

Ultraľahký supravodivý DRÔT

Ilustrácie foto Pixabay

Supravodiče sú perspektívne materiály s nulovým elektrickým odporom pri prechode elektrického prúdu pod jeho kritickou teplotou. Nový ultraľahký supravodič vyvíjajú vedci zo Slovenskej akadémie vied.

Supravodiče vykazujú aj superdiamagnetizmus, keď v rámci svojho objemu kompenzujú zmeny vonkajšieho magnetického poľa. Supravodivý efekt sa dá pritom využiť v mnohých aplikáciách. V kozmickom, leteckom, energetickom priemysle a v ďalších odvetviach je z rôznych dôvodov potrebná aj nízka celková hmotnosť zariadení so supravodičom. Tá v takýchto aplikáciách vedie k väčšej energetickej efektívnosti, menšej spotrebe energie, k vyšším rýchlostiam a zrýchleniam pohybujúcich sa zariadení.

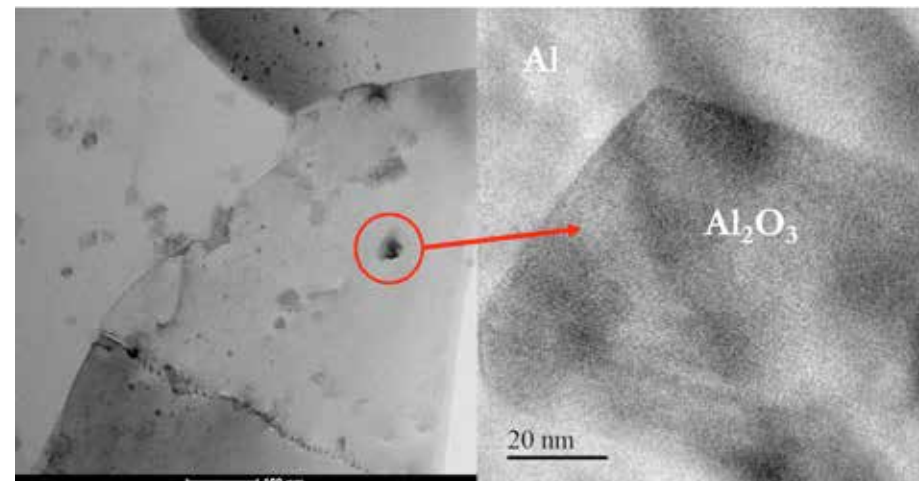
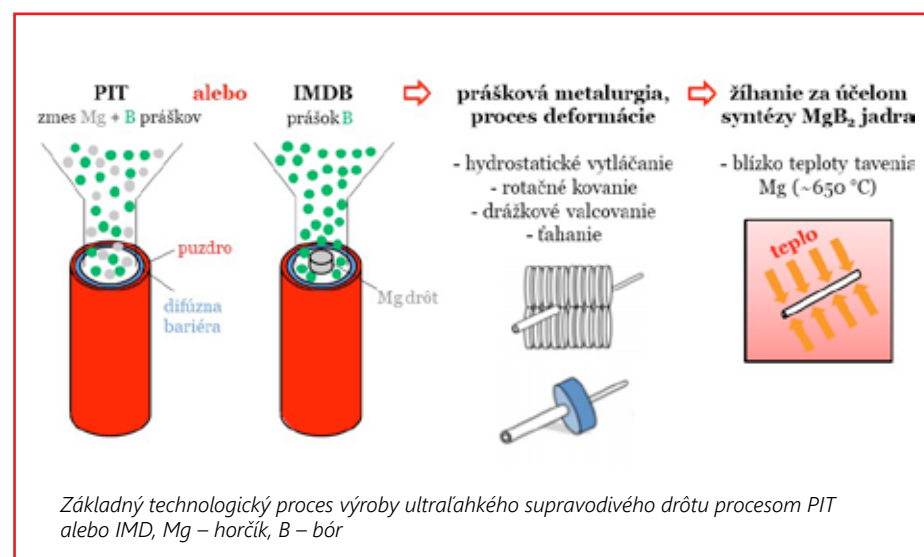
HĽADANIE NÁHRADY ZA MEĎ

Známe vyhotovenia supravodičov, napríklad na báze zliatin niób-titán a niób-cín (Nb_3Sn), používajú plášť z medi, ktorá má vhodné elektrické a mechanické vlastnosti. No plášť z medi, ktorý tvorí výraznú objemovú časť supravodivého drôtu, prispieva k už aj tak vysokej hmotnosti supravodivého jadra.

