



Zváranie

1 • 2023 VYDÁVA VÝSKUMNÝ ÚSTAV ZVÁRAČSKÝ

Svařování



Na ceste k užším spojenectvám

Príhovor nového generálneho riaditeľa
VÚZ

03

Robotizované pracovisko

Hriňovské strojárne zrýchlili proces
zvárania a zlepšili kvalitu spojov

04

Nová spolupráca VÚZ s Hydro a EGA

Unikátne riešenia oslovili
nadhárodných partnerov

06

Obsah

04

ZÁKAZKA
Robotizované pracovisko pre Hriňovské strojárne

06

NOVÍ PARTNERI
Unikátne riešenia VÚZ oslovili nadnárodných partnerov

08

ROZHOVOR
Inovátor, ktorý zaujal aj v zahraničí

12

ODBORNÝ ČLÁNOK
Spájkovanie technológiou MIG a CMT v automobilovom priemysle

17

NORMY
Schválené technické normy a zmeny STN

18

ODBORNÝ ČLÁNOK
Svařitelnost materiálů při laserovém svařování

24

ODBORNÝ ČLÁNOK
Selecting the optimal hard-facing technology for repair of the damaged machine parts made of the steel for cementation

30

ŠVOČ
Ďalší ročník ŠVOČ na MTF STU so sídlom v Trnave

32

NEKROLÓG
Opustili nás Ing. Viliam Pavelka a RNDr. Pavol Klucho

33

ZVÁRAČSKÉ ŠKOLY
Partnerstvo VÚZ – zvaračské školy

34

VZDELÁVANIE
Ponuka kurzov VÚZ v 2. polroku 2023

35

AVÍZO
Na jeseň sa uskutoční XIV. ročník konferencie Národné dni zvarovania

36

ADRESÁR
VÚZ – Čo vieme, kto to vie



Fotografia na titulnej strane

VÚZ bude so spoločnosťou Hydro spolupracovať aj v oblasti materiálového inžinierstva

FOTO: ARCHÍV SPOLOČNOSTI HYDRO

PRÍHOVOR

Na ceste k užším spojenectvám

Vážení čitatelia, vážení obchodní partneri.

Dovoľte mi prihovoriť sa vám ako nový generálny riaditeľ Výskumného ústavu zvaračského. Do tejto funkcie som bol vymenovaný s účinnosťou od 1. januára tohto roku, ale prostredie VÚZ a ekosystém, v ktorom pôsobím, dôverne poznám. Ako dlhoročný riaditeľ úseku ekonomiky VÚZ som najmä cez čísla vnímal, ako sa vyvíjajú potreby našich zákazníkov a ako sa pretínajú s možnosťami, ktoré generuje trh. Po rokoch (prijemne návykového) ekonomického rastu sme museli precitnúť a zoznámiť sa s novou ekonomickou realitou.

Všetci čelíme doteraz najvyššej inflácii v tomto storočí. Ceny energií pre priemyselné subjekty aj napriek kompenzáciám podlamujú nohy konkurencieschopnosti firiem a do toho vstupuje aj oslabený globálny dopyt. S istým sarkazmom možno povedať, že takýto koktejl je skvelým rýchlokurzom krízového manažmentu v praxi.

Chcem vás ubezpečiť, že VÚZ vám bude aj na pozadí týchto súvislostí dodávať produkty a služby v nezmenenom rozsahu a kvalite. Našou top prioritou aj v tomto roku ostáva tvorba unikátnych riešení na mieru. V čoraz zložitejšom svete budú mať riešenia s najlepším pomerom pridaná hodnota / cena rastúcu hodnotu. Ako chceme zrealizovať našu stratégiu?

Aby sme naďalej dokázali ponúkať čo najpriaznivejšie ceny, budeme ešte

dôkladnejšie optimalizovať využívanie zdrojov. Začali sme prijímať opatrenia na zvýšenie energetickej efektívnosti našich priestorov a technológií.

Ďalším prvkom našej stratégie je podpora nosných produktov a služieb v každej oblasti pôsobenia VÚZ. Týka sa to nielen výskumu, vývoja materiálov a technológií pre zvarovanie a príbuzné procesy; výskumu, vývoja a výroby zvaracích materiálov, jednoúčelových zvaracích, navracacích, deliacich strojov a automatizovaných technologických celkov, ale aj spracovania štúdií, postupov a návodov na zvarovanie, skúšobníckej činnosti, servisných a expertíznych činností, vzdelávania a podporných služieb.

Svojou spätnou väzbou nám pomáhate zlepšovať naše riešenia, produkty a služby. Verím, že úsilie, ktoré v najbližšom období vložíme do kontinuálneho zvyšovania kvality a spoľahlivosti našich činností, prispieju k pozdvihnutiu mena VÚZ a naše rokmi overené partnerstvá budú ešte stabilnejšie.

Ďakujem vám za dôveru a teším sa na obojstranne prospešnú spoluprácu v najbližších náročných mesiacoch a rokoch.

Ing. Valér Demjan, PhD., MBA
Generálny riaditeľ VÚZ

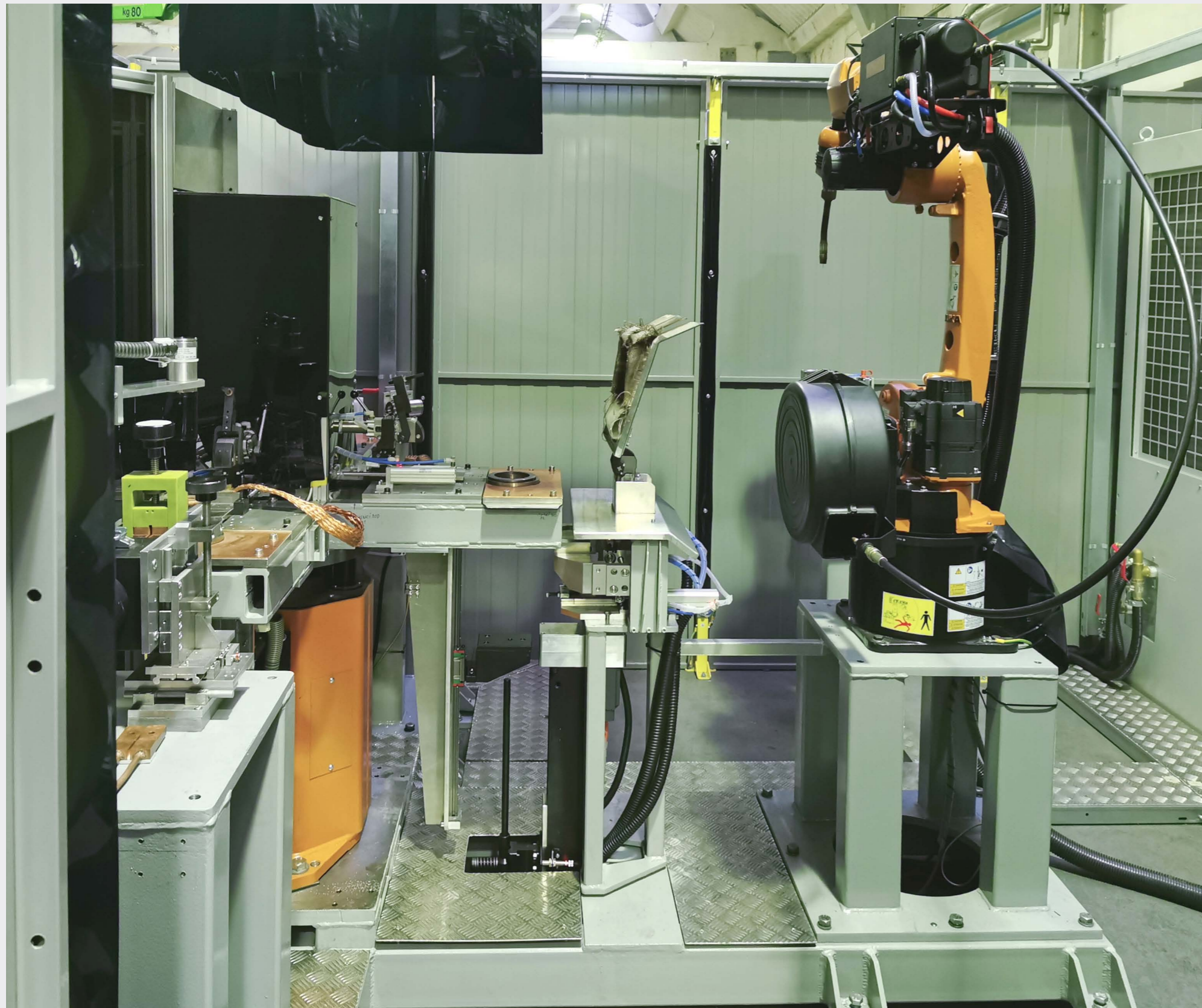
”

Chcem vás ubezpečiť, že VÚZ vám bude aj na pozadí týchto súvislostí dodávať produkty a služby v nezmenenom rozsahu a kvalite. Našou top prioritou aj v tomto roku ostáva tvorba unikátnych riešení na mieru.

Zváranie

Svařování

Časopis zameraný na výskum a vývoj v oblasti zvarovania a príbuzných technológií. • **72. ročník** • ISSN 0044-5525 • Evid. č. MK SR EV. 203/08 • **Vydáva:** Výskumný ústav zvaračský (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
Predsedu 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 zvaračský, 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 máji 2023



Robotizované pracovisko, ktoré vyvinul Výskumný ústav zvaračský podľa požiadaviek Hriňovských strojární

FOTO: ARCHÍV VÚZ

Robotizované pracovisko pre Hriňovské strojárne

VÚZ v decembri 2022 odovzdal zákazku, ktorá Hriňovským strojárnám umožnila zlepšiť a zrýchliť proces zvarovania. Podrobnosti vysvetľuje certifikovaný medzinárodný inžinier zvarovania Ing. Miroslav Jáňa, PhD., CEWE.

Popíšte prosím názov projektu a čo od neho zákazník očakával?

Projekt „Výroba robotizovaného zvaracieho pracoviska na zvarovanie čapov s príložkami“ sme realizovali pre Hriňovské strojárne a.s. HS vyrábajú a dodávajú čapy pre rakúsku spoločnosť Palfinger, ktorá sa zaoberá výrobou hydraulických rúk a žeriavov. Doteraz ručne produkovali cca 40 000 ks MAG zvarových spojov čapov s príložkami ročne v jednozmennej prevádzke. Využívali rôzne materiály čapov/príložiek rôzneho sortimentu priemerov a dĺžok, pričom využívali aj rôzne postupy zvarovania. Proces zvarovania bol manuálny. Skladal sa z polohovania, upnutia, oxy-acetylénovej predohrevu, zvarovania a kontrolovaného chladnutia (ak bolo potrebné). HS sa rozhodli zefektívniť tento zvarovací proces, zlepšiť kvalitu zvarov a zvýšiť výrobnú kapacitu. To sa dodávkou zvaracieho pracoviska úspešne podarilo.

V akom časovom horizonte sa projekt realizoval?

Projekt sme realizovali v horizonte 28 mesiacov a pozostával z troch krokov:

- návrh a výroba robotizovaného zvaracieho pracoviska,
- vývoj zvariteľnosti čapov z 42CrMo4V a 30CrNiMo8V ocelí s príložkami z S235, S355, S460 a S690 ocelí,
- dodávka, inštalácia a odladenie robotizovaného zvaracieho pracoviska do priestorov Hriňovských strojární.

Ktoré kľúčové oddelenia a špecialisti VÚZ sa podieľali na realizácii tohto projektu?

Bola to najmä Divízia materiálov a technológií zvarovania. Hlavnými riešiteľmi projektu boli Ing. Peter Jaško, PhD., ktorý zastrešil návrh a výrobu robotizovaného zvaracieho pracoviska a Ing. Miroslav Jáňa, PhD., CEWE, ktorý participoval na vývoji zvariteľnosti čapov s príložkami vrátane všetkých požadovaných technologických aspektov. Vďaka patrí aj kolegom z oddelenia metalografie, ktorí sa podieľali na vyhodnocovaní vzoriek z hľadiska štruktúrnej stability spojov. Dodávku, inštaláciu a odladenie robotizovaného zvaracieho pracoviska do priestorov Hriňovských strojární zabezpečil Ing. Miroslav Osuský.

Môžete prezradiť s čím ste sa v priebehu realizácie obzvlášť potrápili a museli ste aktivovať „vyšší level“ kreativity?

Veľmi náročné bolo splniť požadovanú kvalitu zvarových spojov z hľadiska výsledných hodnôt tvrdosti vo všetkých oblastiach zvarového spoja. Aby sme dosiahli požadované výsledné hodnoty tvrdosti HV (najmä v TOO čapov), v oblasti vývoja nájdania optimálneho okna zvariteľnosti pre skupiny heterogénnych zvarových spojov sme museli balansovať na „ostri noža“.

Významným faktorom bolo skĺbiť optimálne množstvo dodania tepla do materiálu počas predohrevu čapov, zároveň minimalizovať tepelný príkon pri procese zvarovania a následne dodať potrebné teplo na popustenie zvarových spojov pri dohrovevej stanici pracoviska. Splnením a nájdением úzkeho okna zvariteľnosti sa nám podarilo úspešne splniť požiadavky zákazníka. Pri čapoch 30CrNiMo8V sme boli nútení upraviť teplotný režim dohrevu na úkor predĺženia výrobného taktu stroja. Iba tak bolo možné dodržať požadované kritériá tvrdosti kladené na kvalitu dodávaných čapov.

V čom spočíva pridaná hodnota, ktorú VÚZ dodal zákazníkovi?

Skonštruovali sme najzložitejšie robotizované zvaracie pracovisko na trhu, ktoré integruje 4 pracovné stanice pozostávajúce z nakladacej/vykladacej stanice, predohrevu, zvarovania a dohrevu. Tým je toto pracovisko jedinečné. Skĺbiť všetky technologické operácie a aplikovať ich na zvarovanie 48 a viac druhov čapov rôznych priemerov a dĺžok, je unikátne.

Každý jeden technologický krok si vyžiadala veľa úsilia a času na vyriešenie fyzikálno-metalurgických aspektov zvarovania heterogénnych zvarových spojov. O spokojnosti zákazníka svedčí veľmi pozitívna spätná väzba. Hriňovské strojárne získali robotizované pracovisko „na kľúč“, ktoré prináša efektívnejšiu výrobu, opakovateľnosť a reprodukovateľnosť výroby zvarencov.

Bol to prvý projekt pre tohto zákazníka? Bude mať úspešný projekt pokračovanie v podobe ďalšej spolupráce?

Pre Hriňovské strojárne a zároveň pre spoločnosť Palfinger bol projekt robotizovaného zvaracieho pracoviska čapov našou prvou zákazkou. Veríme, že problémy v oblasti vývoja zvariteľnosti rôznych materiálov nám v blízkej budúcnosti opäť skrižia cesty a my sa budeme môcť podieľať na zefektívňovaní výroby našich zákazníkov.

zhovárал sa **Robert Kiss**

Unikátne riešenia VÚZ oslovili nadnárodných partnerov

Na začiatku roka 2023 VÚZ nadviazal inštitucionálnu spoluprácu s dvomi svetovými hráčmi vo výrobe a spracovaní hliníka – spoločnosťami **NORSK HYDRO** a **EMIRATES GLOBAL ALUMINIUM**. Obe spoločnosti patria do prvej desiatky najväčších producentov hliníka na svete.

NORSKHYDRO oslovil VÚZ na základe referencie jej dcérskej firmy SLOVALCO (Žiar nad Hronom), kde sme uskutočnili ako prví vo svete tri unikátne opravy v elektrolýznej hale bez nutnosti zastavenia výroby. Návšteva dvoch pracovníkov HYDRO (Hydro Aluminium Technology & Operational Support Øvre Årdal, Nórsko) sa uskutočnila v januári 2023. Po prezentácii VÚZ sa HYDRO rozhodlo rozšíriť spoluprácu aj do oblasti materiálového inžinierstva. Po podpísaní dohody o mlčanlivosti sa začala odborná spolupráca v marci 2023.

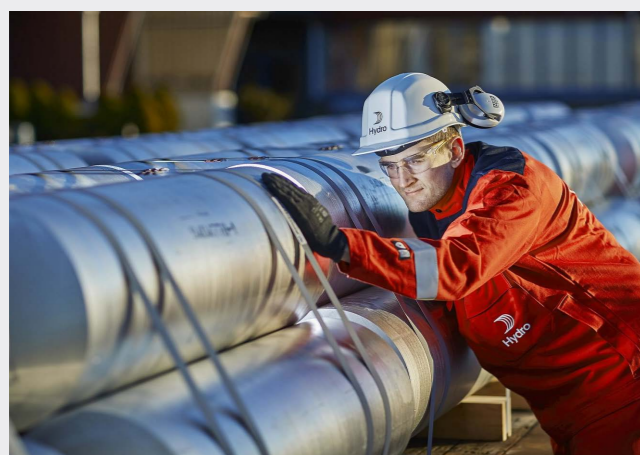
EMIRATES GLOBAL ALUMINIUM (EGA) nás oslovil na základe publikovaného príspevku zamestnancov VÚZ na kongrese TMS 2022 (The Minerals, Metals & Materials Society). Príspevok sa týkal problematiky opravného zvarovania výrobnej infraštruktúry pri výrobe hliníka. Po viacerých telekonferenciách bola na návrh EGA spracovaná dohoda o mlčanlivosti, VÚZ sa dostal na vendor list EGA a v súčasnosti sa pracuje na detailoch technickej špecifikácie prvého spoločného projektu.

Ak nám to dohody o mlčanlivosti umožnia, budeme technickú verejnosť v budúcnosti informovať o niektorých detailoch spoločných projektov s obidvomi spoločnosťami.

Ing. Peter Brziak, PhD.
riaditeľ pre výskum a vývoj



**VÝSKUMNÝ ÚSTAV
ZVÁRAČSKÝ**



Hliníkové čapy vo forme valcov (určené na prietlačné lisovanie) v jednom z výrobných závodov spoločnosti Hydro / foto: Hydro

Norsk Hydro (často uvádzaná iba ako Hydro) je nórska spoločnosť vyrábajúca hliník a obnoviteľnú energiu so sídlom v Oslo. Ide o jednu z najväčších svetových spoločností zaoberajúcich sa výrobou hliníka. Má pobočky vo viac ako 50 krajinách po celom svete a pôsobí na všetkých kontinentoch. Ročná produkcia hliníka je 2,2 mil. ton. Na Slovensku Norsk Hydro spoluvlastní firmu SLOVALCO s ročnou produkciou hliníka cca. 0,15 mil. ton.



Pohľad do haly s pecami v hliníkárni EGA v meste Al Tawheelah / foto: EGA

Emirates Global Aluminium (EGA) je najväčšia priemyselná spoločnosť v Spojených arabských emirátoch okrem segmentu ropy a plynu. EGA prevádzkuje hliníkárne v Abú Zabí a v Dubaji, rafinériu oxidu hlinitého v Abú Zabí a baňu na bauxit a súvisiace zariadenia v Guinejskej republike. Od svojho založenia v 70. rokoch 20. storočia EGA posunul Spojené Arabské Emiráty z nule výroby hliníka na piatu najväčšiu krajinu na svete vyrábajúcu hliník s ročnou výrobou cca. 2,5 mil. ton.



MÁTE PROBLÉM?

Deväť z desiatich inžinierov potvrdilo, že včasná **INŠPEKCIA** zariadení znižuje riziko porúch a predlžuje ich životnosť.

Predpokladom úspešného receptu na problémy spôsobené únavou či inými defektami materiálov, ktoré môžu vyústiť až do zlyhania zariadení, je správna **DIAGNOSTIKA A PREVENCIA**.

VÚZ disponuje **DIAGNOSTICKÝMI PRÍSTROJMI** a najmä cennou **EXPERTÍZOU**, pomocou ktorých dostaneme vaše problémy pod kontrolu.

Užívajte si spoľahlivý chod vašich výrobných zariadení a technologických celkov. Radi vám v tom **POMÔŽEME**.

inšpirujte sa:





FOTO: ROBERT KISS

ROZHOVOR

ING. IGOR KOSTOLNÝ, PHD., IWE

INOVÁTOR, KTORÝ ZAUJAL AJ V ZAHRANIČÍ

Inžinier Igor Kostolný patrí k nastupujúcej generácii mladých vedeckých pracovníkov vo Výskumnom ústave zväračskom. Je špecialistom na spájky, ale preniká aj do iných oblastí zvárania a spájania. Vo VÚZ si užíva pôsobenie v živej praxi a kontakt so zákazníkmi. Ako uvažuje o svojom odbore?

Kto je Igor Kostolný a čo ho z profesionálneho hľadiska definuje?

Pochádzam z dedinky Jasenie (okres Brezno). Od detstva ma priťahovala technika, stroje a týmto smerom sa prirodzene uberalo aj moje štúdium a práca. Inžinierske aj doktorandské štúdium som absolvoval na Materiálovotechnologickej fakulte STU v Trnave. Inžiniersky titul som získal v oblasti zvárania a doktorát v odbore strojárskych technológií a materiálov, za prácu s názvom „Výskum beztavivového spájkovania kovokeramického kompozitu“. Riešil som spájkovanie kompozitných materiálov na báze hliníkovej matrice vystuženej keramikými časticami Al₂O₃ s rôznymi materiálmi – s hliníkovou zliatinou, keramikou, medou a podobne. Čiastkové výsledky práce boli publikované aj v časopise Zváranie-Svařování (č. 2-2021). Po ukončení doktorandského štúdia v roku 2017 som zostal na fakulte a pôsobil som tam päť rokov ako výskumný pracovník. Od novembra minulého roku som už interným zamestnancom Výskumného ústavu zväračského.

