



Zváranie

3 • 2023 VYDÁVA VÝSKUMNÝ ÚSTAV ZVÁRAČSKÝ

Svařování



12

Pracovné stretnutie v Arena 2036

Cieľom stretnutia bola príprava spoločného projektu

04

Máte iba jeden pokus

Rozhovor s Petrom Nemcom, najstarším zamestnancom VÚZ

08

Výskum koróznej odolnosti

Prinášame sériu odborných článkov VÚZ, CVV a MTF STU na tému korózie

12

Obsah

04

SPOLUPRÁCA
Pracovné stretnutie v spoločnosti
Arena 2036

06

IIW
76. výročné zhromaždenie IIW a medzi-
národná konferencia 2023

08

ROZHOVOR
V metalurgii a zlievarenstve máte
iba jeden pokus

12

ODBORNÝ ČLÁNOK VÚZ
Výskum koróznej odolnosti sústružených
vzoriek z austenitickej koróziivzdornej
oceli 08Ch18N10T v koróznej autokláve
pri podmienkach simulujúcich primárny
okruh JE typu VVER

16

ODBORNÝ ČLÁNOK VÚZ
Numerické simulácie na RK HCČ pri riešení
problematiky korózie pod napätím

20

ODBORNÝ ČLÁNOK VÚZ
Materiálové podmienky koróznej praskavosti
austenitických ocelí prevádzkovaných
v primárnych okruhoch JE

24

ODBORNÝ ČLÁNOK VÚZ
Vplyv vybraných parametrov povrchového
opracovania austenitickej ocele
08CH18N10T na mikroštruktúrne zmeny
a jej náchylnosť na korózne praskanie

28

ODBORNÝ ČLÁNOK CVV
Mikroštruktúrne zmeny austenitickej
koróziivzdornej ocele 08Ch18N10T
v dôsledku povrchového opracovania
a jej náchylnosť na korózne praskanie

32

KONFERENCIA
Bezpečnosť technických zariadení 2023

34

VEDEC ROKA
Poznáme najlepších vedcov za rok 2022

35

TUKE
Technická univerzita v Košiciach
má nového rektora

36

MLADÍ VEDCI
Ceny Slovenskej zväračskej spoločnosti

36-37

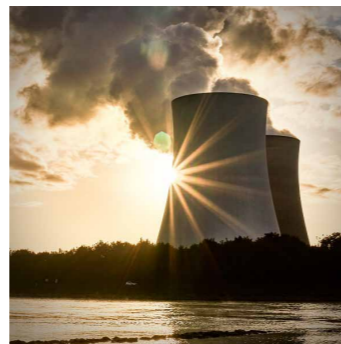
ŠVOČ
TF SPU Nitra, SJF TU Košice, FT TU Zvolen

38

NEKROLÓG
Opustili nás prof. Jozef Mihok a Dennis K. Eck

39

STN
Schválené technické normy



Fotografia na titulnej strane

Na bezpečnosť zariadení v jadrových
elektrárnach má vplyv aj korózne praska-
nie. Téma sa venujeme v tomto čísle.

FOTO: PIXABAY.COM

PRÍHOVOR

Prioritou je bezpečnosť jadrových zariadení

Vážení čitatelia, vážení
obchodní partneri.

Od spustenia jadrovoenergetických zariadení na Slovensku uplynulo toľko času, že ich prevádzku už môžeme považovať za dlhodobú. Dlhodobá prevádzka týchto zariadení je vítaná, ale má svoje špecifiká. Na zariadeniach sa začínajú objavovať nedostatky, ktoré v pôvodných projektoch bezpečnostných hodnotení neboli identifikované a v súčasnosti sa s nimi stretávame po prvý krát. V záujme identifikovať príčiny ich vzniku sme začali realizovať viaceré výskumné aktivity. Spomeniem aspoň jednu z nich. V Centre pre vedu a výskum, s. r. o. (CVV) sme sa v spolupráci s Výskumným ústavom zväračským (VÚZ) a Materiálovotechnologickou fakultou STU v Bratislave zapojili do grantového projektu v rámci výzvy OPVal-VA/DP/2018/2.11-05 s názvom „Výskum korózie a korózneho praskania v tlakových systémoch primárneho okruhu jadrových elektrární“. Výstupom je séria odborných článkov, ktoré si môžete prečítať v tomto čísle časopisu Zváranie-Svařování.

Cieľom Slovenských elektrární, a. s. (SE) je prevádzkovať jadrové elektrárne minimálne po dobu 60 rokov, s víziou až 90 rokov. Tento cieľ je možné dosiahnuť, ak bude počas celej uvažovanej doby prevádzky dodržaná – tak ako doteraz – vysoká „kultúra prevádzkovania“ s dôrazom na jadrovú bezpečnosť, radiačnú ochranu a prevádzkovú spoľahlivosť.



Včasná diagnostika porúch je kľúčovým faktorom bezpečnej prevádzky.

K najčastejším príčinám porúch na materiáloch jadrových zariadení patrí korózia, pričom jedným z prejavov korózie je korózne praskanie. Je žiaduce vhodnými mechanickými a metalografickými skúškami overiť kvalitu materiálu, navrhnúť zostavu s minimálnymi napätiami v jednotlivých uzloch a izolovať materiál od vonkajšieho prostredia, alebo pretekajúceho média konvenčnými postupmi, tak i progresívnymi metódami, ako je napríklad galvanické povlakovanie.

V rámci CVV vyvíjame aktivity, aby sme korózne praskanie dokázali účinne eliminovať. Našou úlohou je vytvárať predpoklady, aby SE mohli dosiahnuť želanú dobu prevádzky jadrových zariadení. Preto sa podieľame na vývoji a konštruovaní kritických uzlov vrátane následného overovania ich kvality výroby vhodnými nedeštruktívnymi metódami.

Žiaľ, vojenský konflikt za našimi hranicami a sprievodná energetická kríza vplyva aj na dodávateľský trh a to sťažuje situáciu v dodávkach hutníckych materiálov a náhradných dielov. Tradičných dodávateľov hutníckych materiálov pre jadrovú energetiku nahrádzajú noví a my musíme byť s ohľadom na bezpečnosť o to pozornejší pri overovaní kvality. Aj na pozadí týchto udalostí význam CVV pre SE rastie. Zmyslom jeho založenia bolo udržiavať vedecko-výskumné aktivity SE a zabezpečiť prenos vedomostí a skúseností zo staršej generácie výskumných pracovníkov na mladších kolegov. Popri periodickom hodnotení bezpečnosti jadrových zariadení sa oblasť hodnotenia rozšírila aj na „Komplexný program dlhodobej prevádzky jadrových zariadení“, ktorý je v súčasnosti zameraný na 1. a 2. blok jadrovej elektrárne Mochovce. Do portfólia služieb CVV pribudla okrem iných činností aj oblasť zabezpečovania kvalifikačného procesu nedeštruktívneho testovania v SE.

V záujme posilňovať inovatívnosť našich služieb budeme s VÚZ a ďalšími partnermi spolupracovať v oblasti výskumu a vývoja aj pri iných príležitostiach. Dokážeme tak produkovať vyššiu pridanú hodnotu pre zákazníkov a najmä neustále dohliadať na bezpečnosť jadrových zariadení a dlhodobú prevádzkovú spoľahlivosť aj na pozadí globálnych zmien.

Ing. Ján Borák
konateľ a technický riaditeľ
Centra pre vedu a výskum, s. r. o.

Zváranie

Svařování

Časopis zameraný na výskum a vývoj v oblasti zvárania a príbuzných technológií. • 72. ročník • ISSN 0044-5525 • Evid. č. MK SREV.203/08 • Vydáva: Výskumný ústav zväračský (IČO 36 065 722), člen medzinárodných organizácií International Institute of Welding (IIW) a European Federation for Welding, Joining and Cutting (EWF) • **Séfredaktor:** PhDr. Robert Kiss
Predsedá redakčnej rady: Ing. Peter Brziak, PhD. • **Redakčná rada:** Ing. Pavol Radič, PhD., Ing. Beáta Machová, Ing. Miroslav Jáňa, PhD., Ing. Pavol Beraxa, PhD., prof. Ing. Pavol Sejč, PhD., Ing. Jaroslav Kováčik, PhD., doc. Ing. Miloš Mičian, PhD., prof. Ing. Janette Brezinová, PhD., prof. Ing. Jaromír Drápala, CSc. • **Adresa redakcie a inzercia:** Výskumný ústav zväračský, Račianska 71, 831 02 Bratislava 3 • e-mail: redakcia.zvarania@vuz.sk • www.vuz.sk **Grafická úprava:** www.firemnezasopisy.sk • **Tlač:** Alfa print, s.r.o. • Odborné články sú recenzované, za obsahovú správnosť inzercie zodpovedá jej zadávateľ • Časopis vychádza 4-krát ročne a je distribuovaný bezplatne • Toto číslo časopisu vyšlo v októbri 2023

Navštívili sme centrálu firmy ARENA2036 v Stuttgarte

V auguste 2023 sa riaditeľ pre vedu a výskum VÚZ Ing. Peter Brziak, PhD. zúčastnil spolu so zástupcami ďalších dvoch firiem zo Slovenska pracovného stretnutia v centrále firmy ARENA 2036. Názov firmy je skratkou pre „Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles“ (Aktívne výskumné prostredie pre novú generáciu automobilov). Sídlí v campuse Univerzity v Stuttgarte.

Spoločnosť ARENA2036 bola založená na urýchlenie a zefektívnenie výskumu, vývoja a inovácií v dynamicky sa meniacom automobilovom priemysle. Je založená na efektívnej spolupráci firiem, ktoré sú aktívne v sektore automotive. Za približne 10 rokov svojej existencie sa tejto spoločnosti podarilo zmeniť nahládanie veľa krát konkurenčných firiem vo vysoko súťaživom prostredí na spoločný výskum, vývoj a inovácie.

Cieľom pracovného stretnutia bola príprava spoločného projektu v rámci projektového zámeru TIK (Transformačné a inovačné konzorciá), ktorý vyhlásila Výskumná a inovačná autorita vlády SR v rámci „Výzvy na predkladanie žiadostí o poskytnutie prostriedkov mechanizmu na podporu obnovy a odolnosti“.

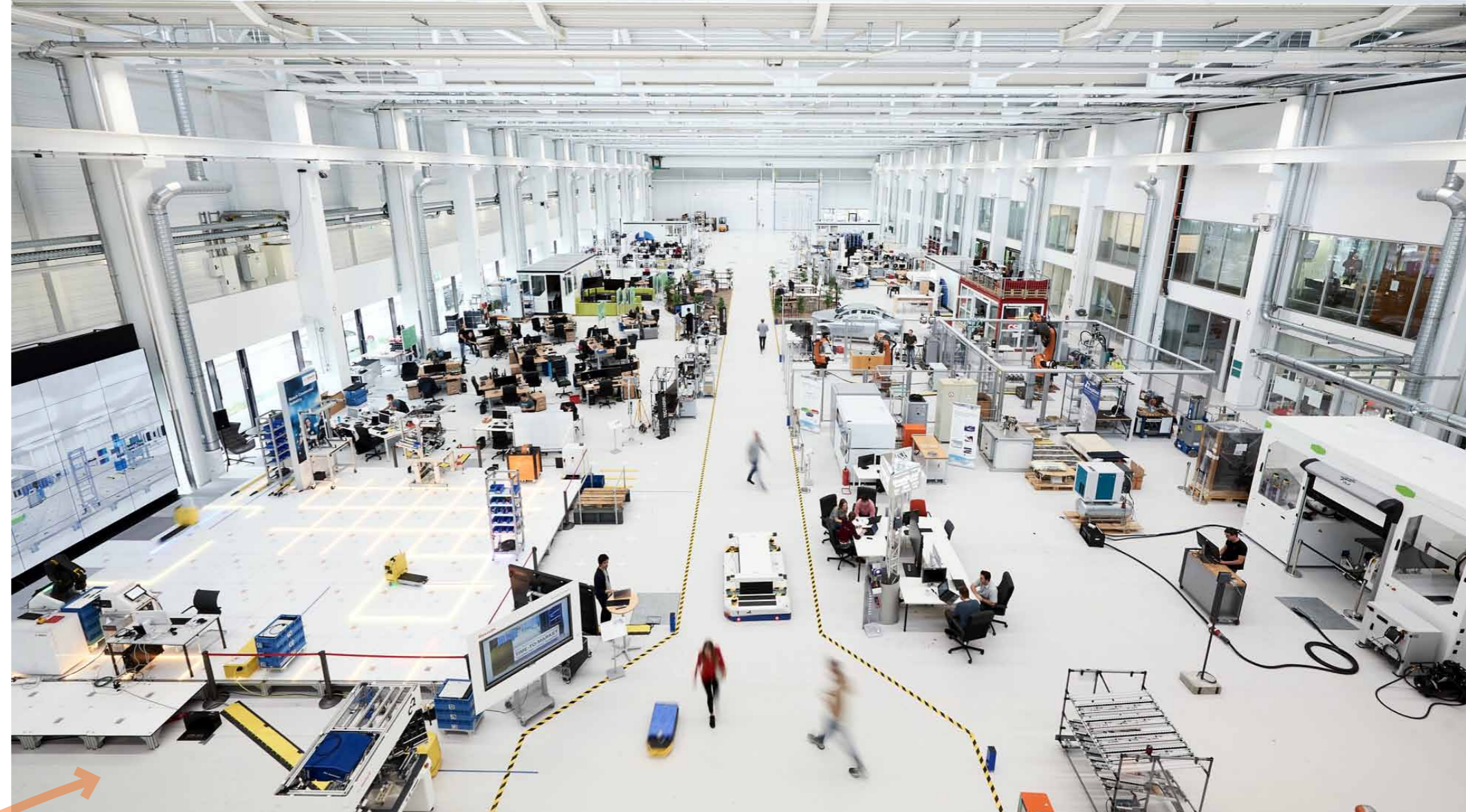
ARENA2036 je inovačná platforma pre spoluprácu medzi vedou a priemyslom s hlavným zameraním na **mobilitu budúcnosti**. Je jedným z deviatich výskumných táborov finančnej iniciatívy „Výskumný kampus – verejno-súkromné partnerstvo pre inovácie“ v Nemecku.

ARENA2036 sa teší podpore Spolkového ministerstva školstva a výskumu (BMBWF) a je vedená ako registrované združenie s členmi z oblasti vedy a priemyslu. V rámci platformy ARENA2036 spolupracuje niekoľko desiatok firiem (OEM, TIER) z Nemecka a zo zahraničia, medzi nimi aj najväčšie spoločnosti v sektore automotive ako napríklad BMW Group, Bosch, Siemens, Kuka a mnoho iných.

SPOLUPRÁCA prebieha priamo v aplikácii **hale**, ktorá slúži ako otvorený co-workingový priestor. Spolupráca viacerých firiem na rôznych projektoch v heterogénnych projektových skupinách na jednom mieste umožňuje rýchly a efektívny prenos know-how a kompetencií za hranice vlastnej firmy a inštitútu, čo má trvalý vplyv na kreativitu a

„Cieľom pracovného stretnutia bola príprava spoločného projektu v rámci projektového zámeru TIK

inovatívnu projektovú prácu. Týmto spôsobom sa výsledky výskumu mimo etablovaných priestorov riešenia stávajú realizovateľnými a podporovanými. Existujú tri rôzne typy projektov – spoločné



Co-workingová pilotná hala, v ktorej členovia ARENA 2036 uskutočňujú výskum

projekty, ciele projekty a takzvané „rýchle činy“. Typy projektov sa líšia trvaním projektu, veľkosťou konzorciá, financovaním a rozsahom.

(red)

ARENA2036

Stuttgartský architekt Stefan Rohrer získal za projekt budovy v roku 2015 ocenenie „Kunst im Bau“. Budova s rozmermi **130 m x 46 m x 16 m** zaujala porotu prvkami, ktoré integrujú hmotu priemyselného objektu do mestského kontextu. Matná hliníková fasáda ladí s farebnosťou budov campusu. Vystupujúce prvky vo východnej a západnej fasáde, ako aj sklenené pásy podčiarkujú cit pre mieru celého komplexu.

Halu s rozlohou **4 700 m²** zastrešuje pultová strecha vo výške 16 m, na ktorej je nainštalovaný fotovoltaický systém s kapacitou cca **80 kWp**. V hale sa nachádza portálový žeriav s max. prípustnou nosnosťou **10 t**, ktorý sa môže pohybovať po celej šírke haly.



ARENA2036 sa nachádza v campuse Univerzity Stuttgart

76. výročné zhromaždenie IIW a medzinárodná konferencia 2023

Po troch ročníkoch výročného zhromaždenia a medzinárodnej konferencie IIW v rokoch 2020 a 2021, ktoré sa konali online a hybridným spôsobom na ročníku 2022 v Tokiu, mala komunita IIW konečne príležitosť opäť sa osobne stretnúť v Singapure a spoločne si pripomenúť významné jubileum 75 rokov od oficiálneho založenia organizácie IIW.



Slovenskí odborníci na podujatí v Singapure (zľava): Ing. Marián Pavlík, doc. Ing. Jozef Barta, PhD., IWE, Ing. Jan Urminský, PhD., IWE, doc. Ing. Marek Brúna, PhD., prof. Ing. Milan Marónek, PhD., doc. Ing. Miloš Mičian, PhD., Ing. Peter Ďurík, IWE, Ing. Martin Frátrik

76. VÝROČNÉ ZHROMAŽDENIE A MEDZINÁRODNÚ KONFERENCIU IIW hostila v roku 2023 Singapore Welding Society (SWS), podporovaná sekretariátom IIW a manažérskym tímom IAB v termíne od 16. do 21. júla 2023. Registrácia bola spustená 15. februára 2023, konferenčné centrum bolo oficiálne otvorené 16. júla a umožnilo účasť viac ako 800 odborníkov v spájaní materiálov. Slovenskú delegáciu viedol **Ing. Peter Ďurík, IWE**, ktorý pôsobí ako vedúci autorizovanej nominovanej osoby za Slovenskú republiku v IIW. V roku 2023 malo Slovensko významnú odbornú účasť v zložení:

Žilinská univerzita v Žiline, Katedra technologického inžinierstva
doc. Ing. Miloš Mičian, PhD.
doc. Ing. Marek Brúna, PhD.
Ing. Martin Frátrik

Trnavská univerzita v Trnave, Materiálovotechnologická fakulta
prof. Ing. Milan Marónek, PhD.
doc. Ing. Jozef Barta, PhD., IWE
Ing. Ján Urminský, PhD., IWE
Ing. Marian Pavlík

Výskumný ústav zvaračský
Ing. Peter Ďurík, IWE

- Spoločenské podujatia zahŕňali:**
- otvorenie IIW a slávnostné odovzdávanie cien, podujatie Young Professionals Ice Breaking,
 - uvítacia recepcia, Singapore Nite a záverečný ceremoniál na gala bankete s oslavou 75. výročia IIW,
 - sponzori sa stretli so zvaračskými profesionálmi na výstavnej ploche s videami a prezentáciami produktov,
 - IIW 2023 Digital Collection Welded Art Photographic Exhibition – Ciele trvalo udržateľného rozvoja,
 - zasadnutia 18 pracovných skupín IIW sa konali 16.-21. júla 2023,
 - táto udalosť bola príležitosťou na spustenie novej vizuálnej identity IIW s novým logom IIW:



Logo IIW od najmladšieho po najstaršie



Miesto konania podujatia Marina Bay Sands Hotel a Conference & Convention Centers Singapur

Dňa 16. júla sa uskutočnilo **76. Zasadanie správnej rady IIW**, ktorého účastníkmi bola aj slovenská delegácia v zložení **prof. Ing. Milan Marónek, PhD., Ing. Peter Ďurík, IWE a doc. Ing. Jozef Barta, PhD., IWE** (na snímke vpravo hore). Zasadnutia sa zúčastnili zástupcovia 46 krajín z celkového počtu 55 členských krajín IIW.

Program zasadnutia:

- Odsúhlasenie hospodárskych výsledkov za 2022
- Odsúhlasenie plánu na rok 2023
- Menovanie nových členov „Board of directors“
- Predstavenie novej stratégie IIW
- Nové logo IIW
- Nová webstránka www.iiw.com

Medzinárodná konferencia o zváraní a spájaní IIW 2023, ktorú organizovala Singapore Welding Society, sa konala v dňoch 20.-21. júla. Nosnou témou medzinárodnej konferencie bol **„Pokrok v oblasti zvárania, spájania a aditívnej výroby“**. Hlavným cieľom konferencie bolo poskytnúť fórum pre vytváranie kontaktov a výmenu poznatkov medzi vedcami, výskumníkmi a priemyslom v oblasti zvárania a spájania.



Zastúpenie slovenskej delegácie na zasadaní správnej rady IIW, zľava: prof. Ing. Milan Marónek, PhD., Ing. Peter Ďurík, IWE a doc. Ing. Jozef Barta, PhD., IWE

Na tomto 76. výročnom zhromaždení IIW boli udelené viaceré výročné ceny IIW. Výročné zhromaždenie v Singapure bolo príležitosťou osláviť **75 rokov** histórie IIW od založenia v roku 1948 s 13 krajinami až po súčasnosť s 50 krajinami.

Výstava zváraných umeleckých fotografií 2023 je výsledkom veľmi úspešnej iniciatívy spustenej na výročnom zhromaždení IIW v roku 2019 v Bratislave na Slovensku. Odvtedy IIW usporiadal už tri veľmi úspešné výstavy IIW Welded Art Photographic v rokoch 2020, 2021 a 2022 ako digitálne zbierky na stiahnutie.

77. výročné zhromaždenie IIW a medzinárodná konferencia o zváraní a spájaní sa uskutoční v hoteli Rhodos Palace, Rhodos, GRÉCKO, 7.-12. júla 2024. IIW sa teší na stretnutie komunity zvárania, spájania a súvisiacich procesov na nadchádzajúcich regionálnych a medzinárodných kongresoch a prírodných podujatiach, ktoré sa konajú v spolupráci s jej partnermi, a najmä na 77. výročnom zhromaždení IIW a medzinárodnej konferencii o zváraní a spájaní, ktorá sa uskutoční na budúci rok v Grécku – poprednej európskej destinácii pre obchod, voľný čas a zábavu. Viac informácií sa môžete dozvedieť na oficiálnej stránke www.IIW2023.com alebo na www.iiw.com.