K vysokej hmotnosti supravodivých drôtov vedie aj použitie iných kovov a zliatin na materiál plášťa, napríklad z ocele. Zo všetkých známych supravodivých materiálov je

najľahším supravodivým materiálom borid horečnatý (MgB_2) s približne trikrát menšou hustotou ako napríklad Nb_3Sn . Preto sa ľahké supravodivé drôty navrhujú na báze MgB_2 supravodivého jadra. Súčasnú vyhotovenia supravodičov na báze MgB_2 využívajú prevažne materiál plášťa z kovov s vysokou hustotou na báze medi.

Zásadný nárast efektivity a zníženia spotreby motivuje nahradit medený plášť materiálom na báze hliníka v aplikáciách, kde je žiaduca redukcia hmotnosti rotačných



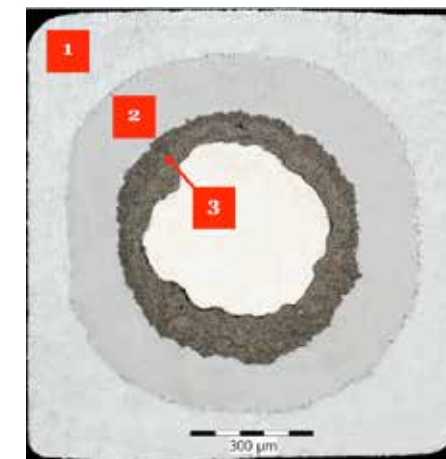
Mikroštruktúra HITEMAL® plášťa ukazuje submikrometrické hliníkové (Al) zrná, ktoré sú stabilizované nanočasticami oxidu hlinitého (Al_2O_3).

a pohybujúcich sa častí. Použitie plášťa na báze konvenčných hliníkových materiálov na prípravu kvalitného MgB_2 supravodivého drôtu však nie je technologicky možné. Toto obmedzenie je dané najmä tým, že počas prípravy drôtov procesom *powder-in-tube* (PIT), resp. procesom *internal-magnesium-diffusion* (IMD), dochádza k tvorbe MgB_2 jadra pri teplotách, ktoré sú veľmi blízke teplote tavenia čistého hliníka. Zároveň čistý hliník nemá dostatočnú pevnosť na to, aby poskytol mechanickú stabilizáciu počas výroby drôtu deformáciou za studena. Na druhej strane vysokopevné hliníkové zliatiny majú nedostatočnú elektrickú a tepelnú vodivosť vyžadovanú pre aplikáciu supravodiča, navyše majú ešte nižšiu teplotu tavenia.

PLÁŠŤ Z HLINÍKOVÉHO PRÁŠKU

Tímu vedcov z Elektrotechnického ústavu SAV (Ing. Pavol Kováč, DrSc., Ing. Imrich Hušek, Lubomír Kopera a Ing. Alica Rosová, CSc.) a z Ústavu materiálov a mechaniky strojov SAV (Ing. Martin Balog, PhD., a Ing. Peter Krížik, PhD.) sa podarilo v podstatnej miere už uvedené požiadavky odstrániť novým typom ultraľahkého supravodivého drôtu. Jadro vyvinutého supravodivého drôtu je na báze MgB_2 a plášť na báze špeciálneho kompozitného hliníka s názvom HITEMAL® High TEMperature ALuminum.

HITEMAL® rúrka je vyrobená z jemného hliníkového prášku metódami práškovej metalurgie. Mikroštruktúra tvárneného HITEMAL® plášťa je tvorená hliníkovými zrnami s veľkosťou rádovo niekoľko stoviek nanometrov. V jej ultrajemnozrnej hliníkovej štruktúre sú homogénne zakomponované nanometrické častice oxidu hlinitého (Al_2O_3) časticami, ktoré vznikajú v HITEMAL® plášti v procese výroby supravodivého drôtu deformáciou a narušením pôvodných oxidových filmov prítomných na vstupných hliníkových práškoch. Do HITEMAL® rúrky je vložená tzv. bariéra, t. j. rúrka z ľahkého kovu – titánu, ktorá je naplnená



Prierez ultraľahkého supravodiča. Pozícia 1 – HITEMAL® plášť; 2 – titánová bariérová vrstva; 3 – supravodivé jadro z boridu horečnatého

zmesou práškov horčíka a bóru, alebo drôt z horčíka obsypaný práškom z bóru v čistej atmosfére inertného plynu. Titánová rúrka bráni nežiaducej materiálovej reakcii, ktorá môže nastať medzi jadrom a plášťom pri tepelnom spracovaní.

