

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

In Bezugnahme auf die eingangs angeführte Zielsetzung, ein Messsystem zu entwickeln, das eine präzise und zuverlässige Schmelztemperaturmessung metallischer Materialien in einer VIM ermöglicht, wurde ein geeignetes System auf Basis von Thermoelementen der Typen C und K konzipiert und realisiert. Die Herausforderungen, die bei herkömmlichen kontaktlosen Messverfahren beobachtet wurden, konnten durch die Anwendung dieses Verfahrens bewältigt werden.

Die umfassenden Testmessungen unter realen Bedingungen ergaben in den Untersuchungen, dass das entwickelte Thermoelement-Messsystem eine hohe Genauigkeit aufweist. Es erweist sich somit als eine zuverlässige Alternative zu berührungslosen Strahlungsthermometern, wie Pyrometer. Darüber hinaus zeichnen sich die Thermoelemente durch ihre Stabilität selbst unter Vakuumbedingungen aus. Das Messverfahren bietet zudem den Vorteil der Speicherung und der Echtzeitdarstellung der Messdaten. Ein signifikanter Vorteil ist jedoch die geringe Beeinflussung der Thermoelemente durch Verdampfungsvorgänge und Verunreinigungen, die beim Schmelzprozess in der VIM auftreten können. In dieser Hinsicht sind sie besser geeignet als Strahlungsthermometern.

Im Rahmen der Schmelztemperaturmessung der Chromschmelzung wurde mittels des Thermoelement-Messsystems in der VIM eine Temperatur von 1.902 °C ermittelt. Verglichen mit den in der Literatur angegebenen Schmelztemperaturwerten von 1.907 °C liegt eine absolute Abweichung von 5,0 °C bzw. eine relative Abweichung von 0,26 % vor [24, 25].

Eine zentrale Eigenschaft von Thermoelementen ist ihre hohe Empfindlichkeit. Bereits eine Spannungsänderung von 16,8  $\mu\text{V}$  entspricht einer Temperaturänderung von 1,0 °C bei einem Thermoelement des Typs C [17]. Dies ermöglicht eine sehr präzise Temperaturlösung, veranschaulicht jedoch zugleich die Relevanz einer exakten Spannungsmessung, da bereits sehr geringfügige Abweichungen in der gemessenen Thermospannung zu signifikanten Temperaturschwankungen führen können.

Es besteht die Möglichkeit, den Eintauchmechanismus des Thermoelements in den Schmelztiegel zu verbessern. An dieser Stelle könnte die Halterung optimiert werden, um ein sicheres Eintauchen zum Schmelzzeitpunkt zu gewährleisten.

Darüber hinaus könnte die Möglichkeit der Integration des Messsystems in automatisierte Steuerungsprozesse untersucht werden, um bei einer automatischen Schmelzpunktdetektion den Eintauchprozess zu initiieren. Hierfür wäre es denkbar, über eine zusätzliche Spule am Boden des Schmelztiegels die induzierte Spannung zu analysieren. Treten bei bestimmten Frequenzen deutliche Amplitudenänderungen auf, könnte dies als Indikator für eine Phasenänderung des Materials im Tiegel interpretiert werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse können zu einer effizienteren Gestaltung von Schmelz- und Gießprozessen in VIMs beitragen, da die Kenntnis der Schmelztemperatur im Tiegel eine gezieltere Steuerung des Schmelzprozesses ermöglicht und somit Energie und Zeit spart. Darüber hinaus kann die Schmelztemperatur Informationen über die thermodynamischen Eigenschaften und Phasenübergänge neuartiger Legierungen liefern. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Forschung und Entwicklung von metallischen Werkstoffen relevant.