

Oponentský posudek bakalářské práce: Depozice wolframových vrstev na ocelové substráty pomocí technologie RF-ICP

autor: Jakub VÁLA

vedoucí práce: Ing. Jan ČÍŽEK Ph.D.

konzultant: doc. Ing. Ladislav CVRČEK, Ph.D.

Práce je zaměřena na studium závislosti kvality nástřiku čistého W na depozičních podmínkách indukčně vázaného vysokofrekvenčního plazmového hořáku (RF-ICP). Konkrétně je studován vliv podávacího plynu (Ar/He), rychlosti přejezdu (1 a 2mm/s) na mikromorfologii nástřiků W a na přechodovou vrstvu ocelový substrát - nástřik.

Práce nejprve na deseti stranách rešeršní části shrnuje funkci fúzního reaktoru, relevantní materiály včetně W a různé technologie žárového nanášení s důrazem na použitou technologii indukčně vázaného vysokofrekvenčního plazmatu. Rešeršní část je psána srozumitelným jazykem a obsahuje relevantní odkazy zejména k obecným principům nanášení. Konkrétní odkazy na depozici W prováděnou jak na školicím pracovišti (ÚFP) , tak na ostatních významných světových depozičních pracovištích (Plansee, Sherbrooke) bohužel chybí.

Provedené experimenty jsou přehledně popsány na šesti stránkách. Popis se soustřeďuje zejména na depoziční systém TekSpray15 a modifikaci držáku tak, aby bylo možno nanášet na chlazené substrátu. Jsou zde též popsány parametry čtyř provedených depozic RF1-RF4 a snad až příliš stručně jsou popsány metody charakterizace vzorků.

Následuje jedenáctistránková prezentace a diskuse výsledků. Zde je hlavní důraz kladen na sledování morfologie nástřiků, zejména na míru natavení částic a vlastnosti přechodové vrstvy ocelový substrát – W nástřik. Ve všech případech je v přechodové oblasti pozorován relativně kvalitní nástřik s diskovitými splaty, od určité tloušťky nástřiku se však jeho kvalita výrazně zhoršuje a jsou pozorovány nenatavené a opětovně utuhlé částice W. Autor se snaží existenci porézní vrstvy vysvětlit “roztavením substrátu a vzlínáním do deponované vrstvy wolframu” což je však spíše důsledek, než příčina existence porozity. “Změna tepelné kapacity a vodivosti vzorku díky již naneseným (níže položeným) částicím wolframu” jistě mechanismus depozice ovlivňuje, ale těžko povede k existenci sférických, tedy roztavených a opět utuhlých částic. Větší tepelná vodivost W nástřiku by mohla vést ke fragmentaci splatek, ta však nebyla pozorována. Změnou He za Ar se “snížilo vydávané teplo plazmatu” což mohl být podle autora důvod zvýšení tloušťky vrstvy se sníženou pórovitostí u vzorku RF2. Zvýšením rychlosti přejezdu se snížila teplota substrátu a to vedlo k dalšímu zlepšení kvality nástřiku (vzorek RF3). Při použití několika přejezdů po sobě (vzorek RF4) však opět vznikl porézní nástřik.

Autor se dále soustředil na rozhraní, kde dochází ke tvorbě přechodové oblasti, kdy materiál substrátu patrně v kapalně formě vyplňuje dutiny nástřiku a kde dochází ke vzniku nových fází. Metodou

energiově disperzní rentgenové spektroskopie (EDX) jsou provedeny liniové analýzy napříč rozhraním a prvkové mapy nástřiku, substrátu a přechodové oblasti pro vzorek RF4. Bylo prokázáno, že jak Fe, tak hlavní legury materiálu substrátu pronikají do nástřiku. Nebylo však stanoveno složení jednotlivých fází pozorovaných na řezu. Prvkové mapy jasně prokázaly existenci přechodové oblasti odpovídající přibližně tloušťce přejezdu a zbytky tryskacího korundu jednoznačně určily polohu rozhraní.