Ing. Peter Ďurík, IWE

Jednotlivé členské krajiny nominovali nasledujúci počet účastníkov za svoje národné organizácie:

Na podujatí bolo zaregistrovaných **806 účastníkov** zo **46 krajín** v nasledovných kategóriách:

- 378** delegátov a expertov
- 78** registrovaných účastníkov len na medzinárodnú konferenciu
- 119** študentov s registráciou na celé podujatie
- 51** študentov s registráciou len na medzinárodnú konferenciu
- 54** sprevádzajúcich osôb
- 126** mladých profesionálov



Súčasťou spoločenskej časti podujatia bola výstava umeleckých fotografií s tematikou zvárania. Svoje dielo vystavil aj člen slovenskej delegácie a zanieteny fotograf prof. Milan Marónek (MTF TU Trnava)

V METALURGII A ZLIEVARENSTVE MÁTE IBA JEDEN POKUS

Peter Nemeč (73) pracuje vo VÚZ ako interný zamestnanec neuveriteľných 54 rokov. Roztavený kov ho fascinoval od detstva a pracuje s ním doteraz. V roku 1985 sa stal vedúcim hutníckej prevádzky a dnes si v kolónke „funkcia“ píše vedúci oddelenia kovových práškov a metalurgie. Veľkú časť jeho práce tvorilo aj reštaurátorstvo a opravy zvonov. Z rozhovoru preto vznikli dva texty – jeden o jeho práci pre priemyselné aplikácie a druhý o umení.

OPRIEMYSELNÝCH APLIKÁCIÁCH

Ako ste sa dostali do sveta metalurgie a konkrétne do VÚZ?

Už ako mladý chlapec som chcel pracovať s kovem. V roku 1969 som absolvoval Vyššiu strednú priemyselnú školu hutnícku v Tisovci, obor tvárnenie a tepelné spracovanie kovov. V tom čase sa ešte udeľovali umiestnenky do firiem v rôznych častiach Slovenska a dve takéto umiestnenky prišli na školu aj z Výskumného ústavu zväračského. Po príchode na osobné oddelenie VÚZ sa ma jeho šéf spýtal, či chcem ísť ku Galašovi, alebo k Píkovi. Nestačil som ani odpovedať a oznámil mi – „pôjdeš ku Galašovi“. Tak som sa dostal na oddelenie metalurgie, ktoré pozostávalo z niekoľkých samostatných prevádzok – zlievareň, valcovňa, drôtovňa a moriaren. Pracovalo tu asi 60 ľudí, vyvíjali a vyrábali napríklad špeciálnu jadrovinu do elektrôd. Tá sa dopravovala do Vambergu, kde ju zhodnocovali na výrobu elektrôd. Neskôr sme začali elektródy vyrábať priamo tu, a to vo veľkých objemoch, asi 60 ton hotových výrobkov ročne.

Chytilo vás to?

Moja cesta bola pestrejšia. Siahol som si na rôzne druhy zliatin, cez nízkotavitelné, vysokotavitelné, špeciálne zliatiny s bodom tavenia do 100 stupňov (Woodove kovy). To všetko sme tu vyrábali a všetko malo využitie v priemyselnej praxi, ma bavilo najviac. Nebol tu „len“ základný výskum, ako na univerzite. Súčasťou práce bolo tvorivé napätie, lebo sme riešili živé problémy, pričom každý z nich bol iný. Prichádzali nové a nové materiály a bez toho, aby ste si nepreštudovali rovnovážne diagramy daných zliatin, alebo nevypočítali teploty potrebné na dané tavenie, sa do práce ani nemalo zmysel pustiť.

Spomínate si na vaše prvé zákazky?

Áno, bolo to začiatkom 70-tych rokov. Robili sme tavby pre plynovody, ale tiež špeciálnu zákazku pre odstredivo liate hrubostenné rúry na prepravu čpavku. Boli dlhé 120 cm a finalizovala ich Kráľovopolská Brno. Vo VÚZ sme vyvíjali prídavný materiál, pomocou ktorého sa tieto rúry zvärali. Boli to



Peter Nemeč je primárne metalurg – na snímke v skúšobni žiarového striekania práškov

IG tyčky s priemerom 4 mm. Vyrábali sme ich liatím, pretože obsahovali vysoký uhlík a iné prvky, ktoré bránili tvárneniu.

Potom ste sa dostali ku kovovým práškom, ktorým sa venujete dodnes.

Výrobe práškov som sa od začiatku venoval naplno. Najväčšou pridanou hodnotou našich práškov pre zákazníkov sú aplikácie na povrch zariadení a súčiastok voči vplyvu abrázie s cieľom predĺžiť životnosť. Dokážeme ich vyrobiť až do extrémnej tvrdosti 86 Rockwell. S takto ošetrenými súčiastkami môžete napríklad driť kamene, alebo valcovať plechy. Výroba práškov je ďalšia činnosť, ktorá sa nedá robiť rutinne. Lebo keď miniete surovinu a príde ďalšia, opätovne ju treba poctivo odskúšať, či vyhovuje. Lebo ak vstupné suroviny nevyhovujú, prášok s požadovanými vlastnosťami nevyrobíte. Skrátka – pri práci sme neustále v napätí, aby všetko dobre dopadlo. Výroba kovo-

vých práškov je natoľko náročná, že sa jej vzdala napríklad aj veľká firma Böhler, práve pre nestabilitu kvality.

Máte spoľahlivé zdroje kvalitných vstupných surovín? Určite robíte chemickú analýzu vzoriek...

Kvalitu surovín musíme neustále monitorovať. Vopred potrebujeme vedieť, ako sa vyrábajú. Napríklad pri ferochróme je dôležité, aby to neboli liate ferochrómy, ale také, ktoré sa vyrábajú exotermicky. Pri vysokých teplotách škodliviny zhoria a potom môžeme s danou surovinou ďalej pracovať. Bez analýzy chemického zloženia by sme sa do práce ani nepustili. Začiatky boli ťažké, pretože sme nemali zariadenia na výrobu práškov. Všetko sme museli vymyslieť, vyvinúť a kompletne technologické zariadenia aj vyrobiť a spojazdiť. Ušetrili sme tak desiatky miliónov korún, ktoré by sme inak museli vynaložiť na nové zariadenie. V Československu mal podobné zariadenie iba pražský SVUM (štátny výskumný ústav materiálov), ktorý na svojom zariadení Osprey striekal malé množstvá práškov nasucho, aj to len z predzliatiny. V Anglicku nakúpili ingoty, dali ich do pece a roztavili. Avšak ingoty boli dosť drahé a tým pádom sa výroba práškov ukázala ako nerentabilná. SVUM nemal vlastnú zliatinu z prvovýroby, pretože to nevedeli od začiatku technologicky uchopiť. Aj my sme sa spočiatku trápili, kým sme vychytali všetky detaily. Prášky sme začali vyrábať v bežnom vzduchu, kým dnes ich vyrábame v ochranej atmosfére dusíka. Tým dosahujeme rádovo vyššiu kvalitu.

A čo samotné striekanie?

Systém striekania sme tiež kompletne vyvinuli v rámci VÚZ. Máme vlastnú striekaciu hlavu, vlastnú trysku, nádobu, aj pec. Od začiatku až do konca používame vlastné know-how. Tajomstvom výroby kovových práškov sú posledné tri minúty tavby. Od nich závisí, aký prášok vo finále získame.

Prečo je to tak?

Aj by som vám to rád povedal, ale je to naše know-how. Chemické zloženie prášku nie je žiadne tajomstvo – to si môže každý zistiť chemickým rozborom. Ale vyrobiť ho už také jednoduché nie je,



Peter Nemeč s kolegom Ing. Stanislavom Löfflerom (vľavo)

pretože tam prebieha viacero zložitých procesov. Preto sa to aj napriek snahe SVUM-u nedarilo. Boli tam šikovní chlapci, poznal som sa s nimi osobne, ale tajomstvo zo mňa nedostali. Na druhej strane treba uznať, že vedeli robiť steličky – prášky na báze kobaltu, ktoré sa používajú pri vysokých teplotách. Okrem VÚZ nikto na Slovensku ani v Českej republike tieto prášky nevyrába, dovážajú sa. V Európe ich vyrába iba Deloro (Taliansko), Höganäs (Švédsko), a v menšej miere aj Castolin (Švajčiarsko).

Popíšte prosím najčastejšie aplikácie.

Naše tvrdonávarové prášky sa používajú najmä na renováciu technologických zariadení, napríklad v sklárskom priemysle. V poľnohospodárstve sa prášky nanášajú už na nové nože s cieľom výrazne predĺžiť ich životnosť. US Steel Košice využíva naše prášky z rovnakého dôvodu na renováciu valcov na valcovanie plechov. K ďalším významným zákazníkom patrí napríklad Fontána Dolný Kubín, alebo Delta Podvysoká. Prášky vieme aj kombinovať v tvrdostiach od 16 až do 80 Rockwell.

Viacero aplikácií robíme pre drviče a niektorí zákazníci s nami spolupracujú už niekoľko desaťročí. Zoberme si napríklad drvenie kameňa. Pred 35 rokmi boli naši zákazníci odkázaní na dodávky zahraničných výrobcov. Jedna sada na mletie v tom čase stála 25 tisíc korún, čo boli obrovské peniaze s ohľadom na to, že šlo prakticky o spotrebný materiál, ktorý sa po opotrebovaní nahradil novým. My sme jednu sadu dokázali vyrobiť za 6 tisíc korún, čo pre zákazníkov znamenalo obrovskú úsporu.

Samozrejme, že nám nejaký čas trvalo, kým sme sa priblížili životnosti originálnych dielov, ale podarilo sa nám to. Do hry vstupovalo veľa faktorov, lebo štrky sú rôzne. Každý štrk – dunajský, vážsky, alebo jazerný, má iné zloženie a tým pádom tvrdosť. Vápencové piesky majú inú odolnosť voči mletiu ako žulové. Napríklad ak ejektor vydržal na Váhu 600 hodín, na Dunaji len 120. Kameň sa melie na rôzne frakcie a z nich sa vyrábajú jednotlivé potery na rôzne aplikácie, napríklad v stavebníctve. Museli sme teda vyšperkovať veľa detailov, aby sme dokázali vyrobiť kompletnú sadu drviča, násypné hrdlo, rozhadzovací tanier, spodnú dosku, hornú dosku, trecie dosky, ejektory a trojprsteneč. Diely z VÚZ s obľubou používa Povodie Dunaja, Povodie Váhu, Prefa Sučany, alebo Gravel Sloveč Bratislava.

Bavilo vás posúvať hranice možného?

Niekedy aj nemožného (smiech). Veľmi dôležitý je postoj k práci. Za tých 54 rokov, čo som vo VÚZ, si nepamätám, že by niekto z mojich kolegov povedal, že sa niečo nedá. Vždy sme hľadali cesty ako si s problémami zákazníkov poradiť. Ľudia sa drali za tým, aby dokázali vyriešiť aj na prvý pohľad neriešiteľné problémy a situácie. Bola to otázka prestíže a tú má VÚZ v génoch. Aj preto sme riešili veľa zákaziek pre českých partnerov. Mohli sme sa oprieť o vlastný výskum a dodnes to tak je.

Prepáčte mi otázku – darí sa vám s ohľadom na vek prenášať skúsenosti na mladších kolegov?

Veľmi rád sa podelím o skúsenosti s každým kolegom, ktorý o to prejaví záujem. Platí to najmä o metalurgii a výrobe práškov. Umeleckým prácam sa dnes s ohľadom na utlmený dopyt už vo VÚZ prakticky nevenujeme. Ale snažím sa, aby tu tie cenné skúsenosti zostali.

Kde beriete motiváciu prísť každý deň do práce?

Takmer denne dohľadám na výrobu práškov. Musím ich skúšať a kontrolovať, nemôžem si dovoliť nejakú rutinu a to je dobre. Chcem byť medzi ľuďmi, byť súčasťou diania. Rovesníci mi sice naznačujú, že by som už mohol byť v penzii, ale čo už v penzii. Mám kukat z okna? To nie je bohviečo.

Kladiem si otázku, či ste s takýmto prístupom neboli niekedy blízko k vyhoreniu, to je v dnešnej hektickej dobe aktuálne téma...

A viete, že som to spoznal na vlastnej koži? No nikdy som sa tomu nepoddal. V istom období som sa pristihol, že začínam k práci pristupovať rutinne. A to sa človeku občasne vypomstí. Moja práca si vyžaduje individuálny prístup ku každej zákazke, preto som z rutiny rýchlo vytriezvil. V našej oblasti sa veci menia a inovujú. Stačí zmeniť surovinu a začínate od začiatku. Všetky kroky treba poctivo prepočítať a odskúšať, aby prášky vo finále fungovali ako majú. Preto si dodnes počítam protokoly, analyzujem chemické zloženie a sledujem ďalšie parametre. Každý deň ma môže niečím prekvapiť a preto som v strehu.

VÝSKUM KORÓZNEJ ODOLNOSTI SÚSTRUŽE- NÝCH VZORIEK Z AUSTENITICKEJ KORÓZII- VZDORNEJ OCELE 08CH18N10T V KORÓZNEJ AUTOKLÁVE PRI PODMIENKACH SIMULUJÚ- CICH PRIMÁRNY OKRUH JE TYPU VVER

Marek Kudláč (MTF STU), Alena Košíňová (VÚZ), Katarína Bártová (MTF STU), Peter Brziak (VÚZ), Milan Baláz (VÚZ), Vladimír Magula (VÚZ), Bronislav Novák (VÚZ), Michal Kapušniak (VÚZ), Martin Kusý (MTF STU), Tomáš Vopát (MTF STU)

ABSTRAKT

Článok sa zaoberá mesačným expozičným testom austenitickej koróziivzdornej ocele 08Ch18N10T v korózej autokláve s recirkulačnou slučkou, v ktorej sa simulovalo prostredie primárneho okruhu jadrových elektrární typu VVER, typu používaného na Slovensku. Podmienky boli mierne upravené, resp. zhoršené prídávaním kyslíka do média. Vzorky boli pred expozičiou opracované sústružením s rôznymi parametrami (geometria nástroja, posuv a rýchlosť obrábania), pričom sa sledoval jeho vplyv na korózu odolnosť jednotlivých vzoriek. Analýza vzoriek pozostávala z gravimetrickej analýzy, sledovania a analýzy obrobeného povrchu pomocou svetelnej stereomikroskopie a chemickej mikroanalýzy (pomocou EDS). Sledovala sa prítomnosť koróznych spodin v podobe oxidov, prípadne bodová korózia.

ABSTRACT

The article deals with a monthly exposure test of austenitic stainless steel 08Ch18N10T in a corrosion autoclave with a recirculation loop, in which the environment of the primary circuit of nuclear power plants of the VVER type, i.e. the type used in Slovakia, was simulated. The conditions were slightly modified or worsened by adding oxygen to the medium. Before exposure, the samples were machined using turning technology with different parameters (tool geometry, feed and machining speed), while its influence on the corrosion resistance of individual samples was monitored. Sample analysis consisted of gravimetric analysis, observing and analysis of machined surface using light stereomicroscopy and chemical microanalysis (using EDX). The presence of corrosion products in the form of oxides or pitting was monitored.

ÚVOD

Kľúčové slová:

korózia, primárny okruh VVER, autokláv, austenitická koróziivzdorná oceľ, obrábanie

Vodo-Vodný Energetický Reaktor (skrátene VVER) je tlakovodný typ reaktora (sovetskej konštrukcie), ktorý sa používa v štátoch bývalého východného bloku. Je chladený a moderovaný obyčajnou vodou za vysokého tlaku. Jedným z najpoužívanejších typov VVER sú VVER 440, ktoré sú používané na Slovensku: Jaslovské Bohunice a Mochovce. VVER 440 sa delí ešte na niekoľko typov, pričom typ 230 bol používaný a 213 je používaný na Slovensku [1].

V primárnom okruhu (PO) dochádza k tvorbe a transportu tepelnej energie pomocou média (voda primárneho okruhu) z aktívnej zóny reaktora do parogenerátora. Oblasť reaktora, kde dochádza vplyvom jadrovej štiepanej reakcie k tvorbe tepelnej energie,

sa nazýva aktívna zóna. Jadrový reaktor je teda hlavou časťou jadrových elektrární, pričom na to, aby dochádzalo k bezpečnej cirkulácii vody v primárnom okruhu, teda teplonosného média, sú v PO potrebné aj ďalšie súčasti ako sú potrubie, parogenerátor, kompenzátor objemu a čerpadlá cirkulujúce vodu cez tento okruh. Voda v primárnom okruhu slúži aj ako chladivo a zároveň aj ako moderátor neutrónov vzniknutých pri štiepanej reakcii v reaktore. Parametre chladiva a jeho chemizmus sú uvedené v tab. 1. Chladivo je tvorené v hlavnej miere z prídavku kyseliny boritej a kationov alkalických kovov (v podobe hydroxidov). Okrem nich je prídávaný v malom množstve aj amoniak. Kontrolovaná je prítomnosť plynov kyslíka a vodíka a taktiež aj halogenidov – konkrétne chloridov a fluoridov, keďže práve prítomnosť týchto zložiek má významný vplyv na proces korózie v primárnom okruhu [1,2].

V rámci materiálov, ktoré tvoria primárny okruh jadrových elektrární typu VVER, sú časťou voľbou austenitické koróziivzdorné ocele, konkrétne austenitická oceľ 08Ch18N10T. Touto oceľou je tvorený takmer celý primárny okruh. Tab. 2 dokumentuje použitie tejto ocele pre jednotlivé hlavné komponenty v primárnom okruhu [3].

Táto oceľ je stabilizovaná titánom z dôvodu predchádzania vzniku karbidov chrómu a tým predchádzaniu vzniku medzikryštálovej korózie (medzikryštálová korózia a bodová korózia sú najčastejšími typmi korózneho napadnutia austenitických ocelí). Aj napriek tomu, že sa jedná o koróziivzdornú oceľ, existujú spôsoby, pri ktorých sa môže iniciovať koróznym proces – ide napríklad o spôsob obrábania povrchu, kedy na povrchu môžu vzniknúť zvyškové ťahové napätia (ktoré môžu ovplyvňovať propagáciu koróznych trhlin), príp. môže dochádzať až k vzniku deformačne indukovanému martenzitu, ktorý už v porovnaní s austenitom je náchylný na koróziu. Taktiež činitele ako pórovitosť, výrazná drsnosť, poruchy v oxidickej vrstve, ochudobnenie o legujúce prvky, majú výrazný vplyv na vznik korózneho napadnutia. V spojitosti s koróznym praskaním sú austenitické ocele náchylné na tento degradačný mechanizmus v prostredí horúcich koncentrovaných chloridových roztokov, príp. parami znečistených chloridmi. Je taktiež známy

fakt, že chloridové anióny zapríčiňujú vznik bodovej korózie u koróziivzdorných ocelí [4].

Oxidická vrstva, ktorá slúži ako bariéra koróziivzdorných ocelí, je práve ovplyvňovaná spôsobom obrábania a teda obrábanie ovplyvňuje korózu odolnosť aj z tohto hľadiska. Wang a kolektív [5] sledovali morfológiu oxidickej vrstvy u ocele AISI 316, ktorá bola obrábaná tromi spôsobmi – elektrolytickým leštením, brúsením a frézovaním. Táto vrstva bola vystavená podmienkam podobným primárnemu okruhu tlakovodného reaktora, pričom zistili, že najlepšiu rovnomernosť mala oxidická vrstva po elektrolytickom leštení a najhoršia bola po frézovaní. Priemerná hrúbka oxidickej vrstvy vzrastala od leštených, cez brúsené až po frézované vzorky. Oxidická vrstva pozostávala z dvoch častí – vonkajšej, tvorenej magnetitom (Fe_3O_4), a vnútornej, bohatej na chróm. Koncentrácia chrómu na vnútornej oxidickej vrstve bola najvyššia po elektrolytickom leštení.

V experimentálnych podmienkach je možnosť simulácie primárneho okruhu do určitej miery možná použitím upravených autokláv. Recirkulačná slučka s autoklávom (obr. 1) je zariadenie, ktoré je schopné simulovať prostredie primárneho okruhu jadrových elektrární, príp. simulovať deje v chemickom alebo petrochemickom priemysle. Umožňuje vopred analyzovať pripravené médium (pH, rozpustený kyslík a vodivosť) a následne sa toto médium môže prečerpávať do autoklávy, kde je/sú umiestnená/é vzorka/y. Autokláva umožňuje expozičné skúšky, skúšky korózneho praskania pod napätím, základné mechanické skúšky, stanovenie elektrochemických charakteristík exponovaného materiálu či v podmienkach roztokov od laboratórnej teploty až po teplotu 650 °C a tlaku do 35 MPa, pričom okrem roztokov je slučka schopná využívať aj CO_2 . Na slučku je napojená aj prietoková komora, pomocou ktorej je – rovnako ako v autokláve, možné simulovať dané prostredie s tým rozdielom, že prietoková komora nie je vybavená ťhacím zariadením [6].

EXPERIMENTY

Vzorky z austenitickej koróziivzdornej ocele 08Ch18N10T v podobe tyčoviny, ktorej chemické zloženie je znázornené v tab. 3, boli sústružené pri rôznych parametroch (uvedených v tab. 4). Sústruženie sa vykonávalo pomocou vymeniteľných rezných platničiek (VRP) zo spekaného karbidu a pre jednu vzorku bol použitý ako rezný materiál kubický nitríd bóru CBN (vzorka 25). Rezné platničky (pozitívna a negatívna geometria) mali rôzne polomery zaoblenia hrotu r_n (0,4 a 0,8 mm), rôzne polomery zaoblenia hrany r_n (ostrá, 10 alebo 50 μm), taktiež posuvom f (0,12, 0,2 a 0,3 mm) a rýchlosťou obrábania v_c (100 a 250 resp. 596 $m \cdot min^{-1}$). Následne sa zmerala drsnosť R_a resp. R_z .

