

ANOTACE

Cílem této doktorské disertační práce bylo připravit teoretický model umožňující vytvoření řídicího programu pro automatizaci technologie kapalinového paprsku. Tento úkol byl řešen na základě teoretické analýzy fyzikálních dějů provázejících tento proces. Transformace statické energie tlakové kapaliny před tryskou v pohybovou energii paprsku byla popsána vlastním semiempirickým vztahem, který umožňuje určit tvar rychlostního profilu kruhových tryssek jako spojitou funkci velikosti Reynoldsova čísla. Vývoj tvaru rychlostního profilu při šíření paprsku v prostředí mezi tryskou a terčovým materiálem byl odvozen ze zákona kontinuity a exponenciálního útlumu síly na ploše kolmé kose paprsku. Při odvození součinitele útlumu byla využita teorie kumulativního náboje. Interakce paprsku s terčovým materiálem byla popsána zákonem zachování energie a hmotnosti. Pro teoretické stanovení materiálové konstanty byl použit zákon zachování hybnosti. Ten byl spolu se zákonem setrvačnosti použit také při analýze interakce paprsku s abrazivním materiálem ve směšovací komoře pracující na principu ejektoru určené pro generaci abrazivního kapalinového paprsku. 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 terčovým 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 sil potvrzuje použitý teoretický model. Vztahy umožňující kvantitativní určení porušení abrazivního materiálu a terčového 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. Také zde byla prokázána velmi 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 pro 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 a experimentální poznatky byly využity k návrhu struktury programu určeného pro automatizované řízení obrábění skleněných a horninových prvků, zejména nerotačních, abrazivním vodním paprskem.

ZÁVĚR

V této práci, zaměřené na vytvoření modelu pro řízení parametrů kapalinového paprsku, byly nejprve průřezově shrnuty důležité fyzikální předpoklady pro zajištění tohoto úkolu. Řízení parametrů paprsku je totiž bezprostředně závislé nejen na proměnných veličinách (např. tlak kapaliny před tryskou), ale také na celé řadě konstantních parametrů vyplývajících z technologických a jiných potřeb (např. materiál vodní trysky, tvar ústí této trysky). Proto byla nejprve věnována pozornost popisu fyzikálních procesů probíhajících při vzniku paprsku a jeho šíření v prostředí, které vyplňuje prostor mezi kapalinovou tryskou a terčovým materiálem. Při formulování fyzikálních vztahů byl kladen důraz na co největší jednoduchost, protože složité výpočty by mohly komplikovat řízení v dialogovém režimu (řízení "on line").

Na popis vzniku a šíření kapalinového paprsku navazuje popis jeho interakce s materiálem v pevné fázi. Může se jednat o abrazivní částici, se kterou se setkává paprsek kapaliny ve směšovací komoře při generaci abrazivního kapalinového paprsku na principu ejektoru, ale také o materiál určený k obrábění kapalinovým paprskem. Souběžně byl prezentován fyzikální popis interakce čistého kapalinového paprsku s materiálem a abrazivního paprsku s materiálem. Pro odvození fyzikálního popisu interakce byly využity 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 programu, umožňujícího predikci řezných rychlostí. Tento program je však snadno modifikovatelný do podoby řídicího programu. Hodnoty určené výpočtem hrají totiž roli řídicích veličin, signály ze snímačů a čidel jsou údaje o stavu regulovaných veličin a do programu zbývá doplnit část, která na základě těchto dat vypočítá regulační odchylku. Regulační odchylka určí výstupní signál, který spolu s poruchovou veličinou vytvoří akční veličinu pro příslušné pohony, ovládající technologický systém tak, aby se změnila příslušné regulované veličiny. Tyto části programu je ovšem vhodné vytvářet pro konkrétní technologické zařízení, proto nejsou v této chvíli jeho součástí.

V závěrečné kapitole byly nejprve diskutovány možnosti uplatnění modelu v praxi, a to při obrábění kapalinovým paprskem. Na základě analýzy mechanismů porušování materiálů, které se při obrábění kapalinovým paprskem vyskytují, byly popsány rozhodující změny v materiálu a vybrány určující parametry regulace. Tyto poznatky byly využity k návrhu struktury programu určeného pro řízení obrábění skleněných a horninových prvků, zejména nerotačních. Přesnost výpočtu ústřední výpočtové části programu byla dokumentována porovnáním výsledků poskytnutých modelem s výsledky získanými v praxi.

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

- ◆ teoretický popis výtoku 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 cílovým materiálem umožňuje rychlý a dostatečně přesný výpočet rychlostního profilu;
- ◆ model interakce velmi dobře kvantitativně popisuje hloubku porušení materiálu kapalinovým i abrazivním kapalinovým paprskem;

- ◆ model interakce paprsku s materiálem umožňuje analyzovat nástroje se složenými pohyby trysek (rotační, kývavé, vibrační);
- ◆ fyzikální model interakce umožňuje stanovit výkonové parametry kapalinového paprsku;
- ◆ prezentovaný teoretický model kvantifikující výsledky interakce kapalinového paprsku s materiálem vykazuje uspokojivou přesnost z hlediska použití při automatizaci procesů obrábění materiálů kapalinovými paprsky;
- ◆ uvedený model prokázal uplatnění při řešení problémů praxe;
- ◆ výpočtový program postavený na základě prezentovaného teoretického fyzikálního modelu dobře koresponduje s výsledky získanými v praxi na materiálech různých druhů.

Na základě výsledků mé doktorské disertační práce navrhuji tyto další postupy při automatizaci technologie kapalinového paprsku:

- ◆ zpracovat bezkontaktní metodu měření kvality povrchu do podoby použitelné při zjišťování tohoto parametru v průběhu technologického procesu opracovávání materiálu kapalinovým paprskem;
- ◆ vytvořit experimentální pracoviště s dostatečným technologickým vybavením pro ověření automatizačních kroků v praxi (vysokotlaké čerpadlo s elektronicky ovládaným nastavením pracovního tlaku, příslušenství pro čištění vstupní vody a rozvod vysokotlaké vody, robot a zařízení pro měření povrchu materiálu);
- ◆ realizovat na uvedeném pracovišti automatizaci pomocí mého modelu zpracovaného do podoby řídicího programu, ověřit funkčnost tohoto řízení a následně využívat toto pracoviště k vědeckým, výukovým i specializovaným aplikačním účelům;
- ◆ studovat teoreticky i experimentálně deterministické chaotické oscilace vznikající při generaci paprsku a při činnosti pohybových mechanismů pro posuv trysky či materiálu jako zdroj nestability kvalitativního i kvantitativního působení paprsku na opracováváný materiál s cílem minimalizovat nepříznivý vliv těchto oscilací na kvalitu obrábění nebo najít pozitivní využití těchto oscilací pro specializované účely (např. generaci pulzních paprsků).