

Magnetoreológiai fluidumok ülepedésének vizsgálata

Investigation of the sedimentation characterization of magnetorheological fluids

NAGY Roland¹ (MSc), Dr. SZALAI István² (DSc)

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet
H-8900 Zalaegerszeg, Gasparich Márk u. 18/A. C. ép., www.mechatronikazeg.uni-pannon.hu
¹nagy.roland@mk.uni-pannon.hu; ²szalai@almos.uni-pannon.hu

Kivonat

Közleményünk egy magnetoreológiai (MR) fluidumok ülepedésének mérésére alkalmas mérő és adatgyűjtő rendszer alapjait mutatja be. Az MR folyadék stabilitás vizsgálata gravitációs térben történik, a diszperzió egy üvegcsőben helyezkedik el. A mérőfej folyamatosan pásztázza az üvegcső teljes hosszát, az ülepedésmérés elve a kölcsönös indukció változásán alapszik. A kész mérőrendszerrel több mérést végeztünk különböző MR folyadékokat felhasználva.

Kulcsszavak: magnetoreológiai folyadék, ülepedés, időállandó, lock-in erősítő

Abstract

This article describes a data acquisition system for the study of magnetorheological fluids (MRFs). The sedimentation characterization measuring process is observed in gravitational space, while the MRF is placed in a tube. The principle of sedimentation is based on the change of mutual induction. Several measurements on different magnetorheological fluids were performed by applying above mentioned procedure.

Keywords: magnetorheological fluid, sedimentation, time constant, lock-in amplifier

1. BEVEZETÉS

A magnetoreológiai (MR) folyadékok olyan fluidumok, amelyek külső mágneses terekben megváltoztatják viszkozitásukat. MR folyadékhoz juthatunk, ha 1 µm - 100 µm átmérőjű ferromágneses részecskéket kis mágneses permittivitású folyadékokban diszpergálunk. Ilyen anyagok például a magnetit Fe₃O₄ vagy a vaspor, amelyek a leggyakoribb MR folyadék alapanyagok. A mágneses tér hatására a diszpergált részecskéknél dipólusmomentuma indukálódik, amelynek hatására azok láncokba szerveződnek, ennek következményeként nagyságrendekkel növekszik a fluidum viszkozitása. Ezt az effektust a gépészetben és a mechatronikában többek között lengéscsillapításra, rezgéscsillapításra használják [1].

Amennyiben a részecskék szemcsemérete nem elegendően kicsi, a diszperziók idővel kiülepednek. Az ülepedést főként a részecskék és a hordozófolyadék közötti nagymértékű sűrűségkülönbség befolyásolja. A vaspor 7,9 g/cm³, a magnetit 5,17 g/cm³, míg a hordozófolyadék általában 1 g/cm³ sűrűségű [2]. Az egyes részecskékre ható gravitációs súlyerő és a felhajtóerő különbsége az alábbi módon határozható meg

$$F_A = (\rho_r - \rho_f) \frac{4}{3} \pi r^3 g \quad (1)$$

ahol ρ_r a részecske sűrűsége, ρ_f a hordozófolyadék sűrűsége, r a részecskék átlagos sugara és g a gravitációs gyorsulás.

Az Arkhimédészi erő mellett lényeges lehet még az ülepedő részecskék sebességével ellentétes irányú Stokes-féle erő:

$$F_S = -6\pi\eta r v \quad (2)$$

ahol η a folyadék viszkozitása és v a részecske ülepedési sebessége.

Az Arkhimédészi erőt a Brown-mozgás okozta erők is ellensúlyozzák, melyek a részecskék véletlenszerű mozgásából és ütközéséből keletkeznek

$$F_B = \frac{k_B T_0}{r^3} \quad (3)$$

ahol k_B a Boltzman-állandó és T_0 az abszolút hőmérséklet. Amennyiben a részecskékre ható Arkhimédészi erő, F_A nagyobb, mint a Stokes-féle erő (F_S) és a Brown-mozgásból származó erők (F_B), akkor az MR folyadék ülepedni fog [3]. A Stokes-törvény értelmében az ülepedés sebességét a hordozófolyadék viszkozitása fordított arányban befolyásolja. Egy nagy viszkozitású hordozófolyadék ugyan növeli az MR folyadék stabilitását, viszont egy rezgéscsillapító és ütéselnyelő eszköz hatásfokát csökkenti. Az ülepedés sebességét csökkenteni lehet a részecskék méretének csökkentésével, úgynevezett nanorészecskék alkalmazásával [4]. Hagyományos MR folyadékok esetén viszont az ülepedés pár óra alatt is lejátszódhat.

