

MOST IMPORTANT RESULTS OF THE INVESTIGATION OF THE IMPACT OSCILLATOR DYNAMICS OBTAINED DURING FINISHED PROJECTS GA CR AND COST

F. Peterka*

***Summary:** The investigation of the dynamics of oscillator with soft impacts explained the development of non-linear phenomena, when the oscillator transits from the linear one into the oscillator with rigid impacts, described by the Newton elementary theory. Two symmetrically arranged oscillators was studied theoretically and using the numerical simulation with the aim of their application in the forming.*

1. Úvod

Koncem roku 2002 byly uzavřeny dva grantové projekty:

GA ČR č. 101/00/0007: Vliv kontaktních sil narážejících těles mechanických soustav s vnitřními rázy (doba řešení 3 roky).

COST-MŠMT OC P4.10: Kmitání mechanických soustav se silnými nelinearitami (doba řešení 5 let).

Cílem referátu je uvést stručně nejdůležitější výsledky, které se týkají dynamiky mechanických soustav s tzv. měkkými rázy, kdy je nutno uvažovat síly při rázu a délku trvání rázu. Jsou konfrontovány s podrobně prozkoumanou dynamikou soustav s tvrdými rázy provedenou v minulosti, kdy se vycházelo z Newtonovy teorie rázů.

Výsledky základního výzkumu byly rozšířeny na problematiku aplikace dynamických soustav s rázy v oblasti tvářecích strojů. Teoreticky experimentálně a simulačně byl zkoumán model protiběžného bucharu. Výsledkem byla konstrukce a výroba funkčního vzorku prostřihovacího stroje.

2. Souhrn výsledků řešení projektu GA ČR

Cílem projektu bylo objasnit dynamiku oscilátoru s měkkými rázy. Těžiště výzkumu těchto silně nelineárních kmitů spočívalo v numerické integraci (simulaci) pohybu a bylo doplněno teoretickou analýzou a ověřováním pomocí experimentálního zařízení. Bylo nutno volit

* Ing. František Peterka, DrSc., Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00, Praha8;
tel.: +420 266 053 083, fax: +420 286 584 695, e-mail: peterka@it.cas.cz

konkrétní modely rázových interakcí, např. Kelvin-Voigtův, Hertzův, po částech lineární (trojúhelníkový) model a složitý model, který odpovídá silám vznikajícím při tváření.

K úspěšnosti řešení výrazně přispěly grantové prostředky, neboť mohly být zakoupeny počítače pro rychlé simulace a vibrátor pro mechanické experimenty. Výsledky byly publikovány na národních a mezinárodních konferencích i v odborných časopisech. Ing. Kocanda, člen kolektivu spolupracovníků řešitele, obhájil úspěšně doktorskou disertační práci v r. 2002 [4].

Hlavní výsledky řešení grantového projektu lze shrnout do následujících bodů:

A) Byl vysvětlen rozvoj nelineárních jevů oscilátoru při přechodu od čistě lineárního pohybu, tj. pohybu bez rázů, až k pohybu silně nelineárnímu - pohybu s tvrdými (Newtonskými) rázy. Dynamika těchto krajních případů oscilátoru byla známa, resp. podrobně v minulosti prozkoumána, ale nebylo dostatečně objasněno chování oscilátoru v celém intervalu mezi uvedenými krajními případy.

Výzkum byl proveden mapováním oblastí existence a stability pohybů s rázy při postupném zvyšování tuhosti pružné nárazky v intervalu od nízkých do velmi vysokých hodnot. Pro nízké tuhosti nárazky byl nalezen zrod subharmonického režimu řádu $n = 2$ (tzn., že perioda pohybu je dvojnásobkem periody budící síly) a hysterézních jevů pohybu základního ($n = 1$). Tyto dva jevy souvisejí se dvěma druhy nestability pohybu s rázy: bifurkace se zdvojením periody pohybu a bifurkace sedlo-uzel. S rostoucí tuhostí nárazky se oblasti subharmonických pohybů ($n \geq 2$), jakož i oblasti hystereze zvětšují a postupně vzrůstá i řád n vyskytujících se subharmonických pohybů. Tyto jevy byly zjištěny pro všechny zvolené modely měkkých rázů.