Zostaňte ešte chvíľu na akademickej pôde, ktorá vás odborne formovala. Vaše publikačné výstupy boli prakticky každoročne hodnotené ako najlepšie. Podelte sa o recept.

Môžem potvrdiť, že publikačná činnosť doktorandov sa hodnotí každoročne a vždy sa niektorý z mojich článkov ocitol na zozname najlepšie hodnotených prác. Nebol to môj primárny cieľ, ale s mojím školiteľom prof. Ing. Romanom Koleňákom, PhD. som sa zakaždým snažil prinášať čo najlepšie výsledky a publikovať v čo najlepších časopisoch.

Podarilo sa nám vyvinúť, popísať a patentovať viacero spájkov na území Slovenskej republiky. Spomeniem však spájkov, na ktorú sme získali patent pre územie celej Európy. Je to mäkká spájka na báze cínu, antimónu a titánu Sn-Sb-Ti a je určená na spájanie keramikých materiálov navzájom či s kovmi. Výhodou je, že medzi jednotlivými keramikými materiálmi nie je potrebné vytvoriť medzivrstvu. Stačí použiť túto spájkov a aplikovať ju vhodnou technológiou, najčastejšie vysokoteplotnou alebo

”

V tom čase som bol medzi prvými na svete, čo experimentoval s touto technológiou na spájanie kovokeramikých materiálov.

ultrazvukovou aktiváciou, kedy sa aktivuje titán v spájke a zreaguje s povrchom keramiky. Prekonali sme konkurenčnú spájkov na báze Sn-Ag-Ti tak, že sme striebro nahradili lacnejším antimónom a okrem cenovej výhody sme vhodnejším hmotnostným pomerom jednotlivých prvkov dosiahli lepšie spájkovacie vlastnosti a vyššiu výslednú pevnosť. Jednému zákazníkovi z Francúzska sme predali licenciu na spájkov, pretože prejavil záujem o jej komerčnú výrobu.

V roku 2017 ste sa ako doktorand Ústavu výrobných technológií MTF STU zúčastnili konferencie v Pekingu, ktorú organizovala tamojšia technologická univerzita. V rámci posterovej sekcie bol váš poster s názvom „Flux less soldering of metal matrix composite using ultrasound energy“ vyhodnotený ako najlepší.

V čom bola vaša práca objavná?

Vychádzal som z poznatku, že kovokeramické kompozity s hliníkovou maticou sa nemôžu zvärať, môžu sa len spájkovať. Problém bol v tom, že hliník má na povrchu oxidickú vrstvu Al₂O₃. Pri spájkovaní hliníka potrebujete, aby spájka zmáčala základný materiál a vytvorila podmienky na spájanie materiálov. Túto vrstvu je potrebné nejakým spôsobom

narušiť, aby došlo ku kontaktu spájky a základného materiálu. Väčšinou sa na to používajú tavivá, ktoré majú vysokú afinitu ku kyslíku. Dokážu ho „vysať“ a narušiť povrchovú vrstvu, takže spájka dokáže zmáčat základný materiál. Ja som namiesto taviva použil ultrazvukovú energiu, ktorú emitoval ultrazvukový hrot. Ultrazvukové vibrácie pri frekvencii nad 20 000 Hz dokázali narušiť povrchovú oxidickú vrstvu a spájka prilhla k hliníkovej matrici.

V tom čase som bol medzi prvými na svete, čo experimentoval s touto technológiou na spájanie kovokeramikých materiálov. Keď som širil myšlienku, že treba vymyslieť technológiu bezkontaktného ultrazvukového spájkovania, neraz som si vyslúžil úšklabky. Dnes sa táto technológia postupne vylepšuje na viacerých pracoviskách vo svete a začína sa presadzovať aj v praxi. Príkladom pre využitie ultrazvuku pri spájkovaní je výroba solárnych panelov, kde dochádza k spájaniu skla a kovu. Na solárne panely sa aplikujú vodiče elektrickej energie, pričom sa už teraz spájkujú ultrazvukom. Niektoré firmy využívajú ultrazvukové spájanie aj v mikroelektronike, napríklad pri spájkovaní dosiek plošných spojov.

Popíšte kroky, ktoré vás priviedli do VÚZ.

Po desaťoch v akademickej praxi som sa chcel vo väčšej miere stretávať s praxou. To mi na univerzitnej pôde chýbalo, a to aj napriek tomu, že pre výsledky našej práce sme sa vždy snažili nachádzať aplikačné možnosti. Chcel som riešiť skutočné problémy z praxe a zažívať dobrý pocit, keď sa mi podarí vyriešiť nejaký konkrétny problém. Otázka bola, kam sa z univerzity presuniem, do akej firmy. Ešte pred nástupom do VÚZ som sa prihlásil na kurz medzinárodného zväračského inžiniera (IWE), ktorý organizuje práve VÚZ. Kurz trval pol roka a počas tej doby som mal možnosť „príučnúť“ k prostrediu, spoznať niektorých zamestnancov a získať základnú predstavu. Mohol som sa zamestnať aj v iných firmách, ktoré sa zaoberajú zváraním, ale tam by ma ubíjalo venovať sa dookola rovnakým, alebo veľmi podobným projektom. Výskumný ústav zväračský je výnimočný v tom, že rieši veľmi špecifické problémy zákazníkov a priná-

ša unikátne riešenia. Opakovane sa mi potvrdilo, že ak si nejaká firma nevie rady a nenájde pomoc u iných dodávateľov, osloví VÚZ. To nám umožňuje tvorivo sa venovať novým a novým projektom, nachádzať neprebádané cesty a metódy, ako vyriešiť problémy zákazníkov. A v takomto prostredí som aj ja ako človek, ktorý vyšiel z akademického prostredia, videl svoj potenciál. Vedel som si predstaviť, že v čo najvyššej miere budem môcť využiť svoje znalosti v prospech riešenia obzvlášť náročných, alebo problematických zákaziek.

Vo VÚZ pracujete bezmála pol roka. Venujete sa spájkovaniu, teda vašej primárnej špecializácii, alebo ste sa ponorili aj do projektov v iných oblastiach?

Zákazníci majú o technológiu spájkovania záujem, požadujú riešenia s použitím tejto technológie. Prichodom do VÚZ sa však moje pole pôsobnosti rozšírilo a venujem sa aj zvarovaniu inými technológiami. Zažil som tu, čo v škole nie – pocit zadosťučinenia, keď sa zákazka podarí a zákazník je spokojný.

Môžete prezradiť viac, prípadne spomenúť zákazníkov?

Momentálne riešim opravu hliníkových chladičov spájkaním pre konkrétneho zákazníka. Chybou týchto chladičov je, že spoje v niektorých častiach buď nie sú urobené dobre, alebo úplne chýbajú. Mojou úlohou je navrhnúť vhodnú technológiu a tieto miesta opraviť. Najčastejšou príčinou zlých spojov je buď zlé nastavenie technológie, alebo nevhodné materiály, prípadne ich príprava. Chladiče sa často vyrábajú tak, že na niektorých dieloch je už nanosená spájka a tavivo a výrobca ich len poskladá a vloží do pece. Nie vždy je na dieloch nanosená rovnomerná hrúbka alebo množstvo spájky či taviva a preto sa môže stať, že sa diely v niektorých miestach jednoducho nespoja. To znižuje účinnosť chladičov, čo predstavuje problém.

Ďalší zákazník, pre ktorého s mojimi kolegami pracujem, prevádzkuje jadrové elektrárne. V nich sú milióny heterogénnych i homogénnych zvarových spojov. O najvyšších bezpečnostných požiadavkách na materiály a technológie v prostredí jadrových elektrární sa nemusíme baviť, tie sú pre túto oblasť typické. Z času na čas sa však objaví „špecialitka“, s ktorou sa elektrárne obrátia na nás. Tak je to aj v prípade opravy nátrubky parogenerátora N23, ktorý tvorí kombinácia feritickéj a austenitickej ocele a vyžaduje si opravu. Z podobnej kategórie sú aj ďalšie zákazky.

Patrite k okruhu autorov odborných článkov v našom časopise a vystupujete aj na konferenciách. Ako vnímate nástup virtuálnej reality, prípadne nástrojov umelej inteligencie vo vašej praxi?

Nebránim sa im. Nápomocné sú najmä simulačné programy. Napríklad keď hľadám vhodný spôsob zvarovania, nemusím robiť veľa testov. Špecialisti



Skupinová momentka zo školenia zváračov z JE Mochovce, Igor Kostolný prvý sprava



Opakovane sa mi potvrdilo, že ak si nejaká firma nevie rady a nenájde pomoc u iných dodávateľov, osloví VÚZ.

na numerické simulácie dokážu výsledok predikovať takmer stopercentne. Zatiaľ s tým nemám veľkú osobnú skúsenosť, ale som rád, že tieto možnosti využívame aj vo VÚZ. Numerické simulácie zvarovania sa posunuli na takú úroveň, že keď sa poctivo otestujú jednotlivé druhy materiálov a reálnymi skúškami alebo pomocou simulátorov sa získajú fyzikálne, chemické a mechanické vlastnosti, vďaka takto získanej databáze dokáže program vypočítať simuláciu, ktorej výsledok je vierohodný na 90 až 95 %. A to je vysoko spoľahlivý výsledok. Výhodou numerických simulácií je, že dokážu predikovať životnosť zvarového spoja, štruktúru materiálu i štruktúru zvarového spoja, mechanické vlastnosti zvarového spoja a jeho tvrdosť. Teda všetky oblasti, ktoré sú pri zvarovaní kľúčové.

Ako ste však povedali – aby sa dalo na výsledok spoľahnúť, do veľkej miery záleží na kvalite

vstupných dát, takže ľudský faktor bude aj naďalej zohrávať zásadnú rolu...

Áno. Preto je potrebné dotiahnuť vstupné databázy do čo najvyššej novej dokonalosti, aby mohol program produkovať maximálne spoľahlivé výstupy. Potom môžeme povedať, že numerické simulácie dokážu v mnohých prípadoch nahradiť vývoj technológií zvarovania. Pretože nemusíte nakupovať drahé základné i prídavné materiály, nemusíte vykonávať skúšky so zväčšom a pozväčšaný kus následne nemusíte detailne testovať v metalografickom laboratóriu. Dnes sú už simulácie natolko dokonalé, že sa o ne môžeme oprieť.

A čo sa týka využívania nástrojov umelej inteligencie v oblasti konferencií?

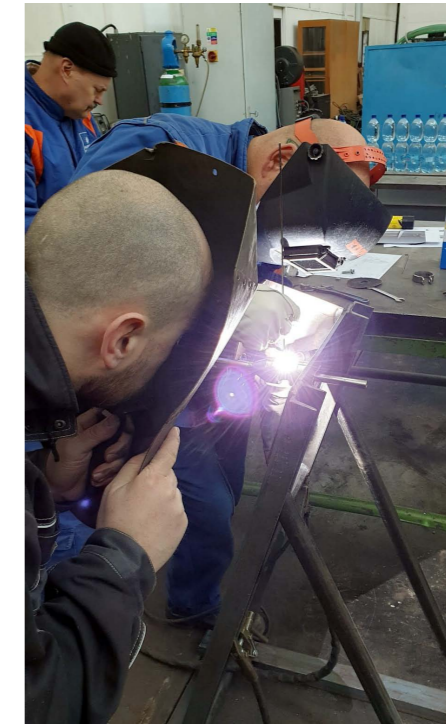
Tam podľa mňa žiadna umelá inteligencia nenahradí osobný kontakt odborníkov. Živý kontakt a výmena názorov sú nenahraditeľné elementy konferencií. Virtuálne nástroje boli počas pandémie nápomocné, ale predsa len sa osvedčili iba ako náhradné riešenie. Som presvedčený, že to tak dlho aj zostane.

Hoci je vaša kariéra prakticky „v zábehu“ a na bilancovanie si pár desaťročí počkáme, predsa len – máte nejaký nesplnený profesionálny sen?

Od detstva ma fascinuje vesmír. Sníval som o tom, že raz budem pracovať pre nejakú agentúru, ktorá sa zaoberá prehladávaním hlbín vesmíru. Napríklad ESA, alebo NASA. Ktovie, možno sa mi raz podarí prispieť aspoň maličkým dielikom k rozšíreniu poznatkov o vesmíre. Ale nejakú aktivitu na to netlačím.

Znie to logicky, veď spájanie kompozitných materiálov má k vesmírnym aplikáciám blízko...

Zváranie či spájanie vo všeobecnosti má vo vesmírnych aplikáciách nesmierne široké uplatnenie. Nové a progresívne materiály a aj samotné spoje musia vo vesmíre odolávať žiareniu, radiácii, tepelným šokom a iným extrémnym faktorom. V tejto oblasti je pred nami ešte veľa rokov a desaťročí práce a výskumu. Ale vrátim sa v tejto súvislosti ešte k predchádzajúcej otázke. Želám si, aby sa čoraz viac mladých ľudí zaujímalo o štúdium technických smerov. Odporúčam štúdium na MTF STU v Trnave, ale aj na iných technických fakultách. Za trnavskú fakultu môžem povedať, že sú tam špičkoví pedagógovia a najnovšie technológie. Technické štúdium zabezpečí mladým ľuďom istú budúcnosť. Technologický pokrok je veľmi rýchly a schopní, technicky podkutí ľudia v našej ekonomike chýbajú.



Ako relaxujete?

Cvičím. Riadim sa heslom „v zdravom tele zdravý duch“. Mám odskúšané, že posilňovaním tela si človek posilňuje aj psychiku, výdrž a odolnosť. Teda vlastnosti, ktoré využívame v každodennom živote. Keď je človek v harmónii, v pohode, funguje celkovo lepšie. Keď je pekne, chodím aj s manželkou do prírody, alebo si pozriem nejaký film s tematikou sci-fi.

zhováral sa **Robert Kiss**

Prečítajte si článok Igora Kostolného o spájkovaní technológiou MIG a CMT na str. 12-16

Igor Kostolný dozoruje zváranie s dôrazom na dodržiavanie predpísaných parametrov a postupov podľa platnej zväračskej dokumentácie



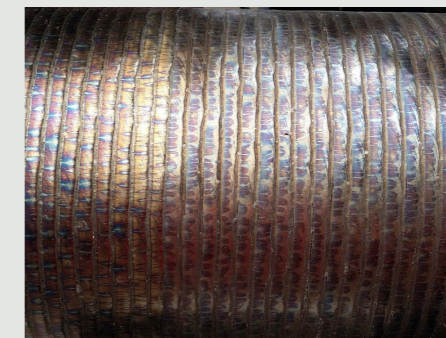
VÝSKUMNÝ ÚSTAV ZVÁRAČSKÝ

novinka

Extrémne podmienky? Budte bez obáv!

Vyvinuli sme nový typ plneného drôtu **K 048** na naváranie pod tavivom. Používa sa v kombinácii s tavivom **VÚZ – F 56**. Oceníte ho pri vysokoteplotných aplikáciách, kde spolupôsobí abrazia.

// vynikajúce vlastnosti v extrémnych teplotách // vysoká odolnosť voči abrazii // vyskúšané a overené technológie navárania // aplikácia vo výrobe izolačných hmôt a v iných oblastiach // predĺžená životnosť výrobných zariadení



kontakt:

Výskumný ústav zväračský
Divízia Výroby zväračích materiálov
Račianska 71, 831 02 Bratislava

Ing. Štefan Smetana // +421 905 452 891
stefan.smetana@vuz.sk // www.vuz.sk

SPÁJKOVANIE TECHNOLOGIOU MIG A CMT V AUTOMOBILOVOM PRIEMYSELE

Ing. Igor Kostolný, PhD. IWE
VÚZ, Bratislava

ABSTRAKT

Príspevok sa venuje prierezovej štúdii v oblasti spájkovania rozdielnych materiálov technológiami MIG a CMT. Ide hlavne o oblasť automobilového priemyslu, kde sa vyžaduje vytvorenie spojov medzi oceľou a hliníkovými komponentami, pozinkovanými plechmi, spájkovaniu hliníkových a niklových komponentov a rôznych ďalších. Voľba technológií je hlavne v dôsledku nevystavovania základných materiálov vysokému tepelnému zaťaženiu v mieste spoja a tým k podpore znižovania obsahu krehkých intermetalických fáz, ktoré majú priamy vplyv na pevnosť vyhotovených spojov.

ABSTRACT

The contribution is devoted to a cross-sectional study in the field of soldering of different materials by MIG and CMT technologies. It is mainly in the area of the automotive industry where it is required to create connections between steel and aluminum components, galvanized sheets, soldering of aluminum and nickel components and various others. The choice of technologies is mainly due to not exposing the basic materials to a high thermal load at the point of the joint and thus to support the reduction of the content of brittle intermetallic phases, which have a direct impact on the strength of the joints made.

1. ÚVOD

Kľúčové slová:

spájkovanie, CMT, MIG, automotive

Spájkovanie v ochrannej atmosfére MIG a CMT je spôsob spájkovania, kde zdrojom tepla je elektrický oblúk. Oblúk horí medzi taviacou sa elektródou – spájkou (ktorá slúži zároveň ako prídavný materiál) a spájkovaným materiálom. Ochrana kúpeľa sa dosahuje ochranným plynom, resp. zmesou plynov. Ochranným plynom je teda argón, hélium alebo ich zmes [1]. Ako alternatíva ochranných plynov sa používajú aj plnené drôtové elektródy s náplňou, ktorá sa v oblúku odparuje a takto vytvára ochrannú atmosféru. Plnené elektródy zaručujú spoľahlivú ochranu aj v prievane. Spájkovanie plnenou elektródou s vlastnou ochranou (Innershield) je metóda, pri ktorej je teplo vytvárané oblúkom medzi nekonečnou plnenou elektródou (spájkou) a základným materiálom. Náplň poskytuje ochranný plyn pre oblúk na pokrytie vytvoreného spájkovaného spoja [2].

CMT technológia je modifikovaný proces MIG založený na skratovom procese, ktorý vyvinula spoločnosť Fronius v Rakúsku v roku 2004. Ide o modifikovanú technológiu spájania elektrickým oblúkom v ochrannej atmosfére plynov s presne dávkovanou energiou do miesta spoja. Oddelovanie kvapiek prídavného materiálu v tomto prípade nastáva dynamickým účinkom spätného pohybu drôtu. Prídavný materiál kmitá s frekvenciou až 70-krát za sekundu. V porovnaní s MIG technológiou prebieha prechod

materiálu pri podstatne nižšej teplote [3]. Počas spájkovania majú zmeny teploty v spoji a základnom materiáli významný vplyv na materiálové charakteristiky, zvyškové napätia, ako aj rozmerovú a tvarovú presnosť spájkovaných výrobkov [4]. CMT technológia poskytuje riadenú metódu nanášania a nízky tepelný príkon s inovatívnym systémom podávania drôtu spojeným s vysokorýchlostným digitálnym ovládaním [5].

Spájkovanie technológiami MIG a CMT prináša celý rad výhod. Využívajú sa hlavne v prípadoch spájania materiálov s rôznou teplotou tavenia, kde je potrebné, aby sa základné materiály netavili. Využitie je najmä v automobilovom priemysle, kde sa tieto technológie používajú napríklad pri zvyšovaní koróznej odolnosti vytvorením zinkového povlaku na oceľových plechoch. Spájkovanie je použité hlavne z dôvodu relatívne nízkej teploty tavenia zinku, pretože v porovnaní so zvaraním sa riziko odparovania zinku výrazne znižuje. Niektorí autori [6, 7] uviedli výhody technológie MIG a CMT v porovnaní so zvaraním ako nižšie tepelné zaťaženie v mieste spoja, čo vedie k nižšiemu poškodzovaniu povlaku na spájaných materiáloch. Tento článok sa preto venuje štúdiu a aplikáciám spájkovania rôznych materiálov technológiami MIG a CMT a ich vplyv na rast intermetalických fáz, ktoré majú vplyv na pevnosť spojov.

2. EXPERIMENTÁLNE ŠTÚDIE

2.1 Pozinkovaná oceľ (Q235) a tvárnená hliníková zliatina (Al6061)

Intermetalické zlúčeniny pozorované na rozhraní spoja medzi pozinkovanou oceľou a hliníkovou zliatinou sú hlavne FeAl₃ fázy. Zhang a kol. [8] zistili, že spájkovaním metódou CMT zvýšili pevnosť spojov znížením hrúbky krehkých intermetalických zlúčenín medzi Al a oceľou. Štruktúra spoja znázornená na obr. 1 tvorená počas tuhnutia je kontrolovaná hlavne difúziou Fe a Al atómov na rozhraní medzi roztavenou hliníkovou zliatinou a tuhú oceľou.