Jednotlivé obrábané časti boli narezané na valce a tie na štvrtiny. Z týchto $\frac{1}{4}$ valcov sa odrezali časti z hornej strany (obr. 2) a strana, ktorá bola odrezaná, bola obrúsená a vyleštená. Vzorky boli očistené v ultrazvuku, zmerali sa, odvážili a skontrolovala sa prítomnosť vád na povrchu. Následne sa vzorky poukladali

Parameter	Hodnota
Teplota T [°C]	269-298
Tlak p [MPa]	12,26
Koncentrácia c (H_2BO_3) [g/kg]	0 – 9,0 *1
Koncentrácia c (K^+ , Na^+ , N^+) [mmol/kg] *2	0,05 – 0,45
Koncentrácia c (NH_3) [g/kg]	> 5,0
Koncentrácia c (H_2) [cm^3/kg]	30 – 60
Koncentrácia c (O_2) [$\mu g/kg$]	≤ 10
Koncentrácia c (Cl^- a F^-) [$\mu g/kg$]	≤ 100
Koncentrácia c (Cu) [ng/kg]	< 20
Koncentrácia c (Fe) [ng/kg]	< 200
pH (25 °C)	6,0 – 10,2

Poznámka: *1 – koncentrácia kyseliny boritej v bazénoch vyhoreného jadrového paliva, v barbotážnych žľaboch, odstavke alebo pri prevencii kritického stavu sa uvádza ≤ 12 g/kg; *2 – v závislosti od koncentrácie kyseliny boritej

Tab. 1 Parametre a chemizmus primárnej vody JE typu VVER 440 [2]

Tab. 1 Parameters and chemistry of primary water NPP type VVER 440 [2]

Názov komponentu	Názov súčasti vyrobenej z 08Ch18N10T
Parogenerátor	Primárny kolektor, veko primárneho kolektora, teplovymenné rúrky
Kompenzátor objemu	Dolný nátrubok, nátrubok vstretku, nátrubok prepúšťania pary, nátrubok elektrických ohrievačov, vyrovnávacie potrubie KO
Potrubie primárneho okruhu	Studená a horúca vetva
Hlavné cirkulačné čerpadlo	Základný materiál

Tab. 2 Komponenty a ich časti, ktoré sú tvorené oceľou 08Ch18N10T v VVER 440 v EBO [3]

Tab. 2 Components and parts thereof consisting of 08Ch18N10T steel in VVER 440 in EBO [3]



Obr. 1 Autokláva s recirkulačnou slučkou

Fig. 1 Autoclave with recirculating loop

Značka ocele/ norma	Prvky [hmotnostné %]								
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	Ti	S	P
materiál vzoriek	0,06	0,83	1,44	0,66	17,5	9,89	0,47	0,025	0,026
4									
08Ch18N10T	≤0,08	≤0,8	≤2,0	-	17,0+19,0	9,0+11,0	≥5xC	≤0,020	≤0,035
GOST 5632-72							≤0,70		

Tab. 3 Chemické zloženie obrábaného materiálu vzoriek a smerodajné chemické zloženie oceli 08Ch18N10T

Tab. 3 Chemical composition of machined sample material and authoritative chemical composition of steels 08Ch18N10T

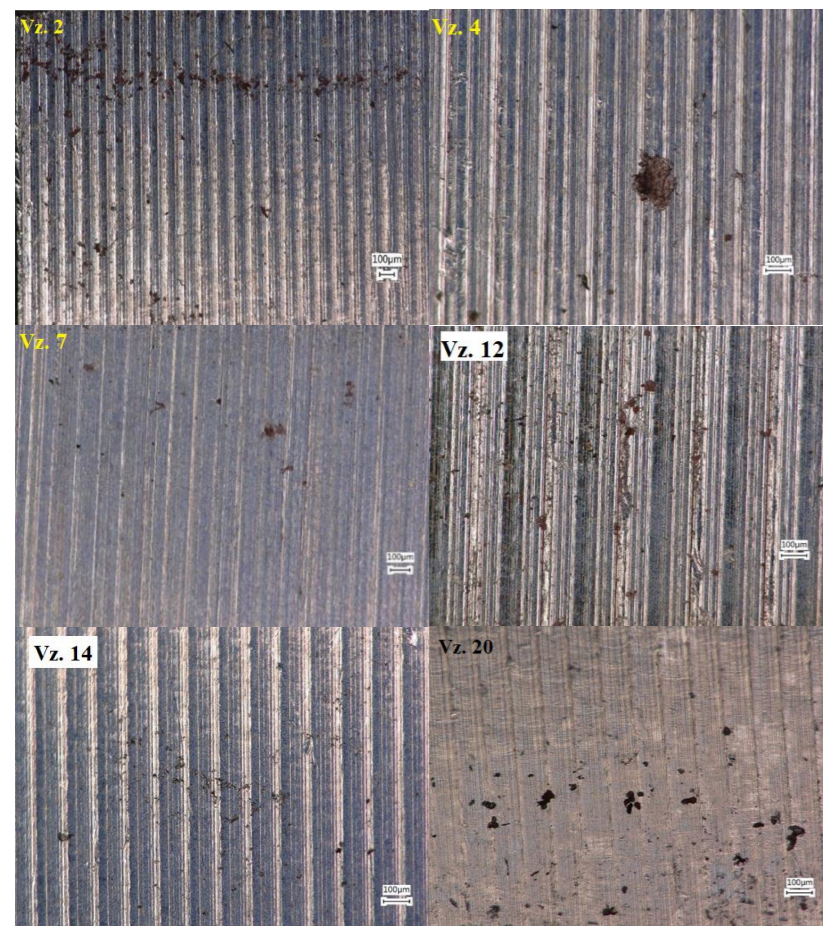
do autokláv. Autokláva sa zatvorila a do zásobníka sa naliat roztok H_2BO_3 (s koncentráciou 13 g/dm^3), nastavili sa parametre v autokláve (tlak, teplota), do roztoku bol vháňaný kyslík na vytvorenie extrémnejších korózných podmienok (keďže množstvo rozpusteného kyslíka v skutočnom primárnom okruhu

Vzorka č.	Označenie nástroja	Posuv f [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	Drsnosť R_a [μm]	Drsnosť R_z [μm]
1	AL pozit Re 0.4	0,12	100	1,429	6,420
2	AL pozit Re 0.4	0,12	250	1,377	6,106
3	AL pozit Re 0.4	0,2	100	2,661	11,936
4	AL pozit Re 0.4	0,2	250	2,879	12,857
5	AL pozit Re 0.4	0,3	100	7,151	29,875
6	AL pozit Re 0.4	0,3	250	7,062	29,989
7	AL Pozit Re 0.8	0,12	100	0,708	3,982
8	AL Pozit Re 0.8	0,12	250	0,499	2,841
9	AL Pozit Re 0.8	0,2	100	1,655	7,281
10	AL Pozit Re 0.8	0,2	250	1,663	7,109
11	AL Pozit Re 0.8	0,3	100	3,765	15,493
12	AL Pozit Re 0.8	0,3	250	3,697	15,904
13	Negat Re 0.8 Rn 10	0,12	100	0,598	2,825
14	Negat Re 0.8 Rn 10	0,12	250	0,588	2,799
15	Negat Re 0.8 Rn 10	0,2	100	1,498	6,314
16	Negat Re 0.8 Rn 10	0,2	250	1,513	6,244
17	Negat Re 0.8 Rn 10	0,3	100	3,034	11,478
18	Negat Re 0.8 Rn 10	0,3	250	3,035	11,152
19	Negat Re 0.8 Rn 50	0,12	100	0,687	3,212
20	Negat Re 0.8 Rn 50	0,12	250	0,648	2,741
21	Negat Re 0.8 Rn 50	0,2	100	1,306	5,425
22	Negat Re 0.8 Rn 50	0,2	250	1,325	5,427
23	Negat Re 0.8 Rn 50	0,3	100	2,599	10,411
24	Negat Re 0.8 Rn 50	0,3	250	2,647	10,703
25	Excel CBN	0,12	596	0,219	1,646

Tab. 4 Parametre obrábania jednotlivých vzoriek s nameranou drsnosťou
Tab. 4 Machining parameters of individual samples with measured roughness

Parameter	Hodnota
Teplota T [°C]	150
Tlak p [MPa]	12,3
Hmotnostná koncentrácia c_m (H ₂ BO ₃) [g/dm ³]	13
Množstvo rozpusteného kyslíka v roztoku DO [ppm]	6,5-7,5
Merná vodivosť roztoku κ [μS/cm]	7-9
pH roztoku [-]	5,8-6,0

Tab. 5 Nastavené a namerané parametre experimentu
Tab. 5 Set and measured parameters of the experiment



je prísne monitorované a kontrolované) a spustil sa experiment. To znamená, že pripravený roztok pri danej teplote a tlaku prechádzal autoklávou a následne z autoklávy naspäť do zásobníka, pričom na spätnej trase bol roztok chladený. Expozícia trvala 30 dní. Parametre experimentu sú v tab. 5. Teplota v autokláve bola nastavená na 150 °C z dôvodu, že pri zvýšení teploty na 200 °C dochádzalo k degradácii PTFE držiaku.

VÝSLEDKY

Po ukončení expozície boli vzorky z autoklávy vybrané a očistené v etylalkohole a ultrazvuku. Vzorky boli odvážené a vypočítal sa hmotnostný rozdiel a celkový korózný úbytok. Ukázalo sa, že u všetkých vzorkách nedošlo takmer k žiadnemu poklesu hmotnosti (maximálny hmotnostný rozdiel bol 0,0007 g, celkový korózný úbytok bol na úrovni približne 0,01 %).

Pomocou svetelnej mikroskopie sa na povrchu odhalil pitting, ktorý mohol byť spôsobený nečistotami (prítomnosť chloridových iónov). Taktiež sa objavili zoxídované miesta, ktoré boli s najväčšou pravdepodobnosťou ovplyvnené rozpusteným kyslíkom v roztoku, ktorý mal simulovať extrémne podmienky chladiacej vody primárneho okruhu (obr. 3). V skutočnosti sa v primárnom okruhu prísne dodržiava povolené množstvo rozpustného kyslíka a chloridov v chladiacej vode (pre VVER 440 je povolené množstvo rozpustného kyslíka ≤ 5 μg/kg, t. j. 5 ppb u modifikovanej vody a ≤ 10 μg/kg, t. j. 10 ppb u vody so štandardnými parametrami (napr. v EBO) a Cl⁻ a F⁻ ≤ 100 μg/kg) [3].

Na sledovanie chemického zloženia povrchov po expozícii boli vybrané vzorky 1 až 6. V prevažnej väčšine boli na povrchu pozorované okrem nečistôt (či už to boli častice tvorené uhlíkom, hliníkom, kremíkom alebo sírou) alebo zoxídovaných častíc aj častice karbidu titánu TiC, popr. TiN – obr. 4, kde sa na týchto časticiach zaznamenala aj prítomnosť bóru (pochádzajúceho z pripraveného roztoku simulujúceho vodu primárneho okruhu). Tieto karbidy mali rôzny tvar (vzorka 1 – obr. 4), poprípade tvorili zhluky (vzorka 3 – obr. 5).

Obr. 3 Povrch vzoriek po expozícii v autokláve bol pozorovaný pomocou mikroskopu Keyence

Fig. 3 Surfaces of samples after exposure in an autoclave observed with the Keyence microscope



Ukázalo sa, že u všetkých vzorkách nedošlo takmer k žiadnemu poklesu hmotnosti

ZÁVER

Pomocou autoklávy s recirkulačnou skúškou sa simuloval proces v primárnom okruhu (chladíaca voda pri vysokom tlaku a teplote) na vzorkách s označením 1 až 25. Po mesačnej expozícii vzoriek v autokláve sa nezistil gravimetrickou analýzou významný úbytok hmotnosti. V prípade pozitívnej geometrie bol pozorovaný pitting a v niektorých prípadoch bola viditeľná vrstvička korózných produktov. V prípade vzoriek s negatívnou geometriou s rastúcou rýchlosťou a posunom boli pozorované zhluky tmavých škvŕn s rozmermi 50 mikrometrov a viac a v určitých miestach sa pozoroval pitting. EDX analýzou sa našli povrchové oxidy, poprípade karbidy/nitridy titánu (materiál bol práve pomocou Ti stabilizovaný za tvorby TiC alebo TiN). Zistilo sa aj to, že po expozícii obsahovali tieto karbidy/nitridy bór, ktorý s najväčšou pravdepodobnosťou pochádzal z použitej chladiacej vody.

RECENZENT: ING. MARIANNA BALÁŽOVÁ, PHD.

LITERATÚRA

[1] MATAL, O. – ŠEN, H. 2011. Jaderná zařízení a jejich bezpečnost. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016, 174 s. ISBN 978-80-214-4349-5

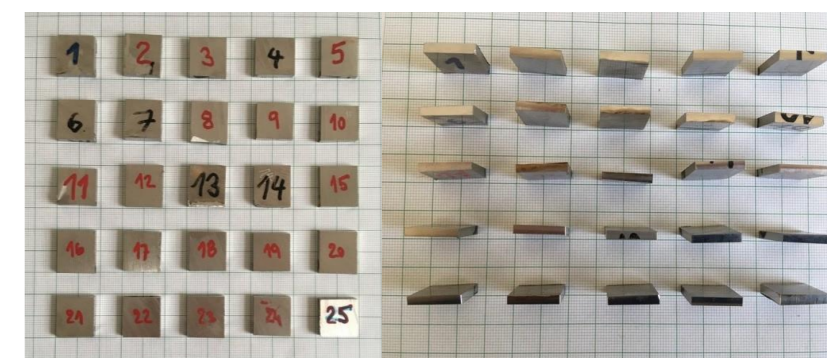
[2] AALTONEN, P. – HANNINEN, H. 1997. WATER CHEMISTRY AND BEHAVIOUR OF MATERIALS IN PWRs AND BWRs. In Design approaches for heating reactors: Report of an Advisory Group meeting held in Beijing, China, 6-10 June 1994. Viedeň: IAEA, s. 205-222

[3] VÚJE. 2019. Technická správa: Prevádzková bezpečnostná správa – Kapitola 06.02.02 Integrita primárneho okruhu, 83 s. Dostupné na webe [03.10.23, 11:26]: https://www.ujd.gov.sk/wp-content/uploads/2020/11/Kapitola_02_05.pdf

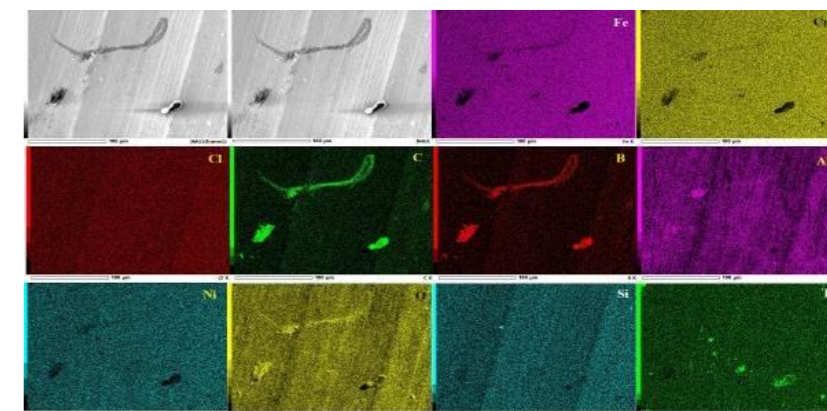
[4] JONES, D.A. 1996. Principles and prevention of corrosion. 1. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 1996, 592 s. ISBN 978-01-335-9993-0

[5] WANG, S. et al. 2017. Effect of surface machining on the corrosion behaviour of 316 austenitic stainless steel in simulated PWR water. In Corrosion Science. ISSN 0010-938X, 2017, č. 127, s. 104-120

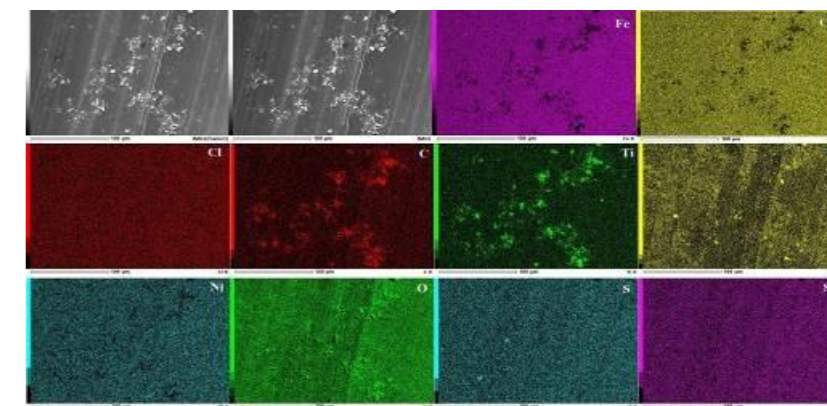
[6] Cormet: SSRT autoclaves [online]. Cormet, 2017, [cit. 5. 9. 2022]. Dostupné z: https://cormetestingsystems.com/wp-content/uploads/2017/03/SSRT_Autoclaves_cormet.pdf



Obr. 2 Narezané vzorky pred expozíciou: bočná strana (vľavo) a analyzovaný povrch (vpravo)
Fig. 2 Incised samples before exposure: side (left) and surface to be analysed (right)



Obr. 4 Mapa rozloženia jednotlivých chemických prvkov na povrchu vzorky 1 – EDX
Fig. 4 Map of distribution of individual chemical elements on the surface of sample 1 – EDX



Obr. 5 Mapa rozloženia jednotlivých chemických prvkov na povrchu vzorky 3 – EDX
Fig. 5 Map of distribution of individual chemical elements on the surface of sample 3 – EDX

Príspevok bol vypracovaný s podporou EFRR v rámci operačného programu Výskum a Inovácie, číslo projektu 313021W996 „Výskum korózie a korózneho praskania v tlakových systémoch primárneho okruhu jadrových elektrární“.

Paper was prepared with the support of the EFRR under the Operational Program Research and Innovation, project number 313021W996 „Research of corrosion and corrosion cracking in the pressure systems of the primary circuit of nuclear power plants“.

NUMERICKÉ SIMULÁCIE NA RK HCČ PRI RIEŠENÍ PROBLEMATIKY KORÓZIE POD NAPÄTÍM

Ing. Milan Baláž, PhD. (VÚZ)

ABSTRAKT

Článok je zameraný na poskytnutie prehľadu možnosti aplikácie numerických simulácií pri riešení problematiky korózie pod napätím (SCC – stress corrosion cracking). Numerické simulácie je možné využiť najmä pri stanovení napätostného stavu od účinku a spôsobu namáhania. Sumarizujú sa výsledky a závery z uskutočnených numerických simulácií pomocou metódy konečných prvkov (MPK) na rozvážacom kolese hlavného cirkulačného čerpadla (RK HCČ).

ABSTRACT

The article is focused on providing an overview of the possibilities of applying numerical simulations in addressing the issue of stress corrosion cracking (SCC). Numerical simulations can be particularly useful in determining the stress state resulting from the effect and mode of loading. The results and conclusions of conducted numerical simulations using the finite element method (FEM) on the main circulation pump impeller (RK HCČ) are summarized.

1. ÚVOD

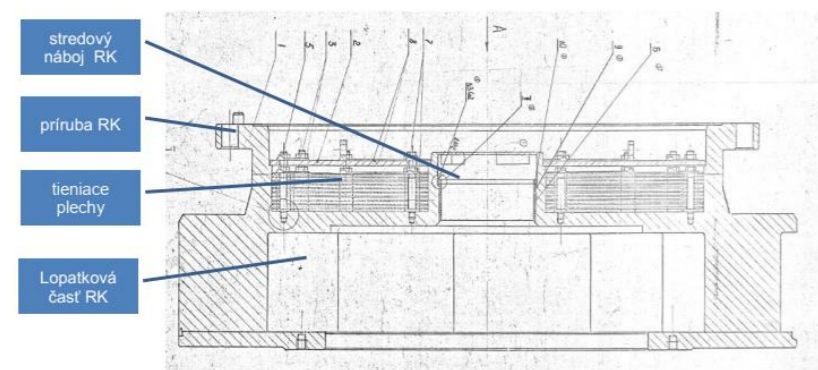
Kľúčové slová:

rozvážacie koleso hlavného cirkulačného čerpadla, napätostná analýza, zvyškové napätia, korózia pod napätím

Zobrazenie a základný popis konštrukčnej schémy RK HCČ je na obr. 1.

2. NUMERICKÉ SIMULÁCIE PRI PEVNOSTNOM POSÚDENÍ

Pri uvedenom type numerických simulácií sa analyzuje napätostný stav pre pevnostné posúdenie posudzovanej konštrukcie z hľadiska vplyvu vonkajších zaťažení. V prípade stanovenia napätosti RK HCČ sa uvažovalo s primárnymi prevádzkovými zaťaženiami: vnútorným tlakom a teplotou. Bolo vypracovaných niekoľko správ venujúcich sa numerickým simuláciám na určenie výsledných napätí RK HCČ [2]



Obr. 1 RK HCČ GCN-31 – konštrukčná schéma [1]
Fig. 1 RK HCČ GCN-31 – construction scheme [1]

až [5]. Numerické simulácie a analýzy napätosti boli spracované s využitím všeobecného štruktúrneho simulačného softvéru na báze metódy konečných prvkov (MKP) ANSYS®.

Uvádame stručný prehľad uskutočnenej numerickej simulácie zameranej na napätostnú analýzu časti stredového náboja RK HCČ a z nej vyplývajúcich záverov.

Prehľad výsledkov správy ÚJV Řež (DITI 2300/677) [2]:

Cieľom správy bolo uskutočniť pevnostnú napätovú analýzu pomocou MKP „rozvážacieho kolesa HCČ“ v mieste výskytu indikácií (typu trhlin a typu vady odliatku), teda v oblasti vnútorného náboja a v mieste pod ochranným puzdrom. Analyzované bolo rozvážacie koleso (RK, výrobné č. 1062) demontované z HCČ 32 na 3. bloku JE EBO V2.

Konečnoprvkový fyzikálny model bol riešený ako rotačne symetrický (obr. 2). Uvažovaný bol elastický materiálový model s použitím materiálových vlastností 12Ch18N9TL pre teleso RK a 08Ch18N10T pre ochranné puzdro a prítlačný krúžok. Boli uvažované okrajové podmienky zaťaženia pre nominálny prevádzkový stav (teplota primárneho média 268 °C, teplota autonómneho chladiaceho okruhu 35 °C, rozdiel tlaku vyvolaným impellerom autonómneho okruhu 0,2 MPa).

