



Recenze diplomové práce

Název diplomové práce: Analýza vlastností plastových dílů při umělém a přirozeném stárnutí

Autor: Bc. Jan Hrnčíř

Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Běhálek, Ph.D.

Škola: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní,
Katedra strojírenské technologie

Rok a místo vydání: 2018, Liberec

Recenzovaná diplomová práce se zabývá analýzou vlastností plastového dílu během umělého stárnutí v klima komoře a porovnáním s přirozeným stárnutím totožného dílu v pouštní oblasti. Simulační technika stárnutí plastů ve sluneční komoře má za výrazně kratší dobu testu (25 dní) co nejvíce odpovídat reálnému stárnutí v pouštních podmínkách, které probíhá po dobu až několika let, a tím výrazně urychlit fázi testování při vývoji materiálu v automobilovém průmyslu. Zadání pro zpracování diplomové práce vzniklo na základě reálného požadavku oddělení Kvality ŠKODA AUTO a.s., jedná se tedy o ryze praktickou ukázkou spolupráce české automobilové firmy s libereckou univerzitou. Téma diplomové práce hodnotím jako přínosné s reálným využitím získaných informací v automobilovém průmyslu.

Diplomová práce je zpracována na 90ti stranách, včetně použité literatury a je správně rozčleněna do příslušných kapitol. Rozsah celé práce i jednotlivých kapitol považuji za nadstandardní a adekvátní zadanému tématu z reálného prostředí automobilového průmyslu.

V úvodní teoretické části diplomové práce popisuje autor stárnutí polymerních systémů a velmi přehledně a trefně vysvětluje jednotlivé faktory, které ovlivňují stárnutí a degradaci plastů. Autor také nezapomíná na obrazovou dokumentaci, kdy použil v úvodu jediné dostupné a odtajněné snímky vozu v komoře sluneční simulace ŠKODA a také celosvětově známou zkušebnu ATLAS na Floridě, kde se simuluje stárnutí dílů v reálných podmínkách v klimatu „teplo/ vlhko“. V druhé polovině teoretické části diplomové práce se autor zabývá mechanismy degradace polymerů a popisem jednotlivých degradačních procesů, které jsou adekvátně popsány jasnou a výstižnou formou. Zcela správně není v následující teoretické části věnován prostor obecnému rozdělení plastů s popisem vlastností, neboť pro zadané téma nejsou tyto všeobecně známé informace příliš důležité. Zpracování i rozsah teoretické části práce hodnotím pozitivně, vzhledem k tématu i nadstandardně, především kvůli detailnímu popisu procesu stárnutí a charakteristice jednotlivých faktorů ovlivňujících stárnutí.



Experimentální část diplomové práce je zpracována v rozsahu 26 stran. Pro experiment byly firmou ŠKODA AUTO a.s. dodány nové (nezestárlé), přirozeně zestárlé (v poušti) a uměle zestárlé (v klimakomoře sluneční simulace) plastové díly vyrobené z materiálu PP Hifax M2 U13, který se používá pro exteriérové aplikace v automobilovém průmyslu. S ohledem na utajené informace koncernu VW nebylo možné blíže popsat jednak zkoušku přirozeného stárnutí v poušti (destinace, teploty, záření) a jednak i blíže specifikovat aplikaci dílů poskytnutých pro tuto diplomovou práci. Na uvedených dílech poté probíhal výzkum jejich vybraných vlastností v závislosti na podmínkách stárnutí.

V první polovině experimentu se autor zabývá zkoumáním vlivu stárnutí na základní mechanické charakteristiky – tvrdost, tahové, ohybové a rázové vlastnosti. Zkušební normovaná tělíska pro jednotlivé zkoušky bylo vzhledem k tvaru dodaného dílu možné obrobít pomocí CNC frézky. V druhé polovině experimentální části se autor zabývá změnami ve struktuře materiálu, které mohou být způsobeny jednak oxidací a jednak i štěpením řetězce makromolekul během působení vysoké teploty a slunečního záření. Vcelku obsáhle se autor věnuje diferenční snímání kalorimetrii, dále zjišťuje indukční dobu oxidace nebo index toku taveniny. Za účelem vyhodnocení strukturních rozdílů v materiálu a vlivu podmínek klimatického stárnutí byly díly analyzovány ještě také infračervenou spektroskopií s Fourierovou transformací (FTIR).

