

Wissenschaftliche Berichte – FZKA 6562

Kurzfassung:

Für Anwendungen im Feldbereich oberhalb von 10 T bis etwa 20 T gelten technische Supraleiter auf Nb₃Sn-Basis als Stand der Technik. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist ein tieferes Verständnis und die Optimierung dieser Leiterklasse im Hinblick auf die Erzielung hoher Stromtragfähigkeiten bei hohen Magnetflußdichten. Dazu werden binäre, ternäre und quaternäre technische Nb₃Sn-Leiter, die unter verschiedenen Reaktionsbedingungen hergestellt wurden, untersucht.

Im Rahmen dieser Untersuchungen war eine zentrale Fragestellung, inwieweit die Eigenschaften der Strom-Spannungs-Kennlinie mit mikrostrukturellen Eigenschaften korrelieren. In Erweiterung bisheriger Ansätze wird dazu die Mikrostruktur durch die statistische Verteilung der Korngrenzendichte im Nb₃Sn-Gefüge beschrieben. Auf der Seite der Strom-Spannungs-Kennlinien bildet das Modell der Verteilung lokaler kritischer Ströme i_c die Grundlage der Untersuchungen. Dazu wird ein neues mathematisches Verfahren vorgestellt, mit dem die Verteilungsfunktion der lokalen i_c zuverlässig aus gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien bestimmt werden kann.

Es hat sich gezeigt, daß sowohl für binäre als auch für zulegierte Leiter mit abnehmender Intensität der Reaktionsglühung (d. h. Glühtemperatur und/oder Glühzeit) eine Verbreiterung der lokalen i_c -Verteilung stattfindet. Ein äquivalentes Verhalten tritt auch auf mikrostruktureller Ebene auf. Hier ist mit abnehmender Intensität der Reaktionsglühung ebenfalls eine Verbreiterung der Korngrenzendichteverteilung zu beobachten.

Zur Untersuchung der Temperatur- und Zeitabhängigkeit der reagierten Nb₃Sn-Flächen im Leiter wurde eine Finite-Elemente-Modellierung der Diffusions- und Reaktionsdynamik vorgenommen. Die Rechenergebnisse wurden experimentell durch den Vergleich mit REM-Aufnahmen reagierter Filamentflächen validiert. Damit konnte gezeigt werden, daß bei multifilamentären Strukturen die Anordnung der Filamente innerhalb des Leiters für den zeitlichen Verlauf der Diffusion wesentlich ist. Darauf aufbauend wird dargestellt, wie durch eine optimierte Anordnung der Filamente die Stromtragfähigkeit um etwa 20 % erhöht werden kann.

Microstructure and Current-Voltage Characteristics of Nb₃Sn-Composites

Abstract:

Nb₃Sn based superconductors are considered state of the art for high field applications. The present work focuses optimization of commercial Nb₃Sn conductors with respect to their current carrying capabilities in high magnetic fields. For that purpose differently heat treated Nb₃Sn conductors of binary, ternary and quaternary type were investigated.

In that context it was essential to come to a more detailed understanding of how microstructural properties are connected to the shape of the current-voltage-curve. In extension of previous approaches, the microstructure was quantified by the statistical

distribution of grain boundary density rather than average grain size only. For the current-voltage-curve the model of distribution of local critical currents i_c was used. In order to overcome the drawbacks of that model in practical use a new numerical approach for parameter estimation was developed. This tool permitted reliable calculation of i_c -distribution data out of current-voltage-curves.

It turned out that a decreasing intensity of heat treatment (i.e. temperature and/or time) leads to a reduced width of the distribution of local critical currents i_c . This comes along with a reduced spread of the distribution of grain boundary density. That is the distribution of local i_c and grain boundary density display a congruent behavior with regard to heat treatment.

The dependence of reacted Nb-area from heat treatment conditions was examined using a Finite Element Model approach for solving the diffusion equation in multifilamentary structures. The results were validated by comparing the FEM-data to scanning electron microscopy images of reacted filaments. It turned out that the arrangement of filaments within the cross section of the conductor is crucial for the diffusion process. Therefore an optimized geometric arrangement of filaments was evaluated yielding a 20 % increase of current carrying capacity.