaxial test with two different soil layers using Hypoplastic constitutive law
Omid Khalaj, Sobhan Abedin Nejad, Stepan Jenicek 22

Effect of prior annealing on the microstructure and mechanical properties of thermo-mechanically treated TRIP steel
Ludmila Kučerová, Klára Hrdá, Adam Stehlík 24

Představení projektu Zéta: Využití mikrostrukturní analýzy pro vývoj technologie nástřiku na bázi keramiky deponovaného s využitím kaskádového plazmatu
Ludmila Kučerová, Karolína Burdová, Šárka Houdková Šimůnková 26

Představení projeku Zéta: Optimalizace vlastností maraging oceli s reverzním austenitem a TRIP efektem
Ludmila Kučerová, Iveta Tichá, Zaid Ahmed Mohammed 28

Experimental modelling of materials properties and microstructure of new high-strength steels for press-hardening
Kateřina Opatová, Štěpán Jeníček, Adam Stehlík, Hana Jirková 30

Numerical Modelling of Round Bars Rolling Process in Three-High Skew rolling mill HDQT-R 30-12
Michal Peković, Soňa Benešová 32

Odolnost nástrojové oceli zpracované nekonvenční technologií tváření proti abrazivnímu opotřebení
Kateřina Rubešová, Michal Peković, Hana Jirková 34

Představení projektu Zéta: Alternativní materiály a postupy tepelného zpracování pro úpravu a vývoj speciálních obráběcích nástrojů z vysoce prokované rychlořezné oceli
Kateřina Rubešová, Michal Peković, Štěpán Jeníček, Soňa Benešová, Ludmila Kučerová 36

Kryogenní zpracování maraging oceli třídy 18Ni 300
Adam Stehlík, Josef Mach 38

Scanning electron microscopy as a useful tool for the analysis of non-conductive materials
Iveta Tichá, Ludmila Kučerová 40

Využití dilatometrie při tepelném zpracování vysoce pevných ocelí
Julie Volkmannová, Ludmila Kučerová, Jiří Hájek 42

Stanovení vhodných parametrů tepelně-mechanického zpracování vysokopevných ocelí
Jiří Vrtáček, Michal Peković, Hana Jirková, Dagmar Bublíková, Ludmila Kučerová 44

Preface

We would like to introduce the Book of abstracts of the 5th PING Junior conference - Modern Trends in Materials Engineering, which took place from 15 to 17 September 2020 in Pilsen, Czech Republic. The conference is regularly organized by the Regional Institute of Technology (RTI, www.rti.zcu.cz) at the University of West Bohemia.

This year's event was focused mainly on master and doctoral students to support their research activities and enable them to present the obtained results. Furthermore, selected research projects were presented within the contributions.

This year was very demanding for organizing mass events, and our conference was also affected by the coronavirus epidemic. For this reason, it was organized in a combination of full-time and online participation.

A total of 18 contributions were presented at the conferences, which reflected the research projects solved within RTI. Several presentations were devoted to high-strength steels, such as the optimization of their heat treatment, use for hot stamping technology or their corrosion properties. Other contributions were focused on optimizing the heat treatment of stainless steel. Presentations, which were concentrated on heat or cryogenic treatment of maraging steel in the conventional state and after 3D printing, were also presented. Attention was also paid to special technologies such as semi-solid processing.

In conclusion, we would like to invite you to the sixth year of the PING conference, which will take place from 7 to 10 September 2021.

Organizing committee of PING 2020

Vliv rychlosti ochlazování v oblasti martenzitické přeměny na mechanické vlastnosti vysokopevné oceli s obsahem uhlíku 0,4%

Corresponding author:

Dagmar Bublíková, dagmar.bublikova@seznam.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Hana Jirková, Tomáš Janda, Jiří Vrtáček, Josef Mach

Abstract:

Vysokopevné vícefázové oceli, u kterých lze dosáhnout vhodným tepelným zpracováním směsných zákalných struktur, představují dnes pro své dobré mechanické vlastnosti širokou škálu vyžití. Mezi vícefázové oceli, které se dnes často využívají zejména v automobilovém průmyslu, patří oceli martenzitické. U těchto ocelí se dosahuje meze pevnosti až 1700 MPa. Pro získání vyšší tažnosti martenzitických ocelí se používá jako tepelné zpracování tzv. Q-P proces (Quenching and partitioning process), který se skládá z austenitizace, ochlazení mezi teploty Ms a Mf a následného ohřevu na teplotu přerozdělení, kde při výdrži dochází k difúzi uhlíku z přesyceného martenzitu do austenitu. Pro tento experiment byla zvolena martenzitická ocel s obsahem uhlíku 0,4 %, 2 % křemíku a 1,3 % chromu. Tato ocel byla tepelně zpracována Q-P procesem s různou rychlostí ochlazování z teploty Ms na teplotu kalení, kdy dochází k částečné tvorbě martenzitu z austenitu. Byl zjišťován vliv rychlosti ochlazování v této kritické části zpracování na vývoj mechanické vlastnosti a výslednou mikrostrukturu. Byla získána martenziticko-bainitická struktura s malým podílem feritu a zbytkového austenitu. Bylo dosaženo meze pevnosti až 1870 MPa při tažnosti 9 % a došlo ke stabilizaci 12 % zbytkového austenitu.