Čtvrtou kapitolou diplomové práce je vyhodnocení zjištěných výsledků a jejich diskuze. Ze zjištěných výsledků autor konstatuje, že u dodaných dílů vyrobených z materiálu Hifax M2 U13 nedošlo k ovlivnění meze pevnosti v tahu a tažnosti v důsledku rozdílného způsobu atmosférického stárnutí. Díly po dlouhodobém vystavení tropického klimatu téměř nemění svou pevnost a rozdíl v tažnosti je s přihlédnutím ke směrodatné odchylce rovněž zanedbatelný. Tento závěr potvrzuje, na jak vysoké úrovni jsou v dnešní době plasty používány v automobilech a ani několikaleté vystavení atmosférickému klimatu nezapříčiní zhoršení základních tahových vlastností. Ani zkouška ohybem neprokázala jednoznačný rozdíl ve vlastnostech dílů zatížených přirozeným a umělým stárnutím, pevnost v ohybu je dokonce u zestárlých dílů nepatrně vyšší než u dílu nezestárlého. Tento jev patrně způsobuje větvení, případně až zesíťování makromolekul během působení atmosférického klimatu. V případě výsledků vrubové houževnatosti a tvrdosti lze jen výše uvedené potvrdit, žádné zhoršení mechanických vlastností u dodaného dílu nebylo zjištěno. Metoda diferenční skenovací kalorimetrie ukázala, že stárnutí dílu neovlivnilo ani strukturu a termické vlastnosti materiálu. Největších rozdílů v materiálu bylo zjištěno při hodnocení indukční doby oxidace. Díl, který nebyl vůbec vystaven atmosférickému stárnutí, vykazoval nejvyšší oxidační stabilitu vyjádřenou indukční dobou oxidace (OIT) = 26, 2 min, přičemž díly vystavené atmosférickému



stárnutí, ať už umělému nebo přirozenému, oxidují daleko rychleji. Autor dále zjišťuje i rozdíly v oxidaci mezi povrchem a jádrem dílu, přičemž díl vystavený přirozenému stárnutí v poušti degraduje rychleji v povrchové vrstvě (OIT=1,1 min) oproti dílu exponovanému umělým stárnutím v klimakomoře, který dosahuje hodnoty OIT=5,9 min. Autor přisuzuje tento rozdíl účinkem dodatečných vlivů při přirozeném stárnutí, jako jsou nečistoty v ovzduší, ozon apod. Na druhé straně umělé stárnutí daleko více zatížilo díl do větší hloubky od povrchu. Vyhodnocení objemového indexu toku taveniny potvrdilo změnu struktury vlivem stárnutí, jehož důsledkem je pokles tekutosti. Index toku taveniny je u zestárých dílů nižší až o 24 % oproti nezestárlelému dílu, což odpovídá i zjištění z měření doby oxidace. Poslední metodou, kterou byly zjišťovány změny ve stárnutí materiálu, byla infračervená spektroskopie. Výsledky této analýzy potvrdily skutečnost, že při přirozeném stárnutí nedošlo k výrazným změnám v jádře dílu, jak tomu bylo zjištěno metodou OIT.

V závěru diplomové práce shrnuje autor zadání, cíle, hodnotí dosažené výsledky. Jako nejvhodnější metodu pro detekci míry degradace a způsobu stárnutí plastového dílu autor vyhodnotil indukční dobu oxidace (ČSN EN ISO 11357-6) a index toku taveniny (ČSN EN ISO 1133-1). Závěrem lze konstatovat, že k experimentu poskytnutý plastový díl dopovaný vhodnými aditivami a stabilizátory odolává klimatickým podmínkám a stárnutí velmi dobře, přičemž mechanické vlastnosti důležité pro funkčnost dílu byly srovnatelné jako u nového dílu. Tento fakt zajistí zákazníkovi optimální vlastnosti dílu i při dlouhodobém používání.

