

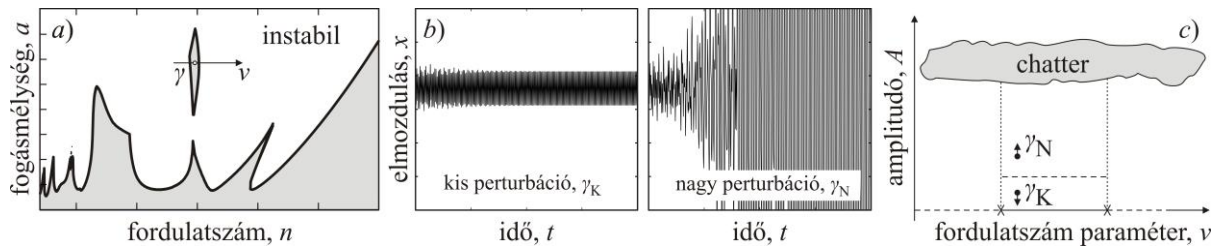
MARÁSI ELJÁRÁSOK LINEÁRIS STABILITÁSÁNAK VONZÁSI TARTOMÁNYA

Dombóvári Zoltán¹ és Stépán Gábor¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
dombovari@mm.bme.hu, stepan@mm.bme.hu

Ipari szakértők előrevetítik a negyedik ipari forradalom eljövételét a megmunkálóiparban az új kiber-fizikai rendszereknek (CPS, [1]) köszönhetően. Ez a tendencia növelni fogja a megmunkológépek automatizáltságát oly módon, hogy azok képesek lesznek felmérni és megfelelően beavatkozni, ha minőséget befolyásoló káros rezgések keletkeznek. Ebből a szempontból a nem várt rezgések megszüntetése különös jelentőséggel bír. Ehhez szükségesek olyan megbízható elméleti modellek, melyek alkalmasak megmagyarázni az ezeknél a – meglehetősen bonyolult – folyamatoknál fellépő hatásokat. Egy CPS megmunkológépnek (Ipar 4.0 [1]) rendelkeznie kell olyan eszközökkel és módszerekkel, mellyel a megmunkálás során keletkező erő-, illetve öngerjesztett rezgések csökkenthetők. Marás esetén, a forgácsoló erő nemlinearitásának és az él-átrepülés hatásának modellezése kiemelkedő fontosságúak hatékony fél-aktív és aktív megmunkálás rezgésmentesítésére alkalmas eszközök megalkotásában.

A jelen tanulmány felhívja figyelmet a marási folyamatoknál a dinamikai egyenlet linearizálásával jelentkező problémára. A marási folyamat speciális geometriai viszonyai miatt a szerszám éle „könnyen” ki tud lépni a munkadarabból a viszonylag kis geometriai forgácsvastagságnak köszönhetően [2]. Ez azt eredményezi, hogy a szerszám még lineáris erőkarakterisztika feltételezésével is máshogyan viselkedik, mint a meglehetősen idealizált szerszámél átrepülést nem tartalmazó eset. Az időbeli szimulációval kimutatható (1. ábra a) tulajdonság tulajdonképpen az átrepülés nemsima hatásából ered, mely egy vonzási tartományt generál a stabil időben periodikus stacionárius megoldás „köré”. Mivel, a rendszer szakaszosan lineáris felmerül a kérdés, hogy milyen módszerrel határozható meg a vonzási tartomány és mi befolyásolja a tulajdonságait.



1. ábra. Marás stabilitási térképe a), vonzási tartomány hatása b) és feltételezett szerkezete c).

Ennek vizsgálatára két simítással élünk, mely határhelyzetben visszaadja a szakaszosan lineáris esetet. Egyrészt a forgácsoló erő eltolt lineáris esetéhez „simuló” Endres-féle [3] erőkarakterisztikát alkalmazhatjuk (1), másrészt a marási eljárás radiális fogását modellező ablakfüggvényt simítjuk ki (1) szerint. Az Endres-féle erőfüggvény E és a simítási függvény ϵ paramétereivel határesetben megközelíthető a szakaszosan lineáris idealizált eset.

$$\mathbf{f}(h, E) = \text{col}_{j=t,r,a} K_{c,j} h + K_{e,j} (1 - e^{-E h}), \quad \tilde{g}(\varphi_i, \epsilon) = \tilde{H}(\varphi_i - \varphi_{en}, \epsilon) - \tilde{H}(\varphi_i - \varphi_{ex}, \epsilon). \quad (1)$$

Igy, az alkalmazott simítások hatására a stabilitási határon kváziperiodikus rezgés keletkezik a stacionárius pálya Hopf-bifurkációjának hatására, melyet alkalmas fél-analitikus módszerekkel követni lehet a technológiai paraméterek terében. Ezen eljárások a megfelelő ívhossz követési eljáráshoz különböző deriváltak megadását követelik meg, melynek stabilizálására az ablakfüggvényt érdemes annak négyzetével használni. Ez nem változtat az eredeti feladaton, azonban a követés kezelhetőbbé válik az összetett függvények deriválása miatt:

$$\mathbf{F}(t, \mathbf{x}_t(\theta), E, \epsilon) = -a \sum_{i=1}^Z \tilde{g}^2(\varphi_i(z, t), \epsilon) \tilde{H}(h_i(z, t, \mathbf{x}_t(\theta)), \epsilon) \mathbf{T}(\varphi_i(z, t)) \mathbf{f}(h_i(z, t, \mathbf{x}_t(\theta)), E). \quad (2)$$

Köszönetnyilvánítás: NKFI FK 124361, EU FP7 ERC Adv No 340889

HIVATKOZÁSOK

- [1] L. MONOSTORI: Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP* 17:9-13, 2014.
- [2] I. BIRO, T. SZALAY: Extension of empirical specific cutting force model for the process of fine chip-removing milling, *Int J Adv Manuf Tech* 88(9): 2735-2743, 2017.
- [3] W. J. ENDRES, M. LOO: Modeling cutting process nonlinearity for stability analysis - application to tooling selection for valve-seat machining.
- [4] J. MUNOA, Z. DOMBOVARI, I. MANCISIDOR, Y. YANG, M. ZATARAIN: Interaction between multiple modes in milling processes. *Machining Science and Technology* 17(2):165-180, 2013.