Elektronenstrahlschweißen von Mikro-Verbundstoffen aus Kupfer und Niob zum Einsatz in der Hochspannungsimpulstechnik

Stichwörter: Elektronenstrahlschweißen, Mikro-Verbundstoffe aus Kupfer und Niob, Schweißfuge, Stromkabel, elektrische Kontaktverbindung

Das Hauptziel dieser Arbeit besteht in der Erforschung der Möglichkeiten zur Anwendung von Elektronenstrahlen zur Verbindung von Kupfer-Niob-Leitern. Dazu wurde die Elektronenstrahlschweißtechnik bei Mikro-Verbunddrähten aus Kupfer und Niob untersucht. Entsprechend der bei elektrische Kontaktverbindungen angewandten Methodologie wurden die wichtigsten elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Schweißfugen ermittelt. Durch mikroskopische Untersuchung des Fugenquerschnitts wurde nachgewiesen, dass durch das Schweißen im Vakuum sowohl die thermische Wirkung der Schweißfugen auf die Struktur von Kupfer-Niob-Leitern als auch die Ausbreitung von Schweißfehlern minimal ist. Die zerstörungsfreie Röntgenprüfung erwies keine Schweißfehler an der Struktur der Schweißfuge. Die Differenz zwischen den Widerstandswerten des Leiters und der Schweißfuge lag unter 20 %. Die Schweißfuge hält den maximalen Laststrom in Höhe von 31,25 % der Belastbarkeit des Mikro-Verbundleiters aus.

**Abbildungsverzeichnis**

**Abbildung 1**. Schematische Darstellung der einzelnen Schritte beim Elektronenstrahlschweißen: 1 – Geschweißte Proben; 2 – Schmelzbad

**Abbildung 2.** Probe eines elektronenstrahlgeschweißten Drahtstücks aus Kupfer-Niob-Mikro-Verbundstoff: a – Vorderansicht; b – Längsschnitt des Schweißfugenbereichs (beim Schweißen wurde ein Punktdurchmesser von ~5 mm verwendet)

**Abbildung 3.** Sekundärelektronenbilder von Elektronenstrahlschweißfugen: a – Längsschnitt der Schweißfuge, b – Querschnitt der Schweißfuge, c – Fusionsbereich, d – Morphologie von Niob-Dendriten

**Abbildung 4.** Darstellung der Temperaturverteilung in der Schweißfuge: a – vor Erhitzung; b – nach zweiminütiger Erhitzung; 1 und 2 – Messungspunkte

**Abbildung 5.** Spannungs-Dehnungs-Kurve von: a ‒ Kupfer-Niob-Draht [26]; b ‒ Kupfer-Niob-Draht mit Elektronenstrahlschweißfuge (Bruchpunkt – Schweißnaht nahe Fusionsbereich)

**Abbildung 6.** Ergebnisse einer energiedispersiven Röntgenspektroskopie: a – quantitative Röntgenkarte von Niob; b ‒ quantitative Röntgenkarte von Kupfer; c ‒ Punktanalyse von Niob-Dendriten

**Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 1.** Eigenschaften von Elektronenstrahlschweißanlagen [31]

**Tabelle 2.** Spannung und Energiedichte beim Elektronenstrahlschweißen, Abhängigkeit der Eindringtiefe und Schweißfugenbreite von der Strahlfleckgröße

**Tabelle 3.** Berechnung der Wärmezufuhr, Eindringtiefe und Schweißfugenbreite anhand von Gleichungen (4), (6–8)