B) Důležitou hranicí oblastí různých periodických pohybů oscilátoru je jejich hranice existence, která je tzv. grazing bifurkací, vyjadřující vznik nového rázu v periodickém pohybu. Přechod přes tuto hranici není u pohybu s tvrdými rázy nikdy stabilní a je doprovázen skokovými jevy, kdežto u měkkých rázů je přechod vždy stabilní, spojitý a reverzibilní. Tento rozdíl byl zjištěn při numerických simulacích pohybu a byl potvrzen náročnou teoreticko-numerickou analýzou základního režimu pohybu s rázy [4].

Chování soustavy při přechodu přes hranici existence se týká nejen přechodu mezi pohybem bez rázů a základním pohybem s jedním rázem za periodu, ale i přechodu k pohybům s více rázy za periodu. Obdobně tomu je i při vzniku, resp. zániku rázu u subharmonických pohybů.

C) Na rozdíl od pohybu s tvrdými rázy jsou subharmonické pohyby s měkkými rázy rozloženy v určitých energetických hladinách, které nejsou zpravidla vzájemně propojeny. Jinak řečeno, nelze mezi oblastmi existence a stability subharmonických pohybů různých řádů přecházet při kvazistacionární změně parametrů soustavy. Byly však zjištěny výjimky, kdy lze mezi hladinami subharmonických pohybů „přeskakovat“ i při spojitě změně parametrů. Vyskytovaly se v souvislosti s novým nevratným, resp. skokovým dějem, který byl nazván **bifurkace sedlo-uzel chaotických pohybů s rázy**. Tento děj je obdobný jako skokové děje vznikající při bifurkacích sedlo-uzel u periodických pohybů s rázy.

V závěrečném roce řešení grantového projektu se podařilo objasnit několik důležitých problémů, které dokreslují celkový pohled na dynamiku oscilátorů s tzv. měkkými rázy, kdy jsou uvažovány kontaktní síly v průběhu rázu.

Jednalo se o následující problémy:

- a) určit vliv statického předpětí na pohyb oscilátoru,
- b) zjistit vliv útlumů bezrázového pohybu a útlumu v měkké nárazce na periodické a chaotické režimy oscilátoru,
- c) nalézt sérii subharmonických pohybů pro zvolenou střední tuhost měkké nárazky.

ad a) Dosavadní rozbor pohybu oscilátoru s rázy byl zaměřen na kladné hodnoty vzdálenosti statické polohy oscilátoru od měkké nárazky, tzv. kladné vůle a na malé záporné vůle, které odpovídají dotyku tělesa oscilátoru s nárazkou s malým statickým předpětím. Chování soustavy s velkým statickým předpětím nebylo dosud prozkoumáno. Díky numerickým simulacím uvažovaného silně nelineárního pohybu bylo zjištěno, že s rostoucím předpětím se nejprve zvyšuje počet rázů v periodě pohybu a rovněž i délka trvání jednotlivých rázů (styku tělesa s nárazkou). Od určitého předpětí se naopak začíná počet rázů v periodě pohybu zmenšovat. Je to způsobeno tím, že s prodlužováním doby rázu se časový interval pohybu mezi rázy zkracuje až zanikne. Tímto scénářem zaniknou postupně všechny rázy v periodě pohybu a těleso se pak pohybuje stále ve spojení s měkkou nárazkou. Rázy naopak vznikají se zmenšováním předpětí, kdy hmota kmitající ve spojení s nárazkou se z ní na určité hranici začne „vynořovat“ a opět narážet.

Tyto jevy si vynutily definici nového pojmu - *inverzní grazing bifurcation* a rozšíření klasifikace periodických pohybů s rázy na *dolní a horní režimy téhož druhu*. Grazing bifurkace je obvykle chápána jako děj, kdy se těleso kmitající bez rázů začíná periodicky dotýkat nárazky. Inverzní grazing bifurkace odpovídá zmíněnému vynořování pohybu tělesa z prostoru měkké nárazky. Podrobnější výsledky jsou uvedeny v [2, 23]. Analýzy, které se soustředily převážně na zjištění oblasti existence a stability pohybů s rázy byly doplněny bifurkačními diagramy podél řezů oblastmi a jsou publikovány v [24].

ad b) Je nutno rozlišovat útlum pohybu tělesa:

- a) bez dotyku s nárazkou a
- b) v dotyku s nárazkou.

ad ba) Útlum, uvažovaný obvykle jako lineární, ovlivňuje velikost oblasti nutné existence pohybu s rázy, především v okolí vlastní frekvence oscilátoru. Tento útlum výrazně zmenšuje oblasti existence a stability subharmonických pohybů, zvláště v oblastech, kde se obvykle vyskytuje pohyb bez rázů (tzv. oblasti hystereze) [1].

ad bb) Útlum pohybu tělesa ve spojení s nárazkou ovlivňuje různorodost oblastí periodických a chaotických pohybů s rázy pro nízké a střední hodnoty statické vůle v soustavě oscilátoru. Čím je útlum větší, tím méně je vícerázových i chaotických pohybů. Srovnání oblastí pro nízký a vysoký útlum v měkké nárazce je uvedeno v [1].

ad c) U oscilátoru s tvrdými rázy, u nichž lze zanedbat dobu trvání rázu, se vyskytují oblasti subharmonických pohybů, které začínají v oblasti nutného vzniku pohybu s rázy a vystupují do oblasti pohybu bez rázů (tzv. hysterézní jevy). Obdobně je tomu i u oscilátoru s měkkými rázy, ovšem pouze pro pohyby nižšího řádu, jejichž perioda je několikanásobkem periody budící síly. Pro pohyby vyššího řádu existují oblasti jejich existence a stability pouze v oblasti pohybu

bez rázů. Tzn., že nemají charakter hysterézních oblastí a nelze do nich přejít plynulou a kvazistacionární změnou parametrů oscilátoru z oblasti pohybu s rázy. Takové subharmonické pohyby je možno vybudit pouze vnějším impulsem, nebo vhodnou volbou počátečních podmínek pohybu oscilátoru. Systematický průzkum existence subharmonických pohybů je možný pomocí vyhodnocení zón přitažlivosti počátečních podmínek v oblastech víceznačné odezvy oscilátoru na periodické buzení.

Byl vypracován program numerického vyhodnocení zón přitažlivosti v prostoru počátečních podmínek pohybu a tím byla nalezena série subharmonických pohybů a následně byly vyhodnoceny jejich oblasti stability [3]. Bylo rovněž ukázáno, že u pohybu s měkkými rázy má série subharmonických pohybů konečný počet členů, kdežto u oscilátoru s tvrdými rázy má tato série teoreticky nekonečný počet členů. Počet členů série subharmonických pohybů narůstá s rostoucí tuhostí nárazky.

Byly zjištěny zákonitosti pohybu samobuzených kmitů oscilátoru s oboustrannými měkkými nárazkami [5]. Tento problém zatím řešen nebyl a jedná se o první etapu výzkumu autooscilací s rázy.

