

MTA-BME GÉPEK ÉS JÁRMŰVEK DINAMIKÁJA KUTATÓCSOPORT

STÉPÁN GÁBOR, az MTA rendes tagja

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5.

Tel: 463-1369, Fax: 463-3471, E-mail: stepan@mm.bme.hu

<http://www.mm.bme.hu/~gjd>

Beszámoló a 2009. évi tudományos tevékenységről

I. A kutatóhely fő feladatai a beszámolási évben

Gépek és járművek stabilitási- és rezgésvizsgálata kapcsán a forgácsolás közben fellépő rezgések és a – járművek stabilitásvesztésének kialakulásában kulcsszerepet játszó – gumibroncs rezgések analízise volt a két legfontosabb feladat. Új eredmény a korábbi stabilitásvizsgálati módszerek csavart élű marószerszámra történő kiterjesztése, valamint a szerszám rezgésével kapcsolatos forgácsvastagság változás pontosabb figyelembe vétele mind a dinamikai, mind a kontinuummechanikai modellben. A gumikerék modellel kapcsolatos elméleti, numerikus és kísérleti vizsgálatok arra az eredményre vezettek, hogy a kerék és a talaj érintkezési felületén kis megcsúszások következnek be. A létrejövő mikro-rezgések megnövelik a kerék gördülési ellenállását, fokozzák a melegedését és kopását, emellett befolyásolják az abroncs tapadását, rontva a jármű stabilitását.

A elektronikus menetstabilizáló rendszerek és a modern fékberendezések *számítógépes szabályozással* működnek. Ebben a témakörben a digitális hatásokhoz köthető nemlinearitások következtében kialakuló kaotikus rezgések, valamint a folytonos és diszkrét idejű szabályozó rendszerek együttműködése során adódó jelenségek modellezése volt a két fő feladat. Az elméleti eredményeket egy digitális szabályozású, ún. alulaktuált és redundáns szerviz robot pálya menti pozíciószabályozásának kidolgozása során sikerült alkalmazni.

Járműalkatrészek tönkremenetelének vizsgálata kapcsán folytatódott az ún. Portevin-Le Chatelier (PLC) hatás tanulmányozása. A lefolytatott vizsgálatok alapján a PLC hatás kialakulásában az ún. negatív rate-dependence jelenség szerepe az elsődleges. Az anyagmodellezés terén a feltételes Lagrange derivált és a Ljapunov-féle stabilitás feltételeinek együttes figyelembevételével kapcsolatos kutatások álltak a vizsgálatok fókuszában.

II. Az év folyamán elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények, azok gazdasági-társadalmi haszna

Forgácsolási eljárásokat széles körben alkalmaznak a gépkocsi-, vonat-, és repülőgépgyártásban, melyek automatizált gyártósorai megkövetelik ezen eljárások előre tervezhetőségét. A kutatócsoportban folyó munka fő célja a megmunkálási eljárások optimalizálása, melyek így termelékenyebbé és gazdaságosabbá válhatnak. A 2009-es év egyik új eredménye a hullámos élű marószerszámok stabilitásvizsgálatának kidolgozása. Ilyen szerszámokat elsősorban nehezebb forgácsolási tulajdonságú anyagok (titán, nikkal alapú ötvözetek) megmunkálására használnak. Az elért eredmények szerint ezek a szerszámok sokkal stabilabbak, mélyebb megmunkálásra képesek mint a hagyományosak, és alkalmazásuk előnyös könnyen megmunkálható anyagok (pl. alumínium) esetén is. A marási modellek továbbfejlesztésének másik iránya az erőgerjesztett rezgések vizsgálata. A szakirodalomban ezeket a rezgéseket általában elhanyagolják, pedig nagy hatással vannak a

