

Ferrofluid, magnetická kapalina

P. Bouř*, A. Fenčak, E. Málková, O. Novák**, P. Nykl, M. Šebek
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
*bourpetr@fjfi.cvut.cz, **novakon@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Cílem tohoto textu je seznámení čtenáře s magnetickou kapalinou - ferrofluidem, s jeho vlastnostmi, praktickým využitím a zásadami bezpečnosti při manipulaci. Dále pak text podává analýzu vyzkoušených, úspěšných i neúspěšných, výrobních postupů. Úspěšně vyrobený ferrofluid, jenž přesvědčivě demonstroval magnetické pole, byl namíchán z běžně dostupných chemikálií. Následuje tedy popis několika experimentů, které byly s vyrobeným ferrofluidem provedeny.

1 Úvod

Téma ferrofluid jsme si vybrali kvůli možnosti efektně, prostorově demonstrovat magnetické pole. To se také stalo naším hlavním cílem. Dále jsme chtěli na fyzikálním semináři předvést neobvyklou věc – kapalinu s magnetickými vlastnostmi. Dnešní cena profesionálně vyrobeného, stabilního ferrofluidu, dostupného v malém množství se pohybuje okolo 300,- Kč za 10ml. I přes excelentní vlastnosti komerčně nabízených produktů jsme se rozhodli vyrobit si vlastní kapalinu. Právě v tom tkví přidaná hodnota naší práce. Pokud chce čtenář začít s výrobou, měl by si uvědomit, že celý proces optimalizace naší výroby trval přibližně 30 hodin čistého času.

2 Tekutý magnet

Pojmem ferrofluid označujeme speciální kapalinu, která je vždy přitahována k permanentnímu magnetu. Navenek se tedy jedná o měkce magnetickou látku. Co se však vnitřní struktury týče, je to stabilní koloidální suspenze magnetických nanočástic vázaná v tekutém nosiči, rozpouštědle. Proto lze ferrofluid označit i jako tekutý magnet.

Aby měl ferrofluid ideální vlastnosti pro technické využití, musí mít nanočástice velikost průměru asi 10 nanometrů. Pouhým okem je tedy nemůžeme spatřit. Kdyby byly ještě menší, přestaly by již mít magnetické vlastnosti. Nanočástice jsou většinou z magnetitu (Fe_3O_4), nebo z hematitu (Fe_2O_3). Aby nanočástice neshlukovaly ve větší, je klíčové zamezit kontaktu mezi nimi [1]. Každá nanočástice je obalena povrchově aktivní látkou. Ta kolem ní vytváří kladný elektrický náboj. Tím pádem se všechny nanočástice odpuzují a brání se tak jejich shlukování.

Volný pohyb nanočástic je zajištěn rozpouštědlem. Protože se v něm povrchově aktivní látka snadno rozpustí, zůstává celý ferrofluid homogenní. Takže rozpouštědlo také zamezuje usazení nanočástic vlivem gravitace nebo zhuštění nanočástic působením magnetického pole.

Každá nanočástice v nosiči má náhodný, malý magnetický moment a je elektrostaticky odpuzována od jiných. Magnetické momenty nanočástic se tedy navenek nijak neprojevují a ferrofluid se chová jako kapalina. V přítomnosti magnetického pole se ovšem nanočástice téměř okamžitě uspořádají podél indukčních čar podle svých magnetických momentů. Na výsledný tvar ferrofluidu má vliv ještě povrchové napětí kapaliny a relativně slabá tíhová síla.

3 Praktické využití

Technické využití ferrofluidu je v souhrnu založeno zejména na následujících vlastnostech: Ferrofluid se přesouvá do míst, kde působí nejsilnější magnetická indukce. Dále využíváme toho, že ferrofluid při určitých frekvencích absorbuje elektromagnetickou energii a zahřívá se. Jako posledním směrodatným jmenujme změnu fyzikálních vlastností ferrofluidu po jeho vystavení magnetickému poli. Složení průmyslově vyráběných ferrofluidů se samozřejmě liší dle jejich použití [2].

Konkrétně se tedy ferrofluid dá použít jako mazání a těsnění ložisek hřídelí nebo při strojním obrábění jako chladicí suspenze. Rozšířené je užití na chlazení kmitacích cívek některých reproduktorů pro střední a vysoké kmitočty.

4 Bezpečnost práce

Při výrobě ferrofluidu používáme toxických látek. Užíváme všech dostupných bezpečnostních prostředků k ochraně zdraví i majetku. Pokud se jedná o postup výroby se čpavkem, provádíme ji v dobře odvětraných prostorech. Dáváme pozor na exotermickou reakci při liti roztoku FeCl_3 a FeCl_2 do roztoku čpavku.

Z hlediska bezpečnosti práce při experimentech je důležité vědět, jak s ferrofluidem zacházet. Dodržováním bezpečnostních zásad předejdeme poškození materiálu či ohrožení zdraví.