Takto zložený kompozit sa tvárni za studena do drôtu pomocou procesov hydrovyláčania, rotačného kovania, valcovania alebo ťahania. Výsledný produkt, napríklad štvorcový prierez drôtu s hranou približne jeden milimeter, sa tepelne spracuje. Pri záverečnom tepelnom spracovaní vzniká reakčnou syntézou medzi horčíkom a bórom MgB_2 supravodivé jadro.

UNIKÁTNE VLASTNOSTI

Ultrajemnozrná štruktúra HITEMAL® efektívne stabilizovaná nanometrickými Al_2O_3 časticami zaručuje požadované mechanické vlastnosti – vysokú pevnosť spolu s dostatočnou tuhosťou. Tým sa zabezpečuje dostatočná mechanická stabilizácia horčíko-bórového jadra počas deformácie, teda počas výroby drôtu.

Zároveň má HITEMAL® plášť výnimočnú mikroštruktúrnú stabilitu až do teplôt

650 °C potrebnú pri tvorbe MgB_2 supravodivého jadra. Pritom teplota tavenia materiálu HITEMAL® plášťa je len o niekoľko stupňov vyššia – 661 °C. Tak si HITEMAL® plášť zachováva dostatočné mechanické vlastnosti vyžadované počas dodatočného spracovania a prevádzky supravodivého drôtu. Vďaka nízkemu obsahu Al_2O_3 zložky HITEMAL® plášť popri atraktívnych mechanických vlastnostiach vykazuje aj požadovanú elektrickú a tepelnú vodivosť.

VYUŽITIE V PRAXI

Unikátne vlastnosti HITEMAL® + MgB_2 supravodivého drôtu možno výhodne využiť v aplikáciách, kde dochádza k intenzívnemu mechanickému ťahovému zataženiu supravodiča v kryogénnych podmienkach, napríklad v supravodivých magnetoch pre aplikáciu vo vysokých magnetických poliach. Vysoká pevnosť je potrebná aj tam, kde dochádza k mechanickej manipulácii s už vyžihávaným supravodičom, napríklad v kábloch na prenos veľmi veľkých prúdov a pri navíjaní supravodiča do cievok s malým priemerom.

Kombinácia ľahkého supravodiča väčšej pevnosti s relatívne menšou elektrickou vodivosťou môže byť výhodne využitá pri elektrických motoroch alebo generátoroch, kde sa magnetické pole v okolí supravodiča mení a do príliš vodivého obalu sa indukujú vírivé prúdy, ktoré ho môžu nahrievať. Zvýšený odpor vonkajšieho obalu redukuje vírivé prúdy, a tým aj nežiaduci ohrev supravodiča.

Opísané unikátne riešenie spĺňa náročné a protichodné požiadavky, keďže technologicky umožňuje výrobu ultraľahkých tenkých supravodičových drôtov s jadrom na báze MgB_2 a zároveň poskytuje vhodné mechanické a elektrické vlastnosti potrebné pri prevádzke supravodivého drôtu. To všetko s nízkymi výrobnými nákladmi.

Nový ultraľahký supravodič sa môže výhodne použiť na technické riešenia v supravodivých veterných generátoroch, v supravodivých levitačných pohonoch, v kozmickom priemysle, napríklad vo vesmírnom programe ako aktívne tienenie ľudskej posádky pred kozmickým žiarením.

Ing. Martin Balog, PhD.

Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV

Ilustrácie Ing. Pavol Kováč, DrSc.

Elektrotechnický ústav SAV

Neoznačené ilustrácie a fotky autori

Na inovatívnu technológiu nového ultraľahkého supravodiča je podaná prioritárna národná (SK) patentová prihláška PP 50037-2017 a medzinárodná PCT prihláška PCT/IB2018/053540. Taktiež sú intenzívne realizované aktivity za účelom komerčného uplatnenia tohto jedinečného riešenia.
www.ktt.sav.sk