Analýza napätosti od vnútorného tlaku (pretlaku) preukázala, že výsledná napätosť v sledovanej oblasti je veľmi nízka. Z toho vyplýva, že vplyv tlakového zaťaženia je veľmi malý a taktiež prípadné zmeny tlaku v danej oblasti majú minimálny vplyv na napätosť RK. Výsledky napätosti od účinku tlaku sú zhrnuté v tab. 1.

Najvýznamnejší vplyv na napätosť telesa RK HCČ má nerovnomerné rozloženie teplôt. Uvažované nerovnomerné rozloženie teplôt použité pri numerickej simulácii je zobrazené na obr. 3.

Výsledné hodnoty napätosti podľa hypotézy Tresca sú na obr. 4. Maximálne hodnoty napätia sú dosiahnuté mimo oblasť nájdených indikácií. Maximálna hodnota je 548 MPa. Hodnota napätia v mieste indikácií má hodnotu približne 450 MPa.

Hodnoty redukovaného napätia Tresca a parciálneho osového a obvodového napätia sú uvedené v tabuľke (tab. 2). Osové napätie má tlakový charakter. Maximálna hodnota v mieste indikácií je približne

Hodnoty jsou uvedeny pro místo nalezených indikací	Tresca [MPa]	Osově napětí [MPa]	Obvodové napětí [MPa]
Varianta 1 - tlak v oblasti ochranného pouzdra 12,25 MPa	19	Tahový charakter +6	Tlakový charakter -16
Varianta 2 - tlak v oblasti ochranného pouzdra 12,45 MPa	20	Tahový charakter +8	Tlakový charakter -15

Tab. 1 Hodnoty napätosti pre tlakové výpočty v mieste nájdených indikácií

Tab. 1 Stress values for pressure calculations at the location of identified indications

-50 MPa. Výsledné obvodové napätie má ťahový charakter s maximálnou hodnotou v mieste indikácií približne +400 MPa.

Ďalšie možnosti aplikácie numerických simulácií v danej oblasti:

Zo správy [2] vyplývajú významné informácie o spôsobe namáhania a napätovom stave RK HCČ. Realizované analýzy potvrdzujú rovnaký dominantný mechanizmus namáhania, ktoré má najvýznamnejší vplyv na rozloženie a veľkosť napätí, zaťaženie od nerovnomerného rozloženia teplôt. Cieľom a účelom správy bolo uskutočniť pevnostnú napätostnú analýzu RK s nájdenými indikáciami, posúdiť vplyv indikácií. Tomuto cieľu bol prispôbený aj vytvorený numerický konečnoprvkový model RK, ktorý je uvažovaný pre daný účel ako rotačne symetrický s elastickým materiálovým modelom pre pevnostné posúdenie v zmysle metodiky NTD A.S.I. Sekcie III. Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER.

Ako ďalšiu možnosť numerických simulácií pre rozšírenie informácií o napätostnom stave RK HCČ, najmä oblasti stredového náboja, vidíme vo vytvorení komplexného 3D priestorového konečnoprvkového fyzikálneho modelu RK HCČ. Do analýz bolo potrebné zahrnúť reálny elasto-plastický materiálový model z uvažovaných materiálových vlastností. Treba však podotknúť, že takýto fyzikálny model RK HCČ je veľmi náročný jednak na výpočtový čas a jednak na hardverové požiadavky. Pri analýzach napätosti je však možné dosiahnuť presnejšie výsledky.

3. NUMERICKÉ SIMULÁCIE PRI ANALÝZE NAPÄTOSTI OD ZVÁRANIA

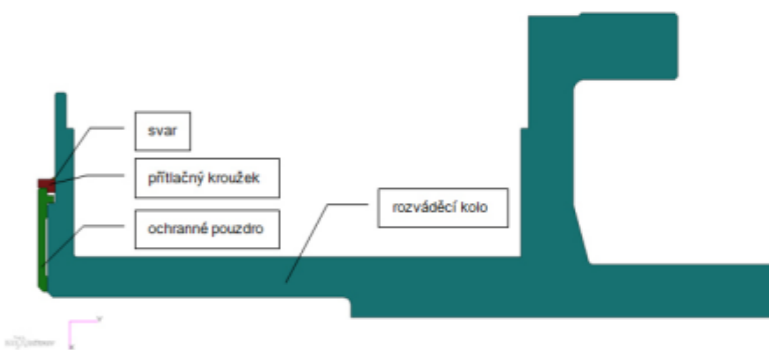
Aplikácia numerických simulácií pri analýze napätostného stavu od zvarovania slúži na stanovenie veľkosti reziduálnych (zvyškových) napätí a deformácií konštrukčnej časti od vplyvu teplotného rozloženia po zvaraní. V prípade analýzy RK HCČ sa riešila problematika numerickej simulácie procesu zvarovania prírubovej časti a stredového náboja. Numerické simulácie a analýzy zvyškovej napätosti boli spracované s využitím špeciálneho simulačného softvérového systému na báze metódy konečných prvkov ESI Visual Enviroment – VisualWeld®.

Uvádame stručný prehľad uskutočnenej numerickej simulácie procesu zvarovania venujúci sa privareniu stredového náboja RK HCČ a z nej vyplývajúcich záverov.

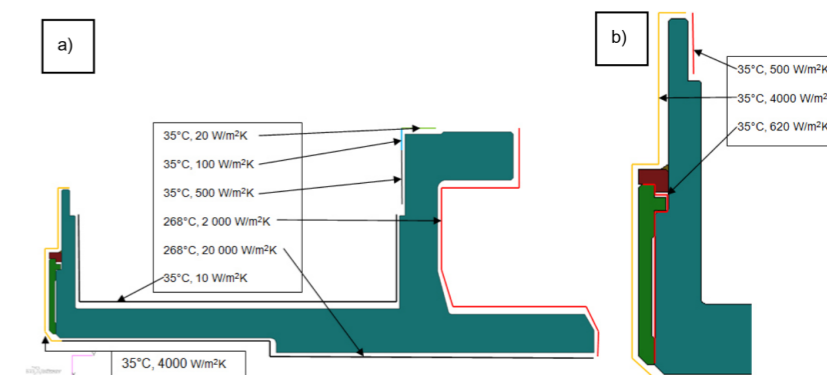
Hodnoty jsou uvedeny pro místo nalezených indikací	Tresca [MPa]	průměrné osově napětí v oblasti [MPa]	průměrné obvodové napětí v oblasti [MPa]
Zatížení nerovnomerné rozloženým polem	450	Tlakový charakter - 50	Tahový charakter + 400

Tab. 2 Hodnoty napätosti pre teplotný výpočet v mieste indikácií

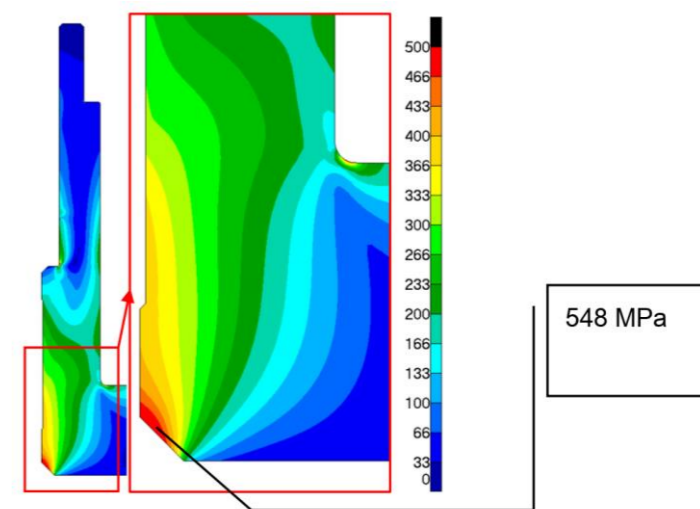
Tab. 2 Stress values for thermal calculation at the location of the indications



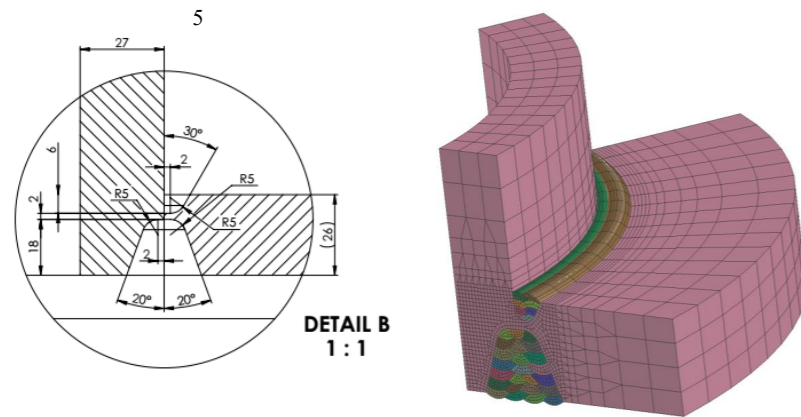
Obr. 2 Model RK, ochranného puzdra, prítlačného krúžku a zvaru
Fig. 2 Model of RK, protective casing, compression ring, and weld



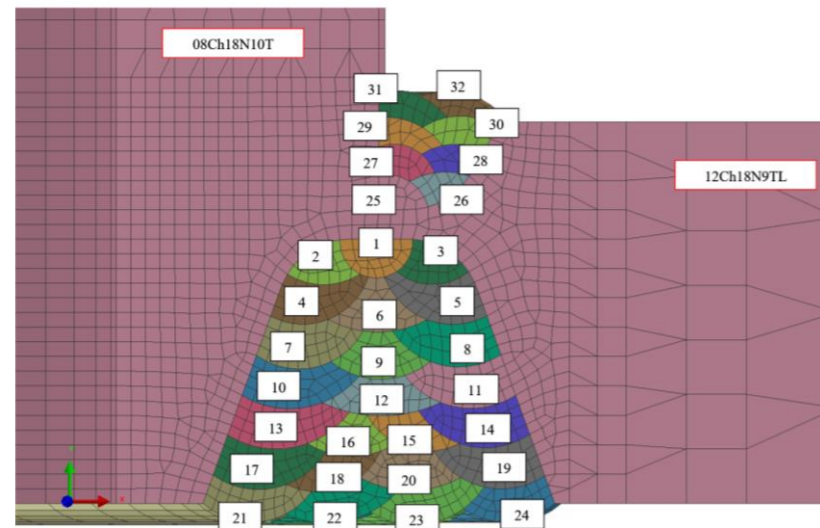
Obr. 3 Zobrazenie koeficientov prestupu tepla v jednotlivých častiach RK
Fig. 3 Display of heat transfer coefficients in individual parts of the RK



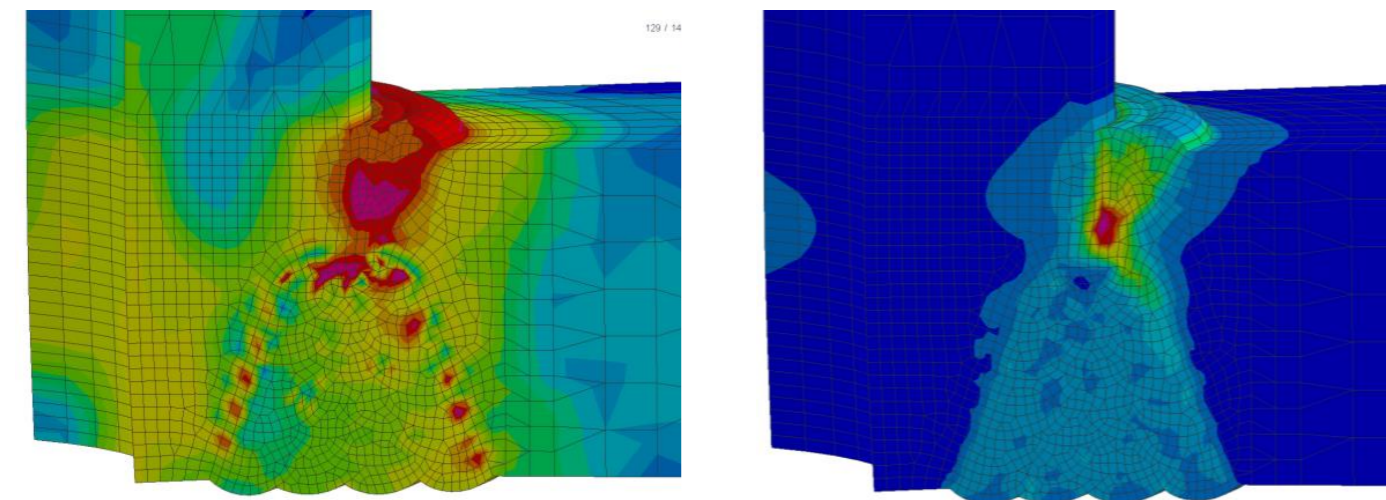
Obr. 4 Rozloženie redukovaného napätia Tresca
Fig. 4 Distribution of reduced stress Tresca



Obr. 5 Uvažovaný model, vľavo: detail zvarového spoja stredového náboja, vpravo: konečnoprvkový model detailu zvarového spoja stredového náboja
Fig. 5 Considered model, left: detail of the weld joint of the central hub, right: finite element model of the detail of the weld joint of the central hub



Obr. 6 Navrhnutý technologický postup kladenia zvarových húseníc
Fig. 6 Proposed technological process for laying welding hoses



Obr. 7 Výsledný napäťovo-deformačný stav (po ochladení), vľavo: priebeh napätí, vpravo: priebeh deformácií
Fig. 7 Resultant stress-strain state (after cooling), left: stress distribution, right: deformation distribution

Numerická simulácia procesu zvarovania VÚZ Bratislava [6]:

Predmetom uskutočnenej numerickej simulácie procesu zvarovania bola oblasť privarenia prírubovej časti a stredového náboja RK HCČ. Prehľad pojednáva len o privarení stredového náboja RK HCČ. Primárnym výstupom bol výpočet napäťovo-deformačného namáhania materiálu v mieste privarenia stredového náboja RK HCČ pri jeho oprave, vzhľadom na daný postup a technológiu zvarovania.

Konečnoprvkový fyzikálny model bol tvorený objemovými konečnými prvkami s celkovým počtom 27 608 quad/tria prvkov. Priestorový konečnoprvkový model zvarového spoja stredového náboja bol modelovaný ako rotačne symetrický segment s uhlom 60° s využitím podmienok symetrie. Bol uvažovaný základný materiál 08Ch18N10T a 12Ch18N9TL a pre prídavný materiál bol použitý zvarací drôt 316LSi. Na obr. 5 je zobrazený uvažovaný priestorový konečnoprvkový fyzikálny model privarenia stredového náboja.

Numerická simulácia procesu zvarovania vychádzala z navrhnutého technologického postupu a parametrov zvarovania. Tieto údaje slúžia ako vstupné parametre pre zadávanie okrajových podmienok simulujúcich teplotné zaťaženie, ktoré sú zadávané formou Guldakovho dvojelipsoidného modelu zdroja zvarovania.

Distribúcia teplôt v jednotlivých časových okamihoch určená pri termálnej analýze predstavuje základné zaťaženie pre výpočet zvyškových napätí a deformácií. Výsledné rozloženie zvyškových napätí a deformácií sa sledovalo pre stav po privarení a následnom ochladení príruby RK HCČ na teplotu okolia. Na hodnotenie sa použilo Von Misesovo kritérium (HMH) ekvivalentných napätí a deformácií.

Najväčšia kumulácia zvyškových ekvivalentných napätí po privarení stredového náboja RK HCČ a následným ochladením na teplotu okolia bola zistená



V dôsledku objemových transformácií dochádza pri zvarovaní k lokálnej plastizácii v malých objemoch a tým ku kumulácii plastických deformácií v materiáli.

v oblasti zvarového kovu 316LSi. Výsledné hodnoty napätia sa pohybovali v rozmedzí 384 až 462 MPa. Vypočítané hodnoty napätia na hranici základného materiálu 08Ch18N10T a zvarového kovu 316LSi boli v rozmedzí 234 až 320 MPa a hodnoty napätia na hranici základného materiálu 12Ch18N9TL a zvarového kovu 316LSi boli v rozmedzí 177 až 285 MPa.

V dôsledku objemových transformácií dochádza pri zvarovaní k lokálnej plastizácii v malých objemoch a tým ku kumulácii plastických deformácií v materiáli. Výsledné maximálne hodnoty deformácií boli dosiahnuté v koreňovej časti. Maximálna hodnota deformácie v prípade prírubového zvarového spoja bola 30 % a v oblasti zvarového spoja stredového náboja bola maximálna hodnota deformácie na úrovni 35 %.

Ďalšie možnosti aplikácie numerických simulácií v danej oblasti:

Z prehľadu publikácie [6] vyplývajú významné informácie o napäťovo-deformačnom stave RK HCČ od účinku zvarovania vzhľadom na daný postup a technológiu zvarovania (obr. 7). Numerická simulácia obsahuje teplotný a mechanický výpočet. Numerickou simuláciou sa zistilo rozloženie napätí a deformácií, resp. najviac namáhaných oblastí po zvarovaní. Vypočítané hodnoty ekvivalentných zvyškových napätí slúžia k ďalšiemu posúdeniu integrity opraveného RK HCČ. Na základe získaných výsledkov je možné ich použitie k predikcii životnosti RK HCČ pomocou lomovo-mechanickej analýzy porušenia koróziou pod napätím.

4. ZÁVER

Z realizovaných prezentovaných numerických simulácií venovaných problematike napäťovo-deformačného stavu telesa RK HCČ pomocou MKP vyplývajú široké možnosti ich uplatnenia a aplikácie. V rámci riešenia problematiky SCC na RK HCČ boli realizované numerické simulácie z oblasti štrukturálnych pevnostných simulácií a simulácií procesov zvarovania.

Možnosti využitia numerických simulácií sú aj v iných oblastiach, napr. numerické simulácie spôsobu obrábania povrchov, numerické simulácie z oblasti lomovej mechaniky pri stanovení súčiniteľov intenzity napätia a pod. Ich realizácia si však vyžaduje jednak rozsiahle odborné znalosti sledovanej problematiky a jednak zvládnutie špeciálnych simulačných softvérov (programových simulačných systémov na báze metódy konečných prvkov) určených pre danú oblasť.

RECENZENT: ING. MAREK SLOVÁČEK, PHD.

LITERATÚRA

- [1] Prevádzkové podmienky stredového náboja RK HCČ GCN-317. Podklad k výskumu a vývoju nových materiálov stredového náboja RK HCČ, odolnejších voči vplyvom prevádzkového zafarbenia. Č. dok. PRSHCČ/20100/2021/82, SE a.s., 2021
- [2] Analýza namáhání rozváděcího kola HCČ-317. č. dok. DITI 2300/677, ÚJV Řež, 2016
- [3] Napěťová analýza víka HCČ výpočet rozměru opracování pro odstranění existujících vad. Optimalizace hloubky a tvaru vybrošené drážky pro odstranění indikace nalezené na víku HCČ VVER 440. č. dok. DITI 2301/287, ÚJV Řež, 2013
- [4] Analýza rozváděcího kola HCČ. č. dok. DITI 2301/289, ÚJV Řež, 2013
- [5] Napěťová analýza opravy a lomovomechanická analýza integrity RK HCČ. č. ME 198/1, VÚZ Bratislava, 2016
- [6] BALÁŽ, M., Numerical Simulation of the Welding Process during the Main Circulation Pump Impeller Repair. In Materials Science Forum, Vol. 1082 (2023), pp 189-194. ISSN: 1662-9752 (ISBN print: 978-3-0364-0274-1)

Príspevok bol vypracovaný s podporou EFRR v rámci operačného programu Výskum a Inovácie, číslo projektu 313021W996 „Výskum korózie a korózneho praskania v tlakových systémoch primárneho okruhu jadrových elektrární“.

Paper was prepared with the support of the EFRR under the Operational Program Research and Innovation, project number 313021W996 „Research of corrosion and corrosion cracking in the pressure systems of the primary circuit of nuclear power plants“.

MATERIÁLOVÉ PODMIENKY KORÓZNEJ PRASKAVOSTI AUSTENITICKÝCH OCELÍ PREVÁDZKOVANÝCH V PRIMÁRNYCH OKRUHOCH JE

Marek Kudláč (MTF STU), Alena Košinová (VÚZ), Katarína Bárťová (MTF STU), Peter Brziak (VÚZ), Milan Baláž (VÚZ), Vladimír Magula (VÚZ), Bronislav Novák (VÚZ), Michal Kapušňák (VÚZ), Martin Kusý (MTF STU), Tomáš Vopát (MTF STU)

ABSTRAKT

Článok sa zaoberá vplyvom finálneho obrábania sústružením, na korózne praskanie pod napätím u austenitickej koróziivzdornej ocele 08Ch18N10T v prostredí primárneho okruhu jadrových elektrární. Na sledovanie korózneho praskania týchto ocelí sa využila technická norma ASTN G36. Vzorky boli počas piatich dní vystavené vriacemu roztoku chloridu horečnatého ($MgCl_2$), ktorý patrí medzi agresívne prostredia a spôsobuje vznik korózneho praskania u austenitických ocelí aj bez vonkajšieho zaťaženia (aj v prípade, že sa na povrchu nachádzajú zvyškové napätia po obrábaní). Po expozícii sa obrábaný povrch vzoriek vyhodnocoval pomocou stereomikroskopie, REM (riadkovaná elektrónová mikroskopia), EDX (energiovo disperzná röntgenová spektroskopía), kde sa sledoval a vyhodnocoval charakter a hustota trhlín. Pomocou REM sa hodnotila dĺžka/hĺbka trhlín a spôsobu ich šírenia smerom do vnútra materiálu.

ABSTRACT

The article deals with the effect of final machining, specifically turning, on stress corrosion cracking of austenitic stainless steel 08Ch18N10T in the environment of the primary circuit of nuclear power plants. The ASTN G36 technical norm was used to monitor the corrosion cracking of these steel. The samples were exposed for five days to a boiling solution of magnesium chloride ($MgCl_2$), which is one of the aggressive environments and causes corrosion cracking in austenitic steels even without an external load, if there are residual stresses on the surface after machining. After exposure, the machined surface of the samples was evaluated using stereomicroscopy, SEM, EDX, where the character and density of the cracks were observed and evaluated, and then metallographic sections and their observation under SEM were performed in order to evaluate the length/depth of the cracks and the way of their propagation towards the inside of the material.

