Bírálat

Szabó Zsolt

Mágneses anyagok és elektromágneses metaanyagok modellezése és mérnöki alkalmazásai

c. doktori értekezéséről

A mikro- és nanotechnológia fejlődésével kis méretű, összetett geometriával rendelkező szerkezetek hozhatók létre, amelyek elektromágneses tulajdonságai a strukturálás következményeképpen alakulnak ki, és ezekkel a mesterséges anyagokkal különleges elektromágneses viselkedés is kialakítható. Ezeknek a különleges tulajdonságú metaanyagoknak és metafelületeknek számos alkalmazási lehetőségük van, és mindegyik alkalmazás esetén alapkérdés, hogy a megkívánt elektromágneses tulajdonság milyen geometriájú és összetételű metaanyaggal érhető el. Emiatt folyamatos az igény a meglevő szimulációs környezet fejlesztésére, és annak újabb anyagmodellekkel való bővítésére. Ennek alapján elmondható, hogy a szerző témaválasztása nagyon korszerű, és eredményei alapján napjaink technológiáját jelentős mértékben befolyásolni képes tudás birtokába jutunk.

A célkitűzések jól és egyértelműen vannak megfogalmazva, a dolgozat felépítése logikus és jól követhető. A nagyon alapos, és bőséges irodalmi hivatkozással alátámasztott bevezető részben a szerző áttekinti a kutatás előzményeit, tárgyalja az elektromágneses anyagok, kompozitok és metaanyagok modellezéséhez szükséges alapismereteket. A hivatkozások igen gondosan vannak összeválogatva, és bőségesen elegendő alapot szolgáltatnak a munka irodalmi hátterének bemutatásához. A munka egyik nagy érdemének (természetesen a saját eredmények ismertetésén túl) tartom ezt a gondos, és szinte minden részletre kiterjedő válogatást, aminek alapján igen jól nyomon követhetők a vizsgált jelenségek.

A következő – a dolgozat lényegét képező – fejezetekben pedig részletesen kifejti a saját munkáját, és megalapozza a tézisek megfogalmazásához vezető eredményeket. Ezek a fejezetek is egy bevezető résszel kezdődnek, ahol ismét csak irodalmi hivatkozások alapján történik az adott – immár szűkebb – tématerület ismertetése. Ily módon bizonyos fokig keverednek az irodalmi ismeretek és a szerző saját eredményei. Ez a mű olvasmányosságát feltétlenül elősegíti, de a bíráló dolgát nem könnyíti meg, hogy szétválassza a már ismert dolgokat az új eredményektől. Viszont a fejezetek végén megtalálhatók a tézisek, amik egyértelművé teszik az új eredményeket.

Két fó tématerület rajzolódik ki az értekezésben. Az egyik a mágneses hiszterézist leíró Preisach modellel kapcsolatos. Ez a modell, annak dacára, hogy sok évtizeddel ezelőtt keletkezett, a hiszterézis jelenséget leíró modellek közül a legtöbbet hivatkozott, nagyon sok területen továbbfejlesztett, és a leginkább használható modell. Irodalma hatalmas. Ennek ellenére Szabó Zsoltnak sikerült új eredményekkel gazdagítani ezt a területet, és eredményei hasznosak lehetnek a ferromágneses anyagok (sokszor nagyon bonyolult) viselkedésének megértésében. A bíráló, személyes érdeklődésének megfelelően, nagy érdemnek tartja, hogy kísérleti adatokkal való összevetés is történt, és ennek alapján

következtetéseket vont le a szerző, pl. a fázisátalakulás során bekövetkező domináns kölcsönhatásra. Ez az értékes és fontos munka alapvetően üdvözlendő a mágneses kutatások szerény hazai palettáján.

A másik fő tématerület az elektromágneses metaanyagok modellezése. Ez egy új, a legkorszerűbb technikán alapuló, és nagyon előremutató terület, rengeteg majdani gyakorlati alkalmazás ígéretével, és amely folyamatos igényt generál a szimulációs környezet fejlesztésére és annak újabb anyagmodellekkel való bővítésére. A szerző igen értékes és dícséretes munkát végzett, több alkalmazási lehetőséget is modellezett, amelyek mindegyike igen fontos lehet a gyakorlatban (metaanyag lencsék tervezése, diffrakciós határ alatti képalkotás meta-kompozitokkal, elektromos elrejtés metaanyagokkal).

Az egész értekezés magas esztétikai kivitelű, igényesen összeállított, jól olvasható munka. Formai kritikai észrevétel szinte nem is tehető. Egyet azért megemlítek: az ábrák aláírásánál zavaró, hogy az „ábra" szó következetesen nagy betűvel kezdődik.

Megjegyzendő még, hogy igen gondos munka a mellékletek összeállítása, és nagyban segíti a részletek iránt mélyebben érdeklődő olvasó kíváncsiságának kielégítését, anélkül, hogy széttördelné a „fő" szöveg folyamatát.

