

Oponentní posudek disertační práce Ing. Aleše France na téma: „**Metalurgicko-technologické aspekty spojování hliníkových slití s ocelí.**“

Svařování patří mezi základní technologie používané ve strojírenském průmyslu. Dynamický rozvoj většiny odvětví strojírenství a vývoj moderních materiálů sebou přinášejí potřebu vývoje nových technologií, které plně využijí vlastností těchto materiálů. Předložená práce se zabývá problematikou svařování heterogenních spojů oceli s hliníkem, tj. kovových materiálů odlišujících se svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Tato práce svým významem převyšuje řadu konvenčních řešení svarových spojů a je s hlediska přístupu a komplexností řešení velkým přínosem při řešení této problematiky. Disertant se zaměřil na konkrétní potřeby jednoho z nejdynamičtěji se rozvíjejícího průmyslového odvětví a to je automobilový průmysl. Využití výsledků této práce výrazně pomůže při realizaci heterogenních svarových spojů ocel-hliník.

Disertační práce je logicky členěna do tří základních etap, které postupně přibližují cíl řešeného problému, tj. získání komplexních výsledků svařování heterogenního spoje ocel-hliník.

V první etapě je proveden detailní rozbor vlastností hliníku a jeho slitin, svařitelnost a náchylnost ke vzniku vad. Dále jsou popsány vlastnosti nízkolegovaných vysokopevných ocelí, které jsou součástí heterogenního spoje. Je popsána problematika tepelně ovlivněné oblasti při metalurgickém spojení hliníkových slitin s ocelí. Je proveden rozbor technologií, které se využívají pro tavné svařování těchto svarových spojů s uvedením známých výsledků. Jedná se o svařování třecí s využitím moderní varianty FSW, svařování laserem a nejnovější technologie, modifikace svařování MIG-CMT. Tato technologie byla vybrána pro další experimentální práci.

Druhá etapa je experimentální program, který je rozčleněn do dvou částí. V první se autor zabývá volbou základního a přídavného materiálu a volbou technologických parametrů a jejich analýzou včetně analýzy přestupu kovu přídavného materiálu do tavné lázně. Ve druhé části je uvedena specifikace zařízení, metodika měření a vyhodnocení. Součástí této etapy je také kapitola „**Nejistoty měření**“, která podle mého názoru ne zcela zapadá do kontextu, její závěry nejsou využity např. při výpočtu tepelného příkonu, kde je uváděn idealizovaně *koeficient tepelné účinnosti* jako konstanta.

Ve třetí etapě je proveden výběr zkušebních vzorků v různých kombinacích základních materiálů. Byly provedeny nedestruktivní kontroly (vizuální a kapilární zkouška a počítačová tomografie), mechanické a metalografické zkoušky.

Byly získány velmi zajímavé výsledky, které jsou specifické pro spoje oceli s hliníkem. Experimentální program objasnil celou řadu problémů, které jsou při vytváření heterogenních svarových spojů oceli s hliníkovými slitinami a posunul tak znalosti o chování

těchto materiálů při svařování o velký kus dopředu. Autor zcela naplnil stanovený cíl a je možné konstatovat, že v některých případech nad jeho původní záměr.

Disertant ve své práci postupoval velmi cílevědomě a velmi systematicky. Jediné co mi v předložené práci chybí je **zhodnocení možnosti opravy vad**. Experimentální program byl realizován na robotu a nebyla uvažována varianta ručního svařování, které by se dalo využít při eventuálních opravách.

Autor ve své disertační práci prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce v daném oboru. Práce je velmi přehledná, textová i obrázková část velmi kvalitně provedená a jazykové úrovni nelze také nic vyčíst. Po formální stránce se autor zhostil svého úkolu velmi dobře.

Publikační činnost autora je poměrně rozsáhlá. Jedná se především o odborné příspěvky na různých konferencích. Také přednášková činnost je poměrně bohatá. Autor předává své zkušenosti jak posluchačům na Západočeské univerzitě tak na kurzech pro mezinárodní svářečské inženýry a technology.

Závěr: Doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě

V Plzni 14. ledna 2014

Zpracoval: Ing Jiří Barták, CSc., IWE

Titl.:
Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta strojní
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Oponentní posudek **disertační práce**
Ing. Aleše **France**, o názvu
Metalurgicko-technologické aspekty spojování hliníkových slitin s ocelí
Školitel: Doc. Ing. Jan Kalous, CSc.