Závěr práce stručně shrnuje výsledky experimentů a doporučuje použít Ar a vyšší rychlost přejezdu. Současně je konstatováno natavení substrátu a komplikovaná závislost kvality a tloušťky nástřiku na rychlosti a počtu přejezdů.

Celkově práce dokládá schopnosti autora samostatně vědecky pracovat, ovládnout depoziční a základní charakterizační techniky, a též schopnost systematicky popsat a vyhodnotit provedené experimenty. Zdařilý úvod dokládá schopnosti autora vidět téma výzkumu v souvislostech jeho praktického využití. Rezervy lze hledat v prakticky neexistující rešerši vědeckých článků na dané téma a relativně stručné analýze získaných výsledků, bez zásadnější diskuse a bez bytí pokusu o systematickou kvantifikaci (pórovitost, tloušťka). Přes výše uvedené nedostatky se však jedná o kvalitní bakalářskou práci, doporučuji ji k obhajobě a navrhuji stupeň hodnocení B (velmi dobře).

Formální a věcné připomínky:

Přestože je uveden seznam zkratk, je vhodné u prvního použití v textu zkratku definovat.

Trojný součin na Obr 2.1 není definován

Vlastnosti čistého W postrádají odkaz na zdroj.

Strana 12 předposlední odstavec, proč jsou uvedeny reference [7,8,9], souvisí s W, nepopisují však jeho depozici.

Strana 13 předposlední odstavec stříkací pistole -> hořáku

Strana 17 poslední odstavec: TO plazma !

Strana 18 předposlední odstavec běžně jsou požívány nižší frekvence, Tekna 400kHz až jednotky MHz

Strana 19, třetí odstavec, nanoprášky vznikají převážně kondenzací z plynné fáze, tedy jde nejen o roztavení, i o odpaření

Strana 20, druhý odstavec, GTP je zkratka, firma se jmenuje Global Tungsten & Powders Corporation, chybí reference na studii pro výběr prášku prováděnou na ÚFP

Strana 21, odstavec 4: plynové průtokoměry nejen monitorují, ale i nastavují průtoky plynů

Strana 23, odstavec 2: "Nižší rychlost a větší zahřátí materiálu by mohlo také změnit porozitu a strukturu povlaku.", zde by bylo vhodné uvést základní studie formování splatů v závislosti na teplotě substrátu.

Strana 31, první odstavec: ze srovnání Obr 4.8 (4.7) a 4.5 (4.4) se nezdá, že by vzorku RF3 došlo k menšímu natavení substrátu.

Strana 35, nadpis „Čárové spektrum:“ Jedná se o liniovou analýzu. Termín čárové spektrum se používá ve spektroskopii, zde by každému bodu zkoumané linie odpovídalo jedno čárové spektrum.

Dotazy k diskusi:

1. Po jaké trajektorii se pohyboval vzorek při nanášení, kde byla klidová poloha hořáku při startování?
2. Ze které části vzorku byla připravena metalografie, kde byl pozorován povrch? V několika případech se nezdá, že by povrch a řez korespondovaly.
3. Máte představu o profilu tloušťky nástřiku, případně o prostorovém rozložení částic v jejich proudu?
4. Za hlavní příčinu pórovitosti lze považovat sférické částice. Můžete se pokusit vysvětlit proč došlo vždy k deformaci prvních částic, které k nástřiku dorazily, ale další (které dorazily později) se nedeformovaly?
5. Ze kterého místa vzorku byl pořízen obr 4.12? Zkuste vysvětlit proč neobsahuje sférické částice a proč je tloušťka nástřiku skoro 7x menší než v optimální pozici.
6. Proč byla přechodová oblast zkoumána pouze jedinou liniovou analýzou na vzorku RF4 a ne na ostatních vzorcích?

V Praze dne 6.8.2020

Ing. Ondřej KOVÁŘÍK, Ph.D.