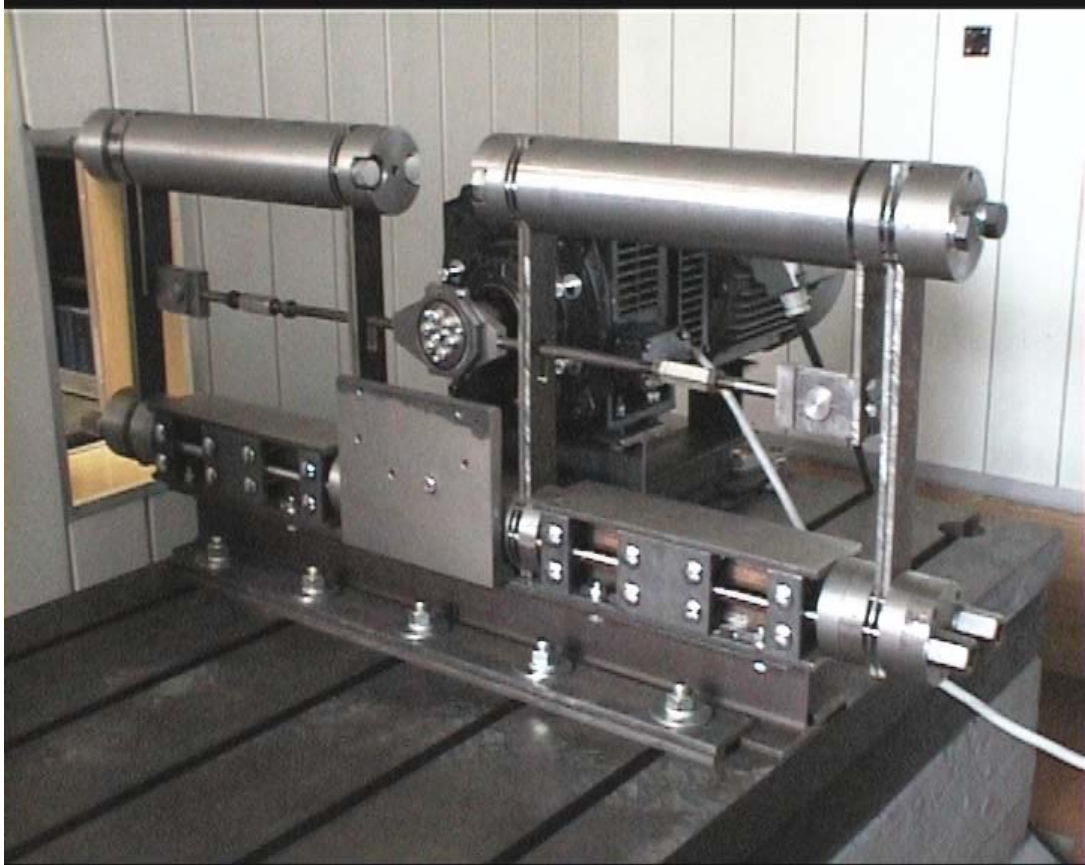
V návaznosti na minulý projekt GA ČR (101/97/0670) byl podrobně objasněn složitý mechanismus přechodu z určitých druhů periodických subharmonických pohybů s tvrdými rázy do chaotického pohybu typu intermitence při ztrátě stability typu sedlo-uzel. Přechod přes tuto hranici stability je reverzibilní, což je ojedinělý jev, neboť ztráta stability typu sedlo-uzel je u pohybu nelineárních soustav spojena s nevratným kvalitativním a kvantitativním skokem. Tato teoreticko-numerická analýza byla provedena ve spolupráci s prof. Tadashi Koterou z japonské univerzity ve Fukui [6-8,17].

3. Výsledky řešení projektu COST

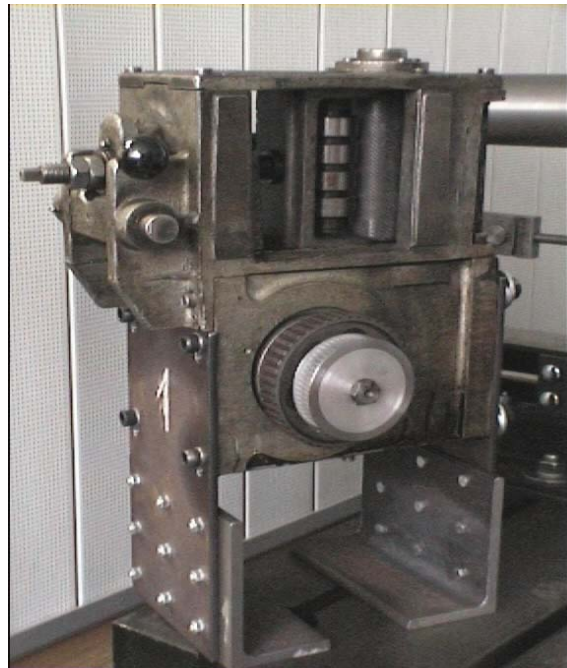
Projekt byl zaměřen na aplikaci nelineárních jevů ve výrobě. Byl proveden podrobný teoretický, simulační a experimentální výzkum dynamiky dvojitého oscilátoru s rázy s cílem využít jej ve funkci protiběžného bucharu. V závěrečném roce řešení tohoto projektu byla dokončena konstrukce a výroba prostřihovacího stroje na výrobu článků válečkových řetězů (Obr. 1), který je dále stručně popsán.