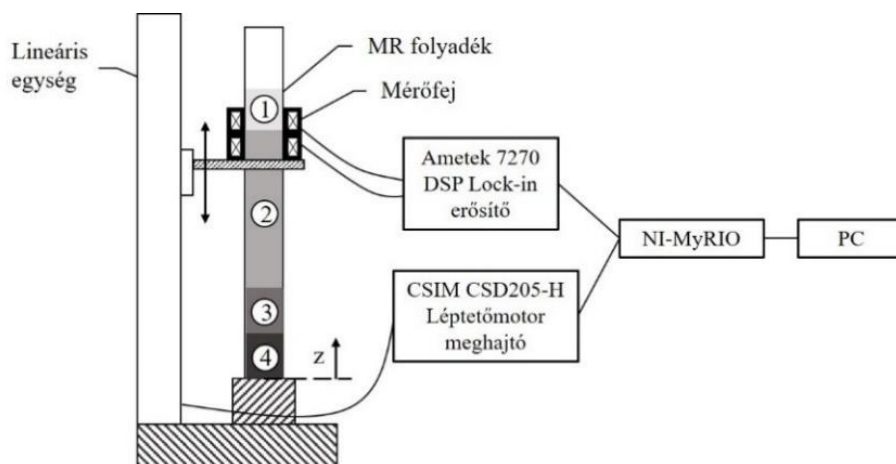
A magnetoreológiai folyadékokon alapuló aktuátorok üzemszerű működtetését gátolhatja a diszperziók ülepedés következményeként megszűnő homogenitása. Közleményünk ehhez kapcsolódóan egy MR fluidumok ülepedési sebességének mérésére alkalmas mérő és adatgyűjtő rendszer alapjait mutatja be.

2. AZ ÜLEPEDÉSVIZSGÁLÓ RENDSZER FELÉPÍTÉSE

Az MR folyadékok stabilitás-ellenőrzésének egyik módja lehet a gravitációs térben történő ülepedés vizsgálata. A magnetoreológiai folyadékot egy függőlegesen megtámasztott 4 mm belső átmérőjű, 105 cm hosszú üvegcsőbe töltjük. A szenzor szerepét egy két-darab koaxiális tekercsből álló mérőfej látja el, mely tekercsek légmagjában helyezkedik el az üvegcső. A primer tekercs impedanciája 600 Ω , míg a szekunder tekercs 100 Ω , a közöttük levő távolság 2 mm. A mérések során a folyadékoszlop teljes hossza mentén vizsgáljuk a részecskék mozgását, így a mérőfejet egy lineáris egység mozgatja az üvegcső mentén. A primer tekercs meghajtását szinuszos jelű gerjesztés adja. A tekercsek közötti csatolást a folyadékban diszpergált ferromágneses részecskék biztosítják. A folyadékoszlop tetején a részecskék ülepedésével folyamatosan változik a tekercsek kölcsönös indukciója, így a csatolási tényező értéke is. A szekunder tekercs kimenő feszültség amplitúdóváltozása így arányos az adott pontban a ferromágneses részecskék koncentrációjával. A kimenő feszültség frekvenciája megegyezik a primer tekercset gerjesztő frekvenciával [5].

A mérőfejet mozgó lineáris egység léptetőmotoros meghajtású, így a szenzor pontosan pozícionálható. Meghajtása egy CSIM CD205-H típusú léptetőmotor meghajtóval történik, a mérőfej pozíciója a lépések számából és a meghajtó felbontásából határozható meg. A primer tekercs gerjesztése és a szekunder tekercs kimenő jelének feldolgozása egy Ametek 7270 DSP lock-in erősítővel történik. A lock-in erősítő csak egyetlen adott frekvenciájú jelet erősít, így adott frekvencián zajjal fedett jelek is kimutathatók, továbbá olyan típusú méréseknél használható, amikor valamilyen fizikai rendszer válaszát kívánjuk megmérni egy kívülről betáplált jel hatására. A betáplált, vagyis referencia jel jelen esetben a primer tekercs gerjesztése, míg a válaszjel a szekunder tekercs kimenetén jelenik meg. Lényeges, hogy a válaszjel és a referenciajel frekvenciája azonos legyen [6]. A 7270 DSP típusú erősítő beépített oszcillátorral rendelkezik, így külső referencia forrásra nincs szükség. A lock-in erősítő használata előnyös, mivel a nemkívánatos elektromágneses zajokat kiszűri, továbbá a gerjesztő feszültség amplitúdója és frekvenciája állítható, így az érzékenység szempontjából az optimális értékek állíthatók be.

