

Recenze disertační práce Ing. Martina Chvojky

Plazmová elektrolytická oxidace hliníkových slitin

Disertační práce byla vypracována na fakultě strojní ČVUT v Praze, studijním oboru Strojírenská technologie. Obsahuje 96 stran textu včetně 24 obrázků s 25 tabulkami a dalšími 36 nečíslovanými stránkami příloh a tabulek.

Disertační práce se zabývá technologií nanášení nekovových povlaků na hliník a na další neželezné kovy, především hořčík a titan, která se označuje jako plazmová elektrolytická oxidace (PEO), známá také jako mikrooblouková oxidace. Jedná se o elektrochemický proces řízené oxidace kovového povrchu podobný eloxování, které ale oproti němu využívá vyšších elektrických potenciálů natavení povrchu kovu, výsledkem čehož je vznik tvrdší a kompaktnější oxidické vrstvy povrchu kovového materiálu.

V úvodní teoretické části autor názorně popsal princip metody PEO a vznik oxidických vrstev při použití elektrických potenciálů 400 až 800 V oproti metodě nízkonapěťové technologie eloxování prováděné při napětí pod 50 V. Podrobně popsal, jak při vzniku plasmy vznikají keramické vrstvy, které mají velmi dobrou přilnavost k povrchu povlakovávaných kovů a k jejich slitinám. Popsal zvýšení mechanických, chemických i fyzikálních hodnot výrobku včetně výhodnosti technologie PEO z pohledu životního prostředí. Autor podrobně rozfázoval tvorbu vznikajících vrstev, popsal parametry procesu a obrázky demonstroval povrchovou i vnitřní strukturu vrstvy PEO. Na hliníkových substrátech pak podrobně popsal různé chemické a elektrochemické procesy tvorby a rozpouštění oxidů ze základního substrátu. Teoretickou část práce uzavřel výčtem charakteristických vlastností s uvedenými možnostmi praktických aplikací.

Přínos teoretické části práce je především ve velice odborném, a přesto pochopitelném vysvětlení základů povlakování metodou PEO pro všechny zájemce o poznání této metody.

Cílem disertační práce bylo vytvoření a ověření vlastní varianty technologie PEO včetně vybudování vlastní laboratoře a v ní vyrobení povlaku, který byl porovnán s vlastnostmi běžné anodické oxidace. Dalším cílem práce bylo vytvoření souboru mechanických a tribologických vlastností vrstev vytvořených vlastní variantou PEO a jejich porovnání s běžnou anodickou oxidací. S vytipovaným partnerem pak bylo cílem navržení a prověření využití povlaků vytvořených metodou PEO u konkrétních strojních součástek.

Experimentální část disertační práce tvoří většinu objemu výsledků provedených zkoušek. Pro vlastní práce doktorand navrhl a zrealizoval experimentální pracoviště z běžně používaného laboratorního vybavení včetně počítačem ovládaného zdroje elektrického pulzního proudu pro maximální napětí 800 V s frekvencí až 6 MHz.

Experimentální práce byly prováděny na vzorcích hliníkového plechu EN AW 1050 PEO na vlastním zařízení při pracovním napětí 400 V v elektrolytu hydroxidu sodného. Pro vzájemné porovnání vytipovaných vlastností vrstev byla vyrobena i sada vrstvy Al_2O_3

klasickou metodou anodické oxidace ve dvou variantách. Vyhodnocovány a porovnávány byly varianty vzorků povlaků vyrobených čtyřmi technologiemi: anodickou oxidací měkkou a tvrdou a plasmovou elektrolytickou oxidací vytvořených na vlastním zařízení a na zařízení vytvořená externě.

Při hodnocení morfologie bylo konstatováno, že menší porozitu vykazují vrstvy vytvořené klasickou anodickou oxidací než vrstvy vytvořené metodou PEO. Stejně tak byla hodnocena drsnost povrchu, kdy vzorky vytvořené anodickou oxidací vykázaly v kolmém i podélném směru ke směru válcování menší drsnost. V této části uvedený barevný obrázek by bylo vhodné doplnit barevnou škálou s hodnotami naměřených drsností.

Chemický rozbor vrstev ukázal na poměrně vysoký obsah uhlíku u vrstev vytvořených metodou PEO oproti nulovému obsahu uhlíku u vrstev vytvořených AO.

Velký rozdíl tvrdostí vrstev byl naměřen u vrstev vytvořených metodou AO a PEO, kdy vrstvy vytvořené metodou PEO byly nejméně dvakrát tvrdší.

Značná část experimentálních prací byla věnována tribologickým zkouškám, kdy byly naměřeny u PEO menší jak statické, tak dynamické součinitele tření, což nekoresponduje se zjištěnými vyššími drsnostmi povrchů vrstev ani se zjištěním, že se u PEO oddělují tvrdé částice oxidů, které se chovají jako abrasivo. V souvislosti s touto zkouškou byla zjišťována profilometrie tribologických drah a z toho odvozené opotřebení vrstev, kdy byla zjištěna největší odolnost pro opotřebení u vrstev vytvořených PEO. Také odtrhové zkoušky prokázaly vyšší hodnoty u vrstev PEO oproti hodnotám u vrstev AO.

Výše uvedená porozita u vrstev PEO byla eliminována utěsněním polytetrafluor-ethylenem (PTFE), jehož výsledkem bylo rasantní snížení součinitele tření.

V aplikační části byly provedeny zkoušky aplikace PEO na hliníkové slitině (není určeno, zda na typu silumin nebo dural), kde byly jednoznačně prokázány vyšší užitné vlastnosti vrstev vytvořených metodou PEO.

Připomínky k práci:

Na straně 23 hodnoty tepelné vodivosti čistého hliníku a hořčíku 26 a 20 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ (chybně označené jako teplotní, což je termín, který se pojí z roztažností) jsou nesprávné.

V kapitole 4.3.3 zabývající se adhezí vrstev postrádám posouzení teplotních roztažností základních kovů vůči vytvořeným vrstvám a s tím související přilnavosti vrstev při změnách teploty.

Celkové hodnocení práce.

Disertační práce ing. Chvojky splnila ve všech bodech stanovených cílů. Doktorand prokázal odpovídající teoretické znalosti problematiky vytváření vrstev na neželezných kovech metodou plasmové elektrolytické oxidace, kdy na základě rozboru současného stavu znalostí navrhl vlastní metodu tvorby těchto vrstev, která je teoretickým přínosem práce k danému problému.

Je zřejmé, že doktorand na metodice PEO pracoval již v minulosti, což prokazuje svými 12 publikacemi. Využil ve značné míře i zahraniční literatury, takže v disertační práci se odvolává na 34 publikací zahraničních autorů a 3 autory tuzemské.

Disertační práci ing. Chvojky hodnotím jako velice přínosnou jak z pohledu teoretického, tak zejména z pohledu experimentálního, kdy svým osobitým přístupem k problému vytvořil fungující laboratorní vybavení. Na něm pak na základním kovu, kterým byl hliník, vytvořil funkční vrstvu PEO o lepších mechanických a fyzikálních parametrech, než je dosud běžné. Tuto metodu pak ve spolupráci s průmyslovým partnerem aplikoval na konkrétní výrobní strojní zařízení, u kterého se prokázala zvýšená odolnost proti abrazi.

Formální úroveň práce je na vysoké úrovni.

Disertační práci ing. Chvojky doporučuji k obhajobě a podle zákona č. 111/1998 Sb. doporučuji udělení titulu Ph.D.

Doc. ing. Václav Machek, CSc.

Nižbor, 17.5.2024