Ferrofluid permanentně špiní, proto je nutno provádět manipulaci nad zajištěným prostorem (lavor, igelit, ...) a používat ochranné oblečení, rukavice a brýle. Potřísněnou plochu vždy nejlépe utřeme papírovými ubrousky.

Ferrofluid je toxický, proto zabraňujeme požření, styku s pokožkou a úniku do životního prostředí. Pokud máme ferrofluid založený například na petrolejové bázi, může se vypařovat, a tak jej udržujeme v uzavřených nádobách. V petrolejové bázi může být také hořlavý.

Nikdy nepřiblížíme magnet přímo k ferrofluidu. Magnet by se jím obalil. Magnet potřísněný ferrofluidem omyjeme a oťřeme papírovým ubrouskem. K potřísněnému magnetu nepřiblížíme jiný magnet. Oba magnety by se přitáhly, srazily a ferrofluid by se nárazem rozlétl všude kolem.

5 Výrobní postup s tonerem

Výhodou tohoto postupu byla velice jednoduchá výroba. Stačilo nám pouze sehnat magnetický toner a kvalitní olivový olej extra virgin. Jednoduše jsme důkladně smíchali 50 ml prášku toneru s 30 ml oleje. Takto měl vzniknout ferrofluid. Částice nebyly nijak chemicky vázány, jednalo se pouze čistě o suspenzi. Tato kapalina tedy nabyla stabilní a časem by se částice shlukovaly dohromady.

Produkt sice reagoval na magnetické pole, ale nenaplnil všechny cíle. Ferrofluid byl magnetem přitahován, ovšem nikde nevznikly výběžky, kapalina se nad magnetem pouze vyboulila.

6 Výrobní postup se čpavkem

K úspěšné výrobě stačily suroviny běžně dostupné v domácnosti či zakoupené v obchodech jako je drogerie, barvy-laky nebo železářství. Jmenovitě: leptací roztok

na plošné spoje (30-50 % FeCl_3), brusná ocelová vlna, destilovaná voda, 25% čpavková voda, kyselina olejová (55-80 % v kvalitním olivovém oleji extra virgin), petrolej. Jako povrchově aktivní látka nám posloužila kyselina olejová, která je rozpustná v petroleji.

Postupovali jsme podle návodu [3]. Nejprve jsme naředili 10 ml leptacího roztoku 10 ml destilované vody. Do roztoku jsme rozmíchali kousek ocelové vlny tak, aby byla vlna zcela ponořená. FeCl_3 se tím redukoval na FeCl_2 . Nechali jsme reakci probíhat cca 5 hodin dokud se barva roztoku nezměnila na světle zelenou. Bylo důležité nechat roztok bez přístupu vzduchu, protože FeCl_2 velmi rychle oxiduje zpět na FeCl_3 . Následně jsme roztok přefiltrovali přes filtrační papírek. Přefiltrovali jsme i 20 ml leptacího roztoku.

Oba roztoky jsme smíchali. FeCl_3 ku FeCl_2 byl tedy v poměru 2:1. Pomalu jsme roztok nalili za stálého míchání do 150 ml čpavkové vody. Komplexní chemickou reakcí vznikly nanočástice magnetitu. Poté jsme vše zahřáli téměř k varu. Přidali jsme 5 ml olivového oleje a stále důkladně míchali. Kyselina olejová reagovala s amoniakem za vzniku oleanu ammonného. Ten se působením tepla rozkládal. Oleanový ion se vázal na magnetit a měnil se zpět na kyselinu olejovou. Amoniak unikal jako plyn. Nanočástice se tedy postupně obalily povrchově aktivní látkou. Zahřívání jsme roztok dokud nezmizel zápach amoniaku. Po hodině a půl míchání a zahřívání jsme nechali roztok vychladnout.

Nakonec jsme do roztoku vmíchali 100 ml petroleje. Kyselina olejová, v níž byl vázán magnetit, se rozpustila v petroleji. Vše jsme nechali usadit. Petrolej je lehčí než voda, takže se dole vytvořila vrstva vody, nahoře zůstala vrstva petroleje s magnetitem – kýžený ferrofluid. Horní vrstvu stačilo jen odlít. Abychom však znovu vrstvy nesmíchali, stočili jsme s rezervou horní vrstvu plastovou hadičkou.

Takto vyrobený ferrofluid však neměl požadované vlastnosti. Mimo magnetické pole se choval jako kapalina. Avšak na přítomnost magnetického pole reagoval pouze vyboulením, netvořil výstupky. Proto jsme usoudili, že jeho složení není optimální. Potřebovali jsme, aby obsahoval jen magnetické nanočástice obalené v kyselině olejové, jež byla rozpuštěná v petroleji. Tedy jsme chtěli získat jenom magnetickou hmotu. Experimentálně jsme proto ferrofluid propláchl destilovanou vodou, vychytili jsme ho pomocí magnetu na stěnu sklenice a zbytek okolní tekutiny jsme vylili. Tuto „očistu“ produktu jsme provedli šestkrát. Poté se již výstupky objevily.