Néhány észrevételt, illetve kérdést szeretnék fűzni a munkához:

3.3 fejezet: A szerző a Lorentz és a Gauss típusú egydimenziós eloszlásokat tárgyalja, illetve hasonlítja össze. Az 1. és a 2. táblázatban megadja az eloszlás paramétereit a kétféle esetre. Mint látható, jelentős különbség adódik a kétféle eloszlás esetén. Ugyanakkor a 22. ábrán összehasonlítja a számított és a mért hiszterézis görbéket a Lorentz és a Gauss eloszlás esetén. A két görbesereg (22/a és 22/b ábra) jószerivel nem megkülönböztethető egymástól. Jó lett volna, ha a szerző értelmezi ezt a valódi vagy látszólagos ellentmondást.

20. ábra: Hogyan lehetséges, hogy egy teljesen símának látszó függvény (20/b ábra) mumerikus differenciálásával kapott függvény (dimanikus permeabilitás) lokális maximumot és minimumokat mutat? Másképpen fogalmazva: miért tűnnek elő a mérési hibák (ha valóban erről van szó) a numerikus differenciálás következtében?

24. ábra: Nem világos, hogy a (b) ábra pontosan hogyan keletkezett. Az egyértelmű, hogy ez a valóságos alhurkokat mutatja be, amit a szerző összehasonlít a Preisach modell által generált alhurkokkal, de az nem látszik, hogy hogyan lettek mérve. Az ábra alapján nem könnyű eldönteni, inkább hit kérdése, hogy a méréssel kapott alhurkok valóban kongruensek-e.

3.5. fejezet: A fejezet érdekes és fontos eredményt tartalmaz: FINEMET mágneses kompozit anyagon elvégzett kísérleti adatokra alapozva, a megfelelő Preisach függvények összehasonlításával következtetni lehet a domináns kölcsönhatásra a fázisátalakulások során. Azonban úgy vélem, hogy az itt ismertetett eredmények nem kellően alapozzák meg az 1.2 tézispontban összegzett állítást. Ugyanis a szerző egy mérési sorozat eredményét mutatja be, ami az anyag hiszterézis görbéjének változását írja le a hőmérséklet függvényében 10 Hz-es frekvencián felvett mérésekre alapozva, és ezekből számolja a Preisach függvényeket. De a mért hiszterézis görbe nagyon nagy mértékben függ a mérés során alkalmazott frekvenciától, viszont a Preisach függvény számításánál nem esik szó a mágneses tér változásának sebességéről. Természetesen, ha ott is a megfelelő frekvencián a dinamikus hiszterézis modell alapján számolt, akkor ez a megjegyzés okafogyott, de azért legalább meg kellett volna említeni a dolgozatban. De még így érdekes lett volna látni, hogy ha különböző frekvenciákon történik a mérés és a szimuláció, hatással van-e ez a végső következtetésre.

Másik, apró megjegyzésem ehhez a ponthoz, hogy ha a mérések a szobahőmérséklettől 600 °C-ig terjedő tartományban történtek, miért nincs adat a 460 °C feletti hőkezelés feletti tartományból?

32. ábra: Kis ellentmondás látszik az ábra magyarázatánál. Egyrészt azt állítja a szerző, hogy „A két módszer ugyanazt a mágneses erőt eredményezi", ugyanakkor kicsit később azt írja, hogy „a pozitív *z* irányba és a negatív *z* irányba való elmozdulás esetén egy adott pozíciónál a mágneses erők különbözhetnek". Az ábrán elég jelentős eltérés látható a csúcsok közelében.

33. ábra: Jó lett volna magyarázni, mi a különbség az (a), (b) és (c) ábrák között.

Az elektromágneses metaanyagok modellezése és mérnöki alkalmazásai c. fejezethez kapcsolódó kérdésem: A modellezés sok újat tett hozzá a tudásunkhoz, de a tényleges mérnöki alkalmazások területén némi hiányérzetem van. Hasznos lett volna, ha a szerző legalább felvillant néhány *konkrét* példát, hogy lehet a gyakorlatba átültetni a modellezés során kapott eredményeket, mik lehetnek az első tényleges alkalmazások.

A fenti, nem igazán fajsúlyos észrevételek, kritikai megjegyzések nem mondanak ellent annak, hogy a dolgozatban vázolt munkát értékesnek, fontosnak és nagyon előremutatónak tartom. Az értekezés igen sok, értékes és jól feldolgozott eredményt tartalmaz. Továbbá szép példája annak, hogy egy magas szinten elvégzett szimuláció eredményei mennyire fontosak lehetnek a gyakorlati alkalmazások területén.

A tézisekben megfogalmazott eredményeket új tudományos eredménynek ismerem el. Az abban foglaltakat bizonyítottnak látom a dolgozat alapján.

Összefoglalva tehát megállapítható, hogy Szabó Zsolt a benyújtott akadémiai doktori értekezéssel, a hozzácsatolt tézisfüzettel és a nagyszámú, idegen nyelvű, nívós folyóiratban történt publikációval igazolta jelentős hozzájárulását az elektromágneses anyagok modellezéséhez. Ezért a doktori cím megadására szóló kérelem elfogadását és az akadémiai doktori értekezés védésének kitűzését javaslom.

Sikeres védés esetén javaslom az Akadémia doktora cím odaítélését.

Budapest, 2018. május 17.

Vértesy Gábor
az MTA doktora