Key words:

AHSS, Q-P proces, zbytkový austenit

The influence of varying aluminium and manganese content on the corrosion resistance of high strength steels

Corresponding author:

Jan Hajšman, janh@rti.zcu.cz, University of West Bohemia, Regional Technological Institute, Univerzitní 8, 301 00 Pilsen

Co-authors:

Ludmila Kučerová, Ondřej Chocholatý

Abstract:

Since the high strength steels are typically used in automotive industry, the corrosion resistance represents a very important property of these materials. In recent years there is a tendency of replacing silicon with aluminium and increasing the manganese content in advanced high strength steels. These variations in chemical composition affect not only the resulting microstructures but also the corrosion properties of high strength steels. This paper is focused on the evaluation of the differences in corrosion resistance of steel with varying manganese and aluminium content.

Key words:

steel corrosion resistance, corrosion testing, potentiodynamic test, exposure corrosion test, medium manganese steel

Vliv parametrů tepelného zpracování a předchozí historie zpracování na mechanické vlastnosti korozivzdorné austenitické oceli stabilizované titanem

Corresponding author:

Tomáš Janda, jandat@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Hana Jirková, Michal Pekovič, Jan Růžička, Josef Mach, Klára Hrdá

Abstract:

Na díly využívané v jaderné energetice jsou kladeny vyšší nároky jak z hlediska mikročistoty materiálu, tak mechanických vlastností. Jednou z velmi často používaných ocelí je ocel 08Ch1810T, která je pro zvýšení odolnosti vůči mezikrystalové korozi stabilizovaná titanem. Zpracování této oceli se skládá z rozpouštěcího a stabilizačního žíhání. Během stabilizačního žíhání dochází k precipitaci jemných karbonitridů, které vedou ke zlepšení meze kluzu za tepla. Velmi důležitou roli hraje i předchozí historie tváření a to jak rychlost, či velikost vložené deformace, tak i teplota dotváření.

V rámci experimentálního programu byl na oceli 08Ch18N10T odzkoušen vliv různé teploty stabilizačního žíhání v teplotním intervalu 720 až 900 °C s dobou výdrže od 0,5 h do 15 h na vývoj struktury a mechanické vlastnosti. V dalším kroku bylo provedeno inkrementální tváření tyčí ve válcovací stolici pro kosé válcování a byl sledován jak vliv rychlosti válcování, tak i velikosti redukce. Takto vyválcované tyče byly dále podrobeny stabilizačnímu žíhání. Vedle standardně používaného režimu 720°C/10 h bylo použito i kombinované dvoukrokové zpracování 680°C/5 h + 720°C/10 h nebo žíhání při vyšší teplotě 800°C/1 h. Získané struktury byly hodnoceny na světelném i řádkovacím elektronovém mikroskopu a mechanické vlastnosti byly stanoveny zkouškou tahem za RT a při teplotě 350 °C.

Key words:

08CH18N10T, AISI321, stabilizační žíhání, teplota tváření, mechanické vlastnosti

Využití ocelí třetí generace pro technologii hot stamping

Corresponding author:

Hana Jirková, hstankov@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Jiří Vrtáček, Michal Peković, Štěpán Jeníček, Josef Mach, Ludmila Kučerová

Abstract:

Středně manganové oceli s obsahem uhlíku 3-12% patří do skupiny moderních vysokopevných ocelí třetí generace. AHS oceli jsou používány ve velké míře hlavně v automobilovém průmyslu z důvodu jejich ceny a díky jejich vynikajícím mechanickým vlastnostem. Mezi jejich další přednosti patří i zvyšování bezpečnosti cestujících během nárazu. Díky svému legování používají celou řadu zpevňujících mechanismů jako je TRIP a TWIP efekt. Jednou z možností výroby tvarových bezpečnostních dílů je technologie press-hardening, která umožňuje s vysokou přesností tvářet díly i z vysokopevných materiálů.

V experimentálním programu bylo odzkoušeno tváření třech vysokopevných ocelí s obsahem uhlíku 0,2% a různým obsahem manganu od 1,5 do 5% a hliníku od 1,4 do 3%. Tváření bylo provedeno v tvarovém nástroji. Bylo odzkoušeno nejenom tváření a zakalení v nástroji o pokojové teplotě, ale i tváření v předehřátém nástroji na teplotu 425°C. Byl zkoumán i vliv délky prodlevy v nástroji na vývoj struktury a mechanické vlastnosti. Výsledky prokázaly, že je možné dosáhnout meze pevnosti přes 1400 MPa s tažností téměř 20%.