2.2 Uhlíková oceľ tvárnená za studena a priemyselný čistý hliník

Autori [9] použili technológiu MIG na spájanie uhlíkovej ocele a čistého hliníka. Na spájkovanie použili tavivom plnené Al-Si elektródy. Pevnosť v ťahu závisela od hrúbky intermetalických fáz na rozhraní spojov, ktoré boli kontrolované počas tuhnutia. Autori prišli na to, že ak je hrúbka intermetalických zlúčenín menšia ako 2,5 μm, spoje dosahujú najvyššiu hodnotu pevnosti v ťahu 80 MPa. Pri vyšších hrúbkach pozorovali zníženie pevnosti. Autori zobrazujú

optimálnu oblasť spájkovacích parametrov v závislosti na pozícii a rýchlosti spájkovania na obr. 2.

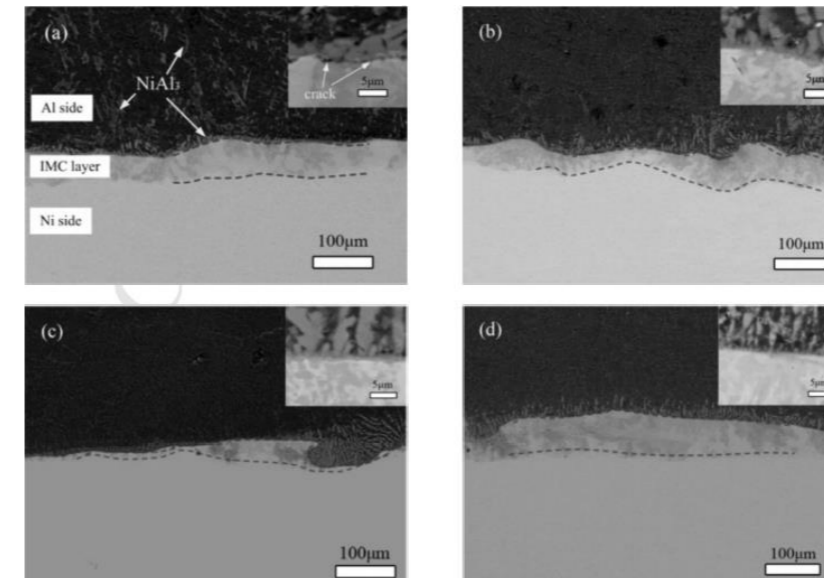
2.3 Hliníková zliatina 5A06 a čistý nikel N6

Spoj vytvorený autormi [10] technológiou CMT medzi Al a Ni použitím prídavného materiálu AlSi5 je možné rozdeliť do štyroch častí: Oblasť Ni; oblasť intermetalických zlúčenín Ni₃Al, Ni_{0,9}Al_{1,1} a Ni₂Al₃; oblasť vrstvy NiAl₃ a tuhý roztok Al-Si, ktorý sa tvoril zo strany niklu do strany hliníka. So vzrastajúcou rýchlosťou spájkovania sa hrúbka intermetalických zlúčenín najprv znižovala a potom rástla. Tento jav je zobrazený na obr. 3. Najvyššia pevnosť v ťahu bola 42 MPa. Pevnosť sa znižovala s narastajúcou hrúbkou intermetalických fáz. Lom bol pozorovaný hlavne v oblasti NiAl a NiAl₃.

2.4 Titán a čistá meď

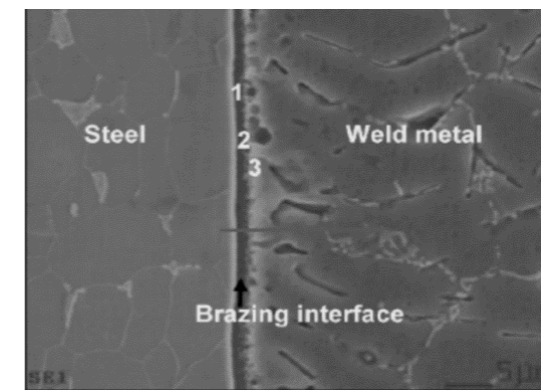
Autori [11] dosiahli kvalitné spoje s dobrou zmačavosťou a roztekavosťou prídavného materiálu CuNiAl na povrchoch oboch substrátov. Na rozhraní s titánom boli pozorované intermetalické fázy Ti₂Cu, TiCu a AlCu₂Ti. Rozhranie medzi Ti a spájkou je zobrazené na obr. 4.

Pevnosť vytvorených spojov bola v rozsahu od 197,5 do 205,8 MPa. Hrúbka intermetalických fáz bola rôzna. V oblasti povrchu koreňa bola hrúbka 80-100 μm, na hornom povrchu 117-129 μm.

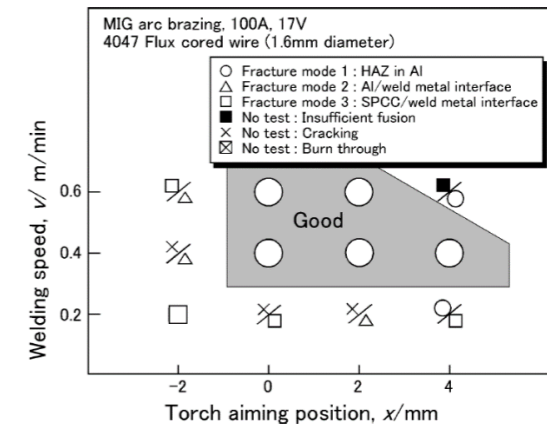


Obr. 3 Vplyv rýchlosti spájkovania na mikroštruktúru spoja Al-Ni [10]

a) 9 mm/s; b) 11 mm/s; c) 15 mm/s; d) 7 mm/s
Fig. 3 The influence of the brazing speed on the microstructure of the Al-Ni joint [10]
a) 9 mm/s; b) 11 mm/s; c) 15 mm/s; d) 7 mm/s



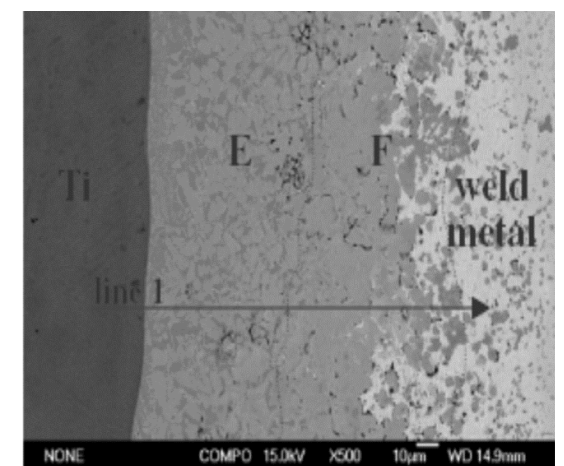
Obr. 1 Mikroštruktúra spájkovaného rozhrania [8]
Fig. 1 Microstructure of brazed interface



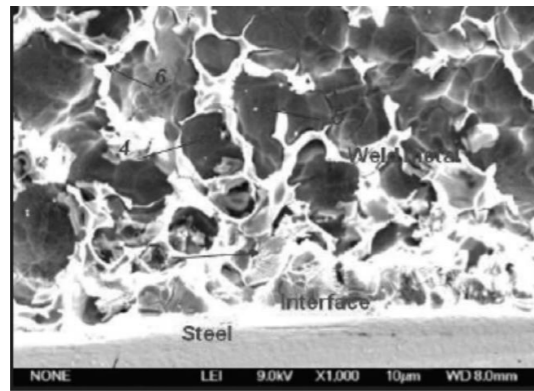
Obr. 2 Optimálna oblasť podmienok spájkovania [9]
Fig. 2 Optimum range of brazing conditions



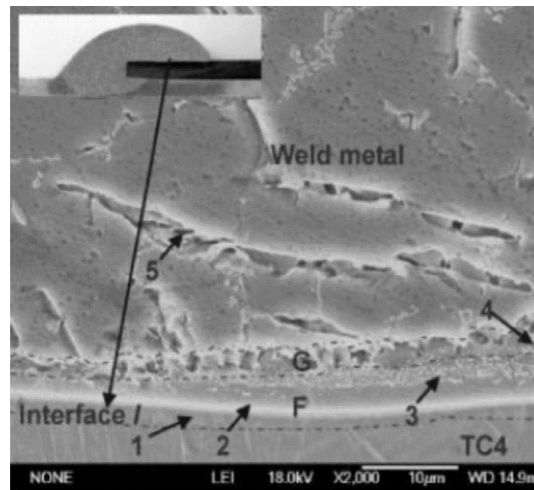
Spájkovanie technológiami MIG a CMT prináša celý rad výhod.



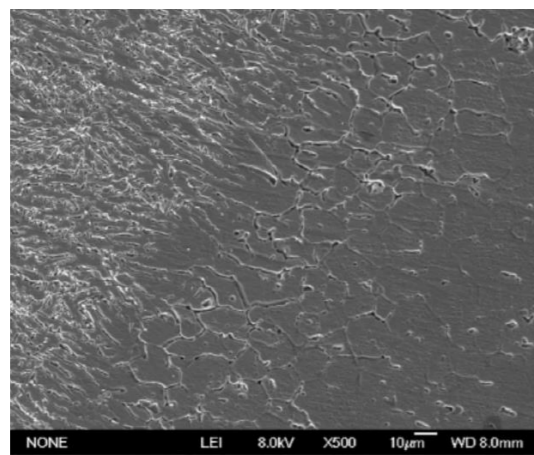
Obr. 4 Mikroštruktúra rozhrania Ti/spájka [11]
Fig. 4 Microstructure of Ti/filler metal interface



Obr. 5 Mikroštruktúra spájky na rozhraní s ocelovým substrátom [12]
Fig. 5 Microstructure at the steel substrate interface



Obr. 6 Rozhranie spájkovaného spoja medzi spájkou a Ti substrátom [13]
Fig. 6 Interface of brazed joint between braze metal and substrate



Obr. 7 Mikroštruktúra rozhrania Al6061/pozinkovanej ocele [14]
Fig. 7 Microstructure of Al6061/galvanized steel interface



Obr. 8 Výsledok testu koróznej odolnosti spoja v slanej vode po zváraní/spájkovaní [15]
Fig. 8 The result of the corrosion resistance test of the joint in salt water after welding/brazing

2.5 Horčiková zliatina AZ31 a pozinkovaná ocel'

Autori [12] upozorňujú na nutnosť pozinkovania ocele pre dosiahnutie kvalitného spoja medzi ocelou a horčikovou zliatinou AZ31. Pre vytvorenie spájkovaného spoja použili CMT metódu s prídavným materiálom z horčikovej zliatiny AZ61. Obr. 5 zobrazuje rozhranie spájkovaného spoja, ktoré pozostáva z Al, Zn, Mg intermetalické fázy či oxidy (MgFeAlO₄, Fe₂O₃, Mg₂Zn₁₁) a tuhý roztok horčika. Hliník prítomný v prídavnom materiáli zvyšoval zmačavosť spájky na pozinkovanej oceli.

2.6 Hliniková zliatina Al6061-T6 a titánová zliatina Ti-6Al-4V

Intermetalické fázy na rozhraní spoja na obr. 6 sú zložené hlavne z dvoch vrstiev: rovnomerná vrstva zložená z fáz Ti₃Al a TiAl a nerovnomerná vrstva fázy TiAl₃ na rozhraní so spájkovacou zliatinou. Autori [13] použili spájkovanie CMT procesom a prídavný materiál AlSi5. Pevnosť v ťahu tohto spoja dosahovala hodnotu 194 MPa.

2.7 Hliniková zliatina Al6061-T6 a pozinkovaná ocel'

Autori [14] prišli k záveru, že kvalitné spoje je možné dosiahnuť, ak sa správne riadi rýchlosť podávania prídavného materiálu. V tejto štúdii použili autori ako prídavný materiál Al zliatinu 4043. Rozhranie medzi Al a pozinkovaným plechom je tvorené intermetalikami FeAl₃ hrúbky 5-8 µm. Mikroštruktúra tohto spájkovaného spoja je uvedená na obr. 7. Zistilo sa, že vytvorením stehov pred samotným spájkovaním CMT procesom sa ovplyvnila pevnosť spoja. Vytvorenie spojov medzi Al6061 zliatinami dosahovalo nižšie pevnosti ako pri spájaní Al6061 s pozinkovanou ocelou.

3. APLIKÁCIE V AUTOMOBILOVOM PRIEMYSLE

3.1 Spájanie častí výfuku

Na zváranie výfukových častí sa často používajú konvenčné technológie ako MIG/MAG. Trendom automobilového priemyslu je neustála snaha o znižovanie hmotnosti vozidiel. Na časti výfuku sa používajú materiály z koróziivzdornej ocele, kde je potrebné zvärať tieto materiály s hrúbkou menšou ako 1 mm. Pri použití týchto technológií sa často vyskytujú problémy ako rozstrek, spálenie povrchu, rôzne deformácie a pretečenie koreňa.

Spájanie technológiou MIG alebo CMT prídavným materiálom na báze Cu sa javí ako vhodné riešenie týchto problémov. Odstraňuje sa problém korózie v okolí spoja a zvyšuje sa spájkovateľnosť týchto materiálov. Príkladom je obr. 8, kde je porovnaný zváraný a spájkovaný spoj z pohľadu koróznej odolnosti v slanej vode.

Ďalšie príklady spájkovaných spojov sú uvedené na obr. 9. Zostava spájkovaných častí vo vnútri výfuku je charakteristická množstvom spojov, ktoré sú pri zváraní vystavené vysokému tepelnému ovplyvneniu, čo vedie k problémom [15]. Spájkovanie MIG a CMT je optimálnym riešením.



Z analýzy makroštruktúr vyplýva, že práve technológia MIG spájkovania umožňuje spájať komponenty s menej presným ustavením, čo pri použití napr. laserového zvárania nie je možné.

3.2 Spájanie pozinkovaných ocelí palubnej dosky

Príkladom môže byť zváraná konzola, ktorá sa nachádza na prednej časti palubnej dosky a chráni prednú časť pred environmentálnymi deformáciami. Zváranie komponentov na konzole prináša deformácie v dôsledku prítomnosti väčšieho počtu zvarov v tesnej blízkosti. Z toho dôvodu by tepelné zaťaženie malo byť znížené na minimum. Spájkovanie MIG a CMT sú vhodným riešením. Cena za prídavný materiál je vyššia, ale proces na druhej strane prináša mnoho výhod [15]. Na obr. 10 je zobrazená konzola s vyznačenými miestami spojov.

3.3 Spájanie karosérie osobného automobilu

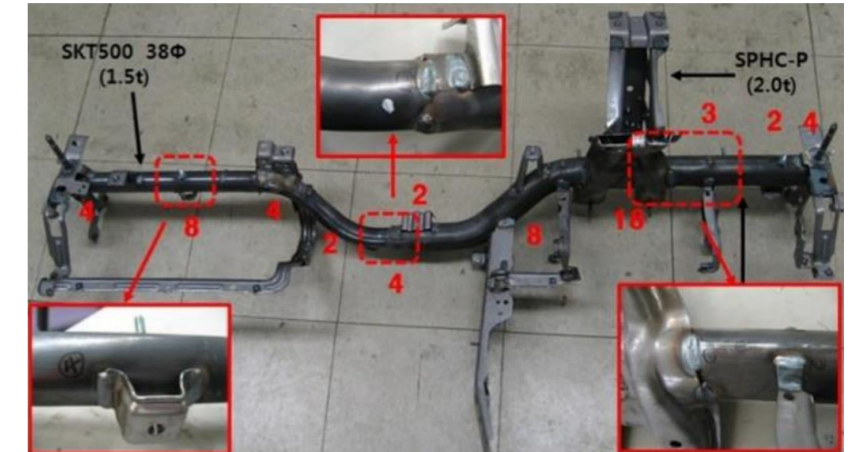
Vizuálna kontrola kvality spoja (obr. 11) preukázala prítomnosť rozstrekú kovu spájky v okolí spoja a taktiež výrazné znečistenie okolia spoja vplyvom horenia oblúka. Geometria spájkového spoja bola vyhovujúca. Na spoji nebol zistený výskyt trhlín, ani chyby vplyvom zlej zmačavosti a zatekavosti spájky. Metalografická analýza preukázala dobrú kvalitu spájkovaním zhotoveného spoja. Z analýzy makroštruktúr vyplýva, že práve technológia MIG spájkovania umožňuje spájať komponenty s menej presným ustavením, čo pri použití napr. laserového zvárania nie je možné. To si vyžaduje presné ustavenie zváraných dielcov bez medzery. Mierne oddialenie spájaných plechov je pri spájkovaní povrchovo upravených pozinkovaných plechov vhodné z dôvodu plynulého odvádzania Zn pár z miesta spájkovania pri horení oblúka [16].

3.4 Spájanie pozinkovanej ocele a TRIP ocele

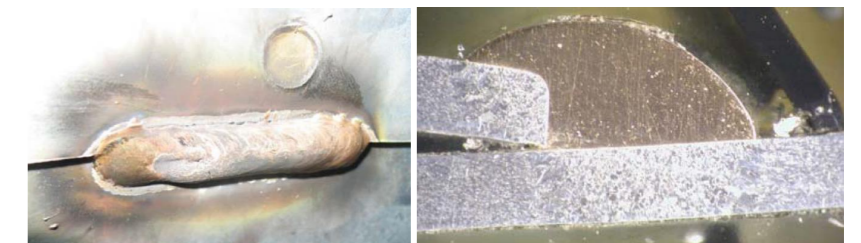
TRIP ocele sa používajú v automobilovom priemysle na výrobu priečnikov, pozdĺžnych nosníkov, parapet, výstuh nárazníkov atď. Používajú sa aj pri spájaní s pozinkovanou ocelou na podlahách a bokoch karosérie, kde pozinkovaná oceľ je hrubá len 0,8 mm (obr. 12). V takom prípade je bežné bodové odporové zváranie nevýhodnou voľbou. Konvenčné oblúkové zváranie spôsobilo veľký rozstrek, materiál bol kvôli vysokému tepelnému zaťaženiu deformovaný a medzery medzi materiálmi sa rozširovali. Spoločnosť Vauxhall



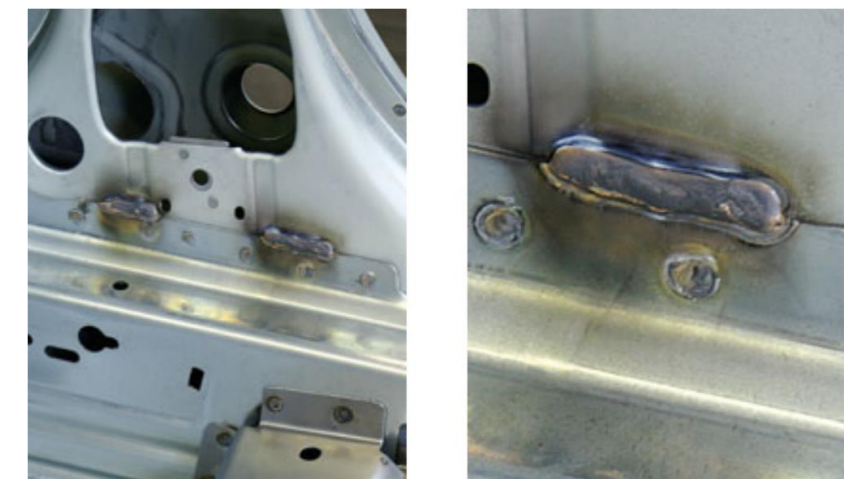
Obr. 9 Spájkované spoje častí výfuku a vnútornej časti hlavného výfuku [15]
Fig. 9 Brazed joints of the exhaust part and the inner part of the main exhaust



Obr. 10 Konzola prednej časti palubnej dosky [15]
Fig. 10 Console of the front part of the dashboard



Obr. 11 Analyzovaný MIG spájkovaný spoj na karosérii spojený spájkou CuSi₃ [16]
Fig. 11 Analyzed MIG brazed joint on the car body connected by CuSi₃ braze metal



Obr. 12 CMT spájkovaný spoj pozinkovanej ocele a TRIP ocele [17]
Fig. 12 CMT brazed joint of galvanized steel and TRIP steel

Motors prezentuje použitie metódy spájkovania technológiou CMT od spoločnosti Fronius (Rakúsko) ako vhodnú voľbu pre vyriešenie tohto problému [17].

