XVI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2011. március 24–25.

EFCE SZABVÁNYNAK MEGFELELŐ NYÍRÓKÉSZÜLÉK TERVEZÉSE SZEMCSEHALMAZOK MIKRO-MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK MEGHATÁROZÁSÁRA

HORVÁTH Roland, dr. KEPPLER István

Abstract

From the mechanical point of view, two different type of material model can be established: the whole assembly, modelled as a continuum (continuum model) or solving the equation system consisting of the distinct grain particles' kinetic equations. This paper represents the design of equipment for granular assemblies' shear test and the determination of the material parameters of the sample's discrete element model by comparing the results of the shear test with the DEM model.

Key words:

granular assemblies, shear cell, EFCE, discrete element method

Összefoglalás

Szemcsehalmozok mechanikai tulajdonságait kétféleképpen modellezhetjük: a halmazt folytonos közegnek tekintve (kontinuum modell) vagy az egyes szemcsék mozgásegyenletét külön-külön felírva és ezt az egyenlet-rendszert megoldva (diszkrét elemes modell). Dolgozatunkban egy szemcsehalmoz nyírókísérletének elvégzésére alkalmas készüléket terveztünk és a nyíróvizsgálat eredményeit hasonlítjuk össze a kísérlet diszkrét elemes (DEM) modelljével, annak érdekében, hogy az anyagminta DEM modelljének anyagi paramétereit meghatározzuk.

Kulcsszavak:

szemcsehalmoz, nyírókészülék, EFCE, diszkrét elemek módszere

1. Bevezetés

A mérnöki gyakorlatban számos területen [1] (mezőgazdaság, gyógyszeripar, építőiparban) találkozunk olyan problémákkal, melyben valamilyen szemcsehalmoz tárolására, kezelésére van szükség. Az ilyen esetekben elengedhetetlen a szemcsehalmozok mechanikai tulajdonságainak ismerete.

Jelen munka a szemcsehalmozok mechanikai tulajdonságainak vizsgálatáról, és a vizsgálatra használt nyírókészülék tervezéséről szól. Célunk az, hogy kapcsolatot teremtsünk egy adott anyag szemcséinek tulajdonságai (mikro jellemzők: az egyes szemcsék közötti kapcsolatot meghatározó fizikai jellemzők) és az egész szemcsehalmoz, mint kontinuum tulajdonságai (makro jellemzők) között. Amennyiben az elvégzett nyírókísérletekből kapott és a DEM (Diszkrét Elemes Modell) szimulációk eredményeképpen meghatározott tönkremeneteli határgörbék jól közelítenek, akkor feltételezhetjük, hogy a szimuláció során használt paraméterek a halmaz elméleti mikro-mechanikai paraméterei.

2. Nyírókísérlet

A nyírókísérlet során meghatározott mennyiségek (a belső súrlódás és a kohézió) a szemcsehalmozok tönkremeneteli jellemzői, és feltételezzük, hogy az anyaghalmoz tulajdonságait legnagyobb mértékben ezek a jellemzők határozzák meg.

A nyírás folyamán a készülék nyírótégelyébe ömlesztett szemcsehalmozot egy normál irányú erővel (F_N) elő kell terhelni, majd elvégezni a nyírást (F_T), ahogy ez a 3. ábrán is látható. Az elméleti nyírási diagram az 1. ábrán látható. Törekedni kell a 2. számú görbe (kritikus tömörítettség) kialakulására. A vizsgálatot több előterheléssel kell elvégezni. A kapott előterhelő és nyíróerőket a nyírási felület méretétől való függetlenség érdekében normál- és nyírófeszültségekké kell átszámolni. A feszültségekhez tartozó Mohr-köröket egy diagramban ábrázolva, és ezekre burkológörbét fektetve meghatározható a szemcsehalmoz tönkremeneteli határgörbéje (lásd a 2. ábrán).

1. ábra Ideális nyíróerő – elmozdulás diagram [3]

2. ábra Tönkremeneteli határgörbe [3]

A 2. ábrán látható burkológörbét (YL) a gyakorlatban egyenessel közelítjük [2]. Az egyenes meredeksége megadja a szemcsehalmoz *belső súrlódási szög* tangensét, függőleges tengelymetszete pedig a *kohézió* értékét. Az előzőekben leírt nyíróvizsgálat elvégzésének és kiértékelésének részletes módszerét az EFCE SSTT [3] szabványa tartalmazza.

3. Szabványos automatizált nyírókészülék tervezése

A vizsgálatok módszerén felül a nyírókészülék kialakítását is rögzíti a szabvány, ezért a hiteles mérési eredmények érdekében szükség volt egy – a szabványnak megfelelő – nyírókészülék megtervezésére és legyártására.

