

Kavitace

J. Krásenský, J. Ryplová, L. Tájek
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská,
Břehová 7, 115 19 Praha 1
krasensky@seznam.cz

Abstrakt

Tento příspěvek pojednává o principu kavitace a jejích účincích. Zmiňuje i výsledky našeho vlastního výzkumu v této oblasti.

1 Úvod

Kavitace je jev, který nastává v kapalinách při rychlých lokálních změnách tlaku. V technické praxi je většinou nežádoucí, neboť způsobuje opotřebení součástek strojů. Lze ji ale i využít, například v lékařství.

2 Princip kavitace

Je známo, že když v kapalině dojde ke snížení tlaku, sníží se tím zároveň i teplota varu. Tento jev kavitaci umožňuje. Ke kavitaci totiž dochází v oblastech, kde nastane lokální snížení tlaku, vyvolané rychlým pohybem v důsledku Bernoulliova zákona. Podrobněji průběh kavitace vysvětlíme na příkladu rotující, lopatkami opatřené součástky vodního stroje, jako je třeba lodní šroub. U povrchu lopatek výrazně poklesne tlak, při dostatečné rychlosti až na hodnotu, při které se voda dané teploty vyskytuje v plynném skupenství. Pak začnou vznikat bubliny páry, tzv. kavitační dutiny. (Cavity je anglický výraz pro dutinu.) Když se dutina dostane opět do oblasti vyššího tlaku, odpovídajícího kapalnému skupenství vody, zkolabuje. Kolaps probíhá tak, že páry začnou kondenzovat a srážet se na stěně dutiny, čímž v dutině vznikne podtlak. V důsledku toho dojde k tzv. implozi, při níž se stěna dutiny protrhne velice prudkým výtryskem vody. Ta dutinu vyplní a způsobí tak její zánik.

Kavitaci však nelze obecně ztotožňovat s varem, protože kavitaci nevyvolává změna teploty, ale změna tlaku, a to pouze lokální.

Výše popsaný děj se nazývá kolabující kavitace. Existuje i tzv. nekola-
bující (neboli ultrazvuková) kavitace, která se vyvolává především uměle
akustickými metodami a nedochází při ní ke kolapsu, kavitační dutiny pouze
pulzují, zvětšují a zmenšují se v důsledku periodických změn tlaku. Nekola-
bující kavitaci však zmiňujeme pouze okrajově, protože nebyla předmětem
našich pokusů. Pokud nadále v textu nezdůrazníme, že máme na mysli ne-
kolabující kavitaci, jedná se o kavitaci kolabující.

3 Doprovodné jevy při kolapsu

Kolaps probíhá velmi rychle a prudce, proto ho provázejí další fyzikální
efekty, např. třaskavé zvuky, zvýšená teplota (v řádech desetitisíců stupňů
Celsia), lokální zvýšení tlaku (až do řádů 10^5 atmosfér), může také vzni-
kat široké spektrum záření včetně viditelného světla. Kolaps může vyvolat
i chemické děje, především vznik volných radikálů.

4 Důsledky kavitace v praxi

Kavitaci vnímáme především jako škodlivý jev. V technické praxi se s ní
setkáváme nejčastěji u rychle rotujících součástí vodních strojů, jako jsou
např. lodní šrouby, turbíny a pumpy. Kavitace způsobuje snížení výkonu
strojů, protože spotřebovává část produkované energie. Může dokonce způsobit
i zničení dané součástky, protože kolaps kavitačních dutin při povrchu stroje
vyvolá erozi materiálu, jeho kusy jsou odtrhovány.

Kavitaci však lze i využít. Dříve umožňovala snazší vyhledávání ponorek,
protože jejich šrouby vyvolávaly kavitaci doprovázenou zvukovými efekty,
které bylo možné detekovat. V současné době však existují tzv. nízkokavitační
lodní šrouby, které do určité rychlosti kavitaci nevyvolávají. Pokud chce po-
norka plout rychleji a přesto nevyvolávat kavitaci, musí se přesunout do větší
hloubky, kde je větší tlak, takže kavitace nastává až při ještě větší rychlosti.
K armádním účelům se využívá tzv. superkavitace, která se vyvolává uměle
a funguje tak, že se vytvoří kavitační bublina kolem torpéda. To pak může
plout rychleji, protože mu okolí klade menší odpor.

Ultrazvuková kavitace se využívá např. při čištění předmětů (optici takto
čistí brýle) nebo v lékařství, třeba při liposukci.

S kavitací se můžeme setkat i v přírodě. Garnát pistolník kolabující kavi-
taci dokáže vyvolat prudkým zaklapnutím speciálně uzpůsobeného klepeta.
Využívá tento jev při obraně i při lovu kořisti. Svůj název pistolník získal
kvůli třaskavým zvukům, které jím vyvolanou kavitaci provázejí. Kavitace

vzniká také na tělech delfínů, když hodně rychle plavou. Pro ně je však nežádoucím jevem, způsobuje jim totiž bolest.



Obrázek 1: Nejčastější typ struktury prasklin na rozbité lahvi

5 Náš vlastní výzkum

V rámci zkoumání kavitace jsme se rozhodli zopakovat zajímavý pokus, který jsme znali z dřívějška. Do skleněné láhve jsme nalili nějaké množství kapaliny, láhev jsme pevně drželi v ruce hrdlem vzhůru a zeshora jsme do ní udeřili tvrdým předmětem. Láhev se prudce pohnula, ale vlivem setrvačnosti ji kapalina nenásledovala okamžitě, vznikl tedy podtlak, především u dna. Tím byla vyvolána kavitace a při kolapsu láhev praskla.

Předmětem našeho zkoumání byly především faktory, které mohly ovlivnit, jak snadno (při jaké intenzitě úderu) se povede láhev rozbít. Sílu úderu jsme nijak přesně neměřili, pouze jsme odhadovali, kdy jsme udeřili slabě a kdy silněji. Dále jsme se zajímali o strukturu prasklin rozbitých láhví.

Pokus jsme prováděli za různých podmínek. Srovnávali jsme použití různě viskózních kapalin (vody a oleje), kapalin různé teploty (pokus s vodou pokojové teploty jsme porovnávali s použitím vroucí vody), zkoušeli jsme udeřit do láhve bez víčka, s víčkem, a dokonce i do láhve otočené dnem nahoru (lépe či hůře fungují všechny tři varianty). Zjišťovali jsme, jak pokus ovlivní tvar láhve a množství kapaliny.

Při zkoumání vlivu různých podmínek pokusu se nám nepodařilo dojít k příliš konkrétním závěrům. Zjistili jsme pouze, že láhev s menším množstvím kapaliny lze rozbít mnohem snáz než plnou láhev. Výzkum byl zkreslený relativně malým počtem pokusů, pro lepší výsledky by bylo potřeba pokusy mnohokrát opakovat.

Jistě silně záleží na tom, jakou láhev zrovna používáme. To zřejmě ovlivňuje potřebnou sílu více než ostatní zkoumané jevy – navíc i u lahví na pohled stejných se může při bližším prozkoumání ukázat, že mají například různě tlusté sklo. Lepší poznatky se nám podařilo získat o tvaru prasklin rozbitých lahví. Na velké části lahví se dalo najít centrum, z něhož většina prasklin vycházela. To se nejčastěji nacházelo v okolí (neostré) hrany mezi dnem a stěnou lahve. Dno se ve většině případů oddělilo, často odpadl také střepek ze stěny, který vybíhal až k centru prasklin. Popsanou strukturu prasklin ukazuje obrázek 1. Tímto způsobem se rozbila velká část lahví, objevilo se však i několik zajímavých výjimek, např. láhev, která se rozpadla podélně až k hrdlu.

Kavitaci v láhvi jsme se pokusili zachytit vysokorychlostní kamerou, zapůjčenou od FJFI. Na získaných snímcích jsme našli několik kavitačních dutin a dokonce jeden právě probíhající kolaps.

6 Poděkování

Rádi bychom poděkovali ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za poskytnutý čas a kameru. Dále děkujeme všem přátelům, kteří nám pomohli nasbírat pokusné lahve.

Reference

- [1] J. Noskivič, *Kavitace*, Academia, Praha (1969) 17-19
- [2] A. Petrussek, *Media s námi a o nás: Zeptejte se vědců*, *Lidové noviny*, 30.11.2011,
<http://www.natur.cuni.cz/fakulta/aktuality/media-s-nami-a-o-nas-zeptejte-se-vedcu-lidove-noviny-30.11.2011>
- [3] kol. autorů, *Kavitace*, <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Kavitace>
- [4] kol. autorů, *Kavitation*, <http://de.wikipedia.org/wiki/Kavitation>
- [5] kol. autorů, *Superkavitation*,
<http://de.wikipedia.org/wiki/Superkavitation>