A léptetőmotor és lock-in erősítő vezérléséért, majd abból az adatok kiolvasásáért egy National Instruments által gyártott MyRIO fejlesztőeszköz felel, az egység LabView környezetben programozható. A MyRIO a mérési adatokat valós időben egy számítógépre továbbítja, a szekunder tekercs feszültsége mellett a mérőfej pozíciója olvasható ki. Az ülepedésvizsgáló elvi felépítése az 1. ábrán látható.



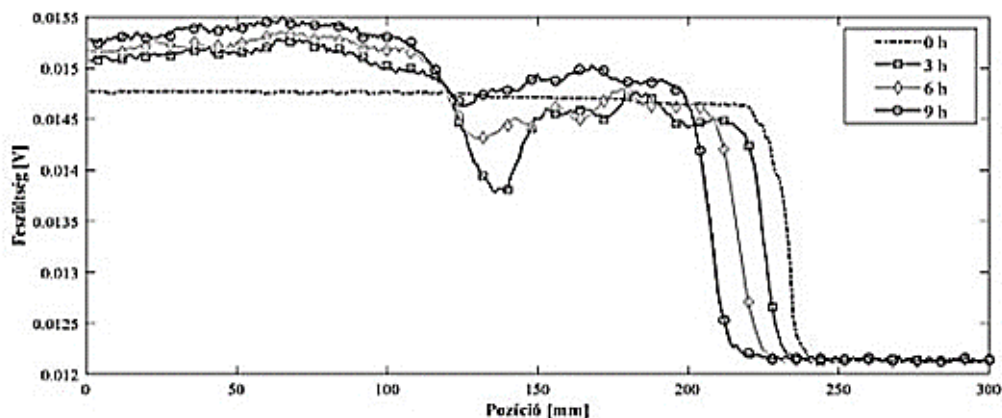
1. ábra Az ülepedésvizsgáló elvi felépítése. Az ülepedő MR-folyadékban közelítőleg az alábbi fázisok különíthetők el: ① tiszta hordozófolyadék tartomány, ② eredeti koncentrációjú tartomány, ③ változó koncentrációjú tartomány, ④ teljesen kiülepedett tartomány

A mérőfej z tengely menti pozíciója az ábrán látható alapvonalhoz van viszonyítva. Mivel az ülepedés több napot is igénybe vehet, ezért a rendszertől megköveteljük, hogy automatizált működésre legyen képes. A mérőfej függőleges irányban, a két végállás között mozogva mér és menti az adatokat a rendszer leállításáig.

Az 1. ábrán látható módon az ülepedési folyamat előrehaladtával a magnetoreológiai folyadék összetétel szerint jó közelítéssel 4 tartományra tagolódik. A részecskék leülepedésével a legfelső, 1. szakasz szinte tiszta hordozófolyadékból áll, ez a folyadék típusától függően teljesen átlátszó lehet. A 2. tartományban a részecskék koncentrációja megegyezik az eredeti, homogén állapotban betöltött MR folyadék koncentrációjával. A 3. tartományban a részecskék száma növekszik, míg a 4. tartományban található a már teljesen kiülepedett részecskék. A részecskék koncentrációja a legalsó szakaszban a legnagyobb, ezt hívják „iszap” rétegnek is. Az egyes fázishatárok az idő elteltével eltolódnak, azonban a tiszta folyadék fázis csak egy bizonyos ideig növekszik. A részecskék süllyedésével az alsó fázisokban koncentrált szuszpenzió alakul ki, a részecskék akadályozzák egymás ülepedését, míg a diszperzió sűrűsége növekszik, így az ülepedési sebesség egyre inkább csökken [7].