4. ZÁVER

Viacere štúdie potvrdili, že hrúbka a objem intermetalických fáz v rozhraniach spájkovaných spojov majú priamy vplyv na výslednú pevnosť vytvorených spojov. V tomto ohľade je vhodnejšie použitie

technológie CMT, nakoľko tepelné ovplyvnenie materiálu je použitím tejto technológie výrazne nižšie v porovnaní s MIG spájkovaním. Dôležitá je aj správna voľba prídavných materiálov, prípadne povrchové povlakovanie na konkrétne kombinácie spájkovaných materiálov. ■

RECENZENT:
ING. MIROSLAV JÁŇA, PhD. CEWE

LITERATÚRA

- [1] FRONIUS: Kurs_MIG_MAG_cz. Expert Set CZ. [CD-ROM], FRONIUS International GmbH, Verzia 01, 2005
- [2] Lincoln Electric Europe: Katalog strojů 2008 – Svařování plněnou elektrodou s vlastní ochranou. Lincoln Electric, [katalóg]. 2007.
- [3] FRONIUS: Cold Metal Transfer – CMT. Expert Set CZ. [CD-ROM], FRONIUS International GmbH, Verzia 01, 2005.
- [4] Robert Talalaev, Renno Veinthal, Andres Laansoo and Martinš Sarkans, Cold metal transfer (CMT) welding of thin sheet metal products, Estonian Journal of Engineering, 2012, 18, 243–250.
- [5] C. G. Pickin and K. Young, Evaluation of cold metal transfer (CMT) for welding aluminium alloy, Science and Technology of Welding and Joining, 2006, 11:5, 583-585.
- [6] G. Qin, Y. Su, S. Wang: Acta metallurgica Sinica, Vol. 48, 2012, No. 8, p. 1018-1024
- [7] M. Popescu, G. E. Mocuta, A. Raduta, A. Magda: Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol. 13, 2012, No. 2A, p. 1038-1046
- [8] H. T. Zhang, J. C. Feng and P. He, Interfacial phenomena of cold metal transfer (CMT) welding of zinc coated steel and wrought aluminium, Materials Science and Technology, 2008, 24:11, 1346-1349.
- [9] T. MURAKAMI, K. NAKATA, H. TONG, M. USHIO. Dissimilar Metal Joining of Aluminum to Steel by MIG Arc Brazing Using Flux Cored Wire. In ISIJ International, Vol. 43, 2003, pp. 1596-1602
- [10] Y.B. Liu, Q.J. Sun, H.B. Sang and J.C. Feng, Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welded aluminium/nickel lap joints, Science and Technology of Welding and Joining, 2015, 20:4, 307-312.
- [11] R. Cao, Z. Feng and J.H. Chen, Microstructures and properties of titanium-copper lap welded joints by cold metal transfer technology, Materials and Design, 2014, 53, 192–201.
- [12] R. Cao, J. Y. Yu, J. H. Chen, and Pei-Chung Wang, Feasibility of Cold-Metal-Transfer Welding Magnesium AZ31 to Galvanized Mild Steel, Welding Research, 2013, 92, 274-282.
- [13] R. Cao, J. H. Sun and J. H. Chen, Mechanisms of joining aluminium A6061-T6 and titanium Ti-6Al-4V alloys by cold metal transfer technology, Science and Technology of Welding and Joining, 2013, 18:5, 425-433.
- [14] R. Cao, Q. Huang, J.H. Chen, Pei-Chung Wang, Cold metal transfer spot plug welding of AA6061-T6-to-galvanized steel for automotive applications, Journal of Alloys and Compounds, 2014, 585, 622–632.
- [15] Y. Kim, K. Park. A Review of Arc Brazing Process and Its Application in Automotive. In International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 5, 2016, pp. 246-250
- [16] J. Viňáš, L. Kaščák. Analýza kvality spoja zhotoveného MIG spájkovaním na karosérii osobného automobilu. In Transfer Inovácií, 2008, pp. 171-173
- [17] Fronius Poland, CMT Brazing Instead of Welding. 2009

schválené technické normy

číslo normy	názov normy	dátum vydania
STN EN 10253-2	Tvarovky na priváranie na tupo. Časť 2: Nelegované a legované feritické ocele s osobitnými kontrolnými požiadavkami	1.12.2022
STN EN ISO 18563-1	Nedeštruktívne skúšanie. Charakterizácia a overovanie ultrazvukových systémov phased array. Časť 1: Prístroje (ISO 18563-1: 2022)	1.12.2022
STN EN ISO 17636-2	Nedeštruktívne skúšanie zvarov. Skúšanie prežarovanim. Časť 2: Techniky röntgenového žiarenia a žiarenia gama s použitím pomocou digitálnych detektorov (ISO 17636-2: 2022)	1.12.2022
STN EN ISO 7963	Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie ultrazvukom. Špecifikácia na kalibračný blok č. 2 (ISO 7963: 2022)	1.1.2023
STN EN IEC 60974-1	Zariadenia na oblúkové zvrávanie. Časť 1: Zdroje zvráacieho prúdu	1.1.2023
STN EN ISO 15615	Zariadenie na plameňové zvrávanie. Acetylénové združené rozvodné systémy na zvrávanie, rezanie a príbuzné procesy. Bezpečnostné požiadavky vo vysokotlakových zariadeniach (ISO 15615: 2022)	1.1.2023
STN EN ISO 12153	Zvráacie materiály. Plnené drôtové elektródy na oblúkové zvrávanie niklu a niklových zliatin v ochrannom plyne alebo bez ochranného plynu. Klasifikácia (ISO 12153: 2022)	1.1.2023
STN EN 15085-6	Železnice. Zvrávanie železničných vozidiel a súčastí. Časť 6: Požiadavky na zvrávanie v údržbe	1.1.2023
STN EN ISO 10447	Odporové zvrávanie. Skúšanie zvarov. Odlupovacie a sekáčové skúšanie odporových bodových, výstupkových a švových zvarov (ISO 10447: 2022)	1.2.2023
STN EN 14700	Zvráacie materiály. Zvráacie elektródy na naváranie tvrdých vrstiev	1.2.2023
STN EN ISO 9455-1	Tavivá na mäkké spájkovanie. Skúšobné metódy. Časť 1: Stanovenie neprchavej látky gravimetrickou metódou (ISO 9455-1: 2022)	1.2.2023
STN EN 15085-3	Železnice. Zvrávanie železničných vozidiel a súčastí. Časť 3: Požiadavky na konštrukciu	1.2.2023
STN EN ISO 25901-2	Zvrávanie a príbuzné procesy. Slovník. Časť 2: Zdravie a bezpečnosť (ISO 25901-2: 2022)	1.4.2023
STN EN ISO 5173	Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúšky lámavosti (ISO 5173: 2023)	1.4.2023
STN EN ISO 4761	Nedeštruktívne skúšanie zvarov. Skúšanie tenkostenných ocelových súčiastok ultrazvukom technikou Phased array (UT-PA). Kritériá prípustnosti (ISO 4761: 2022)	1.4.2023

zmeny STN

číslo normy	názov normy	dátum zmeny
STN EN IEC 60974-1/A11	Zariadenia na oblúkové zvrávanie. Časť 1: Zdroje zvráacieho prúdu. Zmena A11	1.1.2023
STN EN IEC 62976/A1	Priemyselné zariadenie na nedeštruktívne skúšanie. Elektronový lineárny urýchlovač. Zmena A1	1.2.2023

SVAŘITELNOST MATERIÁLŮ PŘI LASEROVÉM SVAŘOVÁNÍ

Libor Mrňa, Hana Šebestová, Petr Horník, Jan Novotný
ÚPT AV ČR, Brno

1. ÚVOD

Svařitelnost je základním požadavkem pro všechny moderní ocelové konstrukce. Svařitelnost je ovlivněna druhem materiálu, rozměrem a postupem svařování. Technologie laserového svařování se využívá v průmyslu řadu let. Lze ji charakterizovat jako metodu tavného svařování nabízející vysokou svařovací rychlost, hluboký a štíhlý průvar a s tím související malé deformace. Jsou však další aspekty této technologie, kterými se odlišuje od obloukových metod (MIG, TIG...) a které je nutné brát v potaz. I přes vysokou výkonovou hustotu a vzhledem k vysoké svařovací rychlosti se do svaru vnáší v porovnání s obloukovými metodami řádově méně tepla – to lze považovat samozřejmě za výhodu. Druhá, málo známá skutečnost spočívá ve vysokých rychlostech ochlazování svaru a jeho okolí. Jak bude dále ukázáno, chladnutí svaru je řádově vyšší oproti obloukovým metodám. Vysoké rychlosti ochlazování mohou vést k nežádoucím strukturám ve svarovém kovu a jeho okolí s negativními důsledky na pevnost svaru (např. pokles plastických vlastností, riziko vzniku trhlin). Předehřev používaný při obloukových metodách se v technologii laserového svařování používá pouze ve výjimečných případech.

V článku jsou uvedeny příklady laserového svařování tří druhů ocelí používaných hlavně v odvětví automotive z hlediska mikrostruktury svaru také v souvislosti s příslušnými ARA diagramy. Je uvedena problematika praktického měření rychlosti ochlazování při laserovém svařování. Konečně je diskutována možnost numerické simulace laserového svařovacího procesu v prostředí Visual Weld programu ESI SYSWELD, jeho vhodnost a možné limity.

1. INTRODUCTION

Weldability is a basic requirement for all modern steel structures. Weldability is affected by the type of material, size, and welding procedure. Laser welding technology has been used in industry for many years. It can be characterized as a fusion welding method offering high welding speed, deep and tall penetration and associated small deformations. However, there are other aspects of this technology that differentiate it from arc methods (MIG, TIG...) and which must be taken into account. Despite the high-power density and due to the high welding speed, much less heat is introduced into the weld compared to arc methods - this can of course be considered an advantage. The second, little-known fact lies in the high cooling rates of the weld and its surroundings. As will be shown later, weld cooling is an order of magnitude higher than arc methods. High cooling rates can lead to undesirable structures in the weld metal and its surroundings with negative consequences on the strength of the weld (e.g., decrease in plastic properties, risk of cracks). Preheating used in arc methods is used in laser welding technology only in exceptional cases.

The article presents examples of laser welding of three types of steel used mainly in the automotive industry from the point of view of the microstructure of the weld, also in connection with the relevant CCT diagrams. The issue of practical measurement of the cooling rate during laser welding is presented. Finally, the possibility of numerical simulation of the laser welding process in the Visual Weld environment of the ESI SYSWELD program, its suitability and possible limitations is discussed.

Klíčová slova: laserové svařování, rychlost ochlazování, pyrometr

2. PRINCIPY LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Laserový svařovací proces je založen na absorpci světelného záření – fotonů v materiálu a jeho přeměně v teplo. Zaostřený laserový svazek poskytuje vysoké světelné intenzity, které jsou dostatečné pro tavení kovů. V zásadě se rozlišují dva základní režimy – kondukční a penetrační. Hraniční kritérium je intenzita záření, ale samozřejmě implicitně závisí také na vlastnostech svařovaného materiálu a svařovací rychlosti. Na obr. 1 jsou znázorněny oba režimy a jejich účinek na materiál (uvedené plošné intenzity pro každý režim jsou pouze řádové).

Při **kondukčním režimu** dochází k natavení pouze povrchu materiálu, svarová lázeň je mělká, její šířka je jen o málo větší, než je průměr laserového svazku na materiálu. Výsledný svar je podobný jako při svařování obloukovou metodou TIG (ale bez většího tepelného ovlivnění okolí).

Při **penetračním režimu** se vlivem vysoké plošné intenzity záření vytvoří v materiálu štíhlá dutina, slangově zvaná keyhole (česky klíčová dírka). Tím dojde ke zvětšení povrchu, kterým se absorbuje energie obsažená v laserovém svazku (dochází k vícenásobnému odrazu – absorpci záření na stěnách dutiny). Přenos energie a vznik tepla jev tomto režimu složitá a netriviální záležitost související s parametry fokuzovaného svazku, polohou ohniska vzhledem k povrchu materiálů, výkonem laseru a svařovací rychlostí. Stěny keyhole jsou tvořeny tekutým kovem tvořícím se na čelní straně keyhole (vzhledem ke směru svařování). Na její zadní straně se oba proudy tekutého kovu spojují a vytvoří svarovou lázeň. Vzniká svar s vysokou štíhlostí, jehož šířka souvisí s šířkou laserového svazku na povrchu materiálu a hloubka svaru mírně převyšuje hloubku keyhole. Lze dovodit, že vysoká štíhlost svaru a obecně malý objem svarového kovu povedou k malým deformacím svařence.

Spolu s vysokou svařovací rychlostí to jsou benefity penetračního režimu laserového svařování. Z řečeného také plyne, že se tento způsob svařování obejde bez **přídavného materiálu**. V technické praxi penetrační režim převažuje, využívá se u tupých nebo přeplátovaných svarů, kde se projeví výše popsané výhody. Oproti tomu problém mohou být koutové svarů vyžadující přídavný materiál.

Pro ilustraci a porovnání srovnáme vnesené teplo nutné pro svaření ocelového plechu tloušťky 3 mm při použití technologie TIG a pro laserové svařování. Vnesené teplo Q_a lze obecně vypočítat ze vztahu

$Q_a = \frac{P}{v} \eta$, kde P je výkon zdroje tepla, v svařovací rychlost a η koeficient účinnosti absorpce. V případě laserového svařování je výkonem zdroje výkon svazku. Pro obloukovou technologii se výkon zdroje vypočítá jako součin proudu a napětí. Účinnost absorpce je závislá na použité technologii. Pro TIG uvažujeme 0,65, kdežto laserové svařování je charakteristické vyšší účinností absorpce energie. V tab. 1 se pracuje s hodnotou 0,8.

Z tab. 1 je patrné, že vnesené teplo pro laser je téměř 8x menší než pro obloukovou metodu TIG, což je dáno zejména vyšší rychlostí svařování (svařovací výkon jsou řádově srovnatelné) a z toho také podstatně menším rozvodem tepla do okolního materiálu. S malým objemem svaru a malým vnášeným teplem souvisí také i rychlost ochlazování, jak bude demonstrováno v následující kapitole.

3. SIMULACE LASEROVÉHO SVAŘOVACÍHO PROCESU Z HLEDISKA TEPLŮ

Byla provedena simulace teplotního pole vznikajícího při tavení materiálu laserem pomocí programu ESI SYSWELD. Simulace proběhla pro více materiálů, zde je uveden pouze jeden – ocel S355. Základní parametry simulace jsou následující:

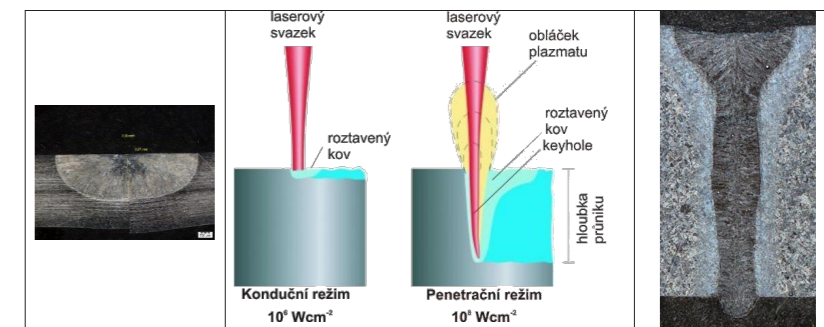
- model: 15 x 95 x 3 mm (nejmenší šířka elementu 0,05 mm, nejmenší délka (ve směru svařování) 0,47 mm
- rozměry laserového zdroje tepla: 1,8 x 2,2 x 5 mm, 80 J/mm
- tepelná výměna s okolním vzduchem o teplotě 20 °C

Na následujícím obr. 2 je uveden geometrický model svaru se sítí uzlových bodů, ve kterých probíhají výpočty teploty během svařování a následného ochlazování.

Na následujícím obr. 3a je pak uveden teplotní cyklus v uzlu na povrchu svaru, v jeho ose v polovině délky simulovaného svaru. Na obr. 3b je pak detailní výřez z tohoto průběhu, ze kterého lze odečíst dobu ochlazování z 800 na 500 °C t8/5, a následně vypočítat průměrnou rychlost ochlazování v tomto teplotním intervalu.

Z grafu 3b simulace lze odečíst, že pro materiál S355 a laserový svazek s výše uvedenými parametry je rychlost ochlazování 377 °C/s v intervalu 800-500 °C. To je podstatně vyšší rychlost ochlazování v porovnání s hodnotami při svařování typu MIG nebo TIG a také podstatně vyšší, než odpovídá křivkám ochlazování v ARA diagramech materiálů, které jsou typicky uváděny pro maximální rychlosti 50 °C/s (protože na dilatometrech nelze dosáhnout vyšší rychlosti ochlazování měřeného vzorku).

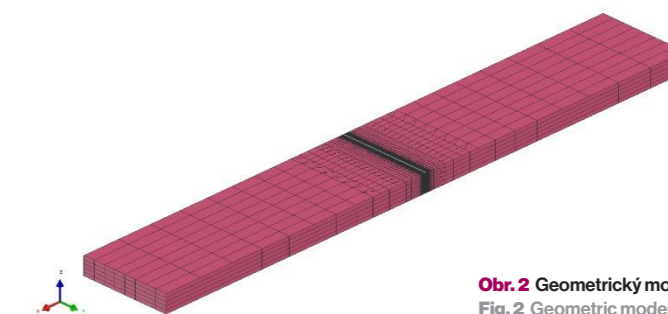
Je nutné zdůraznit, že při takto vysokých rychlostech ochlazování je teplotní pole dynamické, každý bod v ploše svaru má vlastní ochlazovací rychlost, proto se liší výsledná mikrostruktura v závislosti na daném místě.



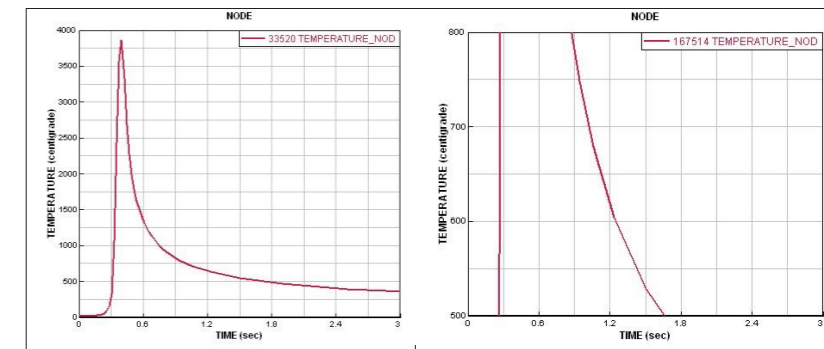
Obr. 1 Režimy při laserovém svařování a příklady svarů v těchto režimech
Fig. 1 Laser welding modes and examples of welds in these modes

Technologie	Výkon laser [W]	Proud [I]	Napětí [V]	Rychlost [mm/s]	Vnesené teplo [J/mm]
laser	1500	-	-	20	60
TIG	-	140	15	3	455

Tab. 1 Srovnání vneseného tepla – ocel, tloušťka 3 mm, plná penetrace (průvar)
Tab. 1 Comparison of heat input – steel, 3 mm thickness, full penetration (through)



Obr. 2 Geometrický model svaru
Fig. 2 Geometric model of the weld



Obr. 3a Vývoj teploty v uzlu na povrchu svaru při laserovém svařování
Fig. 3a Development of the temperature in the node on the weld surface during laser welding

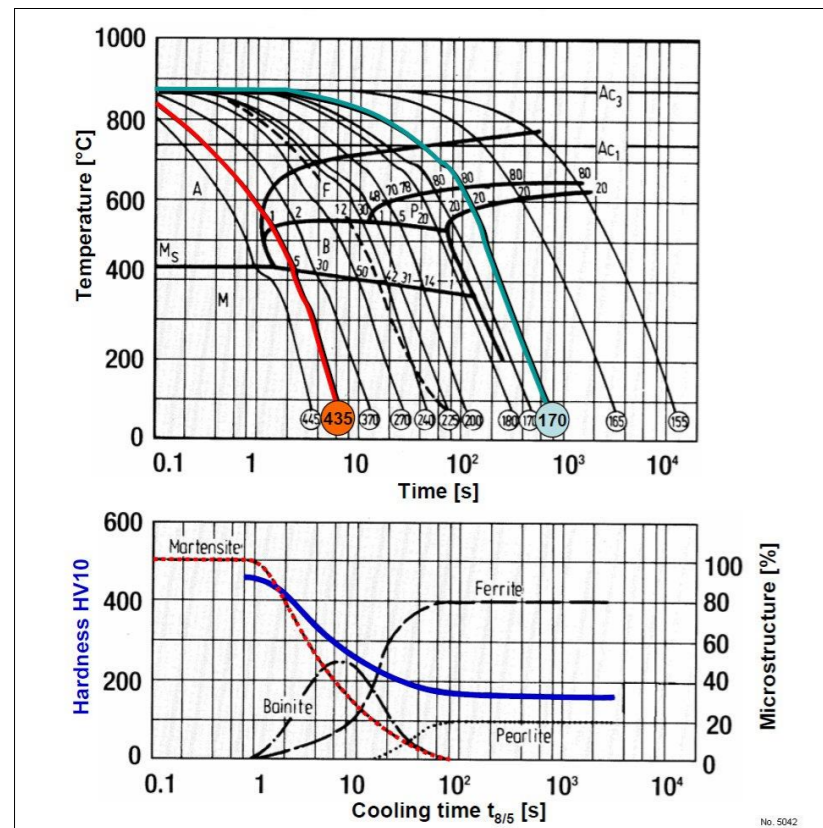
Obr. 3b Detail teplotního cyklu pro interval 800-500 °C
Fig. 3b Detail of the temperature cycle for the interval 800-500 °C

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	N [%]	Cu [%]	CEV
0,20	0,5	1,6	0,03	0,03	0,012	0,55	0,45

Tab. 2

R _m [MPa]	R _{eH} [MPa]	KV [J]	A [%]
470-630	m355	min 27	min 22

Tab. 3



Obr. 4 ARA diagram oceli S355 (horní graf) a zastoupení fází v závislosti na rychlosti ochlazování (spodní graf)

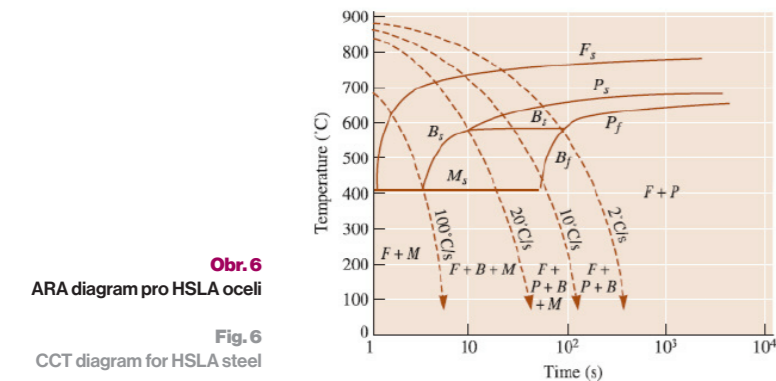
Fig. 4 CCT diagram of S355 steel (upper graph) and representation of phases depending on the cooling rate (lower graph)

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	Nb [%]	V [%]	Ti [%]
0,10	0,03	1,50	0,025	0,01	min 0,015	0,09	0,20	0,15

Tab. 4

R _m [MPa]	R _{eH} [MPa]	KV [J]	A [%]
520 - 670	min 460	min 40	min 19

Tab. 5



Obr. 6 ARA diagram pro HSLA oceli

Fig. 6 CCT diagram for HSLA steel

4. SVAŘITELNOST OCELI PŘI LASEROVÉM SVAŘOVÁNÍ

4.1 SVAŘITELNOST OCELI TŘÍDY S355

S355 ocel je evropská standardní konstrukční ocel [1], která může být dodávána v jakostních stupních JR, J0, J2 a K2, tedy S355JR (1.0045), S355J0 (1.0553), S355J2 (1.0577) a S355K2 (1.0596). Chemické složení oceli S355 je upraveno normou EN 10025-2: 2004 a jednotlivé jakostní stupně se liší zejména maximálním přípustným obsahem nečistot. Mikrostrukturu oceli určuje složení, ale také technologie výroby a tepelného zpracování.

