EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

MEASUREMENT OF HIGH SPEED FLUID JET FORCE ACTION DURING JET IMPINGEMENT

MĚŘENÍ SILOVÝCH ÚČINKŮ VYSOKORYCHLOSTNÍHO TEKUTINOVÉHO PAPRSKU PŘI JEHO DOPADU

Sitek L., Vala M.

The behaviour of the high pressure water jets used in the cutting process does not only depend on the main operating parameters but especially upon the static and dynamic impingement forces. It seems that the measurement of the jet/target interaction is the convenient method for this purpose. The results of the experimental measurements confirm chaotic behaviour during jet impingement.

ÚVOD

Od té doby co byl v Ústavu geoniky AV ČR zahájen výzkum rozpojování materiálů vysokotlakým vodním paprskem (VVP), vyvstal zásadní problém – postihnout chování vysokorychlostního tekutinového proudu (průměr trysek řádově desetiny mm, výstupní rychlost až 1000 m/s) ve vztahu k rozpojovaným materiálům [1]. Při analýze tohoto problému bylo shledáno, že během uplynulých let bylo provedeno a publikováno mnoho prací, týkajících se objasnění závislosti mezi parametry VVP a materiálovými parametry při tomto procesu rozpojování. Dosud však nebyla vypracována teorie, která by tyto závislosti uspokojivě postihla. Dokonce jen porovnat publikované výsledky je obtížné a prakticky nemožné. I když v oblasti rozpojování materiálů VVP bylo již dosaženo významných praktických výsledků, zdá se, že znalosti relevantních parametrů, které v tomto procesu vystupují, jsou stále nedostatečné.

Princip rozpojování materiálů VVP je založen na přenosu velké energie (jenž byla do paprsku vložena) na extrémně malou plochu, kde při jeho nárazu dochází za velmi složitých fyzikálních jevů k destrukci materiálu. Matematické řešení proudění a nárazu vysokorychlostních (supersonických a hypersonických) turbulentních proudů stlačitelné tekutiny je velmi komplikované. Jejich chování není možné odvodit a vyjádřit pouze souborem tzv. regulovatelných parametrů jako jsou např. tlak před tryskou, průměr trysky a její geometrie, vzdálenost mezi tryskou a materiálem aj. Jejich nastavení a měření není sice problémem, ale je zřejmé, že tyto statické parametry sotva mohou být platnými korelačními parametry pro vyjádření tak složitých dynamických jevů.

Zjednodušeně je možno říci, že vysoká destrukční schopnost VVP je zejména založena na kombinaci statického a dynamického zatěžování rozpojovaného materiálu silovými účinky od nárazu vysokorychlostního tekutinového proudu na jeho povrchu (obr. 1). Dynamický ráz, který probíhá řádově v kratší době než milisekundy na ploškách submilimetrových rozměrů, je pak jednou z hlavních příčin porušování materiálu (obr. 2). Hydrodynamické efekty při výtoku z trysky a aerodynamické síly působící na vysokorychlostní tekutinový proud nedefinovatelně ovlivňují jeho

chování a mají vliv na jeho skutečný rychlostní profil, resp. na distribuci statického a dynamického tlaku na povrch rozpojovaného materiálu. Proto znalosti skutečných průběhů statického a dynamického zatěžování, tzv. neregulovatelných parametrů, patří k základnímu "know - how" v této oblasti.

EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

Současné možnosti měření, které by umožnily postihnout dynamiku a strukturu vysokotlakého vodního paprsku, případně distribuci jeho energie na plochu rozpojovaného materiálu, jsou velmi omezené. Metoda měření tlakové síly ze změny hybnosti tekutinového proudu je jednou z mála metod umožňujících získat reálné poznatky i o chování vysokorychlostních tekutinových proudů. Úspěšné použití této metody bylo námi rovněž ověřeno [2] a dále zdokonaleno [3]. Měření silových účinků VVP je obtížné nejen kvůli jeho malým rozměrům, malým hodnotám měřených sil a požadavku na co nejvyšší frekvenční rozsah, ale i pro jeho vysoké destrukční schopnosti nejen na rozpojované materiály, ale i na měřící zařízení. Z těchto důvodů bylo v zařízení pro měření silových účinků VVP (obr. 3), použito piezoelektrického snímače síly KISTLER 9301 A, se kterým bylo dosaženo vlastní rezonanční frekvence přes 27 kHz. Zvláštní pozornost musela být věnována dosažení vyrovnané frekvenční charakteristiky a potlačení interferenčního rušení pomocí laděné základny snímače síly [4]. Prezentované zařízení navíc umožňuje odclonit vnější vrstvu VVP s energií nedostatečnou k rozpojování a tak zároveň i stanovit efektivní plochu působení VVP na materiál.