ÚVOD

Kľúčové slová:

korózne praskanie pod napätím, primárny okruh, $MgCl_2$, obrábanie, trhliny

Korózne praskanie pod napätím („stress corrosion cracking“ – SCC) je jedným z dôležitých degradačných mechanizmov pre materiály v primárnom okruhu PWR JE. Medzi hlavné faktory ovplyvňujúce výskyt SCC patrí chemizmus vody, skúšobná teplota, stupeň a orientácia napätia, povrchové elektrochemické charakteristiky a scitlivenie. SCC sa prejavuje výrazne dlhou inkubačnou dobou iniciácie trhlín, nasledujúcou prvou etapou s pomalou rýchlosťou šírenia trhlín a druhou etapou, kedy sa výrazne zvyšuje rýchlosť šírenia trhlín. Zatiaľ čo sú k dispozícii rozsiahle údaje o rýchlosti rastu trhlín, existujú obmedzené poznatky o štádiu iniciácie trhlín, ktoré zostávajú posledným článkom na pochopenie SCC. Keďže práve iniciácia fáza je tým hlavným dejom, ktorý spúšťa celý proces SCC, je dôležité dávať do pozornosti výrobu a úpravu povrchu materiálu, ktoré majú

výrazný vplyv na SCC. Rôzne analýzy potvrdili, že na iniciáciu má výrazný vplyv povrchová deformácia a povrchové vlastnosti (drsnosť povrchu, prítomnosť zvyškových napätí...). Trhliny sa vždy iniciujú na opracovanom povrchu a následne sa šíria do vnútra materiálu.

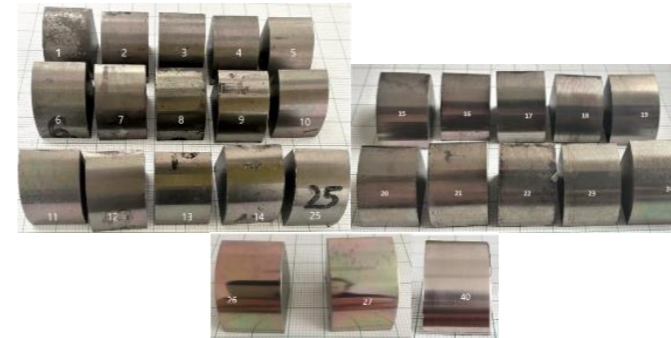
Povrchové defekty pochádzajúce z obrábania/brúsenia, môžu prispievať ku koncentrácii škodlivých iónov [1-3]. Deformačná vrstva na obrobenom povrchu má jemnozrnnú a deformovanú štruktúru. Ťahové zvyškové napätia, ktoré hrajú dôležitú úlohu pri iniciácii SCC, existujú aj v deformačnej vrstve. Okrem zvyškových napätí vznikajú pri obrábaní aj stopy po obrábaní – tie môžu zväčšovať mikroskopické napätia. Náchylnosť k praskaniu týchto obrábaných materiálov môže súvisieť so zvyškovým napätím a deformačnou vrstvou na povrchu. Plastická deformácia má za následok zníženie húževnatosti a zvýšenie tvrdosti. Po obrábaní jadrových komponentov nasledujú operácie povrchovej úpravy, po ktorých je veľmi náročné odstrániť deformovanú vrstvu [1-3].

EXPERIMENTY

Vzorky z austenitickej koróziivzdornej ocele 08Ch18N10T boli sústružené pri rôznych parametroch, pomocou vymeniteľných rezných platničiek (VRP) zo spekaného karbidu. Pri vzorke 25 bol použitý ako rezný materiál kubický nitrid bóru CBN. Vzorky 26 (nástroj AL Pozit Re 0.8) a 27 (nástroj Negat Re 0.8 Rn 50) boli dodatočne elektrolyticky leštené. Na vzorke 40 bol použitý špeciálny nástroj + hladiace sústruženie.

Rezné platničky (pozitívna a negatívna geometria) mali rôzne polomery zaoblenia hrotu r_c (0,4 mm a 0,8 mm), rôzne polomery zaoblenia hrany r_n (ostrá, 10 μm alebo 50 μm), taktiež sa menil posuv f (0,12 mm, 0,2 mm a 0,3 mm) a rýchlosť obrábania v_c (100 m.min⁻¹ a 250 m.min⁻¹ resp. 596 m.min⁻¹). Následne sa zmerala drsnosť R_a resp. R_z a mikrotvrdosť HV 0,1 tesne pod povrchom vzoriek.

Vzorky po obrábaní boli podrobené analýzám na hodnotenie korózne odolnosti podľa normy ASTM G36 v roztoku chloridu horečnatého ($MgCl_2$), pričom koncentrácia tohto roztoku bola cca 45,6 hm. %, teplota roztoku bola $155 \pm 1^\circ C$. Vzorky sa varili po dobu piatich dní [4]. Vriaci roztok $MgCl_2$ je známy ako najagresívnejšie médium pre koróziivzdorné ocele spôsobujúci korózne praskanie pod napätím. Austenitické



Obr. 1 Vzorky na analýzu po koróznych testoch
Fig. 1 Samples for analysis after corrosion tests

koróziivzdorné ocele v tomto roztoku podliehajú koróznemu praskaniu pod napätím, aj v prípade, že nie je prítomné vonkajšie zaťaženie (keď sú prítomné iba zvyškové napätia na povrchu ocele) [5]. Výhodou tohto testu je jeho jednoduchosť a výsledky sú viditeľné už za niekoľko desiatok minút. Ak nedôjde k poškodeniu alebo trhline, je veľká pravdepodobnosť, že nedôjde k poškodeniu ani v prevádzke. Ďalšou výhodou testu je, že vzorky môžu mať rôznu veľkosť a tvar [4]. Po uplynutí expozície sa kontroloval ich stav – povrchové vady, trhliny, bodová korózia a pod. pomocou stereo mikroskopu a elektrónovej mikroskopie.

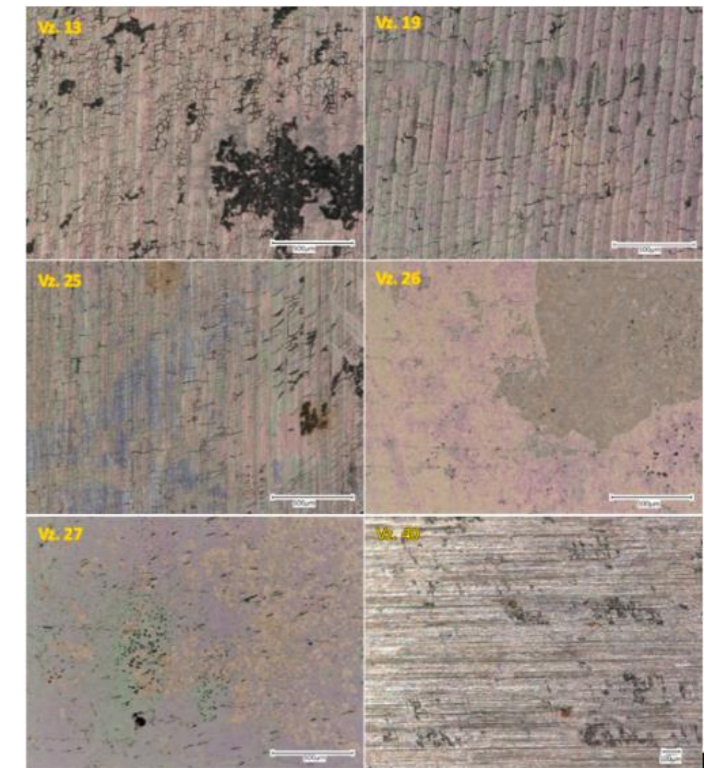
VÝSLEDKY

Pri vzájomnom porovnaní jednotlivých vzoriek po koróznom teste (obr. 1) je možné vidieť, že vzorka 1 má najvýraznejšie a najrozsiahlejšie sfarbenie povrchu. Podobné sfarbenie je vidieť na vzorkách 8 a 22. Vzorky 6, 10, 11, 16 až 20, 24 a 25 vyzerať byť najmenej napadnuté, resp. iným spôsobom poškodené.

Na vybraných vzorkách na obr. 2 je možné pozorovať po celom povrchu siete trhlín s rôznou orientáciou. Vzorky sa od seba líšia hustotou trhlín a ich veľkosťou. Najvýraznejšie (najhustejšie) sú trhliny v smere kolmom na smer obrábania, čo je možné pozorovať na vzorkách 19 alebo 25. Lokálne na vzorkách boli viditeľné okrem trhlín aj bodové korózne napadnutie (najvýraznejšie na vzorke č. 5, 6, 9, 10). Lokálne napadnutie koróziou boli pozorované najmä vo vnútri stopy (hlbšia stopa po obrábaní). Na vzorkách sa nachádzali oblasti s rozsiahlejším tmavým sfarbením povrchu (viď vzorka 1, obr. 2). Na povrchu vzoriek 26 a 27 (obrobené leštením) nie sú siete trhlín tak ako u ostatných vzoriek. Na povrchu je lokálne bodové korózne napadnutie, ktoré však nie je tak rozsiahle ako u ostatných vzoriek. Na vzorke 40 to bolo opäť prevažne lokálne bodové napadnutie.

Pri používaní nástroja s pozitívnou geometriou mali trhliny pavučinovú štruktúru (obr. 3). Pri vzorkách obrábaných nástrojom s negatívnou geometriou a použitím vyšších posuvov, príp. pri vzorke 25 a 40 mali trhliny usporiadanejšiu štruktúru, príp. boli kolmé na smer obrábania (vzorka 25 a 40).

Charakter trhlín a spôsob, akým sa šírili, bol transkryštalický (obr. 4). Transkryštalický charakter



Obr. 2 Sústružený povrch vzoriek po koróznom teste pozorovaný pomocou mikroskopu Keyence
Fig. 2 The turned surface of samples after the corrosion test observed with a Keyence microscope

trhlín je typický pre austenitické materiály, ktoré boli vystavené chloridovému médiu. Čo sa týka tvaru trhlín, tak u vzoriek, kde sa používal nástroj s pozitívnou geometriou, sa vyskytovali často rozvetvené a kratšie trhliny. U vzoriek s negatívnou geometriou sa vyskytovali najmä primárne vertikálne trhliny (hlavná vetva, ktorá obsahovala minimálne množstvo sekundárnych trhlín smerujúcich do strán).

Nameraná hustota trhlín mala určitý opakujúci sa charakter (obr. 5). Ukázalo sa, že hustota trhlín závisí od použitého nástroja na obrábanie, tak aj od parametrov obrábania. Na vzorkách obrobených na nástroji s Negat Re0.8 Rn50 (vzorky 19 až 24) bola nameraná najnižšia hustota trhlín a to na úrovni od cca. 52 mm⁻¹ po približne 59 mm⁻¹ a na nástroji AL pozit Re 0.4 (vzorka č. 6) bola nameraná najvyššia hustota trhlín 120 mm⁻¹. U prvej šiestice vzoriek bol viditeľný nárast hustoty spolu s narastajúcim posuvom, pričom pri nižšej rýchlosti (100 m.min⁻¹) bol viditeľný pokles v porovnaní s vyššou rýchlosťou (250 m.min⁻¹).

V prípade vzorky 1 (53,8 mm⁻¹ ± 7,9 mm⁻¹), 7 (63,1 mm⁻¹ ± 17,9 mm⁻¹) a 13 (64,2 mm⁻¹ ± 6,1 mm⁻¹) je viditeľná spojitosť – použité rovnaké parametre pri rozdielnych nástrojoch, pričom majú tieto vzorky najmenšie hustoty trhlín v porovnaní s jednotlivými šesticami vzoriek. Naopak u vzoriek 4 (104,2 mm⁻¹ ± 10,8 mm⁻¹), 10 (102,1 mm⁻¹ ± 13,3 mm⁻¹) a 16 (100,6 mm⁻¹ ± 9,9 mm⁻¹) sú vyššie hodnoty hustoty trhlín (opäť rovnaké parametre, rozdielne nástroje). Z vý-

VPLYV VYBRANÝCH PARAMETROV POVRCHOVÉHO OPRACOVANIA AUSTENITICKEJ OCELE 08CH18N10T NA MIKROŠTRUKTÚRNE ZMENY A NA JEJ NÁCHYLNOSŤ NA KORÓZNE PRASKANIE

Alena Košinová (VÚZ), Marek Kudláč (MTF STU), Katarína Bártová (MTF STU), Peter Brziak (VÚZ), Milan Baláz (VÚZ), Vladimír Magula (VÚZ), Bronislav Novák (VÚZ), Michal Kapusniák (VÚZ), Martin Kusý (MTF STU), Tomáš Vopát (MTF STU)

ABSTRAKT

Korózne praskanie pod napätím (SCC) je určujúcim degradačným mechanizmom z hľadiska zabezpečenia dlhodobej bezpečnej a ekonomickej prevádzky konštrukčných komponentov. Austenitické ocele, ktoré sa používajú v JE (Jadrové elektrárne), sú za predpokladu synergického spolupôsobenia viacerých faktorov v podmienkach prevádzky primárneho okruhu lokálne náchylné na SCC. Na vhodných podmienkach pre korózne praskanie sa najviac podieľajú špecifické podmienky v nerovnostiach na povrchu komponentu a predovšetkým nedostatky výrobného procesu (obrábania), ktoré spôsobujú neprimerane zvýšenú tvrdosť a vysokú úroveň zvyškových napätí v blízkosti povrchu v porovnaní s jadrom materiálu. Experimenty sa zamerali na proces trieskového obrábania (sústruženia) ocele 08Ch18N10T s cieľom získať optimálne parametre obrábania, ktoré zabezpečia zvýšenie odolnosti obrábaného povrchu voči koróznemu praskaniu. Sledované parametre boli geometria rezného nástroja, posuv a rezná rýchlosť.

ABSTRACT

Stress corrosion cracking (SCC) is a determining degradation mechanism in terms of ensuring long-term safe and economical operation of structural components. Austenitic steels used in nuclear power plants are locally susceptible to SCC under the assumption of synergistic interaction of several factors in the conditions of operation of the primary circuit. Suitable conditions for stress corrosion cracking (SCC) are mainly given by the specific conditions on the surface raggedness of the component, caused by deficiencies in the manufacturing process (machining), which cause disproportionately increased hardness and a high level of residual stresses near the surface area compared to the core of the material. The experiments focused on the chip machining (turning) process of 08Ch18N10T steel to obtain optimal machining parameters that will ensure increased resistance of the machined surface to stress corrosion cracking. The monitored parameters were: cutting tool geometry, feed and cutting speed.

ÚVOD

Kľúčové slová:

korózne praskanie pod napätím, primárny okruh, obrábanie, deformačné spevnenie

Rozhodujúcimi faktormi na vznik SCC je prítomnosť prídavného napätia a spevnenej mikroštruktúry v tenkej povrchovej vrstve plastickou deformáciou alebo spevnenie deformačne indukovanou transformáciou austenitu na martenzit. Viaceré štúdie odhalili, že opracovanie povrchu viedlo k deformácii vyvolanej martenzitovou transformáciou blízko povrchu. Prítomnosť martenzitu s vysokou hustotou viedla k vyššej citlivosti na SCC, pretože rýchlosť rozpúšťania martenzitu v koróznom prostredí bola oveľa vyššia ako rýchlosť rozpúšťania austenitu [1]. Dôležitosť

povrchovej deformácie a povrchových vlastností pre iniciáciu SCC skúmal aj Chang. a kol., ktorí analyzovali komponenty odstránené z varných vodných reaktorov. Výsledkom bolo zistenie, že trhliny sa vždy iniciujú na pracovne spevnenom povrchu a následne sa šíria do substrátu. Povrchové defekty pochádzajúce z obrábania a brúsenia (drážky z obrábania/brúsenia), môžu prispievať ku koncentrácii škodlivých iónov [2]. Príprava povrchu teda hrá významnú úlohu pri nukleácii koróznych jamiek prostredníctvom kombinovaných alebo nezávislých účinkov.

Trieskovým obrábaním dochádza k výraznej plastickej deformácii, čo spôsobuje vznik povrchových napätí, ktorých orientácia (tlak, resp. ťah) a úroveň je priamo závislá od parametrov. Experimentálny program sa zamerával na proces trieskového obrábania ocele 08Ch18N10T, ktorý má modifikovať celkový stav kritickej povrchovej vrstvy tak, aby bolo možné posúdiť významnosť jednotlivých parametrov a prípadne určiť veľkosť ich príspevku pri vzniku korózných trhlín. Ocel 08Ch18N10T sa v súčasných podmienkach používa v primárnom okruhu JE EBO/EMO.

EXPERIMENT

V rámci experimentu sa v prvej fáze vyrobilo 24 vzoriek pre porovnanie vplyvu parametrov obrábania na stav povrchu vzoriek a určenia optimálneho finálneho procesu obrábania pri výrobe RK HCČ z pohľadu stavu napätosti, nukleácie koróznych jamiek a trhlín.

Vzorky boli vyrobené s rôznymi drsnosťami obrobeneho povrchu a rôznymi hodnotami mikrotvrdosti povrchovej (deformačne spevnenej) vrstvy. Na výrobu vzoriek sa použila austenitická koróziivzdorná ocel označená podľa normy STN 17 248 (ekvivalent EN ISO X8CrNiTi18-10, W.Nr. 1.4878, AISI 321). Chemické zloženie materiálu a smerné chemické zloženie ocelí, ktoré sa používajú na výrobu rozvádzacích kolies v JE (RK HCČ) je uvedené v tab. 1. Dodatočne boli vyhotovené ďalšie 4 vzorky s cieľom vytvoriť extrémne podmienky a porovnať výsledky so vzorkami 1-24. Pri výrobe vzorky č. 25 bol použitý nástroj z CBN a vysoká rezná rýchlosť 596 m.min⁻¹. Rezné parametre obrábania vzorky č. 26 sú totožné so vzorkou č. 7 a vzorka č. 27 ich má totožné so vzorkou č. 19. Následne boli obe sústružené vzorky (26, 27) navyše leštené

plazmovým výbojom v elektrolyte. Vzorka č. 40 bola pri dokončovaní povrchu sústružená niekoľkými hladiacimi drážkami, aby sa povrch dokázal čo najviac deformačne spevniť.

Finálne opracované vzorky – valčeky určené na experimentálne analýzy sú dokumentované na obr. 1. Vzorky po finálnom opracovaní boli pripravené na metalografické vyhodnotenie. Na jednotlivých vzorkách sa sledovala drsnosť a na priečnom reze tvrdosť a hrúbka oblasti s deformačne spevnenou vrstvou. Na hodnotenie tvrdosti tesne pri povrchu sa použila skúška tvrdosti podľa Vickersa (HV0,1), pričom zaťaženie bolo 0,98 N. Tvrdosť sa merala na priečných rezoch, pričom valčeky boli umiestnené tesne pod povrchom (obr. 2).

Mikroštruktúra vzoriek je tvorená polyedrickými zrnami austenitu, v ktorých sú žihacie dvojčatá. Pri povrchu vzoriek bola pozorovaná zvýšená hustota deformačných dvojčiat. Na povrchu sústružených vzoriek neboli pozorované trhliny.

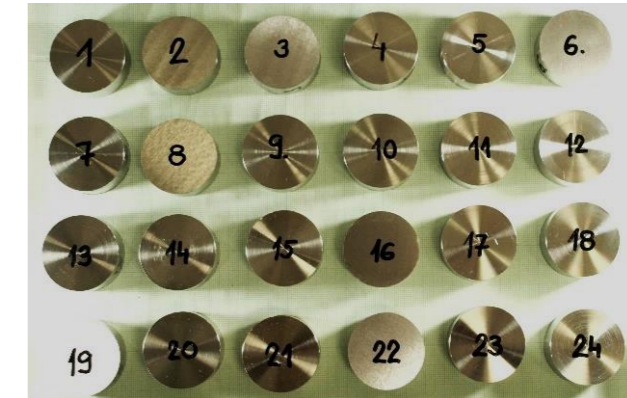
Najvyššie hodnoty hrúbky deformovanej oblasti (130-200 μm) boli namerané na vzorkách č. 1 až č. 6, t. j. pri vzorkách sústružených s nástrojom Pozit Re 0.4 AL (obr. 3). Pri sústružení vzoriek č. 7 až č. 12 s nástrojom Pozit Re 0.8 AL boli namerané hrúbky menšie (60-100 μm) (obr. 4, výsledky meraní sú sumarizované v tab. 2). Pri nástroji Negat Re 0.8 Rn10 boli v rozmedzí 30-90 μm (obr. 5), pričom pri nástroji Negat Re 0.8 Rn 50 boli namerané hodnoty 55-70 μm (obr. 6).

Najnižšie hodnoty tvrdosti boli namerané pri sústružení s pozitívnu geometriou nástroja (Pozit Re 0.4 AL), kedy sa hodnoty tvrdosti HV 0,1 pohybovali v rozmedzí 255-296. Naopak vyššie hodnoty tvrdosti boli namerané na vzorkách, ktoré boli sústružené s negatívnou geometriou nástroja (v rozmedzí 263-336 HV0,1). Výsledky meraní sú sumarizované v tab. 2.

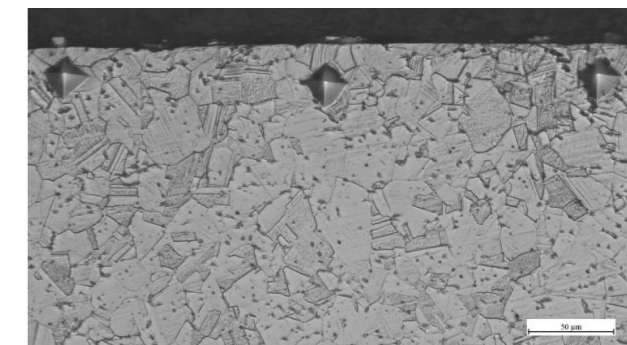
Na vzorkách č. 25 (345 HV0,1) a 40 (371 HV0,1) boli namerané aj najvyššie hodnoty tvrdosti. Pri porovnaní parametrov obrábania jednotlivých vzoriek, na vzorke č. 25 bol výrazný rozdiel v použitej reznej rýchlosti - 596 m.min⁻¹, čo je niekoľkonásobne vyššia oproti reznej rýchlosti použitej pri výrobe ostatných experimentálnych vzoriek. To poukazuje na možnosť, že rezná rýchlosť môže mať výrazný vplyv na vznik deformovaných zrn. Grafické porovnanie jednotlivých experimentálnych výsledkov je zobrazené na obr. 7 a obr. 8.