Disertační práce Ing. Aleše France o názvu „Metalurgicko-technologické aspekty spojování hliníkových slitin s ocelí“ se zabývá důležitým problémem spojování heterogenních spojů Al slitiny spolu s nízkolegovanou vysokopevnou jemnozrnnou žárově zinkovanou ocelí - s využitím v automobilovém průmyslu.

a) Zhodnocení disertační práce pro obor materiálu a strojírenské metalurgie

Disertační práce řeší problém spojováním hliníkových slitin jakosti EN AW 6082, spolu s vysokopevnou jemnozrnnou termomechanicky zpracovanou (TMZ) duální DP TMZ žárově zinkovanou ocelí, moderní modifikovanou metodou 134 – MIG - CMT, tj. spojů, které jsou určující v rámci výroby částí, jmenovitě karoserií a rámců, kolových vozidel. V podstatě jde o řešení vzájemného spoje heterogenních základních materiálů a to vysokopevné nízkolegované oceli (teplota tání Fe 1536 °C) s vrstvou zinku (teplota tání 420 °C), hliníkové slitiny (teplota tání Al 658 °C s vrstvou Al₂O₃ s teplotou tání 2050 °C) a svarového kovu z hliníkové slitiny. Z teoretického hlediska se jedná o velmi komplikovaný spoj (kombinace svařování – pájení) obtížně vysvětlitelný s využitím kvaternárních diagramů. Z hlediska technologického jde o spoj, který je možné řešit pouze s využitím nejmodernějších velmi komplikovaných technologií a zařízení, zaručujících přesně řízený a definovaný přenos tepelné energie v místo spoje. Správnost volené technologie bylo možno zhodnotit velmi náročnými experimenty a zkušebními programy.

Dosažené výsledky mají prvořadý význam pro **metalurgicko-technologický obor spojování kovů** a jsou přínosem pro rozvoj oborů svařování a pájení. To proto, že při spojování se kombinují ve spoji dvě technologie a to tavné svařování na straně hliníkové slitiny a tvrdé pájení hliníkovou slitinou na straně pozinkované oceli.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, metodám a ke splnění cíle

Náplň práce byla zvolena, z hlediska navázání na poslední výsledky vědy a výzkumu v dané vědní oblasti tj. ve sféře výzkumu materiálu a technologií svařování a pájení, správně. V aplikaci na svařování hliníkových slitin spolu s vysokopevnými plechy pro automobilový průmysl bylo dosaženo výsledků, které jsou srovnatelné s výsledky, získané ve význačných výzkumných ústavech v zahraničí. Svědčí to o správně voleném experimentálním programu s využitím moderního zařízení typu MIG pro vytvoření dokonalých spojů mezi vysokopevnou ocelí (podle EN 15608 - skupina 2) se žárově nanesenou vrstvou Zn a slitiny Al-Mg-Si (řada 6000) s vrstvou oxidů Al₂O₃. Ke spojování (svařování v kombinaci s pájením) disertant vybral, po důkladném rešeršním studiu a podle dosud získaných výsledků svařování - pájení v řešené oblasti, metodu svařování (pájení) MIG – CMT (Metal Inert Gas - Cold Metal Transfer), která vytváří předpoklady

pro získání vyhovujících mechanických, fyzikálních, chemických a technologických vlastností spojů hliníkové slitiny řady 6000 a vysokopevné nízkolegované oceli skupiny 2. Technologii MIG – CMT lze plně spojit dvě technologie spojování kovů a to svařování hliníku (ohřev nad teplotu tání hliníku) a zároveň vytvořit podmínky pro tvrdé pájení oceli (ohřev těsně pod teplotu přeměny A_1 oceli). Proces je docílen automatizovaným mechanicko-oscilačním pohybem drátové elektrody.

Hlavním vědeckým přínosem práce je zhodnocení přestupu kovu v oblouku vysokorychlostním záznamem parametrů v průběhu zkratového odtavování elektrody z Al slitiny v závislosti na řízeném (zpoždřovacím) pohybu elektrody včetně analýzy teplotního pole procesu spojování.