Key words:

hot stamping, středně manganové oceli, hliník, AHSS

Představení projektu Zéta: Zvýšení odolnosti vůči opotřebení u nástrojových ocelí kombinací semi-solid zpracování s následným tvářením za tepla a kryogenního zpracování

Corresponding author:

Hana Jirková, hstankov@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 30 100 Plzeň

Co-authors:

Kateřina Rubešová, Kateřina Opatová, Michal Peković, Ludmila Kučerová

Abstract:

Příspěvek představuje projekt Zéta „Zvýšení odolnosti vůči opotřebení u nástrojových ocelí kombinací semi-solid zpracování s následným tvářením za tepla a kryogenního zpracování“. Projekt si klade za cíl zvýšit odolnost vůči opotřebení u nástrojových ledeburitických ocelí obsahujících primární karbidy chromu pomocí nekonvenčního postupu zpracování s přechodem přes semi-solid stav. Toto zpracování vede k zisku jemnozrnných struktur s velmi jemnými karbidy chromu a díky vysoké teplotě ohřevu dochází i k odstranění ostrohranných karbidů chromu, které snižují houževnatost těchto ocelí. Takto připravené struktury by měly vykazovat vyšší odolnost vůči opotřebení. Jejich klasické zpracování spočívá v kalení se stupňovitým ohřevem a následným, většinou několika stupňovém, popouštění. Další zvýšení odolnosti vůči opotřebení by mohlo být docíleno kryogenním zpracováním buď s anebo bez následného popouštění.

Pro experimentální program byla zvolena ocel X210Cr12, která patří do skupiny nástrojových ledeburitických ocelí a díky svému legování má i vhodný teplotní interval mezi solidem a liquidem. Zpracování je prováděno na různě velkých polotovarech a je sledován vliv teploty ohřevu a doby výdrže v oblasti semi-solid, počtu deformačních kroků během tváření a dalších postupů zpracování jako je kryogenní zpracování nebo popouštění. Z výsledků je známo, že vhodnou kombinaci semi-solid zpracování s následným termomechanickým zpracováním je možné získat struktury s velikostí zrna okolo 1 um a velmi jemnými precipitáty. U těchto struktur bylo ověřeno zvýšení odolnosti vůči opotřebení.

Key words:

semi-solid zpracování, tvářením za tepla, karbidy chromu, nástrojová ocel

Představení projektu Zéta: Stanovení principů a dějů probíhajících při stabilizačním žíhání v korozivzdorné austenitické oceli používané v jaderné energetice

Corresponding author:

Hana Jirková, hstankov@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Tomáš Janda, Jiří Vrtáček, Kateřina Opatová, Štěpán Jeníček

Abstract:

Příspěvek představuje projekt Zéta „Stanovení principů a dějů probíhajících při stabilizačním žíhání v korozivzdorné austenitické oceli používané v jaderné energetice“. Cílem projektu je nejenom popis získaných výsledků z oblasti tepelného zpracování austenitických ocelí, ale také nasměrovat odbornou činnost studentů a mladých vědeckých pracovníků k aplikovanému výzkumu. Projekt se zabývá stanovením principů a dějů probíhajících při stabilizačním žíhání v oceli 08CH18N10T využívané v jaderné energetice. Téma projektu reaguje na požadavky aplikačního garanta ŠKODA JS a.s., který využívá tento materiál pro výrobu komponent primárního okruhu reaktorů VVER 440 a VVER 1000. Celá technologie výroby polotovarů z této oceli zahrnuje řadu technologických kroků, které ovlivňují výsledné mechanické vlastnosti, zejména požadovanou hodnotu meze kluzu za tepla. Především etapa stabilizačního žíhání s výdrží na teplotě po dobu několika hodin je časově velmi náročná. Úspěšné stanovení strukturních dějů majících vliv na jednotlivé parametry zpracování, jako je teplota ohřevu, doba prodlevy na této teplotě a rychlost chladnutí, by mohla umožnit zkrácení doby zpracování potřebné pro dosažení požadovaných mechanických vlastností. Přesným pochopení a popsání principů probíhající v jednotlivých etapách tepelného zpracování povede k časovým a energetickým úsporám během výroby.

Key words:

08CH18N10T, AISI321, stabilizační žíhání, teplota tváření, mechanické vlastnosti

Multi elements simulation of biaxial test with two different soil layers using hypoplastic constitutive law

Corresponding author:

Omid Khalaj, khalaj@rti.zcu.cz, University of West Bohemia, Regional Technological institute, Univerzitní 8, 301 00 Pilsen

Co-authors:

Sobhan Abedin Nejad, Stepan Jenicek

Abstract:

Practically, the ground condition usually consists of several layers, which have various properties from each other so it's important to have precise understanding about these layers and their behaviours. For this purpose, two different soil layers in biaxial test was analysed. In the single element simulation, it is impossible possible to generate the strain localization in the porous media but we can get several useful results. For strain localization analyse multi element models needed. The numerical simulation shows that behaviour of each layer is totally different and the friction angle of both layers changed during simulation.

