

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>

2010. évi tudományos beszámoló

I. A kutatóhely fő feladatai 2010-ben

Gépek és járművek stabilitási- és rezgésvizsgálata kapcsán a marási folyamat felületi minőség és termelékenység szempontjából történő optimalizálása, valamint a járműkerek rezgéseinek analízise volt a két legfontosabb feladat. Új eredmény az adott felületi minőséghez tartozó legnagyobb termelékenységet biztosító fogásmélység számítására használható számítási módszer kísérleti ellenőrzése, és annak megmutatása, hogy hullámos élű marószerszámmal a hagyományos szerszámoknál sokkal nagyobb termelékenységet lehet elérni kisebb energiafelhasználás mellett. A gumiabroncs rezgések kapcsán a fejlesztés a korábbi eredmények valós ABS rendszerekben történő alkalmazására irányult.

A elektronikus menetstabilizáló rendszerek *számítógépes szabályozással* működnek. Ebben a témakörben a folytonos és diszkrét idejű rendszerek együttműködése során adódó jelenségek modellezése, a szabályozott, több összekapcsolt testből álló rendszerek vizsgálata és az ún. alulaktuált robotok mozgásának leírására használható algoritmus kidolgozása volt a három fő feladat. Az elméleti eredményeket egy digitális szabályozású, 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 jelenség bekövetkezése a felületi minőség drasztikus romlásához vezet a nagy deformációval járó technológiák (pl. marás) alkalmazásakor. A lefolytatott vizsgálatok ismét megerősítették, hogy a PLC hatás kialakulásában az ún. negatív rate-dependence jelenség szerepe az elsődleges a mikromechanikai hatásokkal szemben.

II. A 2010-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények. *A gépek és járművek stabilitási- és rezgésvizsgálata* témakörben a marási folyamat vizsgálata került előtérbe. Fémek megmunkálása során a két legfontosabb szempont a felületi minőség és a termelékenység. A kutatócsoportban korábban elvégzett számításokkal sikerült meghatározni a megkívánt felületi minőség mellett maximális termelékenységet biztosító optimális axiális fogásmélységet, csavart élű marószerszám alkalmazása esetén. A beszámolási évben ennek az eredménynek a kísérleti ellenőrzése és több szabadsági fokra való általánosítása történt meg. Ez az eredmény nagy gyakorlati jelentőséggel bír, hiszen könnyen alkalmazható a gyártási folyamat termelékenységének növelésére. Azokban az esetekben is korlátozott a fogásmélység, amikor a felületi minőség nem elsőrendű szempont. Túl nagy fogásmélység esetén káros rezgések alakulhatnak ki, melyek tönkretesznek a szerszámot és a szükséges teljesítmény többszörösét emésztik fel. Ilyenkor a szerszám néha kilép, majd ismét belevág az anyagba. Az eredmények szerint ez a viselkedés kaotikus is lehet, amit a tapasztalt felületi mintázatok is megerősítenek. Fontos eredmény, hogy hullámos élű marószerszámmal a hagyományos szerszámokhoz képest mélyebben és kisebb vágóteljesítménnyel lehet vágni,

káros rezgések megjelenése nélkül. A vizsgálatok részét képezte egy, a marás során fellépő rezgések frekvenciáinak meghatározására szolgáló eljárás kidolgozása és nemlineáris modell felállítása a marási folyamat pontosabb leírására. A felületi minőséget ún. élszak képződése is leronthatja. A forgácsolásra korábban felállított termomechanikai modellt kiegészítve az élszak képződését modellező egyenlettel, sikerült kimutatni kaotikus rezgések megjelenését.

Folytatódott a száraz súrlódású, harmonikusan gerjesztett lineáris oszcillátor vizsgálata olyan paramétertartományokban, ahol a tapadási és csúszási súrlódási együtthatók nem egyenlőek. Ebben az esetben olyan megoldások is megjelennek, melyek spektruma és Ljapunov-exponense egyértelműen ezek kaotikus jellegére utal. A vizsgálatok eredményei a fékberendezések fejlesztése során hasznosulhatnak.

A jelenlegi ABS és ESP rendszerek továbbfejlesztésének egyik lehetséges útja a kutatócsoport által kifejlesztett gumikerék modell azokban történő alkalmazása. A számítási idő csökkentésére a szimulációs kód C++ nyelven került implementálásra. A program eredményei összhangban vannak a mérési eredményekkel. A vizsgálatok szerint a megcsúszás figyelmen kívül hagyásával a valós időbeli szimulációk nagy biztonsággal elvégezhetők. A megcsúszásokat is figyelembe véve azonban a számítási idő sokszorosára nő.

Számítógéppel szabályozott rendszerekben gyakran folytonos és diszkrét idejű alrendszerek működnek együtt. Ehhez kapcsolódó alapkutatási irány a diszkrétizálásból adódó anticipatív jelleg, és a rendszerekben jelentkező késleltetés egymásra kifejtett hatásának vizsgálata nemlineáris dinamikai rendszerekben. Az elért eredmények szerint a stabil tartomány belsejében a késleltetés, illetve anticipatív hatás nincs lényegi befolyással a működésre, és a numerikus szimuláció érdekében elvégzett diszkrétizációnál a késleltetés akár el is tűnhet.

