

Effects of material and process parameters on the creep and recrystallization behavior of potassium-doped tungsten thermionic emitter sheets

During the operation of medical X-ray tubes, the used materials have to resist the occurring adverse conditions, in particular ion bombardment, high emission currents and temperatures. Due to their robustness and high melting point, tungsten thermionic cathodes are the state of the art in these tubes. However, to achieve sufficient mechanical stability, especially during computer tomography scans with high centrifugal accelerations occurring, K-doped tungsten is generally chosen as emitter material. In particular for high-end systems, sheets are used as flat emitters in medical X-ray tubes. Although K-doped tungsten has proven successful as a wire in light bulbs, there are still open questions concerning the behavior of K-doped tungsten sheets at high temperatures under vacuum conditions, especially regarding the effects of the different production processes, rolling versus wire drawing.

This thesis focuses on the analysis of the thermionic emission, recrystallization and creep behavior of K-doped tungsten sheets under conditions comparable to those in X-ray tubes. In the first part of the thesis, an experimental setup for the analysis of the creep behavior of K-doped tungsten sheets using direct heating under ultra-high vacuum conditions was developed. Additionally, the developed measurement system can be used to analyze the surface of the emitters in situ, whereby the effects of surface morphology and microstructure can be separated from chemistry influences using a combination of reflectivity and thermionic emission measurements. This allows observing the recrystallization behavior of the K-doped tungsten sheets, determining the average resulting grain size, but also identifying changes in surface chemistry.

In the second part of the thesis, the factors influencing the microstructure and creep behavior of the K-doped tungsten sheets are analyzed. The dispersion of the K-precipitates (bubbles) is the main factor controlling the recrystallization behavior and microstructure and can be significantly affected by the rolling process. But also the annealing procedure has a significant effect on both. Furthermore, as grain boundary sliding is the predominant creep mechanisms below 35 MPa at 2400 °C, the microstructure and the K-distribution are both essential for the stability of the emitter sheets at high temperatures under application conditions. The results further show that the recrystallization and creep behavior of the later sheets are already determined in the sinter ingot for a given rolling process, due to the dependence on the K-distribution. These findings can be used to somewhat predict the properties and performance of the sheet materials by analyzing their chemical composition in the sinter ingot and further optimize them for applications in X-ray tubes.

Auswirkungen von Material- und Herstellungsprozessparametern auf das Kriech- und Rekristallisationsverhalten von Kalium-dotierten Wolfram Glühemittern

Die während des Betriebs in medizinischen Röntgenröhren auftretenden Bedingungen, insbesondere Ionenbeschuss, hohe Emissionsströme und Temperaturen, stellen extreme Anforderungen an die verwendeten Materialien. Daher wird für deren Glühkathoden, aufgrund seiner Robustheit und hohen Schmelztemperatur, hauptsächlich Wolfram verwendet. Um allerdings eine ausreichende mechanische Stabilität bei hohen Temperaturen zu gewährleisten, vor allem während der hohen Zentrifugalbeschleunigungen für Computertomografie-Scans, wird üblicherweise Kalium-dotiertes Wolfram, u.a. als Flachemitter (Bleche), gewählt. Obwohl sich dieses Material als Draht in Glühbirnen bewährt hat, existieren nach wie vor einige offene Fragen im Hinblick auf das Verhalten von K-dotierten Wolframblechen bei hohen Temperaturen unter Vakuumbedingungen, insbesondere bezüglich der Auswirkungen des unterschiedlichen Produktionsprozesses im Vergleich zu Drähten, Drahtziehen gegenüber Walzen.

Diese Arbeit befasst sich mit der Analyse des Glühemissions-, Rekristallisations- und Kriechverhaltens von K-dotierten Wolframblechen unter ähnlichen Bedingungen wie in Röntgenröhren. Im ersten Teil der Arbeit wurde ein Versuchsaufbau zur Kriechanalyse mit direkter Heizung (Stromdurchfluss) unter Ultra-Hoch-Vakuum-Bedingungen entwickelt. Dieses Messsystem ermöglicht zusätzlich in situ die Analyse der Oberfläche, wobei mittels einer Kombination von Reflektometrie und Glühemission die Einflüsse von Oberflächenmorphologie und Mikrostruktur von chemischen Effekten getrennt werden können. Dadurch können Veränderungen in der Mikrostruktur bzw. die Rekristallisation der K-dotierten Wolframbleche beobachtet und die Korngröße bestimmt, aber auch Veränderungen in der Oberflächenchemie detektiert werden.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Einflussfaktoren auf die Mikrostruktur und das Kriechverhalten der K-dotierten Wolframbleche analysiert. Obwohl die Dispersion der K-gefüllten Ausscheidungen, die durch den Walzprozess beeinflusst werden kann, der zentrale Einflussfaktor ist, hat auch die Glühprozedur einen deutlichen Effekt auf Rekristallisation und Mikrostruktur. Da darüber hinaus bei 2400 °C unterhalb von 35 MPa Korngrenzgleiten gegenüber den anderen Kriechmechanismen überwiegt, spielen sowohl die Mikrostruktur als auch die K-Verteilung eine essenzielle Rolle für die Stabilität der Bleche bei hohen Temperaturen. Weiters zeigt sich, dass aufgrund der K-Verteilung das Rekristallisations- und Kriechverhalten schon im Sinterblock für einen gegebenen Walzprozess bestimmt sind. Daher können über die Analyse der chemischen Zusammensetzung Vorhersagen über die Eigenschaften und Performance der Bleche gemacht und diese im Hinblick auf die Anwendungen in Röntgenröhren optimiert werden.