Diplomovou práci celkově hodnotím pozitivně, s jasným dopadem do praxe. Minimální rozdíly ve vlastnostech dílů zatížených umělým a přirozeným stárnutím v porovnání s původním neexponovaným dílem jen ukazuje, na jaké úrovni jsou dnešní plasty používané v automobilovém průmyslu. S pomocí různých stabilizátorů a aditiv jsou plasty schopné odolávat různým klimatickým vlivům bez změny a zhoršení vlastností po dobu několika let.

Z předložené diplomové práce jsem nabyt dojmu, že diplomant správně uchopil zadání, postupoval cíleně a splnil všechny požadavky kladené na vypracování diplomové práce. Rozsahem i grafickým zpracováním hodnotím práci jako standardní, nezaznamenal jsem zde žádné výrazné pochybení a celková jednoduchost jak obrázků, tabulek, tak i přiložených grafů je účelná a přispívá k jasnému vysvětlení experimentu.

**Mé připomínky k diplomové práci:**

- V kapitole 2.1.2 na straně 16 popisuje autor klimatické podmínky a jejich vliv na degradaci plastů. Je zde uvedeno, že plasty jsou zahřívány infračerveným podílem slunečního záření, přičemž teploty na povrchu černých plastů dosahují až 65 °C. Toto tvrzení je zavádějící, teplota povrchu černého plastu je totiž na přímém slunci daleko vyšší. Uvedených 65 °C platí pro teplotu vzduchu cca 30-35 °C, ale zkouška slunečního záření probíhá při teplotě vzduchu přes 40 °C. Při této teplotě (na jihu Evropy v létě standardní teplota) dosahuje teplota na povrchu černých plastů až 90 °C.
- Po stylistické stránce bych autora upozornil na velmi časté chyby v psaní čárek v souvětích, přičemž autor někdy až příliš věty natahuje. Celkově se ale jedná o maličkosti, které nemají vliv na závěrečné hodnocení.

Dotazy k diplomové práci:

- Čím si vysvětlujete velmi výrazný rozdíl meze pevnosti u PP během stárnutí v letním a zimním období, viz strana 17, obr. 2. Uvedený obrázek tvrdí, že pevnost v tahu rychleji klesne v podmínkách zimního klimatu oproti vystavení letnímu období. Toto tvrzení odporuje všeobecně známému faktu, že plasty degradují vlivem UV záření a zvýšené teploty, jak uvádíte o stránku dříve.
- Jaké aditivum se v plastech všeobecně nejvíce používá jako UV stabilizátor a proč?
- Jak si vysvětlujete závěr Vašeho experimentu, že přirozené stárnutí, které působí po delší dobu, více ovlivní povrch plastu a naopak umělé stárnutí, které je výrazně kratší, má silnější dopad na jádro plastového dílu? Intenzita záření je shodná, teplota rovněž. Teoreticky by to mělo být právě naopak.

Závěrečné doporučení a hodnocení:

Předložené diplomová práce studenta Bc. Jana Hrnčíře je velmi zdařilá a **splňuje požadavky na udělení akademického titulu inženýr**. Cíl diplomové práce byl splněn, **doporučuji tedy tuto práci k obhajobě s klasifikací výborně (1)**.

V Mladé Boleslavi dne: 4. 6. 2018

Podpis



Klasifikace diplomové práce

**VLIV KLIMATICKÉHO STÁRNUTÍ NA VLASTNOSTI
PP VÝSTŘIKŮ S PODÍLEM RECYKLÁTU**

Jméno diplomanta: Bc. Jan Hrnčíř

Oponent diplomové práce: Ing. Dalibor Kopáč, Ph. D.

Navržený klasifikační stupeň: VÝBORNĚ

V Mladé Boleslavi dne: 4. 6. 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kopáč', written over a horizontal dotted line.

Podpis