Motor byl uložen na konstrukci, která jej udržuje ve výši odpovídající ose budících excentrů. Na osu motoru byl vyroben držák excentrů, jehož upevňovací šrouby slouží též k pohonu podavače (Obr.1). Hřídel pohonu podavače je napojen na motor a obsahuje řemenici pro ozubený řemen pohonu podavače Ferguson. Podavač byl upevněn na podstavec (Obr.2), který umožňuje spojení jeho řemenice s řemenicí spojené s motorem pomocí ozubeného řemenu. Podavač Ferguson byl zapůjčen z ČZ Řetězy s.r.o. Strakonice pro první zkoušky bucharu. Jeho konstrukce však neodpovídá rychloběžnému bucharu a jeho rotující část se šroubovicovou drážkou vykazovala nevývažek. Proto bylo provedeno statické i dynamické vyvážení pomocí vývažků na dvojici řemenic připevněných na hnaném hřídeli podavače.

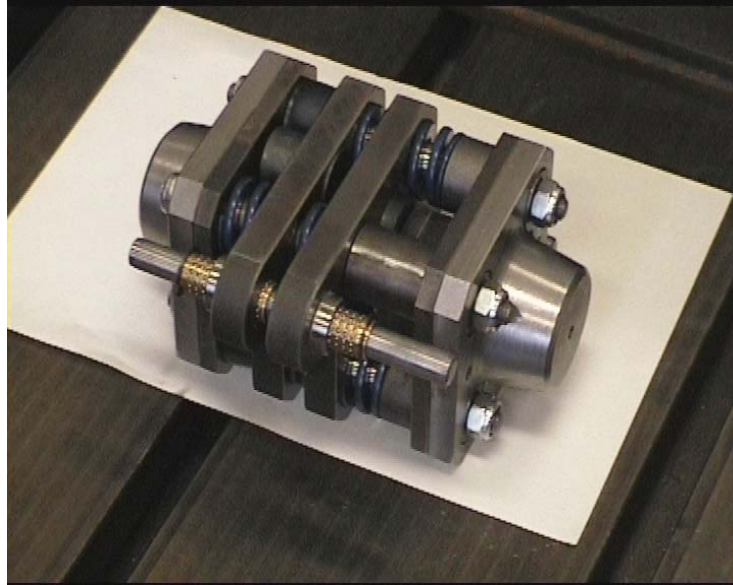
Nástroj (Obr. 3) vyrobený v ČZ Řetězy byl zkonstruován Ing. Jaromírem Janoutem a jedná se o unikátní zařízení, které na jeden úder vystřihne celou součástku (článek se dvěma otvory). Nástroj byl pak zkoušen v Ústavu termomechaniky na lisu, který umožňuje zaznamenávat síly F v průběhu stříhu v závislosti na plynulém pomalém



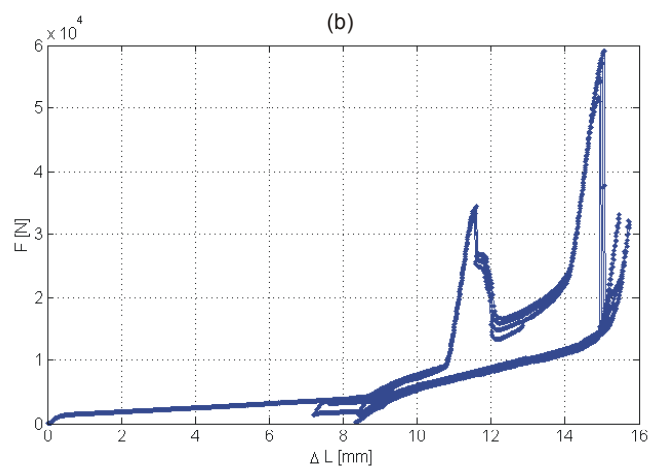
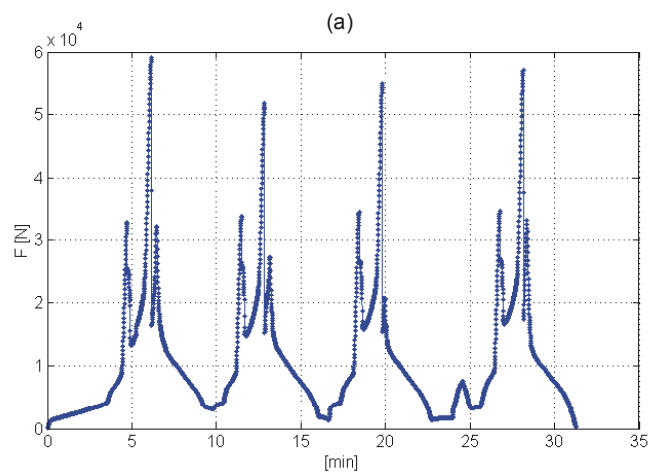
Obrázek 1 Pohled na motor, buchar a excentry