szerszámél pályájára. A kutatók által felállított modellben a forgácsvastagság számítása nemlineáris, ún. állapotfüggő-időkéséses egyenletekre vezet, így a periodikus pályák megtalálása is külön feladat. A probléma megoldására egy számítógépes algoritmus készült az irodalomban megtalálható módszerek továbbfejlesztésével. A vizsgálatok során egy új típusú stabilitásvesztési jelenséget sikerült kimutatni. Az eredmények felhasználásával elkerülhetőek az eddig ismeretlen instabil paramétertartományok. Egy ehhez kapcsolódó kutatási téma az esztergálás vizsgálata. A legújabb eredmények szerint két különböző okból is keletkezhet kaotikus rezgés esztergálás során: egyrészt a kés anyagtól való elválása során alakulhat ki nagy amplitúdójú rezgés (ún. chatter) és kaotikus viselkedés, másrészt a forgácstő képlékeny deformációja is vezethet kis amplitúdójú kaotikus felületi egyenetlenség megjelenéséhez.

A közúti balesetek nagy része visszavezethető a járművek stabilitási problémáira. Mivel a stabilitásvesztés szoros kapcsolatban áll a gumikerék által okozott rezgésekkel, ezért ez a témakör a járműdinamika egyik legintenzívebben kutatott területe. A beszámolási évben a kutatócsoport tagjai egy továbbfejlesztett gumikerék modellt vizsgáltak numerikus módszerekkel, figyelembe véve a kerék-talaj érintkezési felületén kialakuló megcsúszásokat is. Az eredményekből kiderült, hogy az elmélet által megjósolt szűk instabil tartományok miért nem érzékelhetők a mérések során: a létrejövő csúszások meggátolják a nagy amplitúdójú rezgések kialakulását, ám egy állandó mikro-csúszásokkal teli állapothoz vezetnek. A kialakuló mikro-rezgések megnövelik a kerék gördülési ellenállását, valamint fokozzák a kerék melegeződését és kopását. A bekövetkező teljesítményvesztéseket numerikusan és kísérletileg – a kerék hőmérsékletének mérésével – is sikerült kimutatni, a korábbi elméleti eredményekkel összhangban. 2009-ben elkezdődött egy gerjesztett súrlódásos oszcillátor kísérleti vizsgálatával kapcsolatos munka. A kísérletek célja a kényszerrezgések súrlódásos mechanikai rendszerekre (pl. fékekre) gyakorolt hatásának a tanulmányozása. A jelenlegi eszközökkel az akadozó csúszás jelenségét már ki lehet mutatni. A munka következő fázisában a matematikai modellnek megfelelő gerjesztést kell megvalósítani.

Járműalkatrészek tönkremenetelével kapcsolatosan folytatódott a Portevin-Le Chatelier jelenség vizsgálata. A jelenség során az anyag feszültség-alakváltozás diagramja szakaszosan folytonossá válik, ami a felületi minőség drasztikus romlásához vezet a nagy deformációval járó technológiák (pl. forgácsolás) alkalmazásakor. A jelenséget a szakirodalom két eltérő módon tárgyalja. Általában a mikromechanikai hatásokat tartják a lényegesebbnek (dynamic strain ageing). Ezzel szemben a kutatócsoportban folytatott vizsgálatok szerint inkább az ún. negatív rate-dependence jelenség szerepe az elsődleges. Az anyagmodellezés terén folytatódtak a feltételes Lagrange-derivált és a Ljapunov-féle stabilitás feltételeinek együttes figyelembevételével kapcsolatos kutatások. Az eredmények alapján megtehető a korábbi egytengelyű eset többtengelyű általánosítása.