Chemické složení (maximální přípustné obsahy prvků) za tepla válcované oceli S355J0 tloušťky do 16 mm je dle EN 10025-2-2004 v tab. 2.

Mechanické vlastnosti jsou pro všechny jakostní stupně dle stejné normy v tab. 3 (zde jen informativní, závisí též na tloušťce materiálu):

Tato ocel je vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru.

Podívejme se nyní na její ARA diagram [2] z hlediska laserového svařování – viz obr. 4. Ochlazovací křivky vyplývající z výše uvedené simulace nejsou v tomto případě uvedeny, jsou jistě vlevo od křivky končící kroužkem s tvrdostí 445 HV.

Při laserovém svařování by tedy dle diagramu ve svarovém kovu měl být prakticky pouze martenzit, podívejme se na reálnou mikrostrukturu.

Mikrostruktura výchozího materiálu S 355 na obr. 5a je feriticko-perlitická s charakteristickým řádkováním souvisejícím s technologií válcování při výrobě plechu. Na obr. 5b je pak mikrostruktura svarového kovu, kde jsou patrné lamely martenzitu, které převažují. Lze tedy konstatovat, že mikrostruktura reálného svaru je ve shodě s předpovědí dle příslušného ARA diagramu a dle předpokládané křivky ochlazení.

4.2 OCEL ZE SKUPINY HSLA – S460MC

Jde o za tepla válcovanou ocel ze třídy HSLA ocelí, vhodnou pro ocelové konstrukce. Její chemické složení (maximální přípustné hodnoty s výjimkou hliníku) dle datasheetu firmy SSAB je v tab. 4.

Uhlíkový ekvivalent CEV = 0,29. Svařování lze provádět všemi běžnými metodami. Mechanické vlastnosti jsou dle stejného datasheetu v tab. 5 (zde jen informativní, závisí též na tloušťce materiálu):

Na obr. 6 je uveden ARA diagram [3] pro HSLA oceli – bohužel ARA diagram přímo pro popisovanou ocel není k dispozici. Dle tohoto diagramu pro rychlosti ochlazování 100 °C/s a vyšší by ve svarovém kovu měly existovat fáze martenzit a ferit.



Mikrostruktura reálného svaru je ve shodě s předpovědí dle příslušného ARA diagramu a dle předpokládané křivky ochlazení.

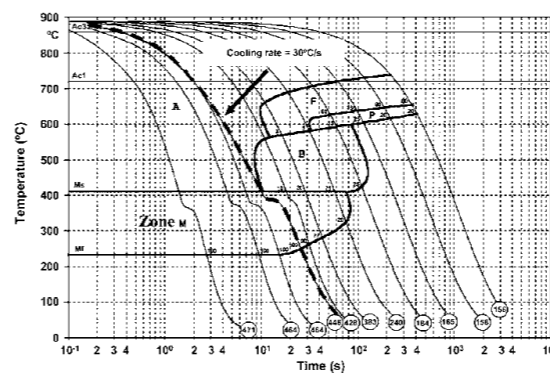
Podívejme se nyní na reálně získané mikrostruktury (obr. 7a-c).

Mikrostruktura svarového kovu je tvořena dominantně bainitem a acikulárním feritem, dále je možné pozorovat alotriomorfní ferit a malý podíl martenzitu, což by dle uvedeného diagramu odpovídalo ochlazovací rychlostem pod 100 °C/s. Nicméně je nutné ještě jednou zdůraznit, že uvedený ARA diagram není přímo pro tento materiál a tyto rozdílnosti mohou jít na vrub i tomuto faktu.

4.3 BÓROVÁ OCEL – USIBOR 1500

Patří do skupiny za tepla tvářené oceli (HF – Hot Formed nebo PHS – Press Hardened Steel), určené především na konstrukční nosné a bezpečnostní části karoserie, které vyžadují vysokou odolnost proti nárazu. Usibor 1500 nebo také ocel 22MnB5 je vhodná pro tzv. vysokoteplotní termomechanické zpracování (TMZ) při lisování. Tato vlastnost je dána přidávkem malého množství bóru.

Ve stavu dodání má ocel feriticko-perlitickou strukturu, která zajišťuje nižší hodnoty meze pevnosti v tahu a meze kluzu a po ohřevu a následném tváření za tepla dojde ke kalení při lisování. Výsledná struktura je poté martenzitická s ostrůvky zbytkového

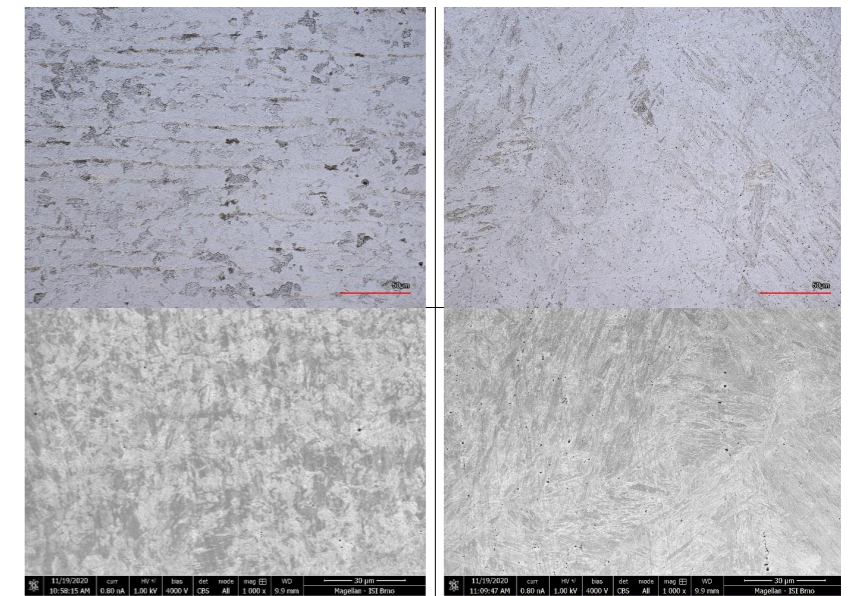


Obr. 8 ARA diagram oceli Usibor 1500 (22MnB7)

Fig. 8 ARA diagram of steel Usibor 1500 (22MnB7)

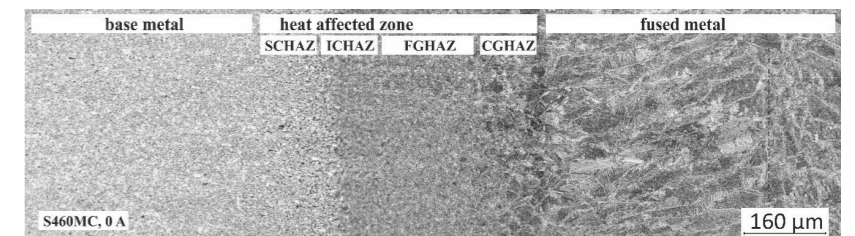


Obr. 5a Průběh mikrostruktury od základního materiálu (vlevo) přes TOO (střed) po svarový kov (napravo) materiálu S355J2
Fig. 5a Change of microstructure from base material (left) to HAZ (center) to fused metal (right) of S355J2

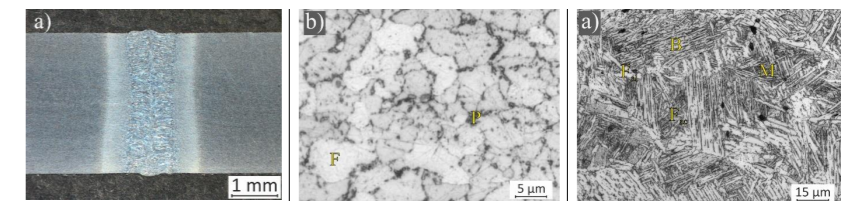


Obr. 5b Mikrostruktura základního materiálu S355: optický mikroskop (nahore) a SEM (dole)
Fig. 5b Microstructure of base material S355: optical microscope (top) and SEM (bottom)

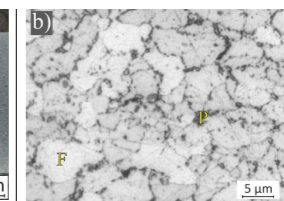
Obr. 5c Mikrostruktura svarového kovu S355: optický mikroskop (nahore) a SEM (dole)
Fig. 5c Microstructure of S355 fused metal: optical microscope (top) and SEM (bottom)



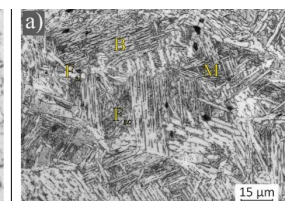
Obr. 7a snímek změny struktury laserového svaru od základního materiálu přes TOO až po svarový kov materiálu S460MC
Fig. 7a Image of the change in laser weld structure from base material to HAZ to fused metal of S460MC material



Obr. 7b Makrosnímek laserového svaru
Fig. 7b Macro picture of a laser weld



Obr. 7b Detail mikrostruktury základního S460MC s identifikovanými fázemi
Fig. 7b Detail of the microstructure of basic S460MC with identified phases



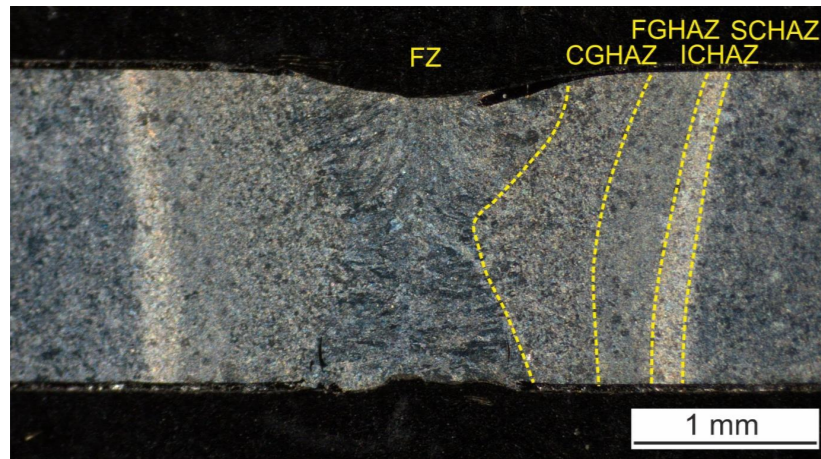
Obr. 7c Detail mikrostruktury svarového kovu S460MC s identifikovanými fázemi
Fig. 7c Detail of the microstructure of S460MC fused metal with identified phases

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	P [%]	S [%]	Ti [%]	Al [%]	B [%]
0,19-0,25	0-0,40	1,1-1,4	0,15-0,25	0-0,35	0-0,025	0-0,015	0,02-0,05	0,02-0,06	0,0008-0,005

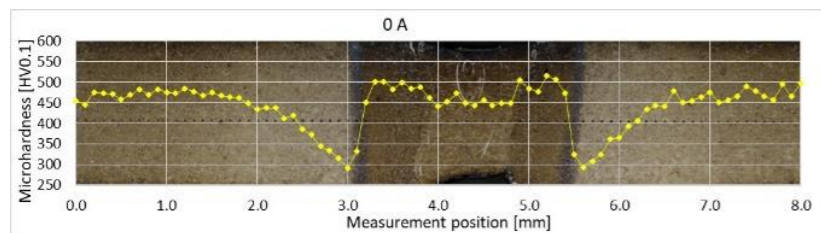
Tab. 6

Stav materiálu	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%]
Výchozí dodávaný stav	320-550	500-700	≥10
Po tepelném zpracování	1100	1500	6

Tab. 7



Obr. 9a Makrofotografie laserového svaru oceli Usibor 1500 s vyznačenými TOO zónami (CG = hrubozrnná, FG = jemnozrnná, IC = interkritická, SC = subkritická)
Fig. 9a Macro photograph of a laser weld of Usibor 1500 steel with marked HAZ zones (CG = coarse-grained, FG = fine-grained, IC = intercritical, SC = subcritical)



Obr. 9b Průběh mikrotvrdosti přes svar
Fig. 9b Course of microhardness across the weld



Obr. 9c Mikrostruktura svaro-
vého kovu s pásy delta
feritu (světlé oblasti)
Fig. 9c Fused metal
microstructure with
delta ferrite bands
(bright areas)

austenitu, která zajistí výrazný nárůst hodnot meze pevnosti v tahu a meze kluzu. Chemické složení této oceli je v tab. 6. Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 jsou uvedeny v tab. 7.

Dle literatury vykazuje Usibor 1500 při bodovém svařování dobrou pevnost spoje (při 50 i 1 000 Hz). Lze také využít svařování metodou MAG [4]. Je zřejmé, že při tavném způsobu svařování se martenzitická struktura rozpustí. Dle ARA digramu na obr. 8 pak budou předpokládané struktury následující:

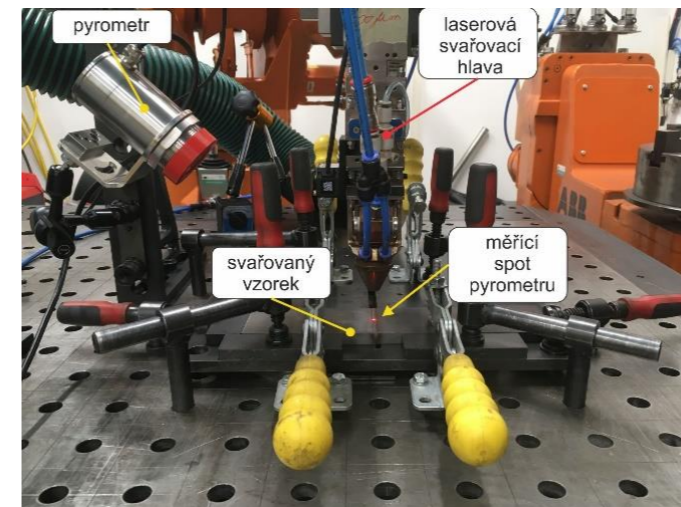
Při rychlostech ochlazování typických pro laserové svařování se předpokládá čistě martenzitická struktura svarového kovu. Pro svar byl použit materiál po tzv. „hot stamping“.

Na obr. 9a je zobrazena makrofotografie laserového svaru v materiálu Usibor 1500 s vyznačenými zónami TOO. Na obr. 9b je pak graf průběhu mikrotvrdosti HV0.2, kde je patrné, že svarový kov vykazuje prakticky stejnou mikrotvrdost, jako výchozí materiál (z procesu hot stamping). Na obr. 9c je zobrazena mikrostruktura svarového kovu tvořená z velké části martenzitem, ve kterém jsou ale světlé pásy identifikované jako delta ferit. Příčina jeho výskytu je dále studována, jedním z vysvětlení je vliv AlSi povrchového povlaku svařovaného materiálu, který se rozpouští/difunduje do svarové lázně. Při vysokých teplotních gradientech se nemusí všude ferit transformovat na austenit (ze kterého pak martenzit vzniká).

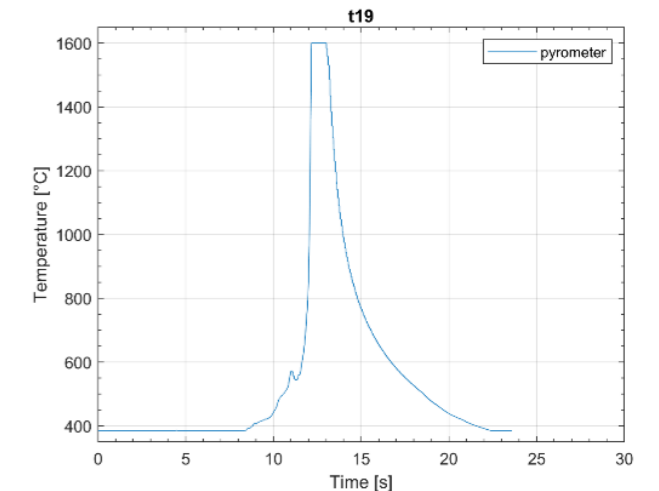
5. MOŽNOSTI MĚŘENÍ RYCHLOSTI OCHLAZOVÁNÍ

Věnujme se krátce problematice technických možností měření rychlosti ochlazování. Nejběžněji užívanou metodou jsou termočlánky, které jsou umístěné do blízkosti svaru. U laserového svaru je však svar velmi úzký, proto je technicky obtížné přiblížit se termočlánkem do zájmové oblasti měření. Dalším problémem jsou rozměry měřícího konce termočlánku (velikostí srovnatelné s rozměry laserového svazku) a konečně tepelná setrvačnost termočlánku vnášející nepřesnosti do měření výše popsaných rychlých změn teploty. Lze tedy konstatovat, že měření teploty a její změny termočlánkem není pro měření při laserovém svařování vhodnou metodou.

Další možností jsou termokamery. V tomto případě se využívá měření radiace předmětu v určitém intervalu vlnových délek pomocí plošného detektoru. Teplota se vypočte dle Planckova zákona záření černého tělesa a z nastavené emisivity povrchu. Protože snímkovací frekvence bývá minimálně 30 snímků/s, touto rychlostí se počítá i zobrazované pole. Zde je nutno upozornit, že v současné době běžné termokamery mají detektor citlivý na vlnové délky cca 6-10 μm (tzv. LWIR termokamery), což odpovídá horní mezi měřené teploty (pouze) 350 °C. Pro měření rychlosti ochlazování v intervalu 800-500 °C proto tento typ termokamery není vhodný a je potřebné použít termokameru s detektorem citlivým na kratší vlnové délky cca 1-3 μm. Tyto termokamery se značí SWIR nebo NWIR. Dalším problémem je emisivita předmě-



Obr. 10a Experimentální sestava pro měření rychlosti ochlazování svaru pyrometrem
Fig. 10a Experimental setup for measuring the cooling rate of the weld with a pyrometer



Obr. 10b Příklad zaznamenané teplotní křivky při svařování
Fig. 10b Example of a recorded temperature curve during welding

tu. Ve výše uvedeném rozsahu teplot a v oblasti svarové lázně bylo experimentálně zjištěno, že dochází ke změnám emisivity (emisivita závisí na teplotě, může docházet k oxidaci svarové housenky, více změnám drsnosti povrchu), což ve svých důsledcích vede ke změnám vypočítávané teploty.

Poslední možností je použití pyrometrů. Ve své podstatě jde o radiační detektory – podobně jako termokamery – teplota se vypočítá. Pyrometry ovšem měří bodově, respektive integrálně odečítají radiační tok z plošky zobrazované optikou pyrometru. Pro pyrometry z hlediska měření teplot platí prakticky to stejné jako pro výše uvedené termokamery. V dnešní době jsou ale dostupné pyrometry pro řadu intervalů vlnových délek – tedy pro různé intervaly teplot. Navíc existují pyrometry snímající radiační tok na dvou odlišných vlnových délkách, což eliminuje potřebu znalosti emisivity povrchu. Pro laserové svařování s velmi úzkou svarovou housenkou je ale poměrně náročné definovat vhodný pyrometr s dostatečně malou měřicí stopou.