Značka ocele / norma	Prvky (%)								
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	Ti	S	P
materiál vzoriek	0,064	0,83	1,44	0,66	17,5	9,89	0,47	0,025	0,026
12Ch18N9TL GOST 977-88	≤0,12	0,2+1,0	1,0+2,0	-	17,0+20,0	8,0+11,0	≥5xC ≤0,70	≤0,030	≤0,035
08Ch18N10T GOST 5632-72	≤0,08	≤0,8	≤2,0	-	17,0+19,0	9,0+11,0	≥5xC ≤0,70	≤0,020	≤0,035

Tab. 1 Chemické zloženie obrábaného materiálu a smerodajné chemické zloženie oceli použitých na výrobu RK HCČ
Tab. 1 Chemical composition of machined material and chemical composition of steels used to produce RK HCČ



Obr. 1 Final processed samples - rollers intended for experimental analyses



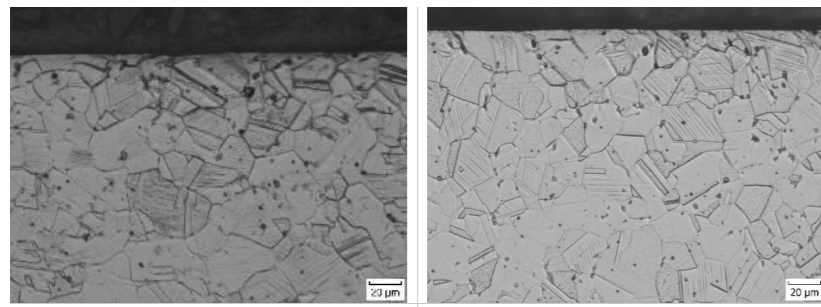
Obr. 2 Miesta merania mikrotvrdosti tesne pod povrch vzorky

Fig. 2 Microhardness measurement just below sample surface

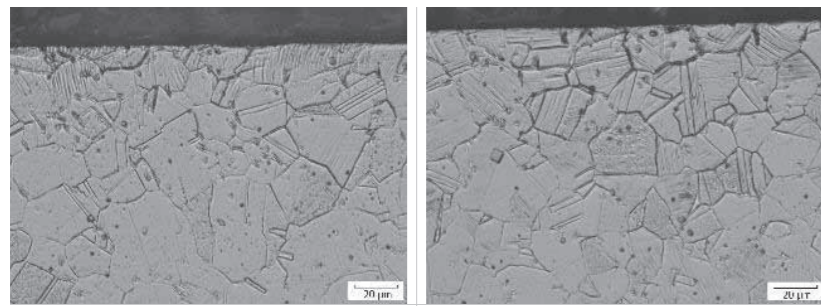
Vzorka č.	Nástroj	Posuv f (mm)	Vc (m.min ⁻¹)	Drsnosť R _a	Drsnosť R _z	Hrúbka oblasti s deformáciou (μm)	HV 0,1
1	AL pozit Re 0.4	0,12	100	1,429	6,420	150	282,7 ± 14,3
2	AL pozit Re 0.4	0,12	250	1,377	6,106	150	296,4 ± 16,4
3	AL pozit Re 0.4	0,2	100	2,661	11,936	200	277,8 ± 25,6
4	AL pozit Re 0.4	0,2	250	2,879	12,857	185	277,5 ± 17,9
5	AL pozit Re 0.4	0,3	100	7,151	29,875	150	289,5 ± 15,4
6	AL pozit Re 0.4	0,3	250	7,062	29,989	130	255,6 ± 10,8
7	AL Pozit Re 0.8	0,12	100	0,708	3,982	60	297,5 ± 20,3
8	AL Pozit Re 0.8	0,12	250	0,499	2,841	100	293,9 ± 15,3
9	AL Pozit Re 0.8	0,2	100	1,655	7,281	70	313,2 ± 19,6
10	AL Pozit Re 0.8	0,2	250	1,663	7,109	80	304,5 ± 23,1
11	AL Pozit Re 0.8	0,3	100	3,765	15,493	85	319,5 ± 8,3
12	AL Pozit Re 0.8	0,3	250	3,697	15,904	80	275,1 ± 16,2
13	Negat Re 0.8 Rn 10	0,12	100	0,598	2,825	55	327,6 ± 31,0
14	Negat Re 0.8 Rn 10	0,12	250	0,588	2,799	60	293,6 ± 10,3
15	Negat Re 0.8 Rn 10	0,2	100	1,498	6,314	30	262,8 ± 11,1
16	Negat Re 0.8 Rn 10	0,2	250	1,513	6,244	50	326,1 ± 16,7
17	Negat Re 0.8 Rn 10	0,3	100	3,034	11,478	90	310,3 ± 23,6
18	Negat Re 0.8 Rn 10	0,3	250	3,035	11,152	55	336,3 ± 16,0
19	Negat Re 0.8 Rn 50	0,12	100	0,687	3,212	65	324,5 ± 9,3
20	Negat Re 0.8 Rn 50	0,12	250	0,648	2,741	70	328,7 ± 16,7
21	Negat Re 0.8 Rn 50	0,2	100	1,306	5,425	55	318,2 ± 6,2
22	Negat Re 0.8 Rn 50	0,2	250	1,325	5,427	70	327,1 ± 10,4
23	Negat Re 0.8 Rn 50	0,3	100	2,599	10,411	65	333,4 ± 5,5
24	Negat Re 0.8 Rn 50	0,3	250	2,647	10,703	55	334,7 ± 9,6
25	Excel CBN	0,12	596	0,219	1,646	70	347,7 ± 4,1
26	AL Pozit Re 0.8 + leštenie plazmovým výbojom	0,12	100	0,176	1,730	75	286,5 ± 10,9
27	Negat Re 0.8 Rn 50 + leštenie plazmovým výbojom	0,12	100	0,185	1,246	85	317,7 ± 11,0
40	Špeciálny nástroj + hladiace sústruženie	-	-	0,783	3,987	100	370,7 ± 13,5

Tab. 2 Použité rezné parametre a namerané hodnoty drsnosti, hrúbky deformovanej oblasti a HV 0,1

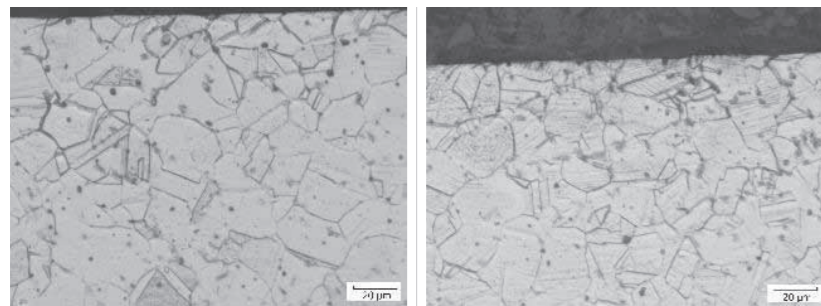
Tab. 2 Used cutting parameters and measured values of roughness, thickness of the deformed area and HV 0,1



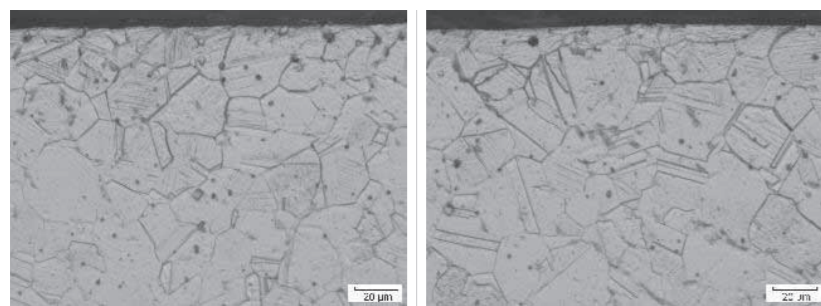
Obr. 3 Mikroskopická analýza vzoriek (na obrábanie bol použitý nástroj AL pozit Re 0.4)
Fig. 3 Microscopic analysis of samples (AL posit Re 0.4 tool was used for machining)



Obr. 4 Mikroskopická analýza vzoriek (na obrábanie bol použitý nástroj AL pozit Re 0.8)
Fig. 4 Microscopic analysis of samples (AL posit Re 0.8 tool was used for machining)



Obr. 5 Mikroskopická analýza vzoriek (na obrábanie bol použitý nástroj Negat Re0.8 Rn 10)
Fig. 5 Microscopic analysis of samples 13 to 18 (Negat Re0.8 Rn 10 tool was used for machining)



Obr. 6 Mikroskopická analýza vzoriek (na obrábanie bol použitý nástroj Negat Re0.8 Rn 50)
Fig. 6 Microscopic analysis of samples (Negat Re0.8 Rn 50 tool was used for machining)



Rezná rýchlosť môže mať výrazný vplyv na vznik deformovaných zŕn.

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov a literárnych zdrojov je zrejmé, že samotné finálne obrábanie môže zmeniť integritu povrchu materiálu a to vrátane morfológie povrchu, mikroštruktúry, deformácie mikroštruktúry, resp. na povrchu vznikajú zvyškové napätia. Je teda zrejmé, že v povrchovej vrstve dochádza k významným zmenám štruktúry matrice, ktorá má byť chránená voči korózii oxidickou vrstvou.

Najvýraznejší vplyv na stav vzoriek po obrábaní má parameter použitého rezného nástroja, kde pri použití nástroja s Pozit Re deformovaná vrstva zasahuje hlbšie do materiálu (60-200 μm) ako pri použití nástroja s Negat Re (55-90 μm).

Najnižšie hodnoty tvrdosti boli namerané pri sústružení s pozitívnou geometriou nástroja. Ďalším parametrom, ktorý má výrazný vplyv na vznik deformovaných zŕn, je rezná rýchlosť, kde sa dá predpokladať, že čím vyššia rezná rýchlosť – tým vyššia hustota deformovaných zŕn.

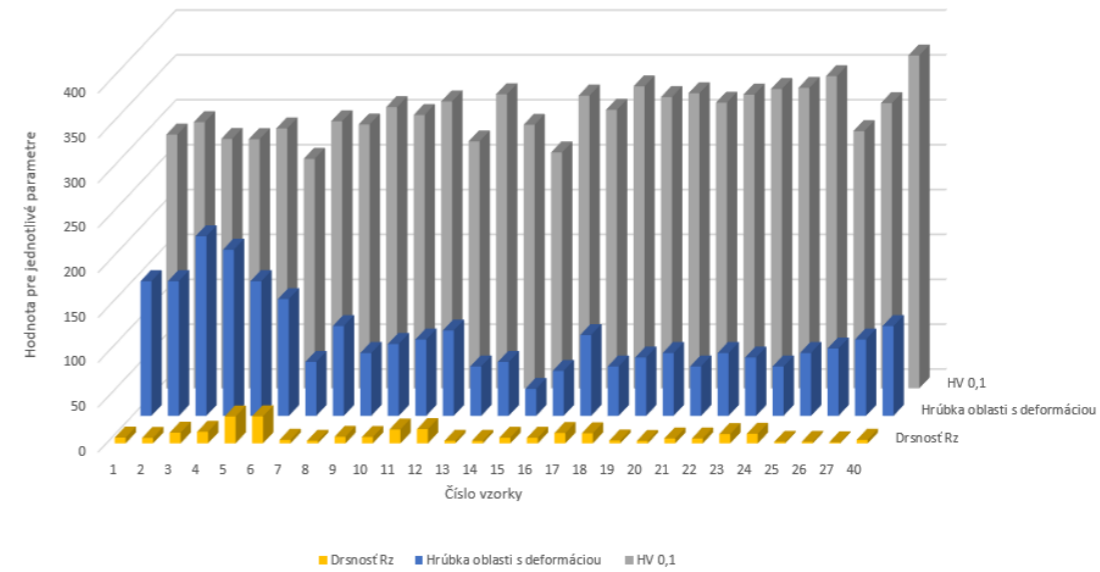
RECENZENT: ING. MARIANNA BALÁŽOVÁ, PHD.

Príspevok bol vypracovaný s podporou EFRR v rámci operačného programu Výskum a Inovácie, číslo projektu 313021W996 „Výskum korózie a korózneho praskania v tlakových systémoch primárneho okruhu jadrových elektrární“.

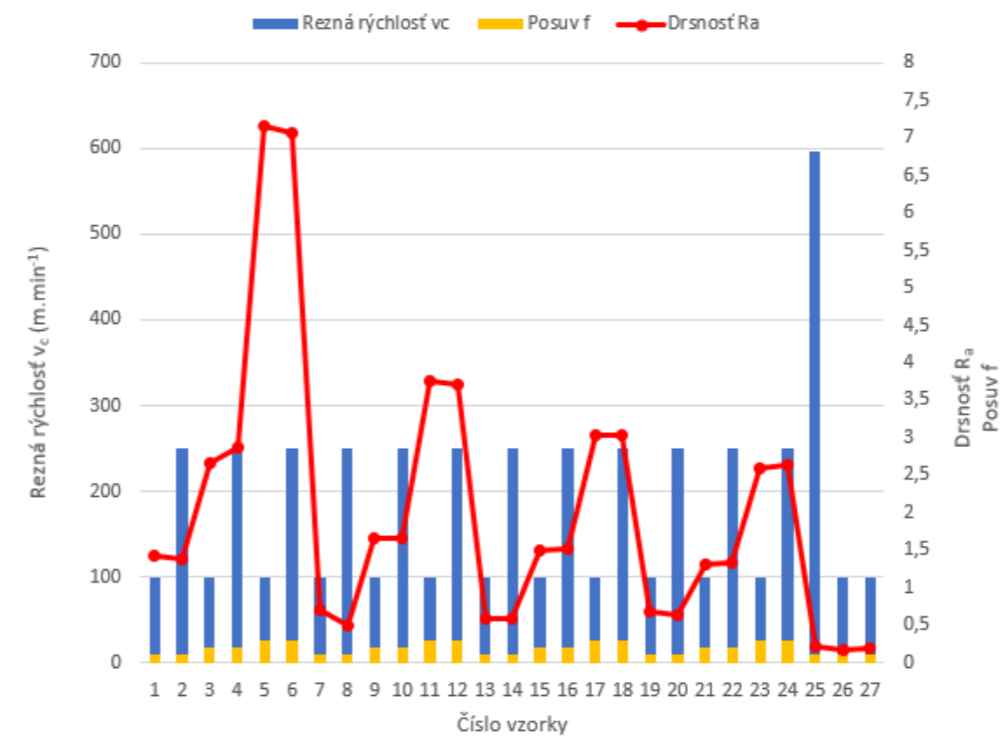
Paper was prepared with the support of the EFRR under the Operational Program Research and Innovation, project number 313021W996 „Research of corrosion and corrosion cracking in the pressure systems of the primary circuit of nuclear power plants“.

LITERATÚRA:

[1] Zhang a kol., Investigation of Stress Corrosion Cracking Initiation in Machined 304 Austenitic Stainless Steel in Magnesium Chloride Environment, Journal of Materials Engineering and Performance volume 29, pages191–204 (2020)
[2] AALTONEN, P. – HANNINEN, H. 1997. WATER CHEMISTRY AND BEHAVIOUR OF MATERIALS IN PWRs AND BWRs. In Design approaches for heating reactors: Report of an Advisory Group meeting held in Beijing, China, 6-10 June 1994. Viedeň: IAEA, s. 205-222



Obr. 7 Stĺpcový graf drsnosti Rz, hrúbky oblasti s deformáciou a HV 0,1 pre vzorky 1 až 40
Fig. 7 Bar graph of roughness Rz, thickness area with deformation and HV 0.1 for samples 1 to 40



Obr. 8 Kombinovaný graf drsnosti Ra, hrúbky oblasti s deformáciou a HV 0,1 pre vzorky 1 až 27
Fig. 8 Combined graph of roughness Ra, area thickness with deformation and HV 0.1 for samples 1 to 27



Najvýraznejší vplyv na stav vzoriek po obrábaní má parameter použitého rezného nástroja, kde pri použití nástroja s Pozit Re deformovaná vrstva zasahuje hlbšie do materiálu (60-200 μm) ako pri použití nástroja s Negat Re (55-90 μm).

MIKROŠTRUKTÚRNE ZMENY AUSTENITICKEJ KORÓZIIVZDORNEJ OCELE 08CH18N10T V DÔSLEDKU POVRCHOVÉHO OPRACOVANIA A JEJ NÁCHYLNOSŤ NA KORÓZNE PRASKANIE

Ján Borák^{1a}, Jozef Haršány^{1b}, Vladimír Jurčo^{1c}, Tomáš Kicka^{1d}, Imrich Krajmer^{1e}, Miroslav Lipár^{1f}, Vladimír Remiáš^{1g}, Tomáš Szabo^{1h}, Luboš Vereš¹ⁱ, Jana Weisová^{1j}

¹Science and Research Centre Ltd, Kalná nad Hronom, Mochovce 6, Slovakia

ABSTRAKT

Výskumný vedecký článok je zameraný na štúdium a analýzu problematiky austenitických koróziivzdorných ocelí z hľadiska korózie, resp. korózneho praskania na základe mikroštruktúrnych zmien v dôsledku povrchového opracovania. V teoretickej časti je rozpracovaná problematika, ktorá rieši jeden z hlavných problémov pri austenitických koróziivzdorných oceliach a to „scitlivenie“, ktoré precipitáciou sekundárnych fáz bohatých na chróm – karbid $M_{23}C_6$ ochudobňuje oblasti o chróm, čo má za následok zníženie jeho obsahu pod hranicu pasivácie a vznik náchylnosti na medzikryštalickú koróziu a koróziu pod napätím. Vedecký článok analyzuje okrem iného stav povrchu ocelí vystavených koróznemu prostrediu a iniciáciu trhlin v jeho dôsledku, vplyv obrábania na povrchovú oblasť a plastickú deformáciu, resp. deformačnú textúru. V kontraste ocel' – prostredie je cieľom tejto práce preskúmať koróziu pod napätím a jej vývoj ako funkciu meniacich sa spôsobov opracovania povrchu a ich vplyvov na zmeny mikroštruktúry v povrchovej vrstve.

V rámci experimentálnej časti sa študovala najmä povrchová oblasť po jednotlivých finálnych spôsoboch obrábania pomocou svetelného mikroskopu. Experimentálne práce boli navrhnuté tak, aby z daného výstupu bolo možné zistiť, ktorý postup obrábania povrchu čo najmenej ovplyvňoval mikroštruktúru a spôsoboval zmeny v jej charaktere. Zo získaných výsledkov budeme schopní interpretovať, ktoré povrchy boli najmenej náchylné na korózne praskanie a ktoré – naopak – vytvárali najvhodnejšie podmienky na vznik náchylnosti ku koróznemu praskaniu.

ABSTRACT

The scientific article deals with the study and analysis of the problem of austenitic corrosion resistant steels from the point of view of corrosion or corrosion cracking due to microstructural changes caused by surface treatment. In the theoretical part, one of the main problems in austenitic corrosion resistant steels is elaborated, namely the „sensitization“, which, due to the precipitation of secondary phases rich in chromium carbide $M_{23}C_6$, depletes areas with chromium, causing the chromium content to fall below the passivation limit and creating a susceptibility to intergranular corrosion and live corrosion. The scientific article analyses, among other things, the state of the surface of steels exposed to the corrosion environment and the resulting cracking, the effects of machining on the surface and the plastic deformation/deformation texture. In contrast to steel – environment, the aim of this work is to study the living corrosion and its evolution depending on changing surface treatment patterns and their effects on changes of microstructure in the surface layer.

In this section of the experimental part, the surface was studied mainly after each finishing method using a light microscope. The experimental work was designed in such a way that it was possible to find out, based on the given result, which surface finishing method affects the microstructure the least

and causes changes in its character. Based on the obtained results, we can interpret which surfaces were least susceptible to corrosion cracking and which, on the contrary, created the most suitable conditions for the development of susceptibility to corrosion.

Key words:

korózia, ocel', mikroštruktúrna analýza / mikroštruktúra, metalografia

ÚVOD

Problematika korózie pod napätím (Stress Corrosion Cracking – SCC) bola v austenitických koróziivzdorných oceliach (AKO) študovaná podstatne častejšie ako v akejkoľvek inej zliatine [1-4]. Najčastejšie je SCC spojená s problémom scitlivenia AKO. Scitlivenie je spôsobené najmä precipitáciou sekundárnych fáz bohatých na chróm, ako je napr. karbid $M_{23}C_6$. Precipitáciou týchto fáz nastáva ochudobnenie oblastí o chróm a zníženie jeho obsahu pod hranicu pasivácie [5]. Tieto lokálne zmeny – najčastejšie ide o hranice zrn austenitu, spôsobujú scitlivenie ocele a jej náchylnosť na medzikryštalickú koróziu (MKK) a koróziu pod napätím (SCC). Jedným zo spôsobov zvyšovania korózneho odporu AKO bol vývoj ocelí so zníženým obsahom uhlíka, čo malo zamedziť k precipitácii karbidu $M_{23}C_6$ a scitliveniu ocelí, napr. ocele typu AISI 316L alebo AISI 304L [6-9]. Avšak za posledných niekoľko rokov sa objavili prípady SCC v AKO v nescitlivenom stave, t.j. nebola pozorovaná precipitácia sekundárnych fáz, ktorá by spôsobovala tvorbu ochudobnených zón o chróm.

Bolo zistené, že stav povrchu ocelí, ktorý je vystavený koróznemu prostrediu môže zohrávať zásadnú úlohu pri iniciácii trhlin. Obrábanie je obvykle poslednou operáciou výroby a v povrchovej oblasti môže spôsobovať vznik pomerne veľkých plastických deformácií, ktoré môžu viesť k vzniku deformačnej textúry, resp. tvorbe deformačne indukovaného martenzitu,

lokálnemu nárastu tvrdosti a zvyškových ťahových napätí [10-14]. Všetky vyššie uvedené vplyvy by mali určite ovplyvniť iniciáciu korózneho praskania pod napätím v systéme ocel'/prostredie.

