



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

231 677

(11)

(B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 18 01 83
(21) PV 00310-83

(51) Int. Cl.³
H 01 B 12/00

(40) Zveřejněno 16 04 84

(45) Vydáno 01 05 86

(75)
Autor vynálezu

KLABÍK VÁCLAV ing.CSc., PRAHA,
CESNAK LADISLAV ing.CSc., BRATISLAVA

(54)

Způsob úpravy výchozích polotovarů mnohovláknových
supravodivých vodičů

Vynález se týká způsobu úpravy výchozích polotovarů mnohovláknových supravodivých vodičů Nb₃Sn určených k výrobě supravodivých magnetů s vysokými parametry, zejména pro oblast magnetických indukcí nad 8 T.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že se niobová trubka, jejíž tloušťka stěny činí 0,05 až 0,3 jejího průměru, vyplní cínovým bronzem nebo čistou mědí. Objemový podíl niobové trubky s výplní činí 20 až 50 % objemových průřezu matrice.

Vynález se týká způsobu úpravy výchozích polotovarů mnohovláknových supravodivých vodičů Nb_3Sn určených k výrobě supravodivých magnetů s vysokými parametry, zejména pro oblast magnetických indukcí nad 8 T.

Mnohovláknové supravodivé vodiče Nb_3Sn jsou v současné době nejprogresivnějším typem supravodivých vodičů. Známý způsob jejich výroby tzv. bronzovou metodou spočívá v průtlačném lisování a postupném tažení soustavy niobových vláken, umístěných v základní matici z cínového bronzu. Nejdůležitějším prvkem celé soustavy tvořící vodič jsou právě niobová vlákna, která se po reaktivním difuzním žíhání stávají nositelem supravodivosti. Difuzí cínu z matrice z cínového bronzu se vytvoří na povrchu každého vlákna vrstva supravodivé fáze Nb_3Sn .

Rozborem fyzikálně metalurgických podmínek difuze cínu do niobových vláken byly nalezeny optimální parametry pro vznik supravodivých vrstev Nb_3Sn , za kterých se dosahuje maximálních hodnot kritického proudu celého vodiče. Ve vodičích, vykazujících tyto vysoké parametry, nedošlo difuzí cínu k přeměně niobového vlákna na fázi Nb_3Sn v celém průřezu, vnitřní část vlákna však zůstala nezreagována a je tvořena původním niobem.

Pro vlastní techniku výroby a provozu supravodivých magnetů je nezbytné, aby každý supravodivý vodič, ze kterého se magnet navíjí, byl tzv. stabilizován, tj. ve svém průřezu, a to na povrchu nebo v jádru a/nebo v několika pruzích nebo žilách, obsahoval nesupravodivý, ale v podmínkách provozu při 4,2 K vysoce vodivý kov - nejčastěji velmi čistou měď.

Z technologických důvodů je obvykle nutné vrstvu stabilizující, velmi čisté mědi umístit v matici výchozího polotovaru již na začátku celého výrobního postupu, tj. před průtlačným lisováním. Protože by v průběhu technologického zpracování a zejména

při závěrečném difuzním žíhání nezbytně došlo k úplnému znehodnocení požadovaných vlastností stabilizační vrstvy mědi - difuzí cínu z bronzové matrice - odděluje se měď od bronzové matrice tzv. bariérou, tvořenou kovem účinně zabráňujícím difuzi cínu. Nejčastěji se k tomuto účelu používá tantal. Vnesení této bariéry do matrice výchozího polotovaru nejen přináší s sebou technologické problémy a komplikuje výrobní postup, ale navíc tato bariéra zabírá určitý podíl efektivního průřezu supravodivého vodiče.

Uvedené nedostatky odstraňuje způsob úpravy výchozích polotovarů mnohovláknových supravodivých vodičů Nb_3Sn podle předmětného vynálezu, určený k výrobě supravodivých magnetů s vysokými parametry, zejména pro oblast magnetických indukcí nad 8 T. Podstata vynálezu spočívá v tom, že se niobová trubka, jejíž tloušťka stěny činí 0,05 až 0,3 jejího průměru, vyplní cínovým bronzem nebo čistou mědí. Objemový podíl všech niobových trubek s výplní činí 20 až 50 % objemových průřezu matrice.

Způsob podle vynálezu řeší komplet polotovaru stabilizovaného mnohovláknového supravodivého vodiče Nb_3Sn , obsahujícího vedle základní matrice z cínového bronzu a niobových vláken i podíl stabilizační mědi tak, že výchozí niobové polotovary budou tvořeny trubkami, které budou mít současně funkci bariéry, oddělující od sebe obě další složky, cínový bronz a měď. Způsob je zaměřen na zvýšení průřezové efektivnosti supravodivého vodiče tedy k relativnímu zvýšení kritické proudové hustoty, vztažené na celý průřez vodiče. Řešení vychází z fyzikálně metalurgických a technologických principů mnohovláknových supravodivých vodičů na bázi niob - cín, a to jak pro účel, kdy v konečném tvaru vlákno Nb_3Sn obsahuje niobové jádro, tak i pro uspořádání, kdy supravodivý vodič je třeba stabilizovat vrstvou čisté mědi a tuto poté oddělit od základní matrice z cínového bronzu. Další výhodou podle vynálezu je, že vynecháním tantalové bariéry dosáhne se zlevnění a podstatného zjednodušení výrobního postupu.