Az alkalmazásorientált kutatás elsősorban a sok összekapcsolt merev testből álló (multibody) rendszerek egyenletrendszerének matematikailag könnyen kezelhető felírási módszerére irányult ezen a területen. A legcélszerűbb eljárásnak a Descartes-féle koordináták alkalmazása tűnik, de ez olyan differenciál algebrai egyenletrendszer felírásával jár, melynek numerikus megoldása körülményes. A kutatócsoport tagjai összehasonlítottak három módszert a szakirodalomban megtalálható megoldási módszerek közül: a) transzformáció minimális számú koordinátára, b) projekció a kényszerek által meghatározott al térre, c) a geometriai kényszeregyenletek átalakításával közönséges differenciálegyenlet-rendszer felépítése. A tapasztalatok alapján az a) és b) módszerekkel nagyobb számítási pontosság érhető el, azonban a számítási igény jelentősen meghaladja a c) módszerét.

A 2010-ben zárult ACROBOTER projekt kapcsán került előtérbe az alulaktuált (under-actuated) robotok szabályozása, ahol nincs minden szabadsági foknak megfelelő beavatkozási lehetőség. Eddig nem létezett általános, alulaktuált rendszerekben alkalmazható számítási algoritmus. A kutatócsoportban általánosították az úgynevezett kiszámított nyomaték szabályozás módszert, és létrehoztak egy numerikus algoritmust, amely tetszőlegesen összetett rendszer esetében használható. A szabályozási algoritmus sikeresen működött az ACROBOTER projektben. A módszer további kísérleti ellenőrzése folyamatban van.

Járműalkatrészek tönkremenetelével kapcsolatban folytatódott a Portevin-Le Chatelier jelenség hátterének vizsgálata. Az eredmények azt mutatják, hogy a mikromechanikai hatásokat modellező Cottrell-Bilby-Louat egyenletnek csak a dinamikus bifurkációval kialakuló lengések frekvenciájának hangolásában van szerepe. Az instabilitás felléptében viszont az ún. negatív rate-dependence jelenség szerepe a döntő. Az anyagmodellezésben új kutatási terület a termo-mechanikai problémák vizsgálata. A kutatócsoportban feltételeket foglalmaztak meg arra vonatkozóan, hogy mikor válnak szét a termodinamikai és a mechanikai folyamatok leírására adódó egyenletek, és mikor kell ezeket kapcsolatosan tárgyalni.

b) Párbeszéd a tudomány és a társadalom között. A kutatócsoport egyik tagja Junior Prima díjat kapott Magyar Oktatás és Köznevelés kategóriában, ennek kapcsán rádióbeszélgetésen vett részt a Klub rádió Szerepvállalás c. műsorában. Egy másik kutatócsoport tag második helyezést ért el a BME Egyetemi Habilitációs Bizottság és Doktori Tanács pályázatán. Ennek kapcsán a BME honlapján közzétették a pályázati anyagot (<http://doktori.bme.hu/>), amely közérthetően bemutatja a kutatócsoport egyik kutatási területét és elért eredményeit. A kutatócsoport tagjai aktívan részt vettek a BME egyetemi nyílt napon, ahol számos középiskolás diák érdeklődését sikerült felkelteni a műszaki tudományok iránt. A Kutatók Éjszakája programsorozatban tudományos előadással vett részt a kutatócsoport, az időkésleltetett rendszerek stabilitásával igazolt fantom (látszólag ok nélküli) forgalmi dugók kialakulásáról. Ugyanez bekerült az Index hírportálon az utóbbi 10 év 10 legjelentősebb magyar tudományos eredménye közé, és az MTA honlapján is megjelent.

III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2010-ben

- *Új felsőoktatási kapcsolat:* Leibniz Egyetem Szerszámgép és Gyártástechnológia Tanszék, Hannover, Németország.
- *Nemzetközi konferenciák szervezése:* 1) IUTAM (International Union of Theoretical and Applied Mechanics) Symposium on Dynamics Modeling and Interaction Control in Virtual and Real Environments, Budapest, 2010. 2) Continuum Physics and Engineering Applications Conference, 2010, Ráckeve. 3) Thermal Stresses 2011 Congress, general chair.
- *Új ipari kapcsolat:* Ideko Technological Centre, Elgoibar, Gipuzkoa, Spanyolország.

IV. A 2010-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

Két 2010-ben benyújtott és elnyert, 2011-ben induló OTKA pályázatban vezető kutatóként illetve társ kutatóként vesz részt a kutatócsoport egy tagja. A projektek címe “Szakaszosan sima matematikai modellek a gépészmérnöki gyakorlatban” és “Kemény felületek nagy pontosságú forgácsolásának modellezése és dinamikai vizsgálata”. A kutatócsoport több tagja is részt vesz a DYNXPERS (<http://www.dynxperts.eu/>) projektben, mely 2010-ben indult 11 partner intézmény részvételével. A projekt célja olyan érzékelőkkel ellátott marófejek kifejlesztése, melyek segítenek az optimális marási paraméterek kiválasztásában.

V. A 2010-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

- Orosz G., Wilson R.E., Stépán G.: Traffic jams: dynamics and control - Introduction. *Philosophical Transactions of the Royal Society A – Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, **368**:(1928) pp. 4455-4479, (2010).
- Béda P.B.: On modeling of Portevin - Le Chatelier effect, *Materials Science Forum*, **659** pp. 367-371, (2010).
- Csernák G., Stépán G.: Digital control as source of chaotic behaviour, *International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering*, **20**(5), pp. 1365-1378, (2010).
- Dombóvári, Z., Yusuf A. & Stépán G.: The Effect of Serration on Mechanics and Stability of Milling Cutters, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **50**(6), pp. 511-520 (doi:10.1016/j.ijmachtools.2010.03.006), (2010).
- Insperger T., Kovács L.L., Galambos P. and Stépán G.: Increasing the accuracy of digital force control process using the act-and-wait concept, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, **15**(2), pp. 291-298, (2010).