SCC v prípade AKO takmer vždy začína z už existujúcej korózneho jamky a je do značnej miery riadená koncentráciou chloridových iónov, teplotou a časom prevádzky. Príprava povrchu hrá významnú úlohu pri nukleácii korózných jamiek prostredníctvom kombinovaných alebo nezávislých účinkov: (i) geometrie spojenej s drsnosťou povrchu a (ii) vplyvu drsnosti na chémiu povrchu. Bolo zistené, že metastabilné jamky ľahšie iniciujú na drsnejších povrchoch najmä z hľadiska väčšieho počtu miest, ktoré sú k dispozícii na výskyt takýchto jamiek. Na druhej strane však metastabilné jamky majú vyššiu pravdepodobnosť premeny na stabilné jamky na hladkých povrchoch, pretože vyššia rýchlosť difúzie má tendenciu zabrániť opätovnej pasivácii. Je to preto, že v mnohých prípadoch sa ukázalo, že existencia prekursorov (t.j. metastabilných jamiek) závisí od udržania účinnej difúznej bariéry tvorenej soľnými filmami [15]. Autori [16] kvalitatívne preukázali pomocou potenciostatistických a potenciodynamických skúšok, že odolnosť proti tvorbe jamiek má tendenciu narastať so zvyšujúcou sa drsnosťou povrchu.

Cieľom tejto práce je preto preskúmať, ako sa SCC vyvíja ako funkcia meniacich sa spôsobov opracovania povrchu: sústruženie, brúsenie a leštenie ocele 08CH18N10T a ich vplyvov na zmeny mikroštruktúry v povrchovej vrstve.

EXPERIMENTY

Analýzované vzorky boli pripravené z austenitickej koróziivzdornej ocele 08CH18N10T s chemickým zložením uvedeným v **tab.1**.

Experimentálne vzorky boli odrezané z dodaných segmentov rozmerov 20 x 10 x 120 mm. Segmenty mali jednu plochu sústruženú parametrami obrábania, ktoré sú zhodné s výrobou rozvážacích kolies. Z týchto segmentov sa následne narezali vzorky s rozmermi 20 x 10 x 20 mm, na ktorých sa aplikoval proces mechanického leštenia a brúsenia s dosiahnutou drsnosťou $R_a=0,080$ a $R_a=0,065$. **Tab. 2** sumarizuje označenie jednotlivých analyzovaných vzoriek.

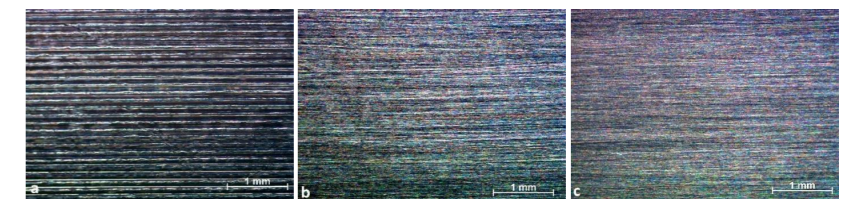
Na mikroštruktúrnú analýzu boli metalograficky pripravené priečne rezy jednotlivých vzoriek pred koróznym testom ASTM G48 a po aplikácii korózneho testu. Metalografická príprava pozostávala z mechanického brúsenia na sade brúsnych papierov s odstupňovanou zrnitosťou, mechanického leštenia na plstených kotúčoch diamantovými suspenziami 9 a 3 μm . Finálne mechanicko-chemické leštenie sa realizovalo na zariadení Vibromet spoločnosti Buehler suspenziou MasterPro 0,05 μm Al_2O_3 . Mikroštruktúrna analýza bola zameraná najmä na povrchovú oblasť po jednotlivých finálnych spôsoboch obrábania. Na pozorovanie pomocou svetelného mikroskopu (SM) sa použil NEOPHOT 32 vybavený CCD kamerou.

ocel'	chemické zloženie (hm.%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Fe
08CH18N10T	max. 0,08	max. 0,75	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,03	17-19	9-12	min. 5x(C+N)	zvyšok

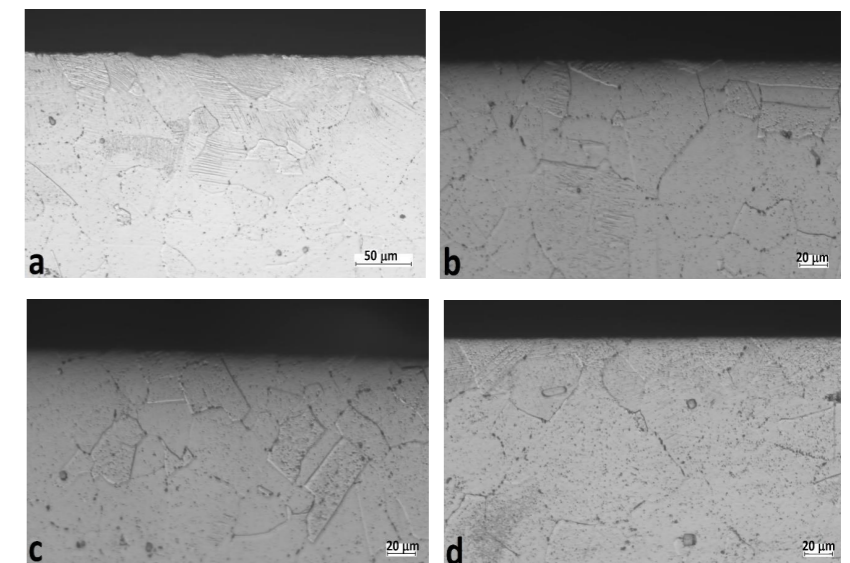
Tab. 1 Smerné chemické zloženie experimentálnej ocele
Tab. 1 Specific chemical composition of experimental steel

Označenie segmentu	Sústružená vzorka $R_a=1,250$	Vzorka po brúsení s drsnosťou $R_a=0,080$	Vzorka po brúsení s drsnosťou $R_a=0,065$	Leštená vzorka $R_a=0,021$
212	212-1	212-2	212-3	212-4
214	214-1	214-2	214-3	214-4

Tab. 2 Označenie a charakterizácia analyzovaných vzoriek
Tab. 2 Marking and characterization of the analyzed samples



Obr. 1 Povrch segmentu 212 po procese obrábania: a) 212-1 sústružená plocha, b) 212-2 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a = 0,080$, c) 212-3 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a = 0,065$
Fig. 1 Surface of segment 212 after machining process: a) 212-1 turned surface, b) 212-2 mechanically ground surface with roughness $R_a = 0,080$, c) 212-3 mechanically ground surface with roughness $R_a = 0,065$



Obr. 2 Mikroštruktúra v blízkosti povrchu segmentu 214 po procese obrábania: a) 214-1 sústružená plocha, b) 214-2 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a = 0,080$, c) 214-3 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a = 0,065$, d) 214-4 leštená plocha
Fig. 2 Microstructure near the surface of segment 214 after the machining process: a) 214-1 turned surface, b) 214-2 mechanically ground surface with roughness $R_a = 0,080$, c) 214-3 mechanically ground surface with roughness $R_a = 0,065$, d) 214-4 polished area

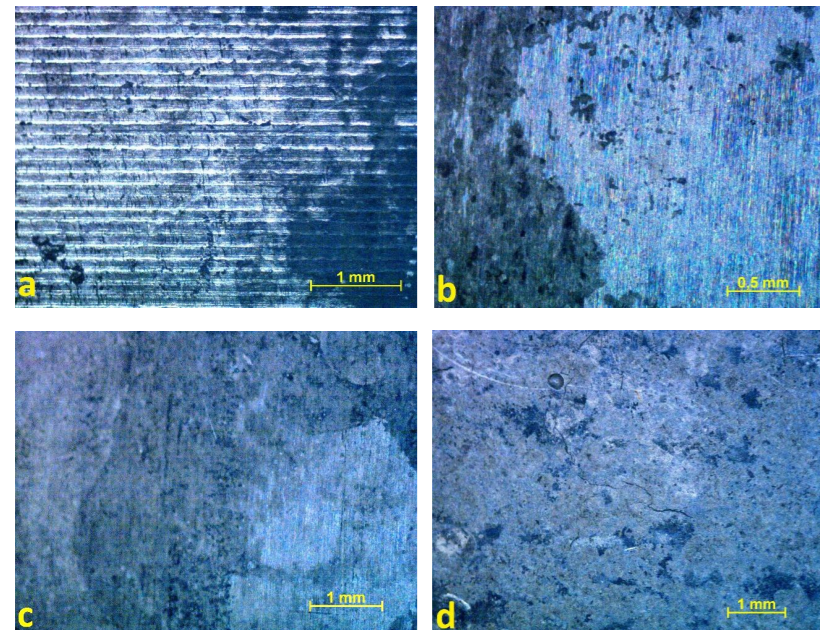
Obrázky boli spracované softvérom ZEN a Image J. Koróznym testom ASTM G36 bol aplikovaný vo vriacom roztoku chloridu horečnatého, ktorý hodnotí náchylnosť ocelí na korózne praskanie.

Experimenty boli rozšírené o meranie mikrotvrdosti pomocou Vickersovej metódy (HVO,05), ktoré sa realizovali v blízkosti obrábaného povrchu jednotlivých vzoriek pri zaťažení 100 g s dobou merania 15 s.

segment	základný materiál	HV 0,05			
		sústružená plocha	brúsená plocha 1	brúsená plocha 2	leštená plocha
212	155 ± 9	467 ± 39	254 ± 22	236 ± 21	316 ± 21
214	149 ± 8	422 ± 36	249 ± 9	235 ± 11	307 ± 19

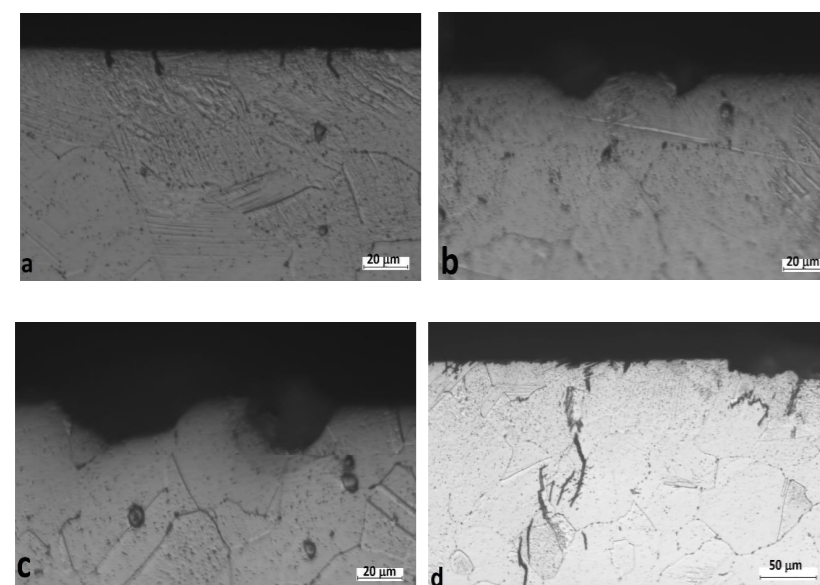
Tab. 3 Namerané hodnoty mikrotvrdosti HV0,05 na pričných rezoch v blízkosti povrchov po procese obrábania

Tab. 3 Measured values of microhardness HV0,05 on transverse sections near surfaces after machining process



Obr. 3 Povrch segmentu 212 po koróznom teste: a) 212-1 sústružená plocha, b) 212-2 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a=0,080$, c) 212-3 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a=0,065$, d) leštená plocha

Obr. 3 Surface of segment 212 after corrosion test: a) 212-1 turned surface, b) 212-2 mechanically ground surface with roughness $R_a=0.080$, c) 212-3 mechanically ground surface with roughness $R_a=0.065$, d) polished surface



Obr. 4 Mikroštruktúra v blízkosti povrchu segmentu 212 po koróznom teste: a) 212-1 sústružená plocha, b) 212-2 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a=XX$, c) 212-3 mechanicky brúsená plocha s drsnosťou $R_a=YY$, d) 212-4 leštená plocha

Obr. 4 Microstructure near the surface of segment 212 after corrosion test: a) 212-1 turned surface, b) 212-2 mechanically ground surface with $R_a=XX$ roughness, c) 212-3 mechanically ground surface with $R_a=YY$ roughness



Procesom sústruženia nastalo deformačné spevnenie povrchu, čo sa prejavilo aj vo zvýšenej mikrotvrdosti HV0,05

VÝSLEDKY

Povrch segmentu 212 pozorovaný pomocou stereomikroskopu po jednotlivých spôsoboch obrábania je na obr. 1. Na povrchoch vzoriek možno pozorovať stopy, ktoré zanechali jednotlivé spôsoby obrábania. Povrch leštenej vzorky nebolo možné dokumentovať pomocou stereomikroskopu vzhľadom na jej zrkadlový lesk. Veľmi podobný charakter povrchov bol pozorovaný aj v prípade segmentu 214.

Mikroštruktúra na pričných rezoch segmentu 214 v blízkosti povrchov po jednotlivých spôsoboch obrábania je na obr. 2. Mikroštruktúra v blízkosti sústruženej plochy (obr. 2a) má polyedrickú morfológiu a matrica je tvorená austenitom. V austenitických zrnách sú pozorované okrem žihacích dvojčiat, ktorých prítomnosť je typická pre fázy s kubickou plošne centrovanou kryštálovou štruktúrou, aj deformačné dvojčatá s vysokou hustotou. Ich vznik súvisí s procesom sústruženia a boli pozorované do hĺbky $125 \pm 8 \mu\text{m}$. Možno konštatovať, že procesom sústruženia nastalo deformačné spevnenie povrchu, čo sa prejavilo aj vo zvýšenej mikrotvrdosti HV0,05 (tab. 3). Namerané hodnoty mikrotvrdosti zodpovedajú hodnotám deformačne indukovaného martenzitu.

Obr. 2b a 2c charakterizujú mikroštruktúru v blízkosti brúsených povrchov. Aj v prípade týchto plôch boli v niektorých austenitických zrnách pozorované deformačné dvojčatá, avšak s nižšou hustotou a aj menšou hĺbkou ovplyvnenia, ktorá bola $80 \pm 5 \mu\text{m}$. Mikrotvrdosť HV0,05 pri brúsených plochách bola len mierne zvýšená v porovnaní so základným materiálom (tab. 3). Mikroštruktúra v blízkosti leštenej plochy je na obr. 2d. Opäť v austenitických zrnách, ktoré susedili s leštenou plochou, bola pozorovaná zvýšená hustota deformačných dvojčiat, čo sa prejavilo aj vo zvýšenej hodnote mikrotvrdosti (tab. 3). Procesom mechanického leštenia bola ovplyvnená mikroštruktúra do hĺbky $75 \pm 5 \mu\text{m}$.

Povrch vzoriek segmentu 214 po aplikácii korózneho testu ASTM G36 dokumentuje obr. 3. V prípade sústruženej plochy (obr. 3a) a leštenej plochy (obr. 3d) boli na povrchu pozorované trhliny. V prípade sústruženej plochy to bola hustá sieť krátkych trhlín a na leštenej plocha boli pozorované len individuálne

dlhé trhliny. Na vzorkách, ktoré boli spracované brúsením neboli pozorované trhliny, len malé individuálne korózne jamky (obr. 3b a 3c).

Pozorovanie pomocou svetelného mikroskopu na pričných rezoch vzoriek segmentu 212 po koróznom teste potvrdilo makroskopické pozorovanie. V blízkosti povrchu vzorky po procese sústruženia boli pozorované krátke trhliny, ktoré mali najmä transkryštalický charakter a ich dĺžka nebola väčšia ako $30 \mu\text{m}$ (obr. 4a). Na vzorkách po procese obrábania brúsením boli pozorované len plytké korózne jamky (obr. 4b a 4c), ani na jednej ploche sa nezistila prítomnosť trhlín. V prípade leštenej plochy boli na pričnom reze pozorované dlhé trhliny (obr. 4d), ktoré mali transkryštalický charakter. Ich dĺžka sa pohybovala v intervale od 100 do $300 \mu\text{m}$.

ZÁVERY

Na základe mikroštruktúrnej analýzy vzoriek, ktoré boli rôznym spôsobom obrábané, možno konštatovať nasledovné závery:

1. Procesom sústruženia nastalo najvýraznejšie ovplyvnenie mikroštruktúry v blízkosti povrchu. Bola pozorovaná veľmi vysoká hustota deformačných dvojčiat v austenitických zrnách. Hĺbka ovplyvnenia bola okolo $120 \mu\text{m}$. V povrchovej vrstve boli namerané najväčšie hodnoty mikrotvrdosti. Namerané hodnoty mikrotvrdosti povrchu zodpovedajú hodnotám, pri ktorých vzniká deformačne indukovaný martenzit (min. o 250 % nárast mikrotvrdosti voči hodnote u základnému materiálu). Takto trieskovo obrábaný povrch s vrstvou indukovaného martenzitu v povrchovej mikroštruktúre je výrazne náchylný na korózne praskanie, čo potvrdil aj korózný test ASTM G36, kedy na sústruženom povrchu bola pozorovaná hustá sieť jemných trhlín, ktorých dĺžka sa pohybovala v intervale 20 až $30 \mu\text{m}$.

2. Proces leštenia takisto spôsoboval zmeny v charaktere mikroštruktúry. Opäť v austenitických zrnách boli pozorované deformačné dvojčatá a nameraná zvýšená mikrotvrdosť v porovnaní so základným materiálom (min. o 100 % nárast mikrotvrdosti). Po koróznom teste boli pozorované väčšie individuálne trhliny, ktoré nevytvárali sieť, avšak ich dĺžka v niektorých prípadoch bola až $300 \mu\text{m}$.

3. V prípade brúsených povrchov neboli pozorované výrazné zmeny v charaktere mikroštruktúry. Len ojedinele boli pozorované deformačné dvojčatá a to len v niektorých austenitických zrnách, ktoré susedili s brúseným povrchom. Procesom brúsenia nenastávalo ani výrazné zvýšenie povrchovej tvrdosti (max. o 60 % nárast mikrotvrdosti). Po koróznom teste nebola zistená prítomnosť trhlín, len plytké korózne jamky.

4. Zo získaných výsledkov vyplýva, že najmenej náchylné na korózne praskanie sú povrchy po brúsení. Naopak sústružením, ktoré spôsobilo výrazné povrchové spevnenie, sa vytvorili podmienky pre

náchylnosť sústruženého povrchu ku koróznemu praskaniu. Vzhľadom na vysokú hustotu trhlín, ktoré boli orientované najmä kolmo na sústružený povrch, relaxovalo zvyškové (ťahové/tlakové) napätie v povrchovej vrstve a preto boli trhliny veľmi krátke a nemali tendenciu rásť.

RECENZENT: TOMÁŠ KICKA

LITERATÚRA

- [1] S.M. Brummer, G.S.Was, Microstructural and microchemical mechanisms controlling intergranular stress corrosion cracking in light-water-reactor systems, J. Nucl. Mater. 216 (1994), p. 348–363.
- [2] R.K. Dayal, N. Parvathavathini, B. Raj, Influence of metallurgical variables on sensitisation kinetics in austenitic stainless steels, International Material Reviews 50 (2005), p. 129–155.
- [3] N. Srinivasan, V. Kain, N. Birbilis, K.V. Mani Krishna, S. Shekhawat, I. Samajdar, Near boundary gradient zone and sensitization control in austenitic stainless steel, Corros. Sci. 100 (2015), p. 544–555.
- [4] S. Rahimi, T.J. Marrow, A new method for predicting susceptibility of austenitic stainless steels to intergranular stress corrosion cracking, Materials and Design 187 (2020) 108368
- [5] V. Čihal, Mezikryštalová korózie ocelí a slitin, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1984
- [6] W. N. L. W. Zakaria, K. E. Kee, M. C. Ismail, The effect of sensitization treatment on chloride induced stress corrosion cracking of 304L stainless steel using U-bend test, Materials Today: Proceedings 29 (2020), p. 75 – 81
- [7] Y. Jiao, W. Zheng, D.A. Guzonas, W.G. Cook, J.R. Kish, Effect of thermal treatment on the corrosion resistance of Type 316L stainless steel exposed in supercritical water, Journal of Nuclear Materials 464 (2015), p. 356 – 364
- [8] A. Toppo, M.G. Pujar, N. Sreevidya, J. Philip, Pitting and stress corrosion cracking studies on AISI type 316L stainless steel weldments, Defence technology 14 (2018), p. 226 – 237
- [9] N. Parvathavathini, S. Mulki, R.K. Dayal, I. Samajdar, K.V. Mani, Baldev Raj, Sensitization control in AISI 316L(N) austenitic stainless steel: Defining the role of the nature of grain boundary, Corrosion Science 51 (2009), p. 2144 – 2150
- [10] W. Zhang, X. Wang, S. Wang, H. Wu, Ch. Yang, Y. Hu, K. Fang, H. Jiang, Combined effects of machining-induced residual stress and external load on SCC initiation and early propagation of 316 stainless steel in high temperature high pressure water, Corrosion Science 190 (2021) 109644
- [11] L. Chang, M.G. Burke, F. Scenini, Stress corrosion crack initiation in machined type 316L austenitic stainless steel in simulated pressurized water reactor primary water, Cor. Scien. 138 (2018), p. 54–65
- [12] D. Du, K. Chen, L. Yu, L. Zhng, X. Shi, X. Xu, SCC crack growth rate of cold worked 316L stainless steel in PWR environment, Journal of Nuclear Materials 456 (2015), p. 228–234
- [13] A.S. Maderuelo, D.G. Briceno, Stress corrosion cracking behaviour of annealed and cold worked 316L stainless steel in supercritical water, Nuclear Engineering Designed 307 (2016), p. 30–38
- [14] Z. Hou, S. Xiu, Y. Yao, C. Sun, The residual stress and martensitic transformation of 304 stainless steel in pre-stress grinding: Influence and control on chloride induced SCC, Journal of Materials Research and Technology 24 (2023), p. 4601 – 4617
- [15] S. Ghosh, V. Kain, Microstructure changes in AISI 314L stainless steel due to surface machining: Effect on its susceptibility to chloride stress corrosion cracking, Journal of Nuclear Materials 403 (2010), p. 62–67
- [16] K.N. Lyon, T.J. Marrow, S.B. Lyon, Influence of milling on the development of stress corrosion cracks in austenitic stainless steel, Journal of Materials Processing Technology 218 (2015), p. 32–37

Pod'akovanie

Tento výskum je výsledkom podpory v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum korózie a korózneho praskania v tlakových systémoch primárneho okruhu jadrových elektrární, NFP 313021W996, spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Držitelia ocenenia Vedec roka SR za rok 2022

Zľava: doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD.; Ing. Michal Májek, Dr. rer. nat.; prof. Ing. Mária Bielíková, PhD.; manželka prof. RNDr. Martina Škovieru, PhD. a doc. Ing. Marek Vrabel, PhD.