Számítógéppel szabályozott nemlineáris dinamikai rendszerekben a folytonos és diszkrét idejű részek együttműködésének szabatos leírása elengedhetetlen a korszerű szabályozási rendszerek továbbfejlesztéséhez. 2009-ben folytatódott a diszkretizálásból adódó anticipatív hatásoknak és a késleltetésnek az egymásra kifejtett hatásával kapcsolatos munka, valamint a digitális hatások következtében kialakuló kaotikus rezgések vizsgálata. A beszámolási évben történt az ACROBOTER projekt keretében megvalósuló szerviz robot pálya menti pozíciószabályozásának kidolgozása is. Az elsődleges problémát az jelenti, hogy a robot alulaktuált (under-actuated) és redundáns, azaz több lehetőség is van a kívánt mozgás biztosítására, de nincs minden szabadsági foknak megfelelő beavatkozási lehetőség. A

kidolgozott szemi-analitikus algoritmus pontos numerikus számítást tesz lehetővé, biztosítva a szabályozás valós idejű futtatásának lehetőségét. A módszer jól használható mobil robotok, vezető nélküli repülőgépek (UAV) és más speciális járművek irányítására is. A kutatócsoport munkatársai részt vettek az ACROBOTER projekt keretében benyújtott két szabadalmi leírás elkészítésében is. A szabadalmak a köteleken felfüggesztett teherhordó berendezések kötélzetének kialakítására, valamint a lengő teher mozgatására tesznek javaslatot. Jellemző alkalmazásai a kötél- és kábel felfüggesztésű robotok, katasztrófavédelmi mentő rendszerek, darurendszerek.

III. Hazai és nemzetközi kapcsolatok bemutatása

- *Felsőoktatási kapcsolatok*: BME; Pécsi Tudományegyetem; McGill University; University of British Columbia; University of Bristol; Michigan State University; University of Arizona; New Mexico State University; Slovak University of Technology in Bratislava
- *Folyóirat szerkesztőbizottsági tagságok*: Periodica Polytechnica, Meccanica, J. Vibration and Control, J. of Nonlinear Science, J. of Computational and Applied Mechanics, Phil. Transactions of the Royal Society, Int. J. of Aerospace Engineering, Physica D, Mechanism and Machine Theory
- *Konferencia bizottsági tagságok*: IUTAM Symposium on „Dynamics Modeling and Interaction Control in Virtual and Real Environments”; CASYS2009; Finno-Ugric International Conference of Mechanics
- *Tisztségek nemzetközi szervezetekben*: Secretary, IFToMM Technical Comm. of Nonlinear Oscillations; CISM Scientific Council; IUTAM Symposium Committee

IV. Fontosabb elnyert hazai és nemzetközi pályázatok rövid értékelése

Két folyamatban lévő OTKA pályázat mellett folytatódott az EU FP6-os program keretében az ACROBOTER projekt. A nemzetközi részvétellel folytatott kutatás célja egy új típusú szervizrobot kifejlesztése. A projekttel kapcsolatos munka 2010-ben zárul.

V. Az év folyamán megjelent jelentősebb publikációk, szabadalmak és más bemutatható eredmények

- [1] Orosz G., Wilson R.E., Szalai R., Stépán G.: Exciting traffic jams: Nonlinear phenomena behind traffic jam formation on highways, *Physical Review E* **80**(4), 046205 (2009)
- [2] Pálmai Z., Csernák G.: Chip formation as an oscillator during the turning process, *Journal of Sound and Vibration*, **326**, pp. 809-820, (2009)
- [3] Petrov N., Szekeres A.: Non-classical thermoelasticity, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, **39**(4), pp. 3-10, (2009)
- [4] Takács D., Orosz G., Stépán G.: Delay effects in shimmy dynamics of wheels with stretched-string like tyres, *European Journal of Mechanics Solid A* **28**, pp. 516-525, (2009).
- [5] Takács D., Stépán G.: Experiments on quasi-periodic wheel shimmy, *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics* **4**(3), (2009)
- [6] Kovács L. L.; Insperger T.; Galambos P., Stépán, G.: Experiments on the stability of digital force control of robots, in: Awrejcewicz, J. (ed.), *Modeling, Simulation and Control of Nonlinear Engineering Dynamical Systems – State-of-the-Art, Perspectives and Applications*, Springer, pp. 191-199, (2009)