Na ÚPT se provádí měření pyrometrem od firmy MicroEpsilon, typ CTLM-2MH-CF3-CB3. Pracovní vlnová délka pyrometru je 1 600 nm. Tento typ pyrometru je určen pro měření v metalurgii – pro požadovaný teplotní interval 800-500 °C je proto vyhovující. Další výhodou je malý měřicí spot s průměrem cca 1 mm, což je vhodné právě pro laserové svařování. Pokud totiž bude měřicí spot větší, než je šířka svaru, měření povrchové teploty vlastního svaru se bude průměrovat s teplotou okolního kovu a měření bude tím více zkreslené, čím větší bude šířka (průměr) spotu vzhledem k aktuální šířce svaru. Třetí výhodou výše uvedeného pyrometru je vestavěný zaměřovací laser, který označuje měřené místo červeným bodem. Experimentální sestava pro měření rychlosti ochlazování je na obr. 10a, na obr. 10b je pak příklad zaznamenané křivky.

6. DISKUSE, ZÁVĚR

Cílem tohoto příspěvku bylo upozornit na odlišnosti laserového svařování oproti konvenčním – obloukovým metodám. Klíčové je malé vnášené teplo, vysoká svařovací rychlost a s tím související malý objem roztaženého kovu, které následně vedou k vysoké rychlosti ochlazování svarového kovu a okolního materiálu. Na příkladu třech ocelí jsou demonstrovány tyto důsledky – vyšší výskyt martenzitické fáze, které je potřebné vzít v úvahu při volbě této svařovací technologie. Také je diskutována problematika měření rychlosti ochlazování vybraných měřících metod, tak pomocí simulace svařovacího procesu.

PODĚKOVÁNÍ: Tento příspěvek vznikl za podpory projektu TA ČR č. TH04010366 „Pokročilé metody laserové svařování pro automobilový průmysl“ a v rámci Strategie AV21 č. 17: Světlo ve službách společnosti.“

LITERATURA

- J. Caron at all: Effect of Continuous Cooling Transformation Variations on Numerical Calculation of Welding-Induced Residual Stresses, Welding Journal, page:151-160, July 2010, vol. 89
- https://www.steeldata.info/std/demo/data/5042.html
- M. S. Jafar, S. Gatea: Study the effect of heat treatments on spring-back in U-bending process, International Journal of Metallurgical&Materials, Vo. 3, Issue 1, Mar 2013, ISSN 2278-2516
- https://automotive.arcelormittal.com/products/flat/PHS/usibor_ductibor

Odborný článek odznel vo forme přednášky na konferencii Národné dni zvarania, ktorú zorganizoval VÚZ v dňoch 5.-7. 10. 2022 v Demánovskej Doline.

SELECTING THE OPTIMAL HARD-FACING TECHNOLOGY FOR REPARATION OF THE DAMAGED MACHINE PARTS MADE OF THE STEEL FOR CEMENTATION

Ass. Prof. Svetislav MARKOVIĆ*, Prof. Ružica R. NIKOLIĆ**, Ass. Prof. Dušan ARSIĆ***, Arsić, Prof. Vukić LAZIĆ***, Prof. Otakar BOKUVKA****

* Faculty of Technical Sciences Čačak, University of Kragujevac, 32000 Čačak, Serbia

** Research Centre, University of Žilina, Slovakia

*** Dušan Vukić Lazić, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Serbia

**** Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Slovakia

ABSTRACT

In hard-facing of the damaged machine parts, the question of proper selecting the reparation technology is the crucial one. This paper presents an attempt to resolve a dilemma, which filler metal and which welding technology would result in optimal mechanical properties of the hard-faced layers on a part made of the steel for cementation 20MnCr5. The matter appeared in reparatory hard-facing of damaged gears' teeth flanks. The experimental results, confirmed by tests in operating conditions, of various filler metals, both soft and hard ones, as well as several welding technologies, pointed to the fact that mechanical and surface properties of the hard-faced layers depend, to a great extent, both on the type of the filler metal and the applied welding technology. The tests included obtaining the hard-faced layers' hardness, micro-structure and tribological properties.

1. INTRODUCTION

Keywords:

hard-facing, steel for cementation, filler metals

The machine elements and parts, installed in various assemblies of machines in different branches of industry, if damaged or worn, can be either replaced by the new ones or regenerated to restore the original dimensions, properties and functionality [1]. It is considered that for more than a half of such parts it is economically justified to repair them and re-install in appropriate machines, rather than replace them by the newly purchased ones.

One of the methods for reparation of the damaged or broken machine elements or parts is hard-facing, either of surfaces only or by manufacturing the whole piece. Application of hard-facing is fully techno-economically justified, since quite a number of advantages can be realized, such as shortening the time needed for repairing the damaged part, savings in the storage room, money etc. [2]. On the other hand, despite the economic justification, the unfavorable structural changes, residual stresses, cracks and other consequences that might result from reparatory hard-facing, must be considered, when one decides to apply such reparation [1].

For the operating characteristics of machine parts, the most important are hardness and structure of

the hard-faced layers; for elements that are in contact the most important are the geometrical characteristics, tolerances and surface quality; for the service life of such parts important is the wear resistance, monitored through the friction coefficient and wear traces etc.

The type of wear is usually determined by the operation conditions and regime of a machine, value and shape of the clearance between the assemblies etc., while the intensity of wear of work surfaces depends on the macro and micro-geometry of contact surfaces, micro-hardness, structure and stress state of the surface layers.

The hard-faced surfaces of the working parts are in the operating conditions exposed to tribological influences, which would inevitably lead to their degradation [3, 4].

Thus, for securing the necessary level of quality and reliability of machines' operation, it is necessary to analyze all the phenomena that are appearing in the process of manufacturing and exploitation of the machine systems and their parts.

Experience of present authors in this area is quite long, the enumerated advantages and benefits of successfully applied repairs in various parts of the machinery industry, [5-8]. Similar principles are emphasized in other authors' papers on examples of construction machinery parts, of heavy mining equipment parts, as well as responsible parts of machine constructions, such as gears, [9-13].

In this paper is presented the detailed analysis of different characteristics of the hard-faced layers, deposited on the base metal – the steel for cementation 20MnCr5, by various filler metals and by application of different welding procedures. The objective was to establish which combination of those parameters would produce the best quality of the repaired parts, the closest to their original properties.

2. EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

The chemical composition of the base metal, steel for cementation 20MnCr5, is given in Table 1.

The tests included model welding – hard-facing on samples with different filler metals (5 „hard“ and 3 „soft“ ones), with two welding procedures (MMAW and GTAW); metallographical investigations of the hard-faced surfaces micro-structures on the optical microscope; hardness and micro-hardness measurements and hardness distribution along the hard-faced layer depth and the tribological tests (on the block-on disc contact tribometer). Those tests were supplemented by the wear resistance investigation of the hard-faced layers surfaces obtained on a special device where the „real“ working conditions of gears were simulated (calculation of the friction coefficient and measurement of the wear trace width).

A large number of samples (blocks, Figure 1), made of the specified material, were prepared; total of nine types of test blocks have been prepared, which belonged to three groups, according to the method of construction and preparation. The first group contained the samples that were welded with „hard“ additional materials; five different types of samples were made, Table 2. The second group consisted of samples hard-faced with the „soft“ filler metal, which were then cemented, quenched and tempered; there were three types of those samples, Table 2. The third group contained samples that were not hard-faced, but gas cemented, quenched and soft annealed – those samples were simulating the operation of the newly manufactured, not-regenerated gear teeth.

Samples preparation included removal of the cemented layer from the active working surfaces of the teeth by grinding on a sharpener (in practice that corresponds to removing the damaged layer of the teeth flanks, Figure 2.a).

The heat treatment regime included: 1 – slow heating in the oven; 2 – holding at the preheating temperature ($T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 2\text{ h}$); 3 – hard-facing; 4 – returning to the furnace ($T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 1\text{ h}$); 5 – slow cooling together with the oven, Figure 2.b.

Metallographic investigations were conducted on the quantitative optical metallographic microscope of the „Polyvar-Met“ type („Reichert-Jung“) at magnifications of 20 to 2 000 times. The microstructural analysis was done on the „Leica Q500MC“ device.

The surface hardness was measured by the Rockwell method at five points, while the microhardness was measured by the Vickers (HV0.1) method with indentation force of 1 N and indentation time of 15 s. Both types of measurements were executed on the „Leitz Wetzlar“ device.

The tribological investigations were done on the TPD-3 tribometer, block-on-disc contact; blocks were the hard-faced samples (data on 9 selected samples are

Alloying elements (%)					
C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}	Cr
0.17–0.22	0.15–0.40	1.1–1.4	0.035	0.035	1.0–1.3

Tab.1 Chemical composition of the steel used for samples

Hard filler metals				
Sample	Pre hard-facing heat treatment	Hard-facing		Post hard-facing heat treatment
		Filler metal	Welding procedure according to AWS	
1	Preheating	Inox 18/8/6 + EDUR 600	MMAW (111)	Low-temperature tempering
2		Castolin 2	MMAW (111)	
3		DUR 600-IG	GTAW (TIG) (141)	
4		UTP 670	MMAW (111)	
5		Tooldur	MMAW (111)	
Soft filler metals				
6	Preheating	EVBCrMo	MMAW (111)	Soft annealing + cementation + quenching + tempering
7		EVB2CrMo	MMAW (111)	
8		Phönix 120K/E	MMAW (111)	

Tab.2 Details of the hard-facing procedures

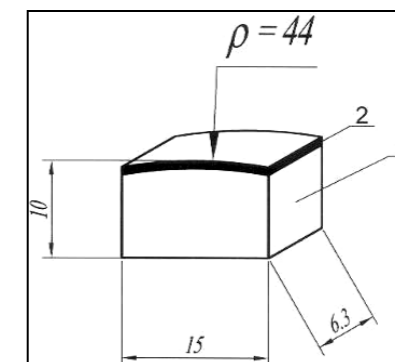
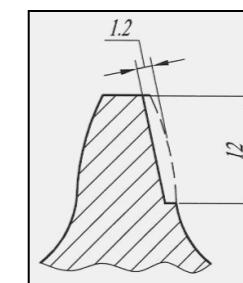
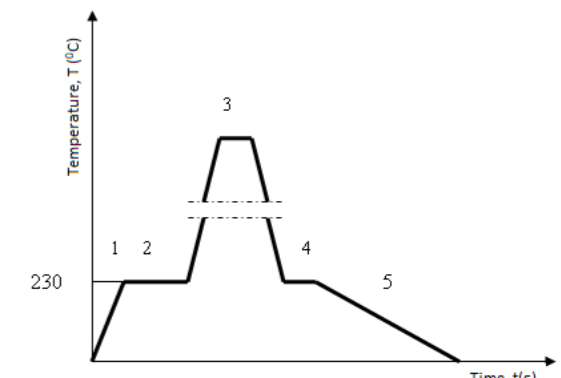


Fig.1 Samples tested on tribometer. 1 – base metal, 2 – hard-faced layer, ρ – tooth curvature radius



a)



b)

Block No.	Welding Procedure	Filler Metal
1	MMAW	Inox 18/8/6 + EDUR 600
2		Castolin 2
3	GTAW	DUR 600-IG
4	MMAW	UTP 670
5		Tooldur
6		EVBCrMo + C* + HT**
7		EVB2CrMo + C + HT
8		Phónix 120 K/E 425 B/E7018-1 + C + HT
9		C + HT without hard-facing

*C – cementation; **HT – heat treatment

Tab. 3 Data on tribological test samples hard-facing procedures

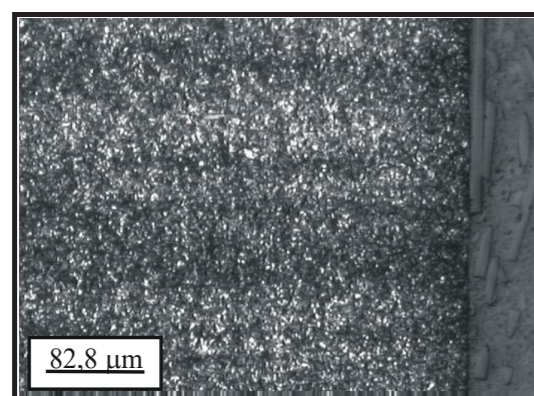


Fig. 3 Microstructure of the cemented layer

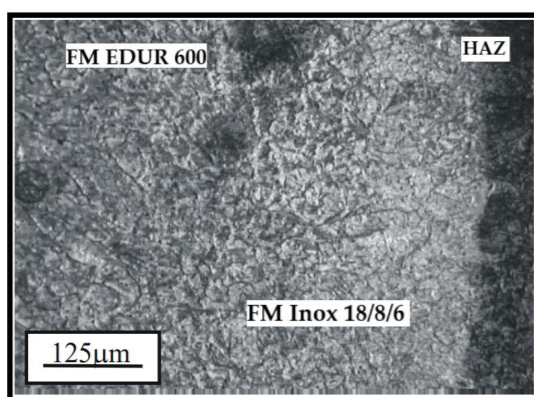


Fig. 4 Microstructure of the HAZ and the hard-faced layer with the two filler metals

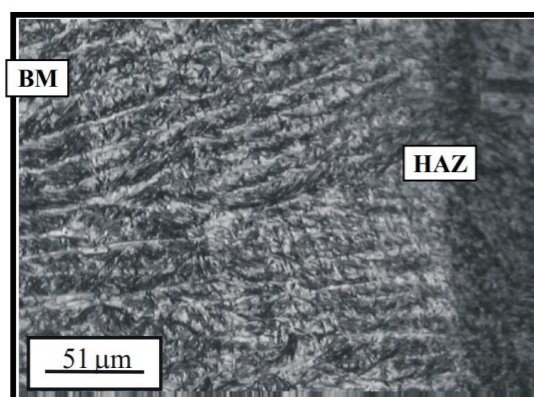


Fig. 5 Microstructure of the hard-faced layer executed by the FM Castolin 2

given in Table 3) with radius of $\rho = 44$ mm (corresponding to the Wentzler teeth rounding radius); disc radius was $\Phi = 60$ mm; the contact force was $F = 250$ N; sliding speed was 2,93 m/s (calculated according to the standard formula); discs angular velocity was $\omega = 92.7$ s⁻¹; limiting lubrication with HIPOL B SAE 90 oil; contact duration 30 minutes; tests performed according to the ASTM G99 17 standard.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Out of numerous micrographs, here are presented only a few most prominent ones, showing the main features noticed on hard-faced samples' surfaces.

The basic micro-constituent of the cemented layer is the tempered martensite (dark areas in Figure 3), while the smaller share of residual austenite can be noticed as well. In the surface zone, up to the depths of 0.2 to 0.3 mm are present the individual larger carbides of the alloying elements. Based on the martensite needles appearance, it can be concluded that the microstructure is fine-grained.

The microstructure of the hard-faced layer deposited with the two different filler metals (Inox 18/8/6 and EDUR 600) is shown in Figure 4. On the left-hand side is the bar-like dendritic structure (the h-f layer deposited by the "hard" electrode EDUR 600); in the central portion is the less prominent expressed dendritic structure (the h-f layer deposited by the electrode Inox 18/8/6); the joining line of the FM Inox 18/8/6 and the HAZ is relatively prominent and very uneven.

In Figure 5 is presented a microstructure of the hard-faced layer executed by the FM Castolin 2, characterized by prominent dendritic structure. The average width of dendritic needles is 10–15 μm, which is very favorable. However, the dendrites are highly inhomogeneous, which is shown by the different etching degree of their surfaces and the carbide phase is present, excreted mainly at the dendritic boundaries.

In Figure 6 is shown the elongated dendritic structure of the two-layered hard-faced surface obtained by the filler metal DUR 600-IG. The dendritic structure is more prominent in the second layer, since due to heat input during its depositing the first layer structure became more homogenized.

In Figure 7 is shown the hard-faced layer deposited by the FM UTP 670, where one can notice medium to large-grained structure, with individual dendrites' width of 30 to 80 μm, with carbides excreted at grain boundaries as well as within the grains.

In Figures 8 and 9 one can notice impurity particles at the dendrites' boundaries. The share of impurities differs from grain to grain.

Considering that the mechanical and operation properties of the hard-faced layers depend to a great extent on the size and distribution of dendrites, their

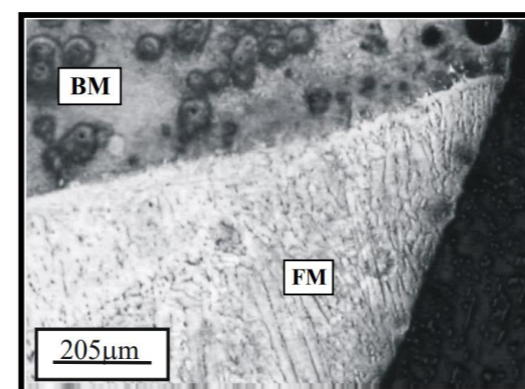


Fig. 6 Two-layered hard-faced surface at the tooth top - FM DUR 600-IG

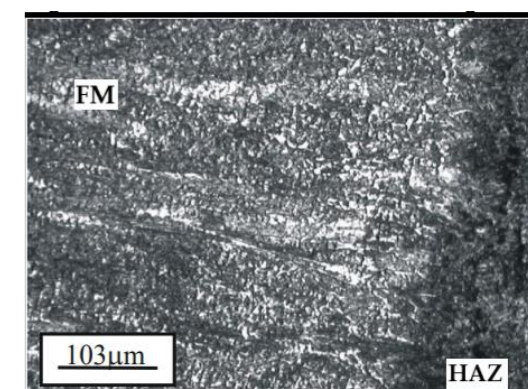


Fig. 7 Microstructure of the hard-faced layer executed by FM UTP 670

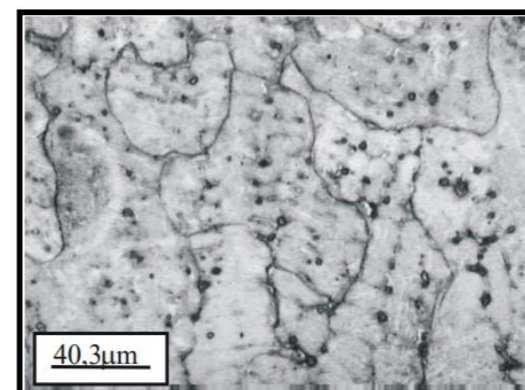


Fig. 8 Dendrites in microstructure - enlarged portion of Fig. 6

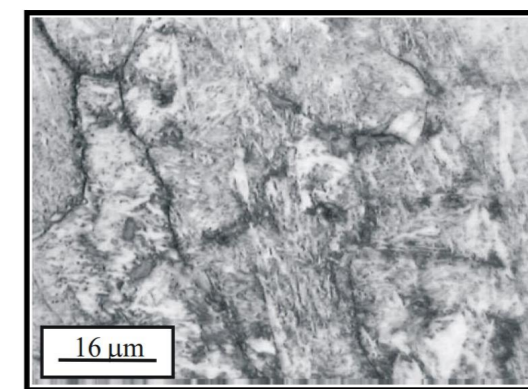


Fig. 9 Dendrites in microstructure - enlarged portion of Fig. 8

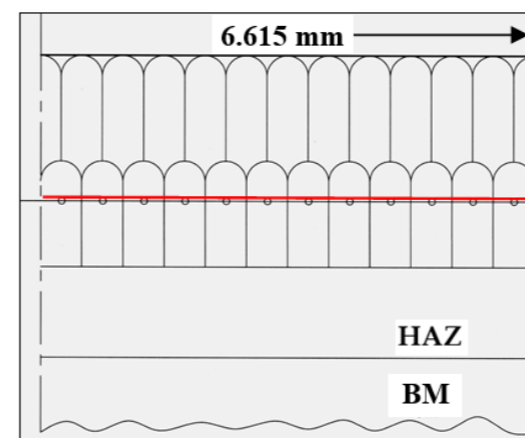


Fig. 10 Line of dendrites measurement

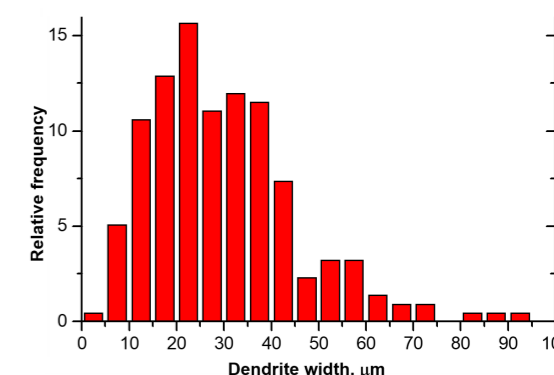


Fig. 11 Relative frequency of dendrites' widths (hard-faced layer executed by FM DUR 600-IG)

width was measured, at a distance of 0.2 mm from the joining line (red line in Figure 10). At the measuring width of 6.615 mm total of 216 dendrites was measured. Results of measurements are given in Figure 11, from where was noticed that the average width of dendrites was 30.48 μm, 30 % of dendrites had average width of 20 μm and about 80 % had average width of 80 μm. Only 7 dendrites (3 %) had width larger than 60 μm. Based on this analysis and considering that the liquid bath during the hard-facing had a relatively small volume, one can conclude that this hard-faced layer had a relatively fine-grained structure.



The average width of dendritic needles is 10–15 μm, which is very favorable. However, the dendrites are highly inhomogeneous, which is shown by the different etching degree of their surfaces and the carbide phase is present, excreted mainly at the dendritic boundaries.