Měřicí zařízení bylo prostřednictvím jednotky Multiprogrammer Hewlett-Packard HP 6942 A připojeno k dvouprocesorovému počítači HP Vectra ES s kartou CPU řady HP 9000 série 200/300 (32-bitový procesor Motorola MC 68000). Přenositelnost dat je zajišťována programově ze strany výkonnější CPU firemním software HP DACQ/PC, který umožňuje také provádění výpočtů statických a dynamických sil VVP a frekvenční analýzu metodou FFT včetně IFFT.

EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky měření jsou demonstrovány na obr. 4. Experiment byl proveden s tryskou o výstupním průměru 0,325 mm, tlakem před tryskou 300 MPa a vzdálenosti trysky od dopadové plochy 20 mm. Pokud bylo měřeno se clonou (obr. 4b), byla umístěna v polovině této vzdálenosti. Záznamy měření v obou případech ukazují na poměrně vysokou úroveň dynamické složky silového působení v kmitočtové oblasti v okolí 12 kHz a 19 kHz, zde s výrazným převýšením. Porovnáme-li tyto záznamy se základními typy chování nelineárních systémů (obr. 5), pak je zřejmé, že naměřené výsledky ukazují na chaotický režim (s dvěma ostrými píky a vysokou hladinou širokopásmového šumu). Záznamy tedy prokazují, že při dopadu VVP na rozpojovaný materiál dochází k výskytu chaotických kmitů. To ve svém důsledku potvrzuje, že skutečné velikosti a průběhy silových účinků od zabrzdění reálného VVP je možno získat jen měřením, a také, že regulovatelné parametry nemohou být relevantními při popisu tohoto jevu, neboť význam chaotický v deterministických fyzikálních systémech znamená, "... že malé odchylky v počátečních podmínkách vyvolají velké změny v konečných jevech. ... Prognóza se stává nemožnou." [5]. To je rovněž příčinou, pro kterou se tyto kmity ne vždy při dopadu VVP vyskytují [2].

Zjištění výskytu chaosu při dopadu VVP je rovněž ne nepodstatné pro fyzikální model rozpojování materiálů VVP, protože u fyzikálních modelů se obvykle vyžaduje, aby model byl stabilní v tom smyslu, že malá změna vstupních parametrů (v realitě způsobená např. rozsahem regulace těchto parametrů nebo jejich náhodnými fluktuacemi) neovlivní kvalitativní vlastnosti modelovaného systému.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkumná práce byla uskutečněna díky finanční podpoře projektů Grantové agentury České republiky č. 202/93/2338 a Interní grantové agentury AV ČR č. 31655.

LITERATURA

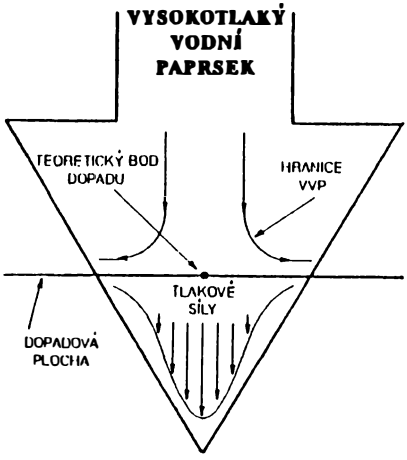
[1] Vašek, J., Fialová, V., Foldyna, J., Hlaváč, L., Horák, J., Vala, M.: Mechanismus rozpojování hornin vysokotlakým vodním médiem. Dílčí zpráva úkolu II-6-1/03.04, HoÚ ČSAV Ostrava, 1990

[2] Vala, M.: Měření vybraných fyzikálních parametrů při procesu rozpojování hornin VVP. Kandidátská disertační práce, HoÚ ČSAV Ostrava, 1992

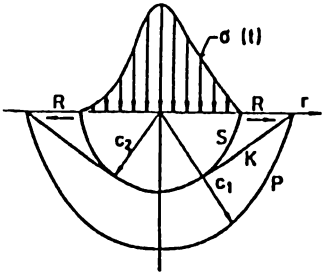
[3] Vala, M.: CS patent 277753

[4] Vala, M.: Přihláška vynálezu PV 06867-90

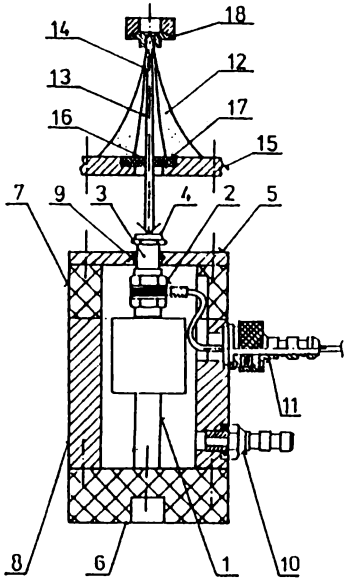
[5] Poincaré, H.: The Foundation of Science: Science and Method. The Science Press, N.Y., 1921