Cíl jsme tedy splnili. Vyrobili jsme ferrofluid s požadovanými vlastnostmi. Mimo magnetické pole se choval jako kapalina, při jeho působení svými výběžky „zobrazoval“ magnetické siločáry.

7 Experimenty

Všechny experimenty jsme prováděli s ferrofluidem na bázi petroleje. Nejdůležitějším experimentem bylo působení magnetického pole na ferrofluid. Ferrofluid se nakumuloval co nejbližší magnetu a vytvořil jakési hroty ve směru magnetických siločar.

Ferrofluid totiž zaujme tvar s nejmenší energií. To se projeví v místech s největší magnetickou indukcí vznikem jakýchsi výstupků až špiček a prohlubní. Takový proces demonstruje přítomnost a tvar magnetického pole.

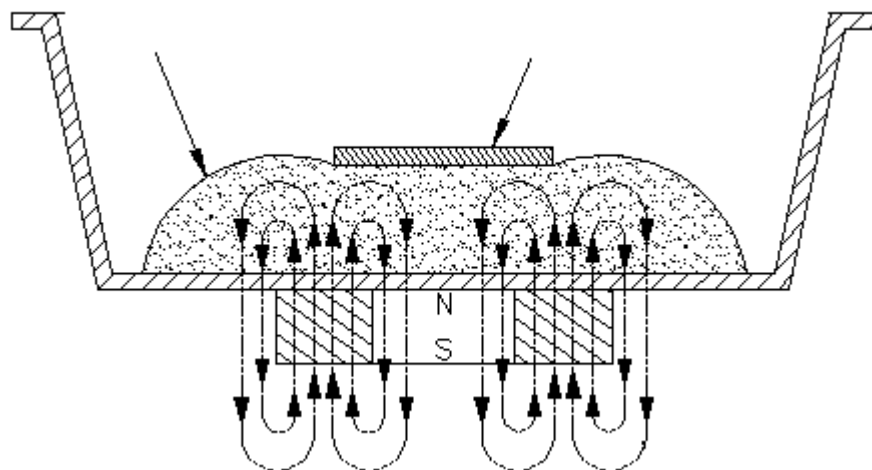
Při dalším experimentu jsme provedli ukázkou čištění ferrofluidu v destilované vodě viz sekce 6 *Výrobní postup se čpavkem*. Smíchali jsme malé množství ferrofluidu s destilovanou vodou. Výsledná směs byla zakalená. Přiložili jsme tedy na stěnu sklenice magnet. Pozorovali jsme, jak se postupně všechny magnetické nanočástice přitahují k magnetu a voda se čistí.

U posledního experimentu jsme používali s měděnou minci (není magnetická). Pod misku s ferrofluidem jsme umístili magnet tak, aby na ferrofluid viditelně zapůsobil.

Následně jsme umístili na povrch ferrofluidu měděnou minci. Mince se nepotopila (Obr. 1). Pokud jsme minci položili na hladinu ferrofluidu bez působení magnetu, potopila se.

Měděná mince má větší hustotu než ferrofluid na bázi petroleje, jenž je dokonce lehčí než voda, viz sekce 6 *Výrobní postup se čpavkem*. Proto se normálně i přes povrchové napětí ferrofluidu samozřejmě potopí. Magnetické pole ovšem ferrofluid částečně zpevní. A to sice natolik, že se mince nepotopí.

Obr. 1 Ferrofluid v magnetickém poli udrží minci



S ferrofluidem lze provádět nepřeberné množství dalších pokusů. Například jeho špinící vlastnosti se dá využít při kreslení pomocí ferrofluidu. Další experimenty jsou popsány na [4].

8 Závěr

Shrnuli jsme naše zkušenosti a doufáme, že usnadníme čtenáři výrobu magnetické kapaliny. Tento text by proto měl čtenáři primárně sloužit jako ucelený návod, jak ferrofluid vyrobit. Podáváme několik rad čeho se vyvarovat a co lze naopak využít.

9 Poděkování

Děkujeme panu ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za materiální podporu, poskytnutí laboratorních prostor a za jeho nadšení, kterým významně podpořil naši morálku.

Reference

- [1] D. Andelman et al., *The Phenomenology of Modulated Phases: From Magnetic Solids and Fluids to Organic Films and Polymers*, World Scientific, New Jersey (2009) 1–56
- [2] kol. autorů, *Ferrofluid*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>
- [3] anonym, *Sci-Spot.com - Ferrofluid Synthesis*, <http://www.sci-spot/Chemistry/liqimag.htm>
- [4] anonym, *Fun with Ferrofluid!*, <http://www.wondermagnet.com/ferro.html>