Obrázek 2 Podavač FERGUSON



Obrázek 3 Stříhací nástroj



Obrázek 4. Průběhy střížné síly

relativním posunu ΔL razníků a matic i dalších pružin sloužících pro vysunutí výstřížku z matrice. Časový průběh sil F je znázorněn na Obr. 4(a). Fázové znázornění sil F v závislosti na posun ΔL je uvedeno na Obr. 4(b). Smyčka ve fázové rovině představuje energii potřebnou na prostřížení jedné součástky. Z průběhů jsou patrné též maximální síly $F = 3.5 \cdot 10^4 \text{ N}$, pro prostřížení otvorů a síly $F = 6 \cdot 10^4 \text{ N}$ pro prostřížení obvodu článku řetězu.

Tyto diagramy poslouží i k vytvoření modelu rázových interakcí pro modelování pohybu a optimalizaci parametrů stroje.

Nástroj je letmo uložen mezi protiběžnými tělesy bucharu. Je veden v přímočarých ložiskách, jejichž hřídele jsou pevně spojeny s motorem. Byly provedeny numerické simulace pohybu bucharu se zjednodušeným modelem průběhu sil při rázu a vyhodnoceny oblasti různých režimů pohybu s rázy v závislosti na frekvenci budících sil a na statické vůli mezi narážejícími tělesy [31]. Existuje velká oblast stabilního pohybu s jedním rázem v periodě buzení, který je nejvýhodnější pro praktické využití. Byly rovněž vyhodnoceny frekvenční charakteristiky amplitud pohybu těles a rychlostí těles před rázem [32]. Pomocí těchto charakteristik lze nalézt optimální kombinace parametrů soustavy s cílem naladit pracovní režim tvářecího stroje s maximálním tvářecím výkonem [33].

Během roku byla Úřadem pro průmyslové vlastnictví provedena patentová rešerše týkající se přihlášky vynálezu PV 2001-2904 [34]. Přípomínky k formulaci přihlášky byly vysvětleny a v dohledné době bude přihláška zveřejněna a udělen patent.

Nový typ tvářecího stroje má následující výhody:

- a) konstrukce stroje je jednoduchá a dovoluje zvýšit produktivitu práce, neboť funkční vzorek je konstruován na provozní frekvenci postřihování 30Hz (asi pětinasobné zvýšení frekvence stříhání oproti dosud používaným strojům), přičemž jedním rázem se vystříhne kompletní součástka řetězu a není nutné ji stříhat dvěma operacemi. Tím se též zjednoduší nástroj stříhání, neboť není nutno součástku justovat mezi operacemi. Rovněž se zvýší kvalita povrchu střížných ploch v důsledku zvýšení střížné rychlosti,
- b) jednoduchost konstrukce vyplývá též ze skutečnosti, že narážející tělesa plní současně funkci setrvačníků, kdy kinetická energie se doplňuje v časových intervalech mezi opakujícími se rázy,
- c) vzhledem k vnitřní symetrii bucharu jsou vyváženy i vnitřní síly a momenty sil v soustavě. Z toho vyplývá nulový účinek sil a momentů na okolí bucharu,
- d) rázové impulsy se nepřenášejí ani do rámu stroje, ani do jeho pohonu a proto je možno dimenzovat rám stroje pouze na průběhy nerázových sil. Tím klesá jeho hmotnost a narůstá rovnoměrnost chodu motoru,
- e) konstrukce stroje má ekologické aspekty, neboť nejen vylučuje přenos rázových impulsů do okolí, ale i hluk vznikající při rázech může být tlumen akustickým krytem,
- f) uchycení kmitajících a narážejících těles pomocí listových pružin nevyžaduje zvláštní vedení, čímž klesají energetické ztráty a narůstá účinnost přeměny přiváděné energie na tváření materiálu,
- g) energetická účinnost je vysoká též vzhledem ke shodnosti tvaru a velikosti narážejících těles, tzn., že šíření vln a jejich odrazy v tělesech jsou shodné. Pokud narážející těleso a jejich upevnění není symetrické, dochází k většímu rozptylu energie při rázech.