Key words:

constitutive law, elastoplastic, hypoplastic finite elements, biaxial, multilayer

Effect of prior annealing on the microstructure and mechanical properties of thermo-mechanically treated TRIP steel

Corresponding author:

Ludmila Kučerová, skal@rti.zcu.cz, University of West Bohemia, Regional Technological Institute, Univerzitní 8, 301 00 Pilsen

Co-authors:

Klára Hrdá, Adam Stehlík

Abstract:

Low alloyed TRIP (Transformation induced plasticity) steels are typically used for an automotive application and the final products are processed mainly from thin sheets. Most of the researches pay attention to optimisation of dedicated heat or thermo-mechanical treatment of the product, using cast ingots, which are first re-forged or pre-rolled and annealed to provide an input material for TRIP steel processing. In this woks aims to evaluate the effect of different initial microstructure, created by different annealing treatment, on the final microstructure and mechanical properties after subsequent thermo-mechanical treatment.

Low carbon low-alloyed high strength steel 0.2C-1.5Al-0.5Si-2Mn-0.06Nb (in weight %) was forged into bars and annealed at 1050 °C with either 2 hour hold and furnace cooling to room temperature or 20 min hold with controlled cooling by 1 °C/s. This created two different initial microstructures, banded ferritic-pearlitic one for the longer hold and bainitic-ferritic for a short hold and quicker cooling. Samples with those microstructures than underwent the same thermo-mechanical treatment (TMT) typical for TRIP (transformation induced plasticity) steels. Light and scanning electron microscopy was used to characterise obtained microstructures and tensile test for determination of mechanical properties.

Even though fully austenitic state was achieved during the soaking, traces of the original microstructure were not completely erased and banded original microstructure resulted in banded final microstructure after the thermo-mechanical processing. The same parameters of thermo-mechanical processing applied to homogeneous original microstructure resulted in also homogeneous distribution of the final microstructure. This difference was reflected by mechanical properties as well, the banded

microstructures generally achieved higher strengths and lower total elongations than microstructures produced by the same processing parameters applied to homogeneous input microstructure. The highest tensile strength of 1031 MPa was achieved after solution annealing with longer hold at 1050 °C and slow furnace cooling with subsequent thermo-mechanical treatment with 20 min hold at the temperature of 350 °C. The highest total elongation was on the other hand obtained for the sample with shorter hold at 1050 °C and controlled cooling at 1 °C/s, followed by thermo-mechanical treatment with 20 min hold at 450 °C.

Key words:

TRIP steel, annealing, thermo-mechanical treatment, initial microstructure

Představení projektu Zéta: Využití mikrostrukturní analýzy pro vývoj technologie nástřiku na bázi keramiky deponovaného s využitím kaskádového plazmatu

Corresponding author:

Ludmila Kučerová, skal@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Karolína Burdová, Šárka Houdková Šimůnková

Abstract:

Díky možnosti dosahovat vysokých teplot umožňuje technologie plazmatického nástřiku jako jediná z dostupných technologií žárového nástřiku deponovat kvalitní povlaky na bázi oxidických keramik (Al2O3, Cr2O3, TiO2, atd.). V posledním desetiletí byla tato technologie výrazně inovována v několika směrech. Jedním z perspektivních řešení je nástřik pomocí kaskádového zdroje plazmatu, poskytujícího plazma s vysokou hustotou a nízkou teplotou. Tato technologie poskytuje ve srovnání s předcházejícími technologiemi řadu příležitostí k dosažení kvalitnějších parametrů deponovaného nástřiku, a to jak z pohledu depoziční účinnosti, tak charakteru mikrostruktury, která je určující z hlediska výsledných funkčních vlastností. Povlaky stříkané plazmatickým nástřikem obsahují velké množství trhlin a pórů, čímž jsou limitovány v aplikacích vyžadujících schopnost chránit materiál substrátu proti korozi. Zvýšení hustoty povlaku by umožnilo jejich použití v širší škále aplikací. Kvalifikované řízení technologických parametrů nástřiku a využití potenciálu technologie kaskádového plazmatu umožní optimalizaci mikrostruktury s ohledem na funkční vlastnosti – odolnost proti opotřebení a korozi.

Moderní keramické povlaky mohou být aplikovány např. za účelem prodloužení životnosti přesných strojních součástí, ochraně proti opotřebení a korozi, zvýšení životnosti a účinnosti turbín, zvýšení efektivity spalovacích motorů a prodloužení životnosti jejich částí atd. Mezi hlavní cílové skupiny – průmyslová odvětví, které mohou tyto povlaky využívat, jsou výroba energetických zařízení včetně trvale udržitelných zdrojů, strojírenské podniky s vysokou přidanou hodnotou např. letecký průmysl, energetický průmysl, automotive, chemický či biomedicínský průmysl. Keramické povlaky na bázi oxidů chromu by při dosažení vhodných vlastností povlaku mohly sloužit jako náhrada tzv. tvrdého chromování. Povlaky na bázi oxidických keramik jsou standardně nanášeny pomocí technologií atmosférického plazmatického

nástřiku. Jedna z nejnovějších technologií, využívající kaskádového zdroje plazmatu, poskytuje ve srovnání s předcházejícími technologiemi řadu příležitostí k dosažení kvalitnějších parametrů deponovaného nástřiku, a to jak z pohledu depoziční účinnosti, tak charakteru mikrostruktury. K dosažení těchto cílů je však nutná podrobná znalost závislosti mikrostrukturních charakteristik na použitých parametrech nástřiku.

Na nástřicích připravených s použitím různých parametrů jsou prováděny podrobné mikrostrukturní analýzy s využitím světelné a řádkovací elektronové mikroskopie, včetně lokální kontroly chemického složení v různých oblastech nástřiku. Tímto způsobem je hodnocena kvalita a homogenita získaných povlaků, rovnoměrnost jejich chemického složení přítomnost pórů a trhlin a stav rozhraní povlaku a substrátu. Pro ověření základních mechanických vlastností povlaků je dále prováděno měření mikrotvrdosti a průběhů mikrotvrdosti na výbrusech. Pro systémy povlak-substrát je z hlediska jejich praktického využití rovněž velmi důležitá odolnost systému proti cyklickému zatěžování, a to jak mechanickému, tak teplotnímu, a to zejména pro aplikace s vysokou přidanou hodnotou, v leteckém či energetickém průmyslu. Tyto zkoušky jsou typicky časově i finančně velmi náročné, databáze dostupných informací je doposud velmi omezená. V rámci řešení projektu jsou proto ověřovány možnosti využití inovativních metod infračervené nedestruktivní termografie, která má potenciál k možnému zrychlení a zjednodušení těchto typů testů.

Key words:

žárové nástřiky, plazmatikcé nástřiky, keramika, mikrostruktruní analýza

Představení projeku Zéta: Optimalizace vlastností maraging oceli s reverzním austenitem a TRIP efektem

Corresponding author:

Ludmila Kučerová, skal@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Iveta Tichá, Zaid Ahmed Mohammed

Abstract:

Maraging oceli mají měkkou matrici tvořenou nízkouhlíkovým martenzitem, ve které jsou rozptýlené jemné intermetalické precipitáty dodávající oceli vysokou pevnost při zachování dobré houževnatosti. K precipitaci intermetalických fází dochází při vhodném tepelném zpracování oceli. Samotný proces precipitace a následného precipitačního zpevnění v závislosti na teplotě zpracování byl pro řadu maraging ocelí popsán. Poměr pevnosti v tahu k mezi kluzu je u maraging ocelí obecně nízký, mez kluzu tvoří zhruba 80% celkové pevnosti těchto ocelí a jejich deformační zpevnění je tudíž minimální. Nevýhodou je, že při nízké schopnosti deformačního zpevnění má materiál také nízkou schopnost zastavit na mikroskopické úrovni již iniciovanou šířící se trhlinu nebo vznikající krček.

Kromě intermetalických částic lze v maraging ocelích získat také reverzní austenit, který má rovněž velký vliv na jejich mechanické vlastnosti. Dosažení výsledné mikrostruktury s reverzním austenitem vykazujícím TRIP (transformation induced plasticity) efekt by rozšířilo použitelnost této oceli pro aplikace například v automobilovém průmyslu vyžadující vyšší míru deformace a pohlcení rázové energie. Projekt Zéta se zaměřuje na vývoj maraging oceli třídy 18Ni300 s výrazným efektem deformačního zpevnění a zlepšenou vrubovou houževnatostí připravené válcováním za studena a tepelným zpracováním. Díky tomu bude výrazně rozšířena použitelnost tohoto materiálu pro aplikace s vysokým zatížením a dynamickým namáháním, například v automobilovém nebo leteckém průmyslu.

Key words:

maratenzitická vytvrditelná ocel, válcování za studena, tepelné zpracování, zbytkový austenit

Experimental modelling of materials properties and microstructure of new high-strength steels for press-hardening

Corresponding author:

Kateřina Opatová, opatovak@rti.zcu.cz, University of West Bohemia, Regional Technological Institute, Univerzitní 8, 301 00 Pilsen

Co-authors:

Štěpán Jeníček, Adam Stehlík, Hana Jirková

Abstract:

Press-hardening is a highly dynamic process that involves rapid temperature changes. These process aspects play a major role in microstructural evolution and mechanical properties. In order to develop any thermomechanical processing sequence, including press-hardening, one needs materials models of the best possible accuracy, if relevant results are to be obtained from FEM methods employed for designing metalworking processes. Therefore, relevant data on materials behaviour under real process conditions must be obtained experimentally. In one such experiment, as described here, PHS 1800 and PHS 2000 low-alloy sheets of steel were subjected to thermal exposure identical to the heating sequence for press-hardening, including the removal from the furnace and transfer to the tool. Heat treatment sequences were proposed which correspond to the thermal profiles in the actual process. The results were input into FE simulations of press-hardening. In the low-alloy steels, the selected heat treatment sequence led to strengths of more than 2000 MPa and elongation levels of approx. 9%.

