

Rissbildung beim Ziehen von Wolframdrähten

Aufgabenstellung

Wolframdrähte für die Beleuchtungsindustrie werden in einem vielstufigen Prozess auf eine Dicke von weniger als 100 µm gezogen. Obwohl der Prozess seit Jahrzehnten etabliert ist, treten häufig Längsrisse, so genannte Splits (Abb. 1), auf. Diese Splits können sich über große Distanzen entlang der Drahtachse ausbreiten. Sie beeinträchtigen die weitere Verarbeitbarkeit.

In einem Projekt mit zwei Firmen sollten die Ursachen der Splits aufgeklärt werden mit dem Ziel, Splits durch eine geeignete Prozessgestaltung zu vermeiden.

Vorgehensweise

Zunächst wurde eine qualitative Arbeitshypothese für die Längsrissbildung entwickelt, die mit den Betriebserfahrungen verträglich ist. Danach breiten sich die Splits hinter einem Ziehstein mit großer Geschwindigkeit in Ziehrichtung aus. Sie wachsen also im erkaltenden Draht, weil der Risswiderstand dort wesentlich geringer ist als in der heißen Umgebung des Ziehsteins. Treibende Kraft für die Rissausbreitung sind nach dieser Hypothese die Eigenspannungen, die beim Ziehprozess entstehen.

Der erste Teil der Projektarbeiten befasste sich also mit der Bestimmung der Eigenspannungen. Diese wurden einerseits röntgenografisch gemessen, was bei den dünnen Drähten eine große experimentelle Herausforderung darstellt, und mit Finite-Elemente-Simulationen berechnet. Die Parameter des verwendeten Chaboche-Modells wurden aus zahlreichen Zug- und Druckversuchen bestimmt. Besonders zu erwähnen sind Druckversuche bei den üblichen Ziehtemperaturen (ca. 1000 °C) an Drahtproben bis herunter zu Dicken von 1 mm.

Der zweite Teil der Arbeiten befasste sich mit der Gefüge- und Texturentwicklung beim Drahtziehen. Abb. 2 zeigt die Kornmorphologie in gezogenen Wolframdrähten: die ursprünglich gleichachsigen Körner werden beim Ziehen nicht nur in die Länge gezogen, sondern sie nehmen im Querschliff auch gewundene Formen an, ein Phänomen, das als »grain curling« experimentell bekannt ist und das im Projekt durch Simulation erklärt und nachgebildet werden konnte.

Der dritte Teil der Arbeiten befasste sich mit der Werkstofffestigkeit und dem Risswiderstand. Hier wurde eine Methode entwickelt, den Risswiderstand in Drahtlängsrichtung in dünnen Drähten zu messen. Zudem wurden Festigkeitsuntersuchungen auf atomarer Skala durchgeführt (Abb. 3).

Ergebnisse

Die berechneten Eigenspannungen reichen aus, um den Risswiderstand zu überwinden, so dass Splits hinter dem Ziehstein über große Distanzen wachsen können. Die Ziehsimulation zeigt Wege zur Reduktion dieser Eigenspannungen und zur Vermeidung der Splits.

Leistungsbereich Formgebungs- und Umformprozesse

Umformwerkzeuge und -prozesse können mit Hilfe der numerischen Simulation wesentlich schneller und kostengünstiger ausgelegt werden als durch Versuch und Irrtum. Dafür werden Gesetze zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens weiter entwickelt und auf industrielle Prozesse angewandt.

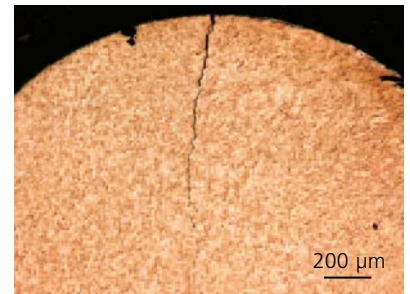


Abb. 1
Querschliff eines Wolframdrahts mit Split.

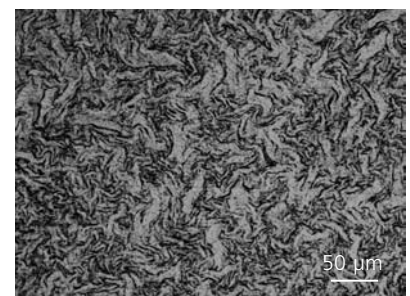


Abb. 2
Grain curling in einem Wolframdraht a) im Querschliff beobachtete