A megtervezett berendezés kompakt kialakítású. A megtervezett nyírókészülék 3D-s modellje a 3. ábrán látható. A készüléket meghajtó fokozatmentesen vezérelt léptetőmotor (a) forgómozgását egy fogaskerék (b) és egy menetes orsó alakítja át transzlációs mozgássá. A nyíróerő egy erőmérő cellán (c) keresztül jut el a szemcsehalmozot tartalmazó alumínium nyírótégelyig (d). A tégelyt pozicionáló szán egy golyósoron gördül, ezzel is csökkentve a súrlódásból származó hibákat. A változtatható előterhelő erőt egy arányos nyomásszabályozó szeleppel vezérelt egyszeres működésű pneumatikus munkahen-

ger (e) fejt ki a szemcsehalmozra. A készülék vezérlése és a mérő-adatgyűjtési feladat, egy National Instruments mérőkártyán keresztül, számítógépes felületen, LabView 2009 szoftverrel történt.

3. ábra A nyírókészülék 3D-s modellje

4. Diszkrét elemes modell

A diszkrét elemes modellek minden esetben véges számú elemből (szemcséből) és a közöttük kialakuló kapcsolatokból állnak [4].

A diszkrét elemes modell vizsgálata során az egyes szemcsék mechanikai tulajdonságait és mozgásjellemzőit külön-külön figyelemmel kell kísérni. Tömeggel rendelkeznek, és egymással kölcsönhatásba lépve erők és nyomatékok ébrednek közöttük. A szemcsék száma a vizsgálat során több százazres nagyságrendű, és minden egyes időpillanatban a halmaz minden egyes elemére fel kell írni a lendület és a perdülettételt, és numerikus módszerrel megoldani ezeket. Ehhez az EDEM nevű diszkrét elemes módszert alkalmazó programban elkészítettem a nyírt szemcsehalmoz számítógépes modelljét, és el végeztem a nyíróvizsgálat szimulációját.

A szimuláció helyes lefutásához a modell számos paraméterének értékét meg kell adnom, ezek képezik a szemcsehalmoz diszkrét elemes modelljének „mikro” jellemzőit, melyek a következők: kohézió, belső súrlódási szög, rugalmassági modulus, poisson tényező, sűrűség, ütközési tényező, súrlódási tényező és gördülési tényező.

5. Eredmények

A nyírókísérletekből kapott mérési pontok helyességét statisztikai módszerrel ellenőriztem, majd a kísérleti módszernek megfelelően diagramban ábrázoltam őket. A pontokra egy egyenest illesztettem, (4. ábra) és számszerűleg meghatároztam a belső súrlódási szög és a kohézió értékét.

A DEM szimulációval meghatározott mérési pontokat ábrázoltam a nyíróvizsgálat eredményeit tartalmazó diagramban. Addig változtattam a DEM modellben szereplő 8 paraméter értékét, amíg a szimulációból kapott mérési pontok jól nem illeszkednek a nyírókísérlettel meghatározott egyenesre (lásd a

4. ábrán).

4. ábra A nyíróvizsgálat eredménye

Összefoglalás

Szemcsés anyaghalmozok diszkrét elemes modelljének gyakorlati alkalmazásához meg kell adnunk a modellhez tartozó mikro-paraméterek értékeit.

Ezen mikro-paraméterek meghatározására fejlesztettünk ki egy módszert és egy automatizált nyírókészüléket, amely a szemcsehalmozok nyírókísérletének és annak diszkrét elemes modelljének összehasonlításával teszi lehetővé a mikro-paraméterek meghatározását.

További vizsgálatot igényel a paraméterérzékenység elemzése valamint a kapott eredmények egyértelműségének vizsgálata más kísérletekkel (pl.: triaxiális vizsgálat) modellezésével.

Irodalom

- [1] Sitkei György: *A mezőgazdasági anyagok mechanikája*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- [2] Dr. M. Csizmadia Béla: *Sajátos anyagmodellek alkalmazása a mezőgépezésben*, FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 2009
- [3] IChemE, EFCE: *Standard shear testing technique for particulate solids using the Jenike shear cell (SSTT)*. Rugby, Warwickshire, UK (1989), ISBN-0-85295-232-5
- [4] Bagi Katalin: *A diszkrét elemek módszere*, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, 2007

Köszönetnyilvánítás:

A cikket a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.

Horváth Roland, egyetemi hallgató

Munkahely: Szent István Egyetem
 Gépészmérnöki Kar
 Cím: H-2100, Gödöllő, Páter Károly u. 1.
 Tel: +36-28-522080
 E-mail: roland.horvath@hotmail.com

Dr. Keppler István, egyetemi docens, tanszék-vezető

Munkahely: Szent István Egyetem
 Gépészmérnöki Kar
 Cím: H-2100, Gödöllő, Páter Károly u. 1.
 Tel: +36-28-522080
 E-mail: keppler.istvan@gek.szie.hu