Key words:

press-hardening, PHS 1800, PHS 2000, material-technological modelling

Numerical Modelling of Round Bars Rolling Process in Three-High Skew Rolling Mill HDQT-R 30-12

Corresponding author:

Michal Peković, pekovicm@rti.zcu.cz, University of West Bohemia, Regional Technological Institute, Univerzitní 8, 301 00 Pilsen

Co-authors:

Soňa Benešová

Abstract:

In the 21st century, numerical analysis is a standard tool used in research and development of technological processes. Numerical modelling must be used to describe the behaviour of different materials during the forming process. With the help of mathematical modelling, the real process is transformed into an abstract mathematical model, on which subsequent calculations take place. Based on this, it is possible to simulate the forming tprocess of three-high skew rolling mill, which is able to roll a large range of metallic materials as well as various grades of steel with different chemical composition. This paper presents the results of theoretical analysis of rolling which was performed on three different grades of carbon steel with different carbon amount such as S235JRC, C45, C60 and one corrosion-resistance austenitic steel AISI 321 with an initial diameter of 30 mm. The final diameter of rolled bars was 22 mm and has been carried out in a single pass. For the corrosion-resistance steel, there was used a different rolling speed. The numerical analysis of this process of rolling was performed with the use of software DEFORM 2D/3D. With the use of this software, there was analysed the behaviour of tested materials during rolling and the values of effective strain and stress during rolling were evaluated.

Key words:

FEM, numerical analysis, three-high skew rolling, steel, round bar

Odolnost nástrojové oceli zpracované nekonvenční technologií tváření proti abrazivnímu opotřebení

Corresponding author:

Kateřina Rubešová, krubesov@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Michal Peković, Hana Jirková

Abstract:

Tato práce se zabývá se využitím nekonvenční technologie tváření nástrojové oceli v kombinaci s následným tepelným zpracování na abrazivní odolnost materiálu. Kombinací semi-solid zpracování s následným tvářením dochází k výraznému zjemnění zrna a odstranění primárních karbidů chromu z nástrojové ledeburitické oceli X210Cr12. Další precipitace jemných karbidů by mohla být podpořena kryogenním zpracováním s následným popouštěním.

Experimentální program byl proveden na nástrojové oceli X210Cr12. Byly odzkoušeny jak polotovary zpracované přechodem přes semi-solid stav bez vložené deformace, s vloženou desetinásobnou deformací a také polotovary kombinující tento postup s kryogenním zpracováním při teplotě 160°C po dobu 24 hodin a také kombinace kryogenního zpracování s následným popouštěním na teplotě 300°C po dobu 2 hodin. Pro porovnání s konvenčním zpracováním byly použity také polotovary ve výchozím žíhaném stavu, tak i stav po zušlechtění. Na takto zpracovaných polotovarech byla následně testována odolnost proti opotřebení formou zkoušky otryskávání, které bylo provedeno vodním paprskem s abrazivem. Po otryskání byly stanoveny váhové úbytky jednotlivých vzorků a také proměřena hloubka vzniklého otvoru. Protože na odolnost vůči opotřebení má vliv nejenom typ struktury, ale i morfologie a tvar karbidů, byly výsledky doplněny metalografickou analýzou a měřením tvrdosti

Key words:

abrazivní opotřebení, odolnost proti opotřebení, karbidy chromu, nástrojová ocel

Představení projektu Zéta: Alternativní materiály a postupy tepelného zpracování pro úpravu a vývoj speciálních obráběcích nástrojů z vysoce prokované rychlořezné oceli.

Corresponding author:

Kateřina Rubešová, krubesov@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Michal Peković, Štěpán Jeníček, Soňa Benešová, Ludmila Kučerová

Abstract:

Příspěvek představuje projekt Zéta „Alternativní materiály a postupy tepelného zpracování pro úpravu a vývoj speciálních obráběcích nástrojů z vysoce prokované rychlořezné oceli“. Cílem projektu je prohloubit poznatky v oblasti reverzního kování rychlořezných nástrojových ocelí více cykly – tj. vysokým stupněm prokování, resp. deformace. Obráběcí nástroje se tradičně vyráběly jako kované. V 90. letech 20 století rozvoj práškové metalurgie vedl k vymizení výroby obráběcích nástrojů z tvářených materiálů. Jak se ovšem ukazuje, pro extrémní obráběcí operace, konkrétně pro obrábění austenitických ocelí přerušovaným řezem při výrobě kontejnerů na jaderné palivo, nástroje z práškové oceli nesplňují požadavky na spolehlivost a životnost. Z hlediska výroby kontejnerů pro jaderný reaktor a kontejnerů pro jaderný odpad je nezbytné, aby závěrečná obráběcí operace byla provedena jedním nožem, neboť toto je nutnou podmínkou pro zajištění požadované kvality povrchu a přesnosti rozměrů. Náročnost operace zvyšuje velký počet otvorů ve víku kontejneru. Soustružnický nůž musí operaci provést v jedné operaci (přes všechny otvory), aniž dojde k odchylce v přesnosti a kvalitě obráběné plochy. Během přerušovaného řezu může pracovní teplota na břitu nože dosáhnout až teploty 500 °C. Přerušovaný řez způsobuje vysoké mechanické namáhání při najíždění přes otvory. Selhání soustružnického nože v této fázi výroby způsobuje neúnosné ekonomické ztráty. Proto je cílem projektu vyrobit soustružnické nože s nakovanou destičkou z navrhnutého alternativního materiálu, konstrukčně upravenou tak, aby ostří spadalo do nejvíce protvářené oblasti kovaného polotovaru. Zvyšování životnosti nástrojů a jejich odolnosti proti opotřebení je trvalým požadavkem, a je základním faktorem ekonomiky obráběcího procesu.