Poznáme najlepších vedcov za rok 2022

Zrekonštruované výstavné priestory Slovenskej národnej galérie v Bratislave hostili 16. mája významných návštevníkov. V tento deň sa v našom prestížnom kultúrnom stánku konal 26. ročník podujatia Vedec roka SR. Nad podujatím prevzal záštitu ešte predošlý minister školstva, vedy, výskumu a športu SR, Ján Horecký. Slávnostné odovzdávanie ocenení sa už nieslo pod patronátom terajšieho ministra, Daniela BÚTORU, ktorý sa na danej akcii aj osobne zúčastnil.

Vyhlasovateľmi ocenenia sú Slovenská akadémia vied (SAV), Zväz slovenských vedeckotechnických spoločností (ZSVTS) a Centrum vedecko-technických informácií SR (CVTI SR). Cieľom tohto podujatia je profesionálne a spoločensky vyzdvihnúť najvýznamnejšie osobnosti vedeckého života, ako aj najlepšie dosiahnuté výsledky vo vede a výskume na Slovensku.

Hodnotiacia komisia, ktorú tvorili zástupcovia vyhlasovateľov podujatia, vybrala laureátov zo značného množstva nominovaných vedeckých osobností, a to v piatich kategóriách. Samozrejme, že už poznáme laureátov ocenenia Vedec roka SR za rok 2022. Ide o päť výnimočných slovenských osobností z oblasti matematiky, techniky, chémie, strojárskych technológií, informatiky a umelej inteligencie.

V jednotlivých kategóriách získali ocenenie za rok 2022 tieto osobnosti:

VEDEC ROKA / VEDKYŇA ROKA

prof. RNDr. Martin ŠKOVIERA, PhD., Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave. Ocenenie získal za použitie inovatívnych matematických metód a publikovanie prelomových výsledkov o niekoľkých dôležitých a dlhodobo otvorených hypotézach týkajúcich sa cyklov a pokrytí v teórii grafov.

INOVÁTOR ROKA / INOVÁTORKA ROKA

doc. Ing. Vladimír CVIKLOVIČ, PhD., Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Ocenenie získal za významný prínos v riadiacich a navigačných algoritmoch pre oblasť autonómnej mobilnej robotiky pretavený do dvoch funkčných prototypov autonómnych mobilných robotov.

TECHNOLÓG ROKA / TECHNOLOGIČKA ROKA

doc. Ing. Marek VRABEL, PhD., Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach. Ocenenie získal za zabezpečenie komplexnej technologickej prípravy výroby a samotnej výroby jedinečných dielcov pre letecký, vesmírny a jadrový priemysel.

MLADÝ VEDECKÝ PRACOVNÍK / MLADÁ VEDECKÁ PRACOVNIČKA

Ing. Michal MÁJEK, Dr. rer. nat., Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave. Ocenenie získal za významné medzinárodné uznanie a potenciálny prínos výskumu v oblasti chemickej katalýzy s piezoelektrickými materiálmi.

OSOBNOSŤ MEDZINÁRODNEJ SPOLUPRÁCE

prof. Ing. Mária BIELIKOVÁ, PhD., Kempelenov inštitút inteligentných technológií. Ocenenie získala za jedinečný prínos k rozvoju a zviditeľneniu slovenskej vedy na medzinárodnej úrovni v oblasti umelej inteligencie, zapájanie sa do vedeckých projektov Horizontu Európa a založenie Kempelenovho inštitútu inteligentných technológií s medzinárodným presahom.



Ide o päť výnimočných slovenských osobností z oblasti matematiky, techniky, chémie, strojárskych technológií, informatiky a umelej inteligencie.

Generálnym partnerom podujatia bola spoločnosť Interway, hlavným partnerom podujatia bola spoločnosť SPP, partnermi podujatia bola spoločnosť Datalan a Bratislavské kultúrne a informačné stredisko. Mediálnymi partnermi podujatia boli Rozhlas a televízia Slovenska a relácia VAT – Veda a technika, magazín Nextech, Rádio Devín a Rádio Regina Západ.

Podujatie sa uskutočnilo za účasti zástupcov vyhlasovateľov ocenenia, zástupcov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR, členov hod-



Publikum počas vyhlasovania laureátov ocenenia Vedec roka SR za rok 2022

notiacej komisie, rektorov a prorektorov viacerých slovenských univerzít, zástupcov organizácií podporujúcich vedu a výskum, partnerov a mediálnych partnerov podujatia.

O tom, že tituly Vedec roka SR za rok 2022 sú v správnych rukách, svedčil nielen dlhotrvajúci po-

tlesk pri preberaní ocenení, ale aj výmena osobných názorov počas záverečného slávnostného posedenia.

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS

Technická univerzita v Košiciach má nového rektora



Prezidentka SR Zuzana Čaputová vymenovala 16. augusta prof. Ing. Petra Mésároša, PhD. za rektora TU v Košiciach. Jeho funkčné obdobie by malo trvať do augusta 2027.

Hlava štátu vo svojom prejave po slávnostnom akte uviedla, že Slovensko v súčasnosti prechádza zložitým obdobím, ktoré je poznamenané krízou vzťahu medzi širokou verejnosťou a odbornými autoritami. Mnohí ľudia podľa jej slov prestávajú veriť elementárnym faktom a utiekajú sa ku konšpiračným teóriám či klamstvám. Zároveň poukázala aj na dôsledky roky finančne a personálne poddimenzovaného školstva. Povzbudila novomenovaných rektorov k ich práci a vyslovila očakávanie, že ich menovanie prispieje k zmene k lepšiemu.

Novému rektorovi Technickej univerzity v Košiciach k jeho menovaniu srdečne blahoželáme.

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS

Ceny Slovenskej zväračskej spoločnosti

Dňa 11. júla 2023 sa na Katedre technologického inžinierstva Strojnickej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline odovzdávali ceny za najlepšiu diplomovú a bakalársku prácu z oblasti zvarovania. Ceny udeľuje Slovenská zväračská spoločnosť (SZS) a odovzdal ich Ing. Pavol RADIČ, PhD., viceprezident ZSVTS pre vedu, techniku a vzdelávanie a zároveň predseda SZS.

Cenu za najlepšiu diplomovú prácu v školskom roku 2022/2023 na tému „Modelovanie zvarového spoja vysokopevnej ocele vyhotoveného laserovým lúčom v programe Sysweld“ získal Ing. Peter Fupšo. Cenu za najlepšiu bakalársku prácu získal Bc. Daniel Kaličiak s prácou na tému „Vplyv hrúbky, chemického zloženia a spôsobu výroby vysokopevných ocelí na vlastnosti TOO zvarových spojov“.

Predseda SZS zároveň odovzdal pracovníkom Katedry technologického inžinierstva pri príležitosti 100. výročia technickej normalizácie na Slovensku pamätnú medailu za spoluprácu so SZS. Menovite prof. Ing. Danke Bolibruchovej, PhD., doc. Ing. Milošovi Mičianovi, PhD. a Ing. Radoslavovi Koňárov, PhD.

doc. Ing. Miloš MIČIAN, PhD.
pobočka SZS v Žiline



Predný rad zľava: M. Mičian, P. Fupšo, D. Kaličiak, D. Bolibruchová, zadný rad zľava: M. Frátrik, P. Radič, R. Koňár

ŠVOČ 2023 na TF SPU v Nitre

Tak ako každý rok, aj v roku 2023 sa pod záštitou prof. Ing. Romana Gálika, PhD., dekana Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, konala študentská vedecká konferencia. Dekan osobne vedeckú konferenciu otvoril a dohliadal nad jej priebehom.

Cieľom študentskej vedeckej konferencie bola prezentácia výsledkov vedeckej a odbornej činnosti študentov prvého a druhého stupňa štúdia na TF SPU v Nitre. Hlavné zameranie bolo na oblasť strojov a výrobných zariadení v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve. V rámci konferencie bola vytvorená sekcia pre stredné školy. Nad kvalitou jednotlivých prezentácií dohliadali odborné hodnotiace komisie.



Študent Bc. D. Gemer preberá z rúk Ing. P. Radiča, PhD. ocenenie ZSVTS

Okrem štandardného oceňovania v rámci Technickej fakulty SPU prebehlo aj oceňovanie pod patronátom SZS a ZSVTS. Ocenenie Slovenskej zväračskej spoločnosti za II. stupeň získal študent, Bc. Daniel GEMER za prezentáciu práce: „Metódy analýzy obrazu v navigácii malého kolesového robota“. Zo študentov I. stupňa uspel Daniel VIČÁK s prezentáciou práce: „Návrh modelu automatizovanej výrobnéj linky na krmne zmesi“. Študent Bc. Daniel Gemer získal aj Cenu ZSVTS a stal sa tak ambasádorom ZSVTS pre rok 2023.

Víťazom v jednotlivých sekciách gratulujeme. V tabuľke prinášame celkové poradie ocenených podľa sekcií.

Ing. Ján Csillag
Slovenská zväračská spoločnosť

Sekcia: Informačné technológie a riadiaca technika	
umiestnenie	Meno oceneného študenta:
1.	Bc. Daniel GEMER
2.	Bc. Roman HALOMI
3.	Matej MARKUSEK
Sekcia: Strojárska a dopravná technika	
umiestnenie	Meno oceneného študenta:
1.	Daniel VLČÁK
2.	Juraj PODSKALAN
3.	Monika HAJDÁKOVÁ
Sekcia: Stredné školy	
umiestnenie	Meno oceneného študenta:
1.-2.	Marko OLEXA
1.-2.	Šimon VLČÁK

Cena ZSVTS za najlepšiu prácu ŠVOČ na SjF TU v Košiciach

V súlade s plánom rozvoja študentských aktivít sa na Strojnickej fakulte Technickej univerzity v Košiciach každoročne koná konferencia študentskej vedeckej odbornej činnosti (ŠVOČ). V akademickom roku 2022/2023 sa konferencia ŠVOČ konala 20. apríla 2023. Bola určená pre všetkých študentov Strojnickej fakulty TU v Košiciach. Aktívna účasť bola odporúčaná študentom končiacich ročníkov v prvom a druhom stupni vysokoškolského štúdia.

Prezentácie študentských prác sa uskutočnili v piatich sekciách, ktoré sú príslušné jednotlivým ústavom fakulty:

Sekcia 1: Automatizácia, mechatronika, robotika a výrobná technika
Sekcia 2: Výrobné technológie
Sekcia 3: Strojné, energetické a konštrukčné inžinierstvo
Sekcia 4: Bezpečnosť, kvalita a biomedicínske inžinierstvo
Sekcia 5: Priemyselné inžinierstvo, manažment a inžinierstvo prostredia

KONFERENCIE SA ZÚČASTNILO 35 ŠTUDENTOV, ktorí boli vybraní na základe selekcie z katedrových kôl. Príspevky boli ocenené diplomom aj finančne za 1. až 3. miesto v každej sekcií.

Cenu ZSVTS za najlepšiu prácu ŠVOČ na Strojnickej fakulte TU v

Košiciach v tomto roku získal **Samuel Kerekeš**, študent bakalárskeho štúdia študijného programu Strojné inžinierstvo s témou súťažnej práce „Návrh a tvorba kinetickej sochy s rotujúcimi vrstvami“ pod vedením prof. Ing. Petra Frankovského, PhD.

Cenu ZSVTS odovzdal študentovi člen Komisie pre vedu, techniku a vzdelávanie ZSVTS a prodekan pre vedu, výskum a doktorandské štúdium prof. Ing. Ján Slota, PhD.

prof. Ing. Ján Slota, PhD.
Slovenská zväračská spoločnosť



ŠVOČ na Fakulte techniky TU vo Zvolene



Spoločná fotografia ocenených študentov, organizátorov a členov hodnotiacich komisií



Fakulta techniky Technickej univerzity vo Zvolene aj v tomto roku zorganizovala konferenciu ŠVOČ. Aktuálny 22. ročník konferencie sa konal pod záštitou doc. Ing. Pavla Beňa, PhD., dekana FT TU.

Fakultná konferencia ŠVOČ je podujatie, na ktorom sa prezentujú najlepšie samostatné vedecké a odborné práce študentov. Konferencia umožňuje výmenu teoretických a praktických poznatkov a prezentáciu aktuálnych výsledkov vedeckých a odborných prác študentov súvisiacich s odborným zameraním fakulty. Prispieva tak k rastu odbornej úrovne študentov a tým aj k skvalitňovaniu vedeckého a odborného potenciálu zúčastnených univerzít a škôl.

Prezentácia prác na študentskej konferencii prebiehala pod dohľadom hodnotiacich komisií. Prezentácie boli vecné, výstižné a primerane didakticky zvládnuté. Po každej prezentácii nasledovala diskusia s členmi komisie a divákmi v sále. Na základe rozhodnutia členov komisií boli udelené tri prvé miesta v každej sekcií.

Mimo daného hodnotenia ocenila úspešných študentov Slovenská zväračská spoločnosť (4 ocenenia), pričom jedného študenta ocenil ZSVTS. Na fotografii vidíme šťastné tváre držiteľov ocenení.

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS

Odišiel Dr.h.c. prof. Ing. Jozef Mihok PhD.

V živote nás stretávajú aj nemilé udalosti. S jednou z takých sme sa stretli 29. júla, keď nás vo veku 73 rokov navždy opustil Dr.h.c. mult. prof. Ing. Jozef MIHOK, PhD.

Dr.h.c. mult. prof. Ing. Jozef Mihok, PhD. sa narodil 17. apríla 1950 v Úbreží. Vysokoškolské štúdium ukončil na Strojnickej fakulte Vysoké školy technickej v Košiciach v roku 1974. Na TUKE získal nielen inžiniersky titul, ale aj titul PhD. a v roku 2002 bol po habilitačnom konaní menovaný za docenta. Za profesora v odbore priemyselného inžinierstva bol vymenovaný 15. januára 2008.

Profesor Jozef Mihok pôsobil v mnohých priemyselných podnikoch a na rozličných pracovných pozíciách a v rozličných funkciách. Tu získal bohaté praktické skúsenosti, ktoré aplikoval aj pri práci v akreditačnej obci. Bol autorom a spoluautorom viacerých monografií, učebníc, skriptov a odborných príspevkov vo vedeckých časopisoch a na konferenciách doma i v zahraničí.

Prof. Mihok bol profesijne zameraný na oblasti strojárstva a priemyselného inžinierstva. Bol vyhľadávaným odborníkom a manažérom na reštrukturalizáciu, revitalizáciu a oživenie spoločností, ktoré sa ocitli v krízových situáciách. Široká verejnosť ho však skôr pozná ako bývalého predsedu Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, kde túto funkciu zastával dve pracovné obdobia.



Prof. Jozef Mihok

”

Prof. Mihok bol profesijne zameraný na oblasti strojárstva a priemyselného inžinierstva. Bol vyhľadávaným odborníkom na reštrukturalizáciu.

Dr.h.c. mult. prof. Ing. Jozef Mihok, PhD. bol držiteľom mnohých ocenení. Za všetky spomeniem Cenu predsedu SZS, ktorú získal na základe spolupráce so zväračskou komunitou ako takou.

Skončil sa život človeka, ktorý bol naplnený usilovnou prácou. Človeka, ktorý nepoznal únavu, nedbal na čas, bol ochotný vždy stáť za svojim názorom. V mene členov SZS a širokej zväračskej komunity vzdávam hold jeho pamiatke.

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS

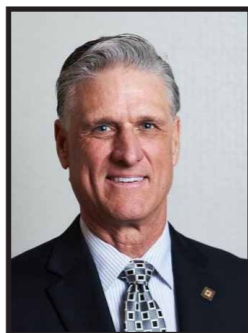


Prezident AWS opustil naše rady

Vážená zväračská komunita, pripadla mi smutná povinnosť informovať vás o úmrtí Dennisa K. ECKA, prezidenta AWS (American Welding Society – Americká zväračská spoločnosť).

Dennis K. Eck bol zvolený za prezidenta AWS 24. augusta 2023. Predtým, ako sa stal prezidentom AWS už úspešne pôsobil v oblasti zvárania viac ako 42 rokov. Jeho začiatky členstva v AWS však siahajú do obdobia pred viac ako 30 rokmi. Spočiatku pracoval ako radový člen v sekcii AWS Houston, no časom zastával v rámci AWS čoraz významnejšie úlohy. V rokoch 1989 až 2021 bol predsedom sekcie AWS Houston. V rokoch 2016 až 2018 pôsobil ako generálny riaditeľ AWS a v rokoch 2019 až 2022 bol viceprezidentom AWS.

Počas svojej dlhoročnej angažovanosti v AWS získal množstvo vyznamenaní a ocenení. Medzi najvýznamnejšie patrí



Dennis K. Eck

napríklad vyznamenanie AWS Houston Section Meritorious (v roku 2004), District 18 Meritorious (v roku 2005) a tiež ocenenie AWS Distinguished Member v roku 2017.

Dennis K. Eck bol považovaný za skutočného profesionála, ktorý išiel príkladom. Jeho predčasný odchod je veľkou stratou nielen pre americkú, ale aj pre svetovú zväračskú komunitu. V mene členov a funkcionárov Slovenskej zväračskej spoločnosti ako aj celej slovenskej zväračskej verejnosti vzdávam hold jeho pamiatke.

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS

schválené technické normy

STN EN ISO 4063

Zváranie, tvrdé spájkovanie, mäkké spájkovanie a rezanie.
Zoznam procesov a ich číselné označovanie (ISO 4063: 2023)
dátum vydania: 1. 7. 2023

STN EN ISO 17639

Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov.
Makroskopický a mikroskopický rozbor zvarov
(ISO 17639: 2022)
dátum vydania: 1. 8. 2023

STN EN ISO 17663

Zváranie. Požiadavky na kvalitu na tepelné spracovanie
v súvislosti so zváraním a príbuznými procesmi
(ISO 17663: 2023)
dátum vydania: 1. 8. 2023

STN EN ISO 25980

Ochrana zdravia pri zváraní a príbuzných procesoch.
Priehľadné zväracie závesy, pásy a ochranné clony
na oblúkové zväracie procesy (ISO 25980: 2023)
dátum vydania: 1. 8. 2023

STN EN ISO 18274

Zväracie materiály. Drôty, tyčky, drôtové a pásové elektródy
na oblúkové zváranie niklu a zliatin niklu. Klasifikácia
(ISO 18274: 2023)
dátum vydania: 1. 8. 2023

STN EN 10225-3+A1

Zvariteľné konštrukčné ocele na pevné pobrežné konštrukcie.
Technické dodacie podmienky. Časť 3: Duté profily
dokončené za tepla
dátum vydania: 1. 8. 2023

STN EN ISO 13920

Zváranie. Všeobecné tolerancie pre zvárané konštrukcie.
Rozmery pre dĺžky a uhly. Tvar a poloha (ISO 13920: 2023)
dátum vydania: 1. 9. 2023

STN EN ISO 3452-1

Nedeštruktívne skúšanie. Kapilárne skúšanie.
Časť 1: Všeobecné zásady (ISO 3452-1: 2021)
dátum vydania: 1. 10. 2023

STN EN ISO 3452-2

Nedeštruktívne skúšanie. Kapilárne skúšanie.
Časť 2: Skúšanie kapilárnych prostriedkov (ISO 3452-2: 2021)
dátum vydania: 1. 10. 2023

 **böhler** welding
by voestalpine
Lasting Connections



Vašou výzvou je SPÁJAŤ materiály, ktoré sú vyrobené z kovu. Viete, ako zvärať konštrukcie mostov, strojov, či elektrární. Ku Vašej práci nepotrebujete „nejaké“ riešenie, ZASLŮŽITE SI to najlepšie riešenie. Naša ponuka obsahuje jedinečné portfólio služieb v oblasti zvárania, ponuky špičkových prídavných materiálov pre zváranie, príslušenstva a zväračskej techniky – sme poskytovateľom komplexných riešení v oblasti zvárania. S našimi produktovými líniami zväracích zariadení Terra a Uranos nastavujeme nové štandardy v procesoch bežného ako aj špeciálneho zvárania. Spojenie, ktoré je v priemyselnom odvetví jedinečné, poskytuje ideálnu kombináciu a súhrn prídavného materiálu pre zváranie so zväracím zdrojom. Umožňuje vám vytvoriť tie NAJLEPŠIE ZVARY VO SVOJEJ OBLASTI, na ktoré môžete byť hrdí. To je presne to, čo symbolizujeme – s 5-ročnou zárukou na všetky zväracie zariadenia Terra a Uranos.

Vyhľadajte
ďalšie
informácie



voestalpine Böhler Welding
www.voestalpine.com/welding

voestalpine
ONE STEP AHEAD.



Slovenská zväračská spoločnosť

spolu s partnermi

pod záštitou primátora mesta Vysoké Tatry

vás srdečne pozývajú na 50. medzinárodnú konferenciu

ZVÁRANIE 2023

v dňoch **8.-10. novembra 2023** v hoteli SOREA Urán v Tatranskej Lomnici

Hlavné témy:

- Zvariteľnosť kovových materiálov
- Progresívne metódy zvárania, rezania a súvisiacich procesov
- Požiadavky kladené na výrobcov
- Novinky v oblasti zväracích zariadení a prípravkov na zváranie, prídavných materiálov, základných materiálov
- Nedeštruktívna kontrola a skúšanie vo zváraní
- Priemyselné aplikácie zvárania

Účasť na konferencii sa započítava do vzdelávacích akcií
certifikovaného zväračského personálu
EWE/IWE, EWT/IWT, EWS/IWS

Tešíme sa na vašu účasť!



kontakt:

Slovenská zväračská spoločnosť

tel.: 00421 918 452 894 • e-mail: zvaranie@centrum.sk