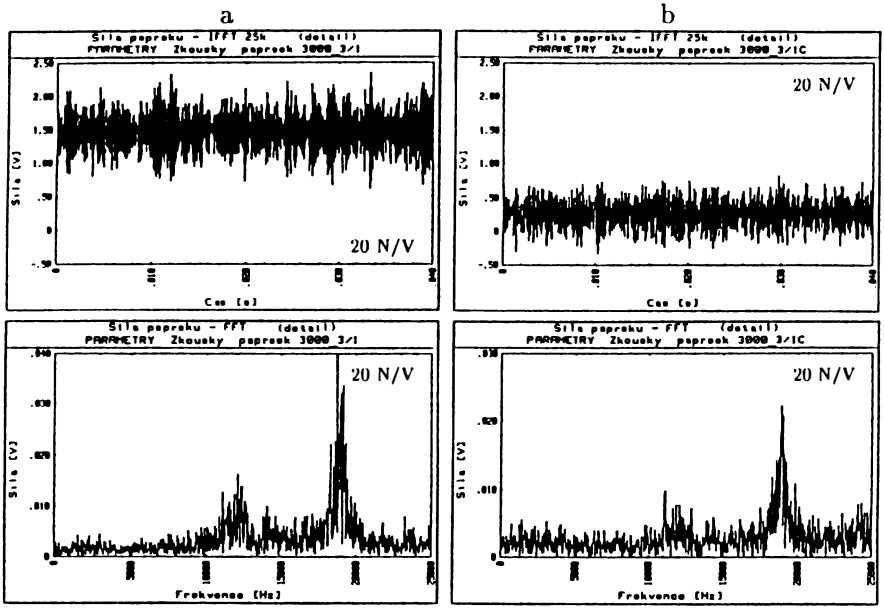
Obr. 1. Schematické znázornění dopadu VVP



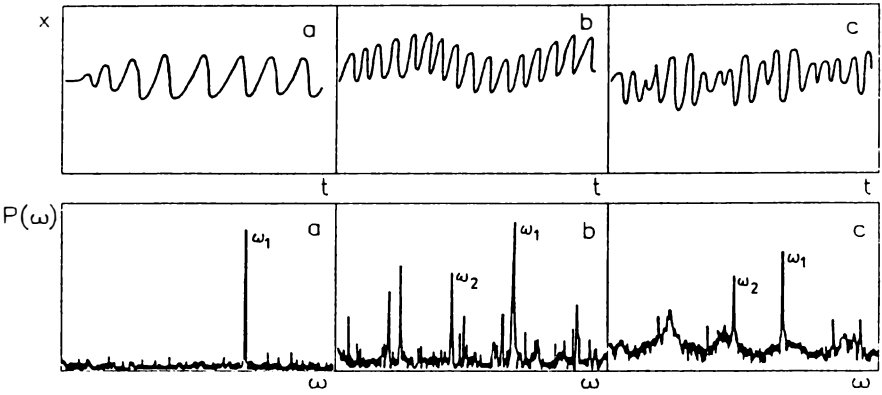
Obr. 2. Základní vlnové procesy v poloprostoru zatíženém napěťovým pulsem (P-podélná vlna, S-příčná vlna, R-povrchová vlna, K-obálka elementárních vlnoploch (head wave))



Obr. 3. Snímač silových účinků dopadajícího VVP (1-laděná základna snímače, 2-krystalový snímač sil, 3-čep, 4-dopadová plocha, 5-víčko, 6-základna, 7-gumová manžeta, 8-pouzdro, 9-těsnění, 10-vstup ochranné atmosféry, 11-vstup signálu, 12-vrstva kapek, 13-vnější zóna, 14-vnitřní zóna, 15-držák clony, 16-proražený otvor, 17-clona, 18-tryska)



Obr. 4. Naměřené průběhy sil a jejich frekvenční spektra (a-bez clony, b-se clonou)



Obr. 5. Základní typy časových průběhů a jejich spektra (a-periodické oscilace, b-kvaziperiodické oscilace, c-chaotické oscilace)

Libor Sitek/Ing.[1]

Miroslav Vala/Ing.,CSc.[2]

[1] ÚGN AV ČR, Studentská 1768, Ostrava – Poruba, PSČ 708 00
Tel.: (069) 691 86 51, Fax.: (069) 691 94 52

[2] Ostravská Univerzita, Dvořákova 7, Ostrava 1, PSČ 701 03
Tel.: (069) 6222 755