Key words:

nástrojová ocel, reverzní kování, obráběcí nástroje, vysokým stupněm prokování

Kryogenní zpracování maraging oceli třídy 18Ni 300

Corresponding author:

Adam Stehlík, stehlika@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Josef Mach

Abstract:

Příspěvek se zabývá srovnáním standardního a kryogenního tepelného zpracování maraging ocelí. V úvodu je nastíněna problematika tepelného a kryogenního zpracování. Dále jsou vyjmenovány mechanismy zlepšení vlastností uhlíkových nástrojových ocelí vlivem kryogenního zpracování. Praktická část příspěvku se zabývá vlivem hlubokého kryogenního zpracování na maraging oceli. Je zde pojednáno o vlivu na mechanické vlastnosti jako jsou: mez pevnosti, tažnost, nárazová práce a tvrdost. Dále je pojednáno o vlivu na tribologické vlastnosti, respektive na odolnost materiálu proti otěru. Příspěvek se také zabývá vlivem kryogenního zpracování na mikrostrukturu maraging ocelí.

Key words:

kryogenní zpracování, maraging oceli, tepelné zpracování, EBSD fázová analýza, tribologická analýza

Scanning electron microscopy as a useful tool for the analysis of non-conductive materials

Corresponding author:

Iveta Tichá, ichenati@rti.zcu.cz, University of West Bohemia in Pilsen, Regional Technological Institute, Univerzitní 8, 301 00 Pilsen

Co-authors:

Ludmila Kučerová

Abstract:

Scanning electron microscopy (SEM) in the analysis of non-conductive samples became one of the most important methods for the investigation of material properties. In this work, we used SEM microstructure analysis for the investigation of the origin of cracks in granite composites and also, we tested the porosity inside the regenerated carbon biowaste, potentially used as a clean source of carbon for the future applications in materials production. Additionally, the porosity of small particles used for the moulding processes of plastics was also tested. The importance of the microstructure investigation was supported by Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) often used for the chemical composition evaluation of these non-conductive materials.

Key words:

scanning electron microscopy, energy-dispersive X-ray spectroscopy, non-conductive materials, fractography, carbon porosity

Využití dilatometrie při tepelném zpracování vysoce pevných ocelí

Corresponding author:

Julie Volkmannová, volkmann@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Ludmila Kučerová, Jiří Hájek

Abstract:

Tato práce se zabývá využitím dilatometrie pro vývoj tepelného zpracování nových experimentálních vysoce pevných ocelí typu TRIP legovaných manganem a křemíkem a mikrolegovaných niobem, titanem a molybdenem. Tento typ vysoce pevné oceli se v posledních letech využívá pro své dobré mechanické vlastnosti hlavně v automobilovém průmyslu. Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností těchto ocelí je nezbytné volbou vhodných parametrů tepelného zpracování zajistit vznik multifázové mikrostruktury s odpovídajícím podílem, morfologií a rozložením jednotlivých fází a strukturních součástí. Aby nemusela být při vývoji zpracování používána pouze metoda pokus-omyl, využívají se pro volbu parametrů zpracování IRA nebo ARA diagramy popisující průběhy fázových přeměn při zpracování ocelí. Pro většinu běžně používaných normovaných ocelí jsou tyto diagramy známy, nebo je lze jednoduše spočítat ve speciálních softwarech typu JMatPro nebo Thermo-Calc. Při vývoji nových ocelí se specifickým chemickým složením nemusí tyto standardní postupy být zcela spolehlivé a je potřeba vždy ověřit výpočty pomocí reálných experimentů. Pro studium fázových přeměn je nejvhodnější experimentální metodou, v tomto případě, dilatometrická termická analýza. V rámci této práci byly porovnávány čtyři vysoce pevné oceli s různým obsahem titanu (0,08 %) a molybdenu (0,2 %, 0,4 %), nebo zcela bez těchto mikrolegur, se zaměřením na průběh bainitické transformace, která je zásadní pro získání mikrostruktury vhodné pro následné uplatnění TRIP (transformation induced plasticity) efektu. Na základě výsledků dilatometrických měření byly navrženy režimy dovukrokového žíhání s prodlevou 100 s a 600 s na teplotě 425 °C. Tímto zpracováním byly dosaženy velmi dobré kombinace meze pevnosti v rozmezí 798 – 1186 MPa a tažnosti 27 – 44%.