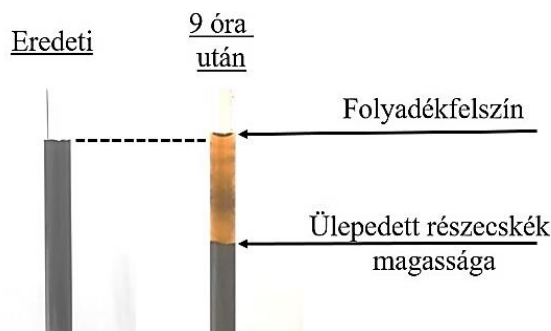
3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az ülepedésvizsgáló rendszerrel többek között egy LORD MRF-122FG típusú kereskedelmi forgalomban kapható magnetoreológiai folyadék ülepedését vizsgáltuk. A diszperzió viszkozitása 0,042 Pa-s, sűrűsége 2,38 g/cm³. A szilikonolaj hordozófolyadékban található részecskék mérete átlagosan 6 – 10 μm. Az MR folyadékot 300 mm magasságig töltöttük az üvegcsőbe. A mintát 24 óráig figyeltük, viszont ülepedés csak a betöltéstől számított 9 óra elteltéig volt tapasztalható. A 3 órás időközzel mért adatokat a 2. ábrán ábrázoltuk.



2. ábra A szekunder tekercs kimenő feszültsége a magasság függvényében

Az első adatsor a betöltés utáni állapotot ábrázolja, ekkor láthatóan a részecske koncentráció állandó volt a folyadékoszlop mentén. A 3 és 6 óra után mért adatsoron látható, hogy a részecskeoszlop teljes magassága egyre lejjebb süllyed, míg alább folyamatosan alakulnak ki a különböző koncentrációjú fázisok. A betöltés után 9 órával a részecskéket tartalmazó szakasz összesen körülbelül 30 mm-t süllyedt. A folyadékoszlop alsóbb szakaszain jól elkülöníthetően kialakultak az egyes fázisok; 0 - 100 mm magasságig a leülepedett, sűrűsödött fázis, 100 – 150 mm magasságig a változó koncentrációjú fázis, míg 150 mm és 200 mm között az eredeti koncentrációjú fázis látható. A 3. ábrán látható a magnetoreológiai folyadék betöltés utáni és a teljes kiülepedést követő, vizuálisan megfigyelhető állapota. Az ábrán látottak alátámasztják a mérési adatokat, miszerint a részecskeoszlop teljes magassága összesen körülbelül 30 mm-t süllyedt. Az ülepedést követően megfigyelhető a folyadékoszlop tetejére emelkedett hordozófolyadék.



3. ábra A magnetoreológiai folyadék betöltés utáni és leülepedett állapota

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során összeállítottunk egy magnetoreológiai folyadékok ülepedési sebességének mérésére alkalmas mérőrendszert. A rendszer automatizált működésre képes, így segítségével több napos mérések is elvégezhetők. További előny, hogy a mérőfej az 1 méter hosszú üvegcső teljes hosszán képes mérni, így a folyadékoszlop minden szakasza vizsgálható. Az elkészült rendszerrel egy Lord típusú, kereskedelmi forgalomban kapható magnetoreológiai folyadékkal végeztünk méréseket. Az adatsorokat tartalmazó ábrán megfigyelhető a részecskék folyamatos ülepedése, a felső tartomány egyre lejjebb való tolodása.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. EFOP-3.6.2-16-2017-00002

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] G. T. Ngatu, N. M. Wereley: Viscometric and Sedimentation Characterization of Bidisperse Magnetorheological Fluids, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS 43(6), 2007.
- [2] L. Xie, Y. T. Choi, C. R. Liao, N. M. Wereley: Characterization of stratification for an opaque highly stable magnetorheological fluid using vertical axis inductance monitoring system, Journal of Applied Physics, AIP Publishing 117, 2015.
- [3] Jönkkäri I.: Rheological Characterization of Magnetorheological Fluids, Tampere University of Technology Publication 1566, 2018.
- [4] R. C. Bell, D. Zimmerman, N. M. Wereley: Impact of Nanowires on the Properties of Magnetorheological Fluids and Elastomer Composites, The Pennsylvania State University, ResearchGate, 2014.
- [5] A. Zsuffa: Abszolút lineáris útmérők, Q-Tech Mérnöki Szolgáltató, Magyar Elektronika, 2005.
- [6] M. Berta: A lock-in elv; mérés számítógépes lock-in erősítővel, <https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/lockin.pdf>.
- [7] B. Simándi, E. Székely: Ülepítés, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, BME, http://vebi.kkft.bme.hu/hallgatoi/ulepites_szures.pdf.