Cílem je navrhnout parametry procesu s možností pulzního nastavení průběhu zkratového procesu s využitím MIG-CMT technologie tak, aby řízení hodnoty tepelného příkonu procesu bylo ve shodě požadovanými vlastnosti spoje. Znamená to spojit současně proces svařování hliníkové slitiny spolu s pájením vysokopevné nízkolegované oceli.

Z hlediska **vyjádření k postupu řešení** zadané problematiky lze konstatovat, že postup byl zvolen správně s tím, že disertant systematicky postupoval a ověřoval dosud získané poznatky. Poznatky rozšířil o výsledky zkoušek, které sám dosáhl při řešení problému spojování oceli spolu s hliníkem nejmodernějším postupem spojování (MIG-CMT) heterogenních kovů o podstatně rozdílných teplotách tání.

Disertant řešil problém ve dvou experimentálních programech. V prvním programu, který je zaměřený technologicky, disertant analyzoval a poté správně definoval podmínky pro stanovení technologie, kterou lze dosáhnout úspěšné spoje ocelí spolu s hliníkovou slitinou.

Ve druhém experimentálním programu správně analyzoval výsledky zkoušek spojů, zhotovených podle podkladů, získaných řešením prvního programu.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu k oboru

Řešením dvou experimentálních programů disertant potvrdil poznatky, že bez zinkové vrstvy (zajišťuje smáčivost Al) nelze dosáhnout vyhovující spoj oceli s hliníkovou slitinou (s.140).

V rámci **prvního programu** uskutečnil analýzu elektrických parametrů, obrazovou analýzu přestupu přídavného materiálu do tavné lázně hliníkové slitiny a termografií analýzu teplotního pole.

Ve **druhém programu** zhotovil přesně definované zkušební vzorky pro zkoušky spojování, nedestruktivní testy (NDT), metalografický rozbor spojů a stanovil charakteristické mechanické vlastnosti, které reprezentují svarová nebo pájená spojení.

Cíle, které jsou stanoveny na s. 50 a se kterými souhlasím, disertant v **plném rozsahu splnil**.

d) Systematicčnost, přehlednost a jazyková úroveň disertační práce.

Disertační práce je zpracována v kapitolách, pojednávajících o základních materiálech (3 kapitoly), o experimentálních programech (2 programy) a v kapitolách, ve kterých jsou shrnuty výsledky, závěry studie a cenné rady pro další výzkum i pro technickou praxi. Disertační práce je zpracována na 159 stranách, včetně 106 obrázků, 25 tabulek, 1 přílohy (3 strany) a seznamu literatury (109 odkazů).

Zpracování zprávy po stránce systematické, jazykové úrovni je příkladné a s výjimkou několika málo „překlepů“ je bezchybné. Úroveň zpracování tabulek a obrázků je na nejvyšší úrovni.

f) Vyjádření k publikacím disertanta

V údajích, pojednávajících o vybraných publikacích autora, disertant uvádí 16 údajů o publikacích uveřejněných především v rámci přednášek na konferencích, seminářích a sympóziích v ČR.

Učastnil se konferencí a seminářů v ČR i v zahraničí s tím, že spolupracuje s vybranými externími a výzkumnými institucemi. Je spoluřešitel 6 projektů.

Je vynikající pedagog na ZČU. Jeho přednášky v oboru svařování při výuce inženýrů a technologů EWE, EWT a EWS v rámci ANB-CZ mají vysokou úroveň.

Závěr oponentního posudku – vyjádření oponenta

Výsledky uvedené v disertační práci Ing. Aleše France, o názvu: Metalurgicko-technologické aspekty spojování hliníkových slitin s ocelí **jsou významné pro metalurgicko-technologický obor spojování kovů** a jsou přínosem pro rozvoj oborů svařování a pájení.

Výsledky uvedené v práci **jsou původní** a jsou přínosem pro vědu i technickou praxi v oblasti spojování vysokopevných nízkolegovaných ocelí spolu s hliníkovými slitinami. Hodnocení práce je **pozitivní**.

Doporučuji disertační práci Ing. Aleše France, o názvu: Metalurgicko-technologické aspekty spojování hliníkových slitin s ocelí, **k obhajobě** (dle zákona č.111/1998 Sb. § 47).



V Plzni, dne 12. 1. 2014

Prof. Ing. Václav Pilous, DrSc.
ZČU FP KMT