4. Závěr

Uvedenými grantovými projekty i řadou předcházejících projektů byly vyřešeny nejdůležitější problémy a vysvětleny charakteristické vlastnosti pohybu oscilátoru s rázy. Na základě těchto znalostí bylo možno přistoupit k jedné z řady možných praktických aplikací v oblasti tvářecích strojů.

5. Poděkování

Uvedený výzkum byl podpořen grantovou agenturou ČR (101/94/0126, 101/97/0670, 101/00/0007) a Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR (OC P4.10).

6. Literatura

[1] **Peterka F.:** Transition from Impactless to Impact Motion in Oscillators with Soft Impacts. Proc. Computational Mechanics 2002, Nečtiny, October 29 – 31 , 2002, pp. 349-356.

[2] **Půst L., Peterka F.:** Kmitání soustav s vůlí a s předpětím. Sb. Výpočtová mechanika 2002, Nečtiny, 29. – 31. října 2002, pp. 349-356.

[3] **Peterka F., Čipera S.:** Ambiguousness and Basins of Attraction of the Oscillator with Soft Impacts. Proc. Dynamics of Machines 2003, Institute of Thermomechanics AS CR, February 11-12, 2003, pp. 155-162.

[4] **Kocanda L.:** Vyšetřování silně nelineárních kmitavých systémů. Téze doktorské disertační práce, ČVUT Praha, Fakulta strojní, 2002.

[5] **Tondl A., Kocanda L.:** Self-Excited Oscillator with Soft Stop. Proc. Dynamics of Machines 2003, Institute of Thermomechanics AS CR, February 11-12, 2003, pp. 213-216.

[6] **Peterka F.:** Vibro-Impact Systems - Chapter in Encyclopedia of Vibration, Academic Press Ltd, London, 2001, Vol 3, pp. 1531-1548.

[7] **Peterka F., Kotera T., Čipera S.:** Explanation of Appearance and Characteristics of Intermittency Chaos of the Impact Oscillator (je připraven článek pro publikaci v časopise Journal of Sound and Vibration).

[8] **Peterka F., Čipera S., Kotera T.:** Additional impact causes the intermittency chaos of unstable subharmonic motions of impact oscillator. ICTAM 2000, Chicago, USA, August 27-September 2, 2000, International Congress of IUTAM, Abstract Book, pp. 144-145.

[9] **Peterka F.:** Simulation of the Oscillator with Soft Impacts. Proc. 16th Computational Mechanics 2000, Nečtiny October 30 - November 1, 2000, pp. 317-320.

[10] **Peterka F., Kocanda L., Quasmi M., Szöllös O.:** Dynamics of the Oscillator with Soft Impacts. 4th Euromech Solid Mechanics Conference, Metz, France, June 36-30, 2000, Book of Abstracts MS8.

[11] **Peterka F.:** Problémy dynamiky oscilátoru s rázy řešené v r. 2000. Sborník Kolokvia „Dynamika strojů 2001“, Ústav termomechaniky AV ČR Praha, str. 147-150.

