

ANOTACE

Cílem této habilitační práce bylo připravit širší fyzikální pohled na problematiku technologie kapalinového paprsku. Tento úkol byl řešen na základě teoretické analýzy fyzikálních dějů provázejících složitý proces působení kapalinového paprsku. V rámci analýzy byla rozebírána transformace statické energie tlakové kapaliny před tryskou v pohybovou energii paprsku a tato transformace byla popsána vlastním vztahem. Ten umožňuje určit tvar rychlostního profilu kruhových trysek jako spojitou funkci velikosti Reynoldsova čísla. Vývoj tvaru rychlostního profilu při šíření paprsku v prostředí mezi tryskou a obráběným materiálem byl odvozen ze zákona kontinuity a exponenciálního útlumu síly na ploše kolmé kose paprsku (odporové síly čela paprsku). Odvození součinitele útlumu bylo provedeno na základě teorie kumulativního náboje. Interakce paprsku s materiálem byla popsána zákonem zachování energie a hmotnosti. Pro teoretické stanovení materiálové konstanty byl použit zákon zachování hybnosti. Spolu se zákonem setrvačnosti byl použit také při analýze interakce paprsku s abrazivním materiálem ve směšovací komoře určené pro generaci abrazivního kapalinového paprsku na bázi ejektorového principu (Venturiho trubice). Fyzikální vztahy popisující tyto procesy se staly základem modelu, který umožňuje kvantitativní určení účinku paprsku na opracovávaném materiálu.

Výsledky vypočtené ze vztahů odvozených pro vznik a vývoj rychlostního profilu kapalinového paprsku a stejně tak i výsledky vypočtené ze vztahů pro útlum energie paprsku v prostředí mezi tryskou a obráběným materiálem byly porovnány s výsledky speciálních experimentů zaměřených na stanovení silových účinků kapalinového paprsku. Byla vypracována metodika umožňující stanovení hodnot rychlostního profilu paprsku ze znalosti síly paprsku a velikosti plochy jeho průřezu v blízkosti dopadové plochy snímače sil. Porovnání hodnot získaných z teoretických vztahů popisujících rychlostní pole paprsku a experimentálních hodnot určených ze silového působení paprsku potvrzuje použitý teoretický model. Vztahy umožňující kvantitativní určení porušení zrn abrazivního materiálu a obráběného materiálu kapalinovým respektive abrazivním kapalinovým paprskem byly také podrobeny porovnání, a to s rozsáhlým souborem experimentálních dat. Toto porovnání umožnilo doplnit a upřesnit některé součinitele, případně stanovit metodiku jejich určování. Výsledný model byl konfrontován také s výsledky získanými při použití technologie kapalinového paprsku v praxi. I zde byla prokázána dobrá shoda mezi hodnotami vypočtenými z teoretického modelu a výsledky experimentálními.

Na základě ověřeného modelu byl vytvořen program pro analýzu a predikci účinnosti technologie kapalinového paprsku. Program je rozšiřitelný do podoby řídicího programu při konkrétní aplikaci. Porovnáním výsledků tohoto programu s výsledky získanými v praxi bylo prokázáno, že bylo dosaženo vytčeného cíle a byl připraven model vhodný pro zpracování řídicích programů při automatizaci technologie kapalinového paprsku. Teoretické i experimentální poznatky byly pravidelně předkládány světové odborné veřejnosti a tím dostatečně oponovány. Z ohlasů na tyto výsledky navíc vyplývá, že přijaté předpoklady pro postup teoretického řešení byly správné. Proto bylo rozhodnuto dále rozšiřovat a prohlubovat teoretické poznání založené na této bázi, což dokumentují práce realizované v posledních letech.

ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na shrnutí dosavadního vývoje fyzikálního poznání v oblasti kapalinových paprsků s výhledem na možný další postup v této oblasti. Stručně je rekapitulován současný stav a nastíněny cesty a kroky pravděpodobného rozvoje v příštích letech. Při rekapitulaci geneze problematiky kapalinového paprsku jsou sledovány tři vývojové stupně. Tento celosvětový trend se odráží i ve vlastní práci autora.

Jednou ze základních řešených problematik je přeměna statické energie v dynamickou při výtoku kapaliny z trysky. Energie paprsku (proudu kapaliny po výtoku) je totiž bezprostředně závislá nejen na proměnných veličinách (např. tlak kapaliny před tryskou), ale také na celé řadě konstantních parametrů vyplývajících z konstrukčních a technologických omezení (např. materiál vodní trysky, tvar ústí této trysky). Proto byla věnována pozornost popisu fyzikálních procesů probíhajících při vzniku paprsku a jeho šíření v prostředí, které vyplňuje prostor mezi kapalinovou tryskou a materiálem, na který paprsek působí. Byla řešena problematika struktury a simulace paprsku, ztrát energie a jevů nastávajících při interakci kapalinového paprsku s abrazivními částicemi během generace abrazivního vodního paprsku na principu Venturiho trubice. Při formulování fyzikálních vztahů a modelů byl kladen důraz na co největší jednoduchost, byť na úkor přesnosti, kterou využití nejmodernějších prostředků poskytuje. Složitě modely však komplikují řízení v dialogovém režimu, protože prodlužují dobu výpočtu, a jsou tedy z hlediska aplikace v praxi méně praktické.

