

## OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: **Ing. Pavel Nachtnebl**

Název práce: **Možnosti nedestruktivního hodnocení kvality difúzních spojů**

Studijní program: **P2301 – Strojní inženýrství**

Školitel: **doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.**

Pracoviště: **ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie**

Disertační práce **Ing. Pavla Nachtnebla** na téma “Možnosti nedestruktivního hodnocení kvality difúzních spojů” řeší problematiku provádění a testování svarových difúzních spojů hliníkové slitiny AlMg3 (EN AW-5754). V teoretické části jsou charakterizovány principy vzniku difúzních spojů dle fyzikálních hypotéz a mechanismy objemové difúze v závislosti na Fickových zákonech. Důležitými parametry pro vznik difúzních spojů jsou parametry difúzního svařování a příprava povrchů styčných ploch svařovaných dílů.

V další části práce se doktorand zabývá možnostmi nedestruktivního zkoušení (NDT) difúzních svarových spojů. Pro posouzení výsledků NDT metod byly provedeny metalografické rozborů konkrétních vzorků.

V kapitole 3 jsou uvedeny cíle disertační práce s důrazem na hlavní výsledek práce, tj. „Navrhnout nové způsoby nedestruktivní kontroly difúzních spojů pomocí nekonvenční metody zjišťování elektrických vlastností difúzního spoje a pomocí moderní metody Phased Array ultrazvukového testování, dosud nebyly v této oblasti aplikovány. Včetně ověření a vyhodnocení jejich použitelnosti“, které jsou v souladu s dosaženými výsledky.

V experimentální části práce jsou provedeny 3 typy experimentů heterogenních a homogenních difúzních svarových spojů, jejich příprava a postupy svařování. Vyhodnocení kvality svarových spojů bylo provedeno NDT metodami, metalograficky a mechanickými zkouškami.

V závěru práce je provedena diskuse dosažených výsledků z hlediska NDT zkoušení, tj. elektrické rezistivity, impedančních charakteristik a možností ultrazvukového zkoušení. Výsledky práce jsou vztaženy na důsledky pro vědu a vlastní využitelnost pro praxi.

Předložená disertační práce je rozdělena do 10 kapitol, obsahuje celkem 154 stran textu včetně příloh. Opírá se o 108 citovaných literárních pramenů, převážně zahraničních. K tématu práce autor publikoval sám nebo ve spolupráci s dalšími autory 7 prací.

### **Hodnocení disertační práce:**

V teoretické části práce je provedena podrobná analýza problematiky vzniku difúzních spojů. Tyto rešerše jsou provedeny s velkou pečlivostí a logicky vysvětlují teorie a problematiku vzniku difúzních spojů. V této části se však vyskytují formální chyby, které s největší pravděpodobností mohly vzniknout převáděním textů mezi formáty dokumentů, např. horní a dolní indexy, mezery mezi slovy, atd. V seznamu zkratk některé zkratky chybí, rovněž není sjednocené značení jednotek (např.  $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$  vs.  $[\text{kJ}/\text{mol}]$ ).

V experimentální části práce se vyskytují kapitoly, které by měly být lépe zařazeny v teoretické části práce, např. kap 4.1, která popisuje historii vývoje difúzního svařování.

V práci postrádám vysvětlení souvislostí použití kombinace spojů s Ni folií a následných homogenních spojů AlMg3 (EN AW-5754), str. 53.

V kapitole 4.2.1 (str. 53) je uvedeno, že spoje byly křehké. O jaké posouzení spojů se jedná?

Na str. 55 je uveden výskyt trhlin, dle mého názoru se jedná o nespojitost materiálů, ne trhliny v pravém slova smyslu (obr. 29, str. 57).

Na str. 99 je uvedeno vyřazení vzorku IV. z experimentu. Pokud je vzorek analyzován jako součást celkového experimentu vzorků I. – V., patří do experimentu, i když má nevyhovující výsledky.

Doporučení z mé strany. Při experimentu je vhodné měnit vždy pouze jeden parametr. V případě změn více parametrů současně, nelze nikdy přesně definovat, jaký vliv a který parametr ovlivnil daný výsledek (tab. 11).

### **Otázky k obhajobě disertační práce:**

1. Z jakého důvodu jste zvolil pro experiment kombinaci heterogenních svar. spojů s Ni folií a homogenních svar spojů Al slitiny?
2. Definujte „trhliny“ a jejich vznik na obr. 29, str. 57.
3. Které parametry svařování v experimentu lze považovat jako stěžejní pro vznik difúzního svarového spoje.
4. Jak lze definovat parametr „křehkost spoje“, str. 53.
5. Které metody NDT byste doporučil jako nejdůležitější pro kontroly difúzních svarových spojů.

### **Závěrečné hodnocení disertační práce:**

**Dosažení stanoveného cíle disertační práce.** Dle zadání práce a stanovení cílů lze konstatovat, že cíle byly splněny.

**Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky.** V rozboru současného stavu řešené problematiky je proveden detailní a jasný popis, který je rozsahem nad rámec vlastní práce. Svědčí o vysoké odbornosti autora i s ohledem na množství zapojených literárních zdrojů.

**Teoretický přínos práce.** Na základě teoretické části práce byl vypracován experiment, který je hlavní a nosnou částí práce. Teoretické závěry jsou uvedeny v kap. 7.1, v diskusi dosažených výsledků a jsou směřovány k elektrickým vlastnostem pomocí impedančních charakteristik v rámci zapojení do NDT zkoušení svarových spojů. Tyto vlastnosti patří k ne moc probádaným oblastem posuzování svar. spojů NDT metodami.

**Praktický přínos práce.** Kromě výsledků u provedených difúzních svarových spojů lze velmi kladně hodnotit použití ultrazvukové kontroly metodou Phased Array pro NDT. Rovněž lze konstatovat, že použití měření elektrických veličin patří k novým postupům, které původní NDT zatím nevyužívaly.

**Vhodnost použitých metod řešení a jejich aplikace.** Autor práce vhodně aplikoval způsoby řešení a jejich aplikace v souladu s dnešními metodami zavedeným v praxi. Přínos práce je v zapojení elektronové mikroanalýzy do posuzování difúzních svarových spojů a již výše uvedeného měření elektrických veličin.

**Prokázání odpovídajících znalostí v oboru.** Autor práce prokázal dostatečnou znalost problematiky v oboru, která se projevila zejména v teoretické části práce a v návaznosti experimentu. Výsledkem jeho odbornosti je připravovaný článek (V7, str. 153).

**Formální úroveň práce.** Formální úroveň práce je snížena výše uvedenými nedostatky, které částečně snižují kvalitu textové části práce. Rovněž zařazení rešeršních kapitol do experimentální části práce není vhodné a odvádí pozornost od vlastní problematiky zkoušení.

### **Celkové hodnocení**

I přes uvedené výhrady k práci, konstatuji, že stanovené cíle práce byly splněny. Uvedené závěry jsou teoreticky podložené a jsou teoretickým i praktickým přínosem pro další rozvoj vědního oboru.

**Předložená disertační práce splňuje požadavky ve smyslu § 47 Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. a doporučuji ji k obhajobě. Po úspěšném obhájení práce doporučuji udělit Ing. Pavlovi Nachtneblovi akademický titul Ph.D.**

V Ostravě 20. 4. 2022

*prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.*  
*oponent*  
*Fakulta strojní*  
*VŠB – Technická univerzita Ostrava*