- [12] **Kocanda L., Peterka F.:** Experiments with Double Impact Oscillator with Soft Impacts. Proc. Colloquium Dynamics of Machines 2001, Institute of Thermomechanics AS CR, Prague, pp. 81-84.
- [13] **Půst L., Peterka F.:** Impact System with the Hertz Contact. Proc. Colloquium Dynamics of Machines 2001, Institute of Thermomechanics AS CR, Prague, pp. 167-174.
- [14] **Peterka F.:** Global View on Dynamics of Impact Oscillator. Proc. Engineering Mechanics 2001, Svratka, Czech Republic, pp.207-208, CD ROM.
- [15] **Peterka F., Tondl A.:** Dynamics of Oscillator with Piecewise Model of Soft Impacts. Proc. Engineering Mechanics 2001, Svratka, Czech Republic, pp.209-210, CD ROM.
- [16] **Peterka F.:** Dynamics of Oscillator with Soft Impacts. Proc. DETC'01, Sept. 9-12, 2001, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, Paper DETC 2001/VIB-21609, CD ROM.
- [17] **Peterka F., Kotera T., Čípera S.:** Explanation of Appearance and Characteristics of Intermittency Chaos of the Impact Oscillator. Proc. DETC'01, Sept. 9-12, 2001, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, Paper DETC 2001/VIB-21440, CD ROM.
- [18] **Peterka F.:** Behaviour of Impact Oscillator with Soft and Preloaded Stop. EUROMECH 425 Colloquium „Nonlinear Dynamics, Control and Condition, Monitoring“, August 20-24, 2001, Aberdeen, Scotland, (referát přijat k publikaci v časopise Journal Chaos, Solitons and Fractals, nakl. Elsevier Science UK pod zn. CHAOS 2369).
- [19] **Peterka F., Čípera S.:** Regions of Subharmonic Motions of the Oscillator with Soft Impacts. Proc. Colloquium Dynamics of Machines 2002, Institute of Thermomechanics AS CR, Prague, pp.145-152.
- [20] **Půst L., Peterka F.:** Response Curves of Vibro-Impact System. Proc. Colloquium Dynamics of Machines 2002, Institute of Thermomechanics AS CR, Prague, pp.159-166.
- [21] **Peterka F.:** Oscillator with Hertz's Model of Soft Impacts. Proc. Engineering Mechanics 2002, Svratka, pp. 221-222, CD-ROM.
- [22] **Peterka F., Tondl A.:** Subharmonic Motions of the Oscillator with Soft Impacts. Proc. Engineering Mechanics 2002, Svratka, pp. 223-224, CD-ROM.
- [23] **Peterka F.:** Special Problems of the Oscillator with Soft Impacts. Book of Abstracts, 4th European Nonlinear Oscillations Conference, Moscow, August 19-23, 2002, p. 39.
- [24] **Půst L.:** Response Curves of Piecewise Linear Oscillator. Book of Abstracts, 4th European Nonlinear Oscillations Conference, Moscow, August 19-23, 2002, p. 42.
- [25] **Peterka F., Tondl A.:** Subharmonic Motions of the Oscillator with Soft Impacts. Proc. Engineering Mechanics 2002, Svratka, pp. 223-224, CD-ROM.
- [26] **Půst L., Peterka F.:** Impact Oscillator with Hertz's Model of Contact. EUROMECH 425 Colloquium „Nonlinear Dynamics, Control and Condition, Monitoring“, August 20-24, 2001, Aberdeen, Scotland, Meccanica, .
- [27] **Kocanda L.:** Application of Two Appropriate Analytical Approaches to the Piecewise linear System Stability Analysis of Periodic Motion Based on Eigenvalue and Small Difference Methods. Proc. Colloquium Dynamics of Machines 2002, Institute of Thermomechanics AS CR, Prague, pp. 69-75

- [28] **Kocanda L.:** Chaotic Motions of Impact Oscillator with Kelvin-Voigt Impact Model Investigated by Numerical Simulation. Proc. Engineering Mechanics 2002, Svratka, pp. 125-126, CD-ROM.
- [29] **Kocanda L.:** Particular Features of the Kelvin-Voigt Impact Oscillator. Book of Abstracts, 4th European Nonlinear Oscillations Conference, Moscow, August 19-23, 2002, p. 30.
- [30] **Kocanda L.:** Analytical Approaches of Local Stability Investigation Applied to Piecewise Linear Vibrating System-Kelvin-Voigt Impact Oscillator. Proc. 18th Computational Mechanics 2002, Nečtiny, October 29.-31, 2002, pp. 199-206.
- [31] **Peterka F.:** Transition from impactless into impact motion in oscillators with soft impacts. Sb. Výpočtová mechanika 2002, Nečtiny, 2002, str. 349-356.
- [32] **Půst L., Peterka F.:** Kmitání soustav s vůlí a s předpětím. Sb. Výpočtová mechanika, Nečtiny, 2002, str. 387-394.
- [33] **Peterka F.:** New type of Piercing Machine. Proc. 4th International Symposium "Investigations of Non-Linear Dynamic Effects in Production Systems", Chemnitz, Germany April 8-9, 2003.
- [34] **Peterka F.** Dynamický protiběžný buchar. Přihláška vynálezu č. PV 2001-2904 Úřadu průmyslového vlastnictví, Praha.