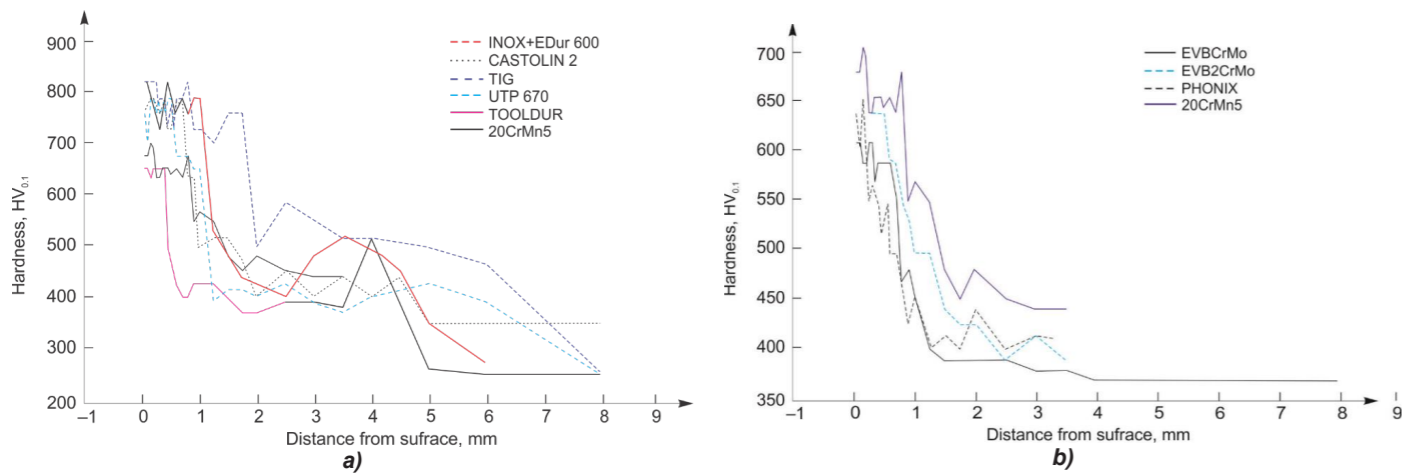


Fig. 12 Hardness distribution diagram of samples hard-faced a) with „hard“ filler metals and b) with „soft“ filler metals

Disc	Block			Friction coefficient μ_{lav}	Wear trace (mm)
Material	#	Filler metal	Welding procedure		
20MnCr5	1	Inox 18/8/6 + EDUR 600	MMAW (111)	0.064	0.960
	2	Castolin 2		0.115	1.028
	3	DUR 600-IG	GTAW / TIG (141)	0.100	1.020
	4	UTP 670	MMAW (111)	0.090	0.955
	5	Tooldur		0.072	1.118
	6	EVBCrMo		0.110	1.130
	7	EVB2CrMo		0.106	1.198
	8	Phönix 120 K/E 425 B/E7018-1		0.108	1.200
	9	20MnCr5	/	0.077	0.751

Tab. 4 Friction coefficients (μ_{lav}) and wear traces values for various filler metals

Micro-hardness measurements results for the hard-faced samples obtained by the hard and soft filler metals are shown in Figure 12. From comparison of the micro hardness distribution of the „softly“ hard-faced samples, hard-faced layers executed with the EVB2CrMo FM possess the micro hardness values very close to those of the newly made samples. For the hard-faced layers executed with the EVBCrMo FM the hardness distribution is somewhat less favorable, while the hard-faced layers executed with the Phönix 120 K/E 425 B/E7018-1 FM possess the worst micro hardness distribution.

The „hardly“ hard-faced layers, possess prominently higher micro hardness of the subsurface layers with respect to the cemented layers, with exception of the hard-faced layers executed with the Tooldur FM.

Based on the conducted tribological investigations, the average friction coefficient values were determined (μ_{lav}) and the wear trace width was measured on a universal microscope UIM-21. Results are given in Table 4. The lowest values of the friction coefficient

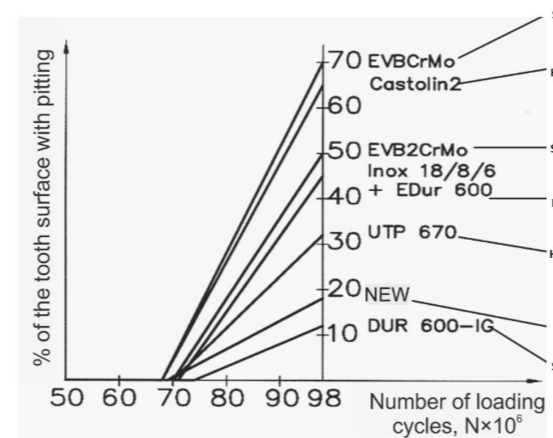


Fig. 13 The development rate of the destructive pitting on the teeth flanks (H – hard FM, S – soft FM)

were obtained for the hard-facing executed by combination of the FMs Inox 18/8/6 and EDUR 600; the FM Tooldur provides the value of the friction coefficient lower than the cemented and quenched blocks. The largest values of the friction coefficient were exhibited by the blocks hard-faced with FM Castolin 2, then the hard-faced layers deposited by the „soft“ filler metals (EVBCrMo, Phönix 120 K/E 425 B/E7018-1 and EVB2CrMo), which were subsequently cemented and heat treated.

For the wear trace width, samples that were cemented and quenched had the smallest values by far. The best appearance was by the hard-faced layers obtained by the combination of two filler metals – Inox 18/8/6 and EDUR 600. The hard-faced layers obtained by the „soft“ FMs Phönix 120 K/E 425 B/E7018-1 and EVB2CrMo were the worst from this aspect, as well.

Test for obtaining the teeth flanks durability of the regenerated and newly manufactured gears were performed on a specially constructed device with

the closed load circuit [14]. The calculated torque for the tested gears was $T = 2755 \text{ Nm}$ at $N = 51 \cdot 10^6$ load cycles (1 000 h of operation). To accelerate the tests, somewhat bigger torque value was applied ($T = 3 000 \text{ Nm}$). The loading was applied gradually to avoid the possible breaks during the running-in period. Results are shown in Figure 13.

Appearance of the destructive wear (namely the first pits) was noticed after $68 \cdot 10^6$ load cycles on teeth hard-faced by the filler metals Castolin 2 and EVBCrMo. On the newly made teeth the pits started to appear at $69 \cdot 10^6$ load cycles. The longest service life up to the first pits appearance had teeth hard-faced with the filler metal DUR 600-IG; the period of destructive pitting started after $74 \cdot 10^6$ load cycles.

The specificity of the pitting development of repaired teeth is represented by the fact that the greatest destruction of the material occurred in the area where the junction of the two welding passes was located. Teeth welded by the TIG process, with filler metal DUR 600-IG, had the slowest development of destructive pitting due to the welding technique itself (the weld is applied by oscillatory movement of the wire over the entire height of the tooth).

Analysis of the hard-faced layers, executed with the „soft“ filler metals (EVBCrMo and EVB2CrMo), has shown that the significantly faster development of the destructive pitting for these teeth is a result of the chemical composition inhomogeneity of the teeth sub-surface layers, unfavourable micro hardness distribution along the teeth cross-section, lower micro hardness levels in the sub-surface layers (especially in the cemented zone), presence of the bigger share of the residual austenite, which represents the soft phase, namely it is the poor heat conductor.

4. CONCLUSIONS

Hardness is one of the most influential factors regarding the wear resistance properties of surfaces in contact. That is the reason of the presented selection of the filler metals for the hard-facing: those are the filler metals that produce the high surface hardness and/or the filler metals that would enable for their hardness to be raised to the required level by adequate post heat treatment.

Microhardness analysis shows that the welds made with „hard“ filler materials have a higher microhardness than the cemented and hardened base metals, while the situation is reversed for the welds executed by the „soft“ filler materials.

Considering the wear resistance, the better results were obtained for the hard-faced layers executed by the „hard“ filler metals and the newly made samples, while considering the fracture resistance, the best characteristics were exhibited by the newly made samples.

Metallographic analysis in the hard-faced layers and HAZ has shown that neither hot nor cold cracks were detected, which usually appear as a consequence of the hard-facing and the subsequent heat treatment; no presence of undercuts, slag inclusions and the like, was noticed either.

The conducted tribological tests have shown that the best wear resistance (the smallest wear trace width) was obtained for the base layer material (20MnCr5), then follows the hard-faced layer with the filler metals UTP 670. From the energy aspect, i.e. the minimal friction coefficient, the hard-faced layer obtained with filler metals Inox 18/8/6 + EDUR 600 and Tooldur are even better than the base metal.

One of the main objectives of the conducted experiments was to select the base metal and the filler metals for the reparatory hard-facing of the meshed teeth. Since those are the heavily loaded gears, the material chosen for their manufacturing was steel 20MnCr5. The hardness required had to be greater than 55 HRC. All the discs were made of this steel and possessed the required hardness. The blocks, also made of the same material, were hard-faced in two principally different ways and they also had the required hardness.

5. REFERENCES

- [1] Lazić, V. – Arsić, D. Surface Regeneration, Monography. Faculty of Engineering University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia, 2021. (In Serbian)
- [2] Lazić, V. – Čukić, R. – Aleksandrović, S. – Milosavljević, D. – Arsić, D. – Nedeljković, B. Techno-economic justification of reparatory hard facing of various working parts of mechanical systems. Tribology in Industry, 36, 2014, 287–292.
- [3] Vican, M. – Bokůvka, O. – Nikolić, R. – Bronček, J. Tribological behavior of low-alloyed steel after nitriding. Production Engineering Archives, 26, 2020, 78–83. <https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.16>.
- [4] Vican, M. – Bronček, J. – Nový, F. Investigation of tribological properties of CarbonX coating deposited on 100Cr6 steel. Production Engineering Archives, 25, 2019, 52–55. <https://doi.org/10.30657/pea.2019.25.10>.
- [5] Arsić, D. – Lazić, V. – Sedmak, A. – Nikolić, R. – Aleksandrović, S. – Djordjević, M. – Bakić, R. Selection of the optimal hard facing (HF) technology of damaged forging dies based on cooling time t8/5. Metalurgija – Metallurgy, 55, 2016, 103–106.
- [6] Lazić, V. – Sedmak, A. – Aleksandrović, S. – Milosavljević, D. – Čukić, R. – Grabulov, V. Reparation of damaged mallet for hammer forging by hard facing and weld cladding. Tehnički Vjesnik – Technical Gazette, 16, 2009, 107–113.
- [7] Arsić, D. – Lazić, V. – Sedmak, A. – Aleksandrović, S. – Živković, J. – Djordjević, M. – Mladenović, G. Effect of the elevated temperatures on mechanical properties of the ultra high strength hot-work tool steel H11. Transaction of FAMENA, 44, 2020, 71–82. <https://doi.org/10.21278/TOF.44207>.
- [8] Mohammed, O.D. – Rantatalo, M. Gear fault models and dynamics –based modelling for gear fault detection –a review. Engineering Failure Analysis, 117, 2020, 104798. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104798>.
- [9] Feng, W. – Feng, Z. – Mao, L. Failure analysis of a secondary driving helical gear in transmission of electric vehicle. Engineering Failure Analysis, 117, 2020, 104934. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104934>.
- [10] Dadon, I. – Koren, N. – Klein, R. – Lipsett, M.G. – Bortman, J. Impact of gear tooth surface quality on detection of local faults. Engineering Failure Analysis, 2020, 108, 104291. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104291>.
- [11] Bai, H. – Zhu, C. – Zhou, Y. – Chen, X. – Feng, H. – Ye, W. Study on tooth interior fatigue fracture failure of wind turbine gears. Metals, 10, 2020, 1497 – <https://doi.org/10.3390/met10111497>.
- [12] Yousfi, B.E. – Soualhi, A. – Medjaher, K. – Guillet, F. New approach for gear mesh stiffness evaluation of spur gears with surface defects. Engineering Failure Analysis, 116, 2020, 104740. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104740>.
- [13] Vukelić, G. – Pastorčić, D. – Vizentin, G. – Božić, Z. Failure Investigation of a crane gear damage. Engineering Failure Analysis, 115, 2020, 104613. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104613>.
- [14] Marković, S. – Arsić, D. – Nikolić, R.R. – Lazić, V. – Ratković, N. – Hadzima, B. – Szmidla, J. – Ulewicz, R. Analysis of the welding type and filler metal influence on performance of a regenerated gear. Materials 2021, 14, 1496. <https://doi.org/10.3390/ma14061496>.

Ďalší ročník ŠVOČ na MTF STU so sídlom v Trnave

Na Materiálovotechnologickej fakulte (MtF) Slovenskej technickej univerzity v Trnave sa už viac ako dvadsaťpäť rokov organizuje študentská vedecká odborná činnosť (ŠVOČ). Tento ročník sa uskutočnil 30. marca 2023. Na rozdiel od predošlých pandemických rokov sa konferencia uskutočnila prezenčnou formou a len v jednej, medzinárodnej sekcii, online formou. Do medzinárodnej sekcie Engineering sa prihlásili študenti z materskej MtF, Maďarska a Srbska.

ŠVOČ predstavuje významnú časť šírenia vedeckých poznatkov na fakultnom poli, prispieva k zvýšeniu atraktivity štúdia, má význam pre vedenie fakulty, garantov študijných programov, učiteľov a vedeckých pracovníkov pôsobiacich na fakulte. Na 26. ročníku sa prezentovalo 63 študentov prvého a druhého stupňa vysokoškolského štúdia. Študenti obhajovali svoje práce predložené vo forme posterov a to pred hodnotiacimi komisiami v 11 sekcích. Tie boli vytvorené na základe študijných programov MtF v Trnave.

Kvalitu odprezentovaných prác hodnotilo v komisiách 40 odborníkov zložených z pedagogických a výskumných pracovníkov fakulty, Slovenských odborníkov z praxe, ale i odborníkov z Poľska, Maďarska a Srbska. Študenti takto mali možnosť získať cenné skúsenosti pri prezentácii vlastných prác a naučiť sa úspešne čeliť otázkam odbornej komisie z danej vednej oblasti. Celkovo bolo v roku 2023 na ŠVK prezentovaných 61 prác.

V každej z 11-tich sekcií komisia vyhodnotila tri najlepšie práce.

Cena predsedu SZS

Tak ako každý rok, aj v tomto roku Slovenská zväračská spoločnosť (SZS) udelila ocenenie Cena predsedu SZS (**viď tab. 1**). Cena bola udelená ako uznanie za vynikajúco vypracovanú a odprezentovanú prácu v rámci ŠVOČ na MtF STU so sídlom v Trnave štyrom študentom (**fotografie**).

Cena ZSTVS – Ambasádor ZSVTS

Zväz slovenských vedeckotechnických spoločností svojím prístupom dlhodobo propaguje štúdium na slovenských technických univerzitách. Jednou z foriem uznania za tvorivú odbornú činnosť uskutočňovanú v rámci vysokoškolského štúdia na technickej univerzite je ocenenie Cena ZSTVS – Ambasádor ZSVTS. Držiteľ tohto ocenenia sa stáva ambasádorom zväzu na jeden rok. Toto ocenenie a status ambasádora na MtF

STU so sídlom v Trnave pre rok 2023 získal (**viď tab. 2**).

Záver

V popoludňajších hodinách, na spoločnom slávnostnom vyhodnotení v aule prof. J. Čabelku, autori víťazných prác prevzali diplom. Okrem diplomu im bolo priznané finančné ocenenie a plakety.

Hlavné poďakovanie za úspešnú akciu patrí nasledovným pracovníkom: **doc. Ing. Dagmar Babčanová, PhD.** (prodekanka pre vzdelávanie); **Mgr. Renáta Ivančíková** (vedúca študijného oddelenia) a **Bc. Katarína Čapkovičová** (študijné oddelenie).

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS
Prispevok recenzoval
Ing. Jozef Krajčovič, PhD.
ZSVTS

Tab 1. Cenu predsedu SZS za rok 2023 získali:

Študent	Názov práce	Vedúci práce
Adam URBÁNEK	Hodnotenie mikroštruktúry viacvrstvého návaru vyrobeného aditívnou výrobou z niklovej zliatiny	Ing. Katarína Bártová, PhD.
Bc. Stanislav ŠTETINA	Vplyv ochranného plynu na vybrané charakteristiky návarových húseníc zliatiny Inconel 718	prof. Ing. Milan Marônek, CSc.
Bc. Lukáš NEUMAN	Spájky na báze zinku legované titánom pre výkonné polovodičové moduly	prof. Roman Koleňák, PhD.
Daniel BOKOR	Návrh a výroba súčiastky na CNC stroji	doc. Ing. Peter Pokorný, PhD.

Tab 2. Ocenenie Cena ZSTVS – Ambasádor ZSVTS získal:

Študent	Názov práce	Vedúci práce
Roman KUKUČA	3D naváranie hliníkových zliatin	doc. Dr. Ing. Pavel Kovačócy



Držiteľia ocenenia Cena predsedu SZS na MtF v Trnave za rok 2023 spolu s prodekanou pre vzdelávanie, doc. Ing. Dagmar Babčanovou, PhD.



Poslaním Materiálovotechnologickej fakulty STU v Bratislave so sídlom v Trnave je rozvíjať kompetencie svojich študentov a realizovať výskum s významom pre praktický svet v 21. storočí. MTF STU je odhodlaná udržateľne vytvárať, šíriť a uchovávať poznatky a spolupracovať s ostatnými, aby nové vedomosti prišli nové pozitívne výzvy pre spoločnosť. MTF STU je odhodlaná poskytovať svojim študentom vzdelávanie, ktoré spája dôsledné akademické štúdium a vzrušenie z objavu s podporou a intelektuálnou stimuláciou rozmanitého spoločenstva. Snahou je rozvíjať v každom členovi komunity MTF STU schopnosť a vášeň pracovať múdro, kreatívne a efektívne pre rozvoj ľudstva.

www.mtf.stuba.sk

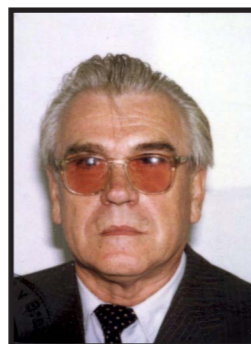
Ing. Viliam PAVELKA – navždy opustil naše rady

V živote človeka nastanú chvíle, na ktoré sa v myšlienkach vopred pripravujeme, a predsa nás ich príchod prekvapí. Podobne nás prekvapila smutná správa, že nás koncom minulého roka navždy opustil Ing. Viliam Pavelka.

Ing. Viliam Pavelka bol nielen uznávaný odborník v oblasti zvarovania, ale v prvom rade človek s veľkým srdcom a s vysokými ľudskými a morálnymi kvalitami. Širokej slovenskej a českej zvaračskej verejnosti utkvil v pamäti hlavne vývojom a priemyselnými aplikáciami zvarovania a navárania pod tavivom a taktiež elektrotroskového zvarovania.

Ing. Viliam Pavelka sa narodil v Trnave. Maturitu získal v roku 1951 na vyššej priemyselnej škole elektrotechnickej v Bratislave. Popri zamestnaní v roku 1970 završil štúdium na Slovenskej vysokej škole technickej, Elektrotechnickej fakulte v Bratislave. Do Výskumného ústavu zvaračského nastúpil hneď po skončení priemyselnej školy v júli 1951. Prvých 5 rokov pracoval na oddelení elektro-fyziky. V roku 1956 prešiel na oddelenie automatických metód zvarovania s tavivovou ochranou. Tu potom pracoval až do odchodu do dôchodku v decembri 1998.

Ing. Viliam Pavelka sa od začiatku pôsobenia vo VÚZ zúčastňoval na vývoji technológií a zariadení na elektrotroskové zvarovanie. Zaoberal sa hlavne vývojom riadenia zariadení, napr. známych typov zvaracích hláv VÚZ – 36-I až III (na jedno až trojbólukové zvarovanie pod tavivom) a aj medzinárodne úspeš-



Ing. Viliam Pavelka

ných univerzálnych zariadení na elektrotroskové zvarovanie hrúbok do 450 mm typu VÚZ-AS-4, resp. VÚZ-ETZ 450. Od roku 1975 pracoval v oblasti základného výskumu zvaracích procesov a ovládania týchto procesov, na vývoji a aplikácii vysokovýkonných metód zvarovania pod tavivom a elektrotroskového zvarovania veľkých hrúbok (až 2 000 mm), ako aj navárania (najmä pri renovácii zápustiek a hutníckych valcov) a na vývoji radiacích systémov a zdrojov zvaracieho prúdu.

Taktiež bol spoluautorom viacerých patentov. Výsledky práce prezentoval nielen v časopise ZVÁRANIE-SVAŘOVÁNÍ, ale aj na domácich a zahraničných kongresoch, konferenciách a tiež v odborných publikáciách VÚZ. Jeho pracovné úspechy ho predurčili na to, aby mu za celoživotný prínos v oblasti zvarovania bolo v roku 2007 udelené najvyššie ocenenie vo zvaraní – Medaila Akademia Čabelku.

Odchod Ing. Viliama Pavelku bolestne zasiahol všetkých, ktorí ho poznali. Skončil sa jeho život, ktorý bol naplnený usilovnou prácou, porozumením a láskou k rodine, priateľom a kolegom. V mene členov a funkcionárov Slovenskej zvaračskej spoločnosti ako aj celej zvaračskej verejnosti vzdávam hold jeho pamiatke. V našich spomienkach si ho uchováme navždy.

Ing. Pavol Radič, PhD.
predseda SZS



Odišiel RNDr. Pavol KLUCHO

RNDr. Pavol Kluch (1932-2023) bol dlhoročným tajomníkom, z pohľadu Slovenskej zvaračskej spoločnosti (SZS), sesterskej organizácie – Slovenskej spoločnosti pre tribológiu a tribotechniku (SSTT).

RNDr. Pavol Kluch bol významným odborníkom v oblasti tribológie. Celý život pracoval vo VÚRUPE. Taktiež bol 15 rokov šéfredaktorom časopisu Ropa a uhlie, tiež viedol konzultačné a poradenské stredisko v oblasti tribológie. Bol spoluautorom viacerých patentov a vynálezov. Počas svojho plodného života pripravil veľa odborných akcií, bol organizačným garantom a lektorom dlhodobých kurzov Tribotechnik. Pôsobil tiež ako novinár a neúnavný člen pri transfere výsledkov vedy a techniky do praxe. Za jeho celoživotný odborný prínos mu Zväz slovenských vedeckotechnických spoločností udelil ocenenie Propagátor vedy a techniky.



RNDr. Pavol Kluch

„Bol organizačným garantom a lektorom dlhodobých kurzov Tribotechnik.“

Ako „zvarač“ by som rád vyzdvihol skutočnosť, že svojou osobnou angažovanosťou nemalým dielom prispel k zblíženiu spoločností SZS a SSTT. Preto mi v mene svojom ako aj v mene Slovenskej zvaračskej spoločnosti dovoľte vzdať hold jeho pamiatke.

Ing. Pavol RADIČ, PhD.
predseda SZS



**VÝSKUMNÝ ÚSTAV
ZVÁRAČSKÝ**

PARTNERSTVO VÚZ – ZVÁRAČSKÉ ŠKOLY

Prečo je partnerstvo Výskumného ústavu zvaračského a zvaračských škôl prínosom?

VÚZ je medzinárodne uznávané vedecko-výskumné, vývojové a výrobné pracovisko s viac ako 70-ročnou tradíciou v oblasti zvarovania a príbuzných technológií a príbuzných procesov. Pôsobí ako certifikačný orgán akreditovaný Slovenskou národnou akreditačnou službou (SNAS) a medzinárodnými zvaračskými organizáciami IIW a EWF.

VÚZ je jeden zo zakladajúcich členov Medzinárodného zvaračského inštitútu – International Institute of Welding (IIW) a Európskej zvaračskej federácie (EWF) a zároveň jediným národným zástupcom Slovenskej republiky v oboch organizáciách. Týmto je zárukou medzinárodne uznávanej kvality a legitimity vzdelávacieho a kvalifikačného procesu v oblasti zvarovania.

VÚZ hľadá spôsoby efektívneho spájania rôznych druhov materiálov už viac ako 70 rokov. Za toto obdobie sa môže pochváliť mnohými úspechmi, ktoré sú oceňované a tiež používané nielen na Slovensku, ale aj v zahraničí. VÚZ sa zameriava aj na oblasť vzdelávania zvaračov, technologov zvarovania, inštruktorov zvarovania a vyššieho zvaračského personálu, ktorí dokázali uplatniť v praxi vyvinuté technológie a postupy v oblasti spájania materiálov.

Súčasná doba prináša rôzne zmeny, nielen v oblasti technológií zvarovania, ale aj v prístupe k zvaračskému personálu zo strany zamestnávateľov. V záujme



neustáleho zvyšovania kvality výučby, sme sa rozhodli vybudovať na Slovensku sieť zvaračských škôl, s ktorými chceme spolupracovať na základe partnerských dohôd. V súčasnosti **je nevyhnutné, aby zvaračské školy boli vybavené moderným technickým vybavením a aby pracovníci vykonávajúci výučbu boli na vysokej profesionálnej a odbornej úrovni**, k čomu by sme radi prispeli našou ponukou partnerstva a benefitov.

ČO VÁM PRINESIE PARTNERSTVO S VÚZ

Certifikácia podľa certifikačných schém EWF alebo SNAS

- Ako jediný certifikačný orgán ponúkame certifikáciu personálu v súlade s certifikačnými schémami EWF a IIW.
- Možnosť výberu certifikácie podľa EWF alebo SNAS.
- Vyššia možnosť uplatnenia certifikovaných osôb v zahraničí, ako aj u zahraničných investoroch na Slovensku.

Vedenie správy agendy zvaračských škôl elektronikou formou prostredníctvom softvéru VÚZ

- Presná evidencia agendy zvaračov a archivácia údajov v elektronickej forme.
- Zrýchlenie spracovania agendy a vydania certifikátov.
- Šetrenie nákladov na pracovný čas, papier, tonery, poštovné ... atď.

Dodanie učebného materiálu, učebníc, učebných pomôcok

- Učebnice pre základné metódy 111, 135, 141 a 311.
- Umiestnenie informačných, náučných „posterov“ v priestoroch zvaračskej školy.
- Rôzne druhy učebných pomôcok a literatúry.

Predaj produktov VÚZ formou komisionálneho predaja

- Zvaračská škola si môže zvýšiť svoje výnosy predajom tovaru a služieb VÚZ.
- Zvaračská škola nemusí mať viazané finančné prostriedky v skladových zásobách.
- Zastupovaním VÚZ v danom regióne zvaračská škola získava vyšší počet zákazníkov aj z iných oblastí, ako doteraz oslovovala.

Reklamný priestor v časopise, webe a akciách VÚZ

- Zvaračská škola bude propagovaná prostredníctvom printových, elektronických a iných médií, ktoré využíva VÚZ.
- Zvýšenie propagácie zvaračskej školy.
- Spolupodielanie sa zvaračskej školy na odborných seminároch a konferenciách.

Pomoc pri nákupe technického vybavenia pre zvaračské školy formou kolekcie požiadaviek z viacerých zvaračských škôl a vyjednaní lepších nákupných podmienok u konečného dodávateľa napr. zvaračiek, tlačiarní, PC, ochranné pomôcky, technické plyny, hutný materiál... atď.

- Nižšie náklady na nákup pre zvaračské školy.
- Nižšie náklady na servis.
- Unifikácia hardvérového vybavenia zvaračských škôl, ktoré spolupracujú s VÚZ.

Vzdelávanie a zvyšovanie kvalifikácie pre pracovníkov zvaračských škôl za zvýhodnených podmienok

- Nastavenie jednotného pravidelného vzdelávacieho procesu pre neustále zvyšovanie odbornosti zamestnancov zvaračských škôl.
- Zvýhodnené cenové podmienky kurzov, odborných prednášok, konferencií a recertifikácii personálu zvaračských škôl.
- Zabezpečenie neustáleho profesného rastu.

V prípade, že vás naša základná ponuka oslovila, s dôverou sa na nás môžete obrátiť. Kontakt:



PONUKA KURZOV V 2. POLROKU 2023

KURZY VYŠŠÍCH ZVARAČSKÝCH ODBORNÍKOV	
Medzinárodný zvaračský inžinier/technolog (IWE/IWT)	Kurz sa skladá zo 4 častí: 10. 7. – 24. 9. 2023 (e-learning) 25. 9. – 18. 10. 2023 (výučba v triede) 19. 10. – 28. 11. 2023 (e-learning) 29. 11. – 13. 12. 2023 (výučba v triede)
Medzinárodný zvaračský špecialista/praktik (IWS/IWP)	Kurz sa skladá z 2 turnusov: 16. 10. – 27. 10. 2023 (1. turnus) 6. 11. – 30. 11. 2023 (2. turnus)
Medzinárodný zvaračský inšpekčný personál (IWI – C)	Kurz sa skladá z 2 častí: 16. 10. – 12. 11. 2023 (e-learning) 13. 11. – 24. 11. 2023 (výučba v triede)
Koordinátor zvarovania betonárskych výstuží (WRB)	17. 5. – 19. 5. 2023
Technológ zvarovania plastov	Kurz sa skladá z 2 častí: 15. 5. – 29. 5. 2023 (e-learning) 30. 5. – 2. 6. 2023 (výučba v triede)
Inštruktor zvarovania	10 dní e-learning + 5 dní prax podľa dohody
Technik katódovej ochrany podľa STN EN ISO 15 257, úroveň 2, úroveň 3	II. kvartál 2023
KURZY NEDEŠTRUKTÍVNEHO SKÚŠANIA	
Vizuálne skúšanie – stupeň 2 (VT2)	22. 5. – 26. 5. 2023 4. 9. – 8. 9. 2023 11. 12. – 15. 12. 2023
Vizuálne hodnotenie zvarových spojov termoplastov – stupeň 2 (VT-TP2)	26. 6. – 29. 6. 2023
Vizuálne hodnotenie zvarov pre inštruktorov zvarovania	1 deň (podľa požiadaviek)
Vizuálne hodnotenie stavu povrchov a náterov	4 dni (podľa požiadaviek)
Skúšanie kapilárnymi metódami – stupeň 2 (PT2) (5 dní e-learning + 4 dni výučba v triede)	27. 10. – 5. 11. 2023 (e-learning) 6. 11. – 9. 11. 2023 (výučba v triede)
Skúšanie magnetickou práškovou metódou – stupeň 2 (MT2) (5 dní e-learning + 4 dni výučba v triede)	20. 11. – 26. 11. 2023 (e-learning) 27. 11. – 30. 11. 2023 (výučba v triede)
Skúšanie ultrazvukom – stupeň 2 (UT2) (10 dní e-learning + 13 dní výučba v triede)	12. 9. – 26. 9. 2023 (e-learning) 27. 9. – 13. 10. 2023 (výučba v triede)
Meranie hrúbok ultrazvukom – stupeň 2 (UT-T2) (10 dní e-learning + 6 dní výučba v triede)	12. 9. – 26. 9. 2023 (e-learning) 27. 9. – 29. 9. 2023 (výučba v triede) 9. 10. – 11. 10. 2023 (výučba v triede)
Vyhodnocovanie rádiogramov – stupeň 2 (RT-FI2)	5. 6. – 14. 6. 2023
Skúšanie tesnosti – stupeň 2 (LT-P)	27. 11. – 3. 12. 2023 (e-learning) 4. 12. – 8. 12. 2023 (výučba v triede)

KURZY A SEMINÁRE SYSTÉMOV MANAŽÉRSTVA	
Interný auditor kvality podľa ISO 9001	22. 6. – 23. 6. 2023 14. 12. – 15. 12. 2023
Výklad normy ISO 9001	22. 6. 2023 14. 12. 2023
Interný auditor kvality vo zvaraní podľa ISO 3834	13. 4. – 14. 4. 2023 26. 10. – 27. 10. 2023
Požiadavky na kvalitu vo zvaraní podľa ISO 3834	13. 4. 2023 26. 10. 2023
Požiadavky na výrobcov oceľových a hliníkových konštrukcií podľa EN 1090	20. 11. – 21. 11. 2023

KONFERENCIA	
Kvalita vo zvaraní 2023	3. 5. – 5. 5. 2023
Národné dni zvarovania 2023	20. 9. – 22. 9. 2023

INÉ ODBORNÉ KURZY A SEMINÁRE	
Makroskopická analýza zvarových spojov	1 deň, podľa požiadaviek
Tvorba WPS (postupov zvarovania) a schvaľovanie WPQR	28. 6. 2023 9. 11. 2023
Čítanie technických výkresov a zvaracích postupov	11. 5. 2023 24. 10. 2023
Kvalifikácie zvaračov, vyšších zvaračských odborníkov a pracovníkov skúšania	29. 6. 2023 10. 11. 2023
Označovanie skúšky zvarača a rozsahy platnosti certifikátu podľa ISO 9606-1	19. 10. 2023
Kvalita vyhotovenia žiarovo pozinkovaných konštrukcií – očakávaní investora	11. 9. 2023
Napätia vznikajúce vo zvaranej oceľovej konštrukcii pri žiarovom zinkovaní, ich deštruktívne účinky a úloha projektantov, ako im predísť	12. 9. 2023

Ponuka dištančných (e-learningových) seminárov

Ponúkame Vám možnosť absolvovať nasledovné semináre aj formou e-learningu:

Tvorba postupov zvarovania (WPS)
Schvaľovanie postupov zvarovania (WPQR)
Bezpečnosť pri zvaraní podľa noriem STN 050601, STN 050610, STN 050630
Norma STN 050705 „Zvarovanie. Predpisy pre základné skúšky zvaračov“
Označovanie skúšky zvarača a rozsahy platnosti certifikátu podľa ISO 9606-1
Úvod do NDT pre vedúcich pracovníkov
Norma EN 1090-1 a EN 1090-2 z pohľadu zvarovania a prípravy materiálu na zvarovanie
Kvalifikácie zvaračov, vyšších zvaračských odborníkov a NDT personálu
Požiadavky na kvalitu vo zvaraní podľa ISO 3834
Zvarovanie železničných koľajových vozidiel podľa EN 15085 – so zameraním na personál, certifikáciu výrobcu, zvaracie postupy, skúšky a stupne kvality
Norma ISO 9712 – Kvalifikácia, skúšky a certifikácia NDT pracovníkov
Smernica EPaR 2014/68/EÚ (tzv. PED)

Semináre spúšťame každý týždeň. Výhodou týchto seminárov je, že môžete študovať hociaký čas počas dňa, kedy budete mať aktívne konto na štúdium, zvyčajne 2 dni.

Ponuka NDT kurzov s kombinovanou formou výučby

Kombinovanou formou výučby (teória - e-learning; prax v priestoroch VÚZ) je možné absolvovať nasledovné kurzy NDT:

Vizuálne skúšanie – stupeň 2 (VT2) (10 dní e-learning + 2 dni praktické cvičenia)	5. 6. – 18. 6. 2023 e-learning 19. 6. – 20. 6. 2023 prax (výučba v triede) 9. 10. – 22. 10. 2023 e-learning 23. 10. – 24. 10. 2023 prax (výučba v triede)
Skúšanie kapilárnymi metódami – stupeň 2 (PT2) (10 dní e-learning + 2 dni praktické cvičenia)	5. 10. – 18. 10. 2023 e-learning 19. 10. – 20. 10. 2023 prax (výučba v triede)
Skúšanie magnetickou práškovou metódou – stupeň 2 (MT2) (10 dní e-learning + 2 dni praktické cvičenia)	25. 8. – 12. 9. 2023 e-learning 13. 9. – 14. 9. 2023 prax (výučba v triede)

Teóriu sa účastníci učia formou e-learningu v hociaký čas počas trvania kurzu. Túto je potrebné mať naštudovanú do nástupu na praktickú časť kurzu.

PRIHLÁŠKY nájdete na našej stránke <https://www.vuz.sk/vzdelavanie>

alebo požiadajte o ich zaslanie na e-mail: vzdelavanie@vuz.sk

Organizačný garant: Ing. Rut Balogová

e-mail: balogovar@vuz.sk • mobil: +421918 821 415

Výskumný ústav zvaračský • Račianska 71, 831 02 Bratislava

e-mail: vzdelavanie@vuz.sk • www.vuz.sk



RADI SA S VAMI STRETNEME NA XIV. ROČNÍKU KONFERENCIE

NÁRODNÉ DNI ZVARANIA

v dňoch 20.-22. septembra 2023

v hoteli Ski & Wellness Residence Družba, Demänovská Dolina

ODBORNÉ ZAMERANIE KONFERENCIE

- návrh, výroba zvaraných výrobkov a opravy a renovácie
- automatizácia, robotizácia zvarovania
- kvalita vo zvaraní a bezpečnosť pri zvaraní
- vzdelávanie, skúšanie a certifikácia personálu vo zvaraní a NDT
- zvarovanie v automobilovom a chemickom priemysle, železničnej doprave, plynárenstve a energetike
- inovatívne metódy vo zvaraní a spájkovaní a NDT
- nové normy vo zvaraní a skúšaní
- zvarovanie plastov, nové metódy, zariadenia a polotovary

KONTAKT

- Ing. Rut Balogová • tel: +421918 821 415 • e-mail: vzdelavanie@vuz.sk





Už viac ako 70 rokov poskytujeme našim partnerom spoľahlivé a nestranné odborné poradenstvo, know-how a zaistenie bezpečnosti prostredníctvom inžinierskych činností, aplikáciou nových materiálov a technológií spájania. Partnerom tak pomáhame navrhovať a vyrábať konkurencie schopné produkty respektíve bezpečne/efektívne prevádzkovať výrobné zariadenia. Poskytujeme tiež vzdelávanie, certifikáciu a výkon revízných činností s cieľom zvýšiť odborné znalosti a kvalifikáciu tak, aby zamestnanci našich partnerov prinášali čo najväčší benefit a aby ich výrobné prostriedky boli prevádzkované bezpečne.

Výskumný ústav zväračský – čo vieme, kto to vie

Technológie zvárania	Zváracie pracoviská Technologické celky	Reverzné inžinierstvo (RI)
<ul style="list-style-type: none">opravy a renovácie na kľúčvývoj a aplikácia technológií zvárania/spájania/spájkovaniapilotná hala so zväračskými technológiami: ROZ/MIG/MAG/TIG/ZPT/plameň laserové zváranie/naváranie, trecie zváranie s premiešaním, odporové zváranie spájkovanie (tvrdé/mäkké) modulárne robotické pracoviská tvorba dokumentácieWPQR, zvärací dozor	<ul style="list-style-type: none">návrh a realizácia zväracích pracovísk dodávky technologických celkov vrátane materiálových riešenívlastný vývoj a výroba unikátnych prenosných obrábacích zariadenívýroba zariadení a nástrojov na trecie zváranie s premiešanímvýroba zariadení na vibračné spracovanie	<ul style="list-style-type: none">komplexné zhodnotenie možností RI a stanovenie ekonomickej návratnosti3D Skenovanie (tvorba mraku bodov)tvorba trojuholníkových sietítvorba alebo aktualizácia CAD modelovpríprava výkresovej dokumentácievirtuálna montážpríprava výrobyvýroba, kontrola kvality
Ing. Peter Brziak, PhD, EWE 915 751 724 / brziakp@vuz.sk	Ing. Peter Brziak, PhD, EWE 915 751 724 / brziakp@vuz.sk	Ing. Peter Brziak, PhD, EWE 915 751 724 / brziakp@vuz.sk
Inžinierske služby Akreditované laboratória	Inžinierske služby Chémia/Petrochémia	Inžinierske služby Energetika/ Strojárstvo
<ul style="list-style-type: none">materiálový a technologický výskum a poradenstvoanalýza príčin poškodenia a návrh opatrenípevnostné analýzy, numerické simulácie, fyzikálne simulácieakreditované laboratória<ul style="list-style-type: none">metalografia/fraktografiafyzikálna a analytická chémiakorózne skúškymechanické skúškyNDTmateriálové poradenstvo	<ul style="list-style-type: none">analýza stavu výrobných zariadení + návrh opatreníanalýza príčin poškodeniaNDT skúškykorózne inžinierstvo vrátane návrhu opatrenídeštruktívna/nedeštruktívna metalografia a PMIRBI/FFPstanovenie zvyškovej životnostimateriálové a technologické poradenstvo	<ul style="list-style-type: none">analýza stavu výrobných zariadení + návrh opatreníanalýza príčin poškodeniapríprava dokumentácie a posúdenia pre nezávislé authoritysvedočné korózne programynumerické simulácie integrity kritických komponentovatestácie základných a prídavných materiálovmateriálové a technologické poradenstvo
Ing. Peter Pastier 917 600 881 / pastierp@vuz.sk	Ing. Peter Pastier 917 600 881 / pastierp@vuz.sk	Ing. Peter Brziak, PhD, EWE 915 751 724 / brziakp@vuz.sk
Inžinierske služby Automotive/Transportation	Prídavné materiály, odliatky	Vzdelávanie/certifikácia/VTZ
<ul style="list-style-type: none">audity výrobných procesovpomoc pri nábehu výrobyanalýza NOK výroby a návrh opatrení na jej odstráneniePMInové NDT metódy ako náhrada deštruktívnych prístupovvývoj zvariteľnosti nových materiálovskúšky úžitkových vlastnostímateriálové a technologické poradenstvo	<ul style="list-style-type: none">vývoj a výroba prídavných materiálov na zváranie a naváranie (rúrkové drôty elektródy, tavené tavivá,)návrh prídavných materiálov podľa potrieb zákazníkaprášková metalurgiaspájkový a tavivá na spájkovanievýroba foriem na odlievanievysokolegované odliatkynástreky kovových práškovumelecké odliatky	<ul style="list-style-type: none">vzdelávanie v oblasti zvárania, skúšania, systémov kvality a vyhradených technických zariadení (VTZ)certifikácia:<ul style="list-style-type: none">personálu vo zváraní a NDT,výrobných,manažérskych systémovrevízie VTZschvaľovanie postupov zváraniakonferencie
Ing. Peter Brziak, PhD, EWE 915 751 724 / brziakp@vuz.sk	Ing. Štefan Smetana 905 905 452 891 / smetanas@vuz.sk	Ing. Beáta Machová 905 665 843 / machovab@vuz.sk