Příklad

Příkladem provedení podle předloženého vynálezu jsou typy mnohovláknových supravodivých vodičů Nb_3Sn , uvedené se svými základními parametry v následující tabulce pod bodem B a C. Pro srovnání vlastností jsou zde uvedeny tři typy vodičů o stejném průměru 0,5 mm ve třech alternativních provedeních:

- A - klasická metoda stabilizace pomocí tantalové bariéry;
 B - metodou niobových trubek s bronzovým jádrem v měděné trubce;
 C - metodou niobových trubek s měděným jádrem v bronzové matrici

Ve všech uvedených typech se předpokládá stejný průřezový poměr bronzu k niobu 2 : 1. V typech B a C se používá stejná tloušťka stěny niobové trubky 2 μm , což je polovina průměru vláken vodiče typu A.

Typ vodiče	Průměr jádra (Nb, Cu, Cu-Sn) / μm /	Průměr trubky (Nb) / μm /	Počet vláken	Podíl složek v průřezu vodiče / % /			
				Ta	Cu	Cu-Sn	Nb
A	4	--	2821	12	33,34	36,4	18,2
B	17,8	21,8	351	--	33,34	44,4	22,2
C	5	9	1295	--	13	58	29

Z uvedeného podílu složek v průřezu vodiče vyplývá, že vodič typu B lze vyrobit se stejným podílem mědi k celkovému průřezu vodiče jako u typu A. Ušetřený podíl plochy průřezu na tantalovou bariéru se využije na zvýšení podílu niobu a příslušného podílu bronzu v průřezu vodiče. Mírně zvýšená pracnost tohoto typu vodiče je vyvážena tím, že počet vláken ve vodiči může být nižší při vyšším a efektivněji proreagovaném průřezu niobu. Měděná matrice vodiče typu B je v bezprostředním styku s vlákny; to zvyšuje účinek dynamické stabilizace a lépe chrání vodič při přechodu do normálního stavu. Vodič typu B je proto výhodný pro stavbu stejnosměrných supravodivých magnetů pro silná pole.

Ve vodiči typu C je možné podstatně snížit poměr průřezu mědi k celkovému průřezu vodiče až na krajní mez nezbytnou k ochraně vodiče při přechodu do normálního stavu. Získaný průřez se opět využije na zvýšení podílu niobu a úměrného podílu bronzu v průřezu vodiče. Při tom je možné dosáhnout tenká vlákna proto, aby se omezily ztráty při pomalých, časově proměnných dějích. Bronzová matrice svým poměrně vysokým měrným odporem současně potlačuje vířivé proudy. Vodič typu C je výhodný na stavbu supravodivých magnetů s časově proměnným silným magnetickým polem.

Zvýšený průřez niobu a po proreagování vytvořená supravodivá fáze Nb_3Sn znamená ve vodičích typu B a C vyšší kritický proud, a tím i vyšší střední kritickou proudovou hustotu, než je možné

dosáhnout ve vodičích typu A klasického provedení s tantalovou bariérou.

Vodiče typu B i C je možné zkrucovat, podobně jako se zkrucují Nb_3Sn mnohovláknové supravodičové vodiče v klasickém provedení, aby se omezily vířivé proudy, indukované cizími, časově proměnnými poli.

Tloušťka stěny niobových trubek nemůže být příliš snížena, aby při závěrečné operaci - reaktivním difuzním žíhání - vytvořená supravodivá vrstva Nb_3Sn dosáhla potřebného rozměru a rovněž, aby nedošlo k difuzi cínu touto stěnou do mědi; je zřejmé, že podíl složky, která bude umístěna do trubky, je omezen.

Lze proto podle požadovaného podílu stabilizační mědi v průřezu celého supravodivého vodiče volit dvě varianty: v případě požadavku na nižší podíl stabilizační mědi se tato umístí jako jádro do niobových trubek, zbývající matrice je tvořena cínovým bronzem; v opačném případě se niobové trubky vyplní cínovým bronzem a čistá měď tvoří základní matici, do které se umístí niobové trubky. K dosažení efektivního průřezu výsledné supravodivé vrstvy Nb_3Sn vůči základní matici i vzhledem k technologickým a fyzikálně metalurgickým podmínkám výrobního postupu, činí tloušťka použitých niobových trubek 0,05 až 0,3 jejich průměru a podíl těchto polotovarů (trubek vyplněných uvnitř bronzem nebo mědí) činí 20 % až 50 % celkového průřezu matrice.

Pro výrobu vodičů určených pro stejnosměrné supravodivé magnety se použijí výchozí polotovary - niobové trubky, vyplněné cínovým bronzem.

Pro účely výroby vodičů určených pro supravodivé magnety s časově proměnnými poli se s výhodou použijí výchozí polotovary - niobové trubky, vyplněné mědí.

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

231 677

Způsob úpravy výchozích polotovarů mnohovláknových supravodivých vodičů niob - cín zhotovených z cínového bronzu, niobu a čisté mědi průtlačným lisováním, vyznačený tím, že se niobová trubka, jejíž tloušťka stěny činí 0,05 až 0,3 jejího průměru, vyplní cínovým bronzem nebo čistou mědí, přičemž objemový podíl průřezu všech niobových trubek s výplní činí 20 až 50 % objemových průřezu matrice.