Na problematiku vzniku a šíření kapalinového paprsku navazuje v další části práce fyzikální rozbor interakce paprsku s různými typy materiálů v pevné fázi, což je druhý stěžejní problém. Je rozebírána a diskutována interakce s materiály v závislosti na jejich plastickém či pružném chování. Do problému porušování materiálu při interakci s kapalinovým paprskem je zahrnut také vliv struktury materiálu. Způsoby porušování jsou dále studovány z pohledu různých typů paprsku, a to podle příměsí v kapalině. Jedná se o kapalinu bez příměsí, kapalinu s aditivou snižujícími viskozitu a povrchové napětí i kapalinu s pevnými odolnými částicemi (abrazivem). Fenomenologický popis fyzikálních odlišností interakce těchto typů kapalinového paprsku s materiály umožňuje vybrat do popisu a modelování interakce podstatné jevy a veličiny.

Závěrečná část práce uvádí nejdůležitější analytické modely autora této práce, které umožňují výpočet vývoje a struktury paprsku a jeho interakce s materiálem. Při jejich odvozování byly využity zejména zákony zachování energie, hybnosti a hmotnosti. Některé parametry byly stanoveny na základě experimentálních výsledků. Fyzikální vztahy popisující vznik kapalinových paprsků, jejich šíření a interakci s materiálem byly použity pro vytvoření komplexního modelu pro abrazivní kapalinový paprsek. Modely byly zpracovány do formy programu, který v této fázi umožňuje predikci rezných rychlostí, nákladů na řezání a analýzu rezných výkonů. Tento program je ovšem snadno modifikovatelný do podoby řídicího programu a může tedy sloužit pro řízení strojů používaných s kapalinovým paprskem, tedy x-y stolů, x-y-z stolů, manipulátorů a robotů.

Podstatné rysy teoretického fyzikálního popisu a modelování vzniku, šíření a interakce kapalinového paprsku je možno shrnout do těchto bodů:

- ♦ teoretický popis výtoky kapaliny z trysky a šíření paprsku v prostředí mezi tryskou a materiálem byl potvrzen experimentálními výsledky;

- ♦ energie paprsku ve vzdálenosti od ústí trysky je určena z kinetické energie paprsku v ústí trysky a aerodynamického útlumu rychlosti pohybu kapalinového proudu;
- ♦ uvedený teoretický popis paprsku a jeho chování v prostředí mezi tryskou a obráběným materiálem umožňuje rychlý a dostatečně přesný výpočet rychlostního profilu;
- ♦ kvantitativní výsledky modelů popisujících hloubku porušení materiálu kapalinovým i abrazivním kapalinovým paprskem jsou v relaci s experimentálními výsledky dosaženými v laboratoři i v praxi;
- ♦ fyzikální model interakce umožňuje stanovit výkonové parametry kapalinového paprsku;
- ♦ výsledky výpočtového programu založeného na prezentovaném teoretickém fyzikálním modelu dobře korespondují s výsledky získanými v praxi na materiálech různých druhů.

Při rozšíření teorie na abrazivní kapalinový paprsek byla zpracována a ve výpočetním programu uplatněna tato specifika abrazivního kapalinového paprsku, kterými se uvedený model liší od obdobných modelů používaných v praxi:

- ♦ porušení částic abraziva při střetu s paprskem ve směšovací komoře;
- ♦ závislost porušení částic abraziva při směšovacím procesu na tlaku kapaliny, vlastnostech abrazivního materiálu a hmotnostních průtocích kapaliny a abrazivního materiálu;
- ♦ silná závislost účinnosti abrazivního paprsku na průměru kapalinové trysky a usměrňovací trubice;
- ♦ ostré maximum účinnosti abrazivního paprsku při změně vstupní střední velikosti částic abrazivního materiálu dané změnou směšovacího mechanismu při konstantním poměru mezi průměrem kapalinové trysky a usměrňovací trubice;
- ♦ saturace systému při stálém zvyšování hmotnostního průtoku abrazivního materiálu při neměnné vstupní střední velikosti částic abrazivního materiálu a konstantních průměrech kapalinové trysky a usměrňovací trubice.

V důsledku velmi omezených experimentálních možností nebylo dosud možno některé z uvedených teoretických závěrů plně ověřit. Autor ovšem předpokládá, že rozsáhlé prověření teoretických modelů bude možno uskutečnit v průběhu nadcházejícího tříletého období.