Key words:

dilatometrická analýza, mikrostrukturní analýza, TRIP oceli, IRA diagram, fázové transformace

Stanovení vhodných parametrů tepelně-mechanického zpracování vysokopevných ocelí

Corresponding author:

Jiří Vrtáček, vrtacekj@rti.zcu.cz, Západočeská univerzita v Plzni, Regionální technologický institut, Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

Co-authors:

Michal Peković, Hana Jirková, Dagmar Bublíková, Ludmila Kučerová

Abstract:

Snižování emisních zplodin COx a NOx spalovacích motorů je důležitým cílem automobilového průmyslu. Jedním ze způsobů redukce emisních zplodin je využití odlehčených dílů konstrukce automobilů. V dílech rámu automobilu se s velkým úspěchem využívá vysokopevných ocelí, které díky mechanismům zpevňování dosahují lepších mechanických vlastností i při snížení tloušťky plechových přístřihů, čímž dochází k redukci hmotnosti. Moderní vysokopevné oceli třetí generace s obsahem manganu 3-10% představují nově vyvíjející se skupinu ocelí, které využívají ke zpevnění TRIP (TRansformed Induced Plasticity) a TWIP (TWinning Induced Plasticity) efekt. Pro experimentální program byly zvoleny dvě vysokopevné oceli s obsahem uhlíku 0,2% legované 3% manganu a různým podílem hliníku. V tomto příspěvku jsou popsány prvotní kroky pro zjištění fázových transformací, vhodných teplot a výdrží tepelného zpracování, následného interkritického žíhaní experimentálních materiálů, dále získané mechanické vlastnosti a návrh teplotních profilů pro tepelně-mechanické zpracování vysokopevných ocelí nové generace.

Key words:

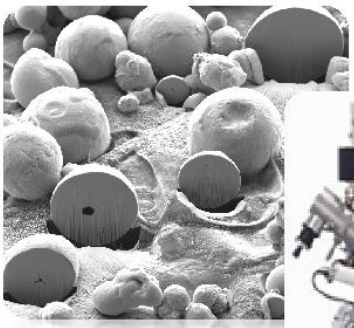
kování, austenitizace, interkritické žíhání, vysokopevné oceli

Regional Technological Institute
METALLOGRAPHIC LABORATORY

The Metallographic Laboratory conducts research into transformation processes, microstructure evolution in response to heat treatment and thermomechanical processing, and high-temperature behaviour of materials. Its staff also study metal powders and microstructures produced by additive manufacturing. The equipment includes state-of-the-art microscopes, devices for in-situ deformation and thermal experiments and instruments for measuring local mechanical properties.

Microstructure analysis

Microstructure characterization, measurement of the inclusion content, grain size, powder particle size distribution surface layer thickness, examination of microstructure and macrostructure of cast parts, forgings and welded joints and examination of microstructures after heat treatment, thermomechanical processing and additive manufacturing.



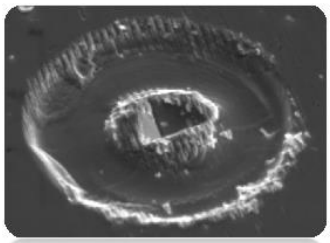
Identification of types and causes of failure

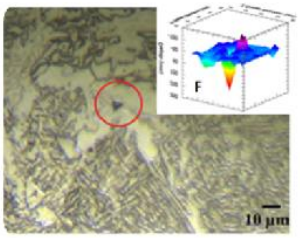
Assessment of surface layers, coatings and spray coatings

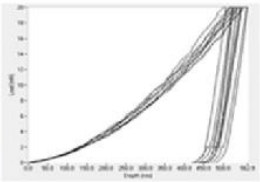
-> low-temperature and high-temperature nanoindentation

-> scratch testing, wear testing and pressure tests of micro-pillars

=> oxidation resistance, thermal stability, hardness at elevated temperatures, fatigue resistance



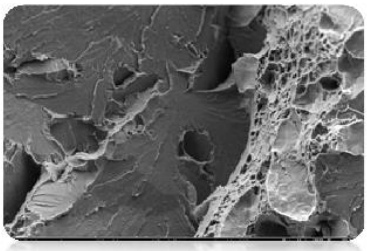


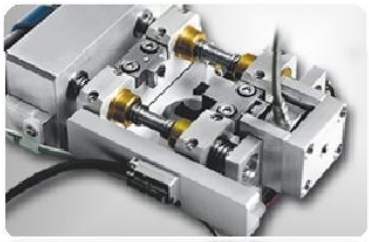


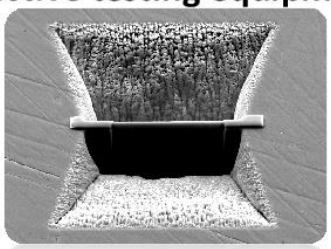
Ferrite - TRIP

KEY EQUIPMENT

- **Nanoindenter for measurement at temperatures up to 750°C**
- **Auriga Cross Beam SEM-FIB Workstation**
- **Deformation stage with heating capability up to 1200°C for SEM**
- **Non-destructive testing equipment**







doc. Ing. Ludmila Kučerová, Ph.D.

Head of Research and development of forming technologies program and of Metallographic laboratory

Tel.: +420 37763 8063; Mobil: 605 703 670

E-mail: skal@rti.zcu.cz

www.rti.zcu.cz

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
UNIVERSITY OF WEST BOHEMIA

REGIONAL TECHNOLOGICAL INSTITUTE

REGIONAL TECHNOLOGICAL INSTITUTE

Research Centre Programmes:

- **Modern vehicle strucutres and their driving systems**
- **Processing machines and their modernization**
- **Machining technologies**
- **Forming technologies**