

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	DIFÚZNÍ SVAŘOVÁNÍ KOMBINOVANÝCH SPOJŮ AL SLITIN A KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ
Jméno autora:	Bc. Matěj Gregor
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav strojírenské technologie
Oponent práce:	doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Technická univerzita v Liberci

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	mimořádně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Jedná se o mimořádně náročné téma jak z pohledu použité kombinace materiálů, tak také z pohledu optimalizace procesních parametrů a realizace potřebných analýz.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Diplomová práce požadavky uvedené v zadání zcela splnila.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
V práci byla zvolena správná metodika řešení a vesměs i postupy řešení. Doporučil bych pouze k vyhodnocení a zobrazení orientace zrn a také ke stanovení podílu feritické a austenitické fáze využít EBSD detektor, když už byla využívána SEM analýza.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Odbornost DP je vzhledem k požadavkům na úroveň těchto typů prací na výborné úrovni. Jak z pohledu provedených analýz tak také z pohledu vyhodnocení a diskuze výsledků. Přestože bylo nalezeno využitelné řešení, práce vyvolává spoustu dotazů. To ale autor správně, ve většině případů, zohlednil v kapitole věnované doporučení k dalšímu výzkumu.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	A - výborně
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Formální a jazyková úroveň je výborná v práci jsem objevil asi jenom 5 překlepů. Také srozumitelnost a logičnost návaznosti textu je velmi dobrá, stejně tak grafická úroveň práce. Rozsah DP je nadstandardní, i když si myslím, že některé popisy metod měření a přístrojů by nemusely být tak rozsáhlé. Také doporučuji popis konkrétních přístrojů uvést dohromady zároveň s popisem jednotlivých analytických metod. Jsou-li použity v kapitolách patřících experimentům, promíchává to v daných kapitolách experimenty s teorií, což není zcela přehledné.	

Výběr zdrojů, korektnost citací	B - velmi dobře
<i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	

Student v práci zvolil dostatečné množství relevantních pramenů. Možná bych doporučil dohledat více novějších zdrojů z oblasti difúzního svařování se vznikem intermetalických fází.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Zde uvádím komentáře k práci a případná doporučení. Zaměřil jsem se především na experimentální část práce.

- 1) Tab. 7. bylo by vhodné změřit konkrétní chemické složení použitých materiálů, zvláště když jsou následně dělány EDS analýzy. Lexikon materiálů zde není úplně vhodný. V tab. 9. se pak píše, že chem. složení bylo použito z dokumentu kontroly, ale odkaz je opět na lexikon.
- 2) Str. 51. Dle mého názoru měl být použit spíše Shaefflerův diagram, protože se jedná o základní a klasickou korozivzdornou ocel a to přesto, že se množství delta feritu odečítá hůře.
- 3) Str. 54. Tvrzení „Vhodnou metodu v tomto případě představuje TIG s AC režimem, kde je elektroda zapojena jako kladný pól.“ Při střídavém proudu nelze elektrodu zapojit na kladný pól.
- 4) Obr. 22. Účelem mikrotvrdomosti je porovnat změnu vlastností zejména v oblasti difúze. První vpichy jsou udělány ale výrazně za oblastí, v níž difúze probíhala. Pokud tvrdoměr neumožňuje realizovat menší vzdálenosti mezi vpichy, používá se více řad, vůči sobě přesazených.
- 5) Str. 65. Lépe použít slovo otvor než díra. Byl kladen důraz na sousost a vystředěnost otvorů. Proč tedy byly vrtány na vrtačce a ne na soustruhu?
- 6) Str. 66. Autor zmiňuje přípravu difúzních ploch dílčích vzorků na metalografické brusce, kde jak sám podotýká je nebezpečí „podbroušení“ okrajových partií. Bylo by vhodnější vzorky připravovat na klasické rovinné brusce s chlazením. Protože se jedná o nemagnetické materiály tak s kovovými pryzmatickými příložkami.
- 7) Vzhledem k relativně špatné tepelné vodivosti u korozivzdorné oceli bych doporučil po vložení soustavy do komory předehřáté na 300°C nějakou dobu výdrže a teprve pak pokračovat s ohřevem na požadovanou teplotu.
- 8) Str. 82. Na přípravu vzorků pro tahovou zkoušku bych spíše doporučil elektroerozivní drátové dělení než metalografickou pilu.
- 9) Str. 84. Autor popisuje, že nejmenší zatížení, které tvrdoměr umožňuje je 0,3 kg. Pak ale používá měření HV 0,05. Zde je rozpor.
- 10) Str. 88. U teplot 500 a 525°C došlo ke zvýšení mikrotvrdomosti u austenitické oceli. Vzhledem ke špatné tepelné vodivosti bude reálná teplota oceli při svařování pravděpodobně nižší. Nemůže se tak jednat o zkrěhnutí 475?
- 11) Str. 125. Autor uvádí: „Je zřejmé, že část A tvoří atomy hliníku (červené) a niklu (fialové). Z mapy Ni na obr 69, ani z průběhu EDS na obr. 68 nic takového zřejmě není.“
- 12) Str. 125. Autor uvádí: „Část E by měla být dle tmavší barvy v porovnání s jinými částmi složena z lehčích prvků než jsou železo, chrom, a nikl. V úvahu tak připadají atomy lehčích prvků, jako hliník, křemík a hořčík. Dle mapy chemických prvků však hořčík přítomen v této části není. Část E se tak pravděpodobně skládá z atomů hliníku, křemíku, případně z atomů uhlíku obsažených v korozivzdorné oceli, jejichž přítomnost však metodou EDS nebyla ověřena.“ Část E je u korozivzdorné oceli téměř na hranici difúzní oblasti. Tam by mělo být Fe, Cr, Ni a pravděpodobně kapka Al.
- 13) U obrázků z EDS analýzy není zřejmé, zda se jedná o atm. nebo hm. %.
- 14) Str. 126. Tvrzení „Spoj ztrácí soudržnost důsledkem vysokých rozdílů v chemickém složení, potažmo mechanických vlastností, jednotlivých částí vrstvy intermetalických fází, což způsobuje vznik trhlin v uvedené vrstvě.“ Je diskutabilní. Je otázkou, zda je to opravdu může IMV nebo výrazně rozdílné koeficienty lineární roztažnosti.
- 15) Str. 128. Pouze špatný odkaz na obrázek. Místo obr. 70 má být obr. 71.
- 16) Str. 129. Nikde v textu není uvedeno, ve kterém místě praskl difúzní spoj při zkoušce tahem. Asi není ani úplně vhodné srovnávat pevnost spoje s původní Al slitinou, protože svařováním došlo k výraznému snížení tvrdosti a tedy i mechanických vlastností. Troufám si si říct, že i pod hodnotu naměřených 222 MPa. Zajímavé by bylo vystavit optimalizovaný spoj umělému vytvrzení.
- 17) Str. 132. Tvrzení „Je však možné, že změna mechanických vlastností se projeví více na tažnosti než na pevnosti spoje. Očekávaná hodnota tažnosti bude jistě velmi nízká, z důvodu zvýšené křehkosti intermetalických sloučenin vyloučených v difúzní oblasti.“ Je opět diskutabilní, vzhledem k velmi malé tloušťce intermetalické fáze v jednotkách um. To potvrzují i zkušenosti s testováním intermetalických fází.
- 18) Potenciál dalšího výzkumu je velmi dobře specifikován, ještě bych jej rozšířil o studii možnosti obnovy mechanických vlastností na straně Al slitiny pomocí umělého vytvrzení.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Diplomová práce je zpracována na zajímavé téma a svědčí o erudici, ale také o komplexnosti znalostí autora. Texty jsou psány srozumitelně a kapitoly řazeny logicky. Bylo provedeno velké množství experimentů a také analýz. Výsledky jsou vhodně prezentovány a také diskutovány, i když o některých závěrech nebo postupech by se dalo diskutovat, což uvádím v kolonce další komentáře, nebo v otázkách níže. Z mého pohledu se ale jedná o zdařilé dílo jak z pohledu hloubky teorie difúze, tak zejména z pohledu provedených experimentů a jejich vyhodnocení. V rámci obhajoby práce prosím o zodpovězení následujících otázek:

- 1) Svařování proběhlo také nad teplotou solidu slitiny AW 6082. Projevil se tento fakt nějak na vlastním spoji? Například větší deformace, i když přitlačná síla byla velmi malá?*
- 2) Schéma experimentu na obr. 26 ukazuje použití tří heterogenních svarů najednou, nicméně z provedených experimentů se zdá, že byl svařován vždy jen jeden heterogenní spoj. Prosím o objasnění?*
- 3) Svařování proběhlo v ochranné atmosféře Ar 4.8, nicméně na obr 30 jsou u korozivzdorné oceli po svaření náběhové barvy způsobené oxidací. Jak si to vysvětlujete? Byla ochrana nedostatečná?*
- 4) Jaká byla doba mezi broušením vzorků z Al slitiny a vlastním svařováním? Pokud byla delší než 30 minut, byly oxidy na povrchu nějak odstraněny, například pomocí kyseliny fluorovodíkové?*
- 5) Proč nebyla k posouzení velikosti a orientace zrn použita EBSD analýza, když už byla popisována jako jedna z analytických metod?*
- 6) Vzhledem k tvrzením na str. 132 by bylo vhodné definovat, po jak dlouhé době po svařování došlo k měření mikrotvrdomosti a také zda v průběhu času mezi svařováním a statickou zkouškou tahem nemohlo dojít alespoň k částečnému přirozenému vytvrzení, což by mohlo mít vliv na relativně vysokou pevnost spoje 222 MPa. Jaký je Váš názor na tyto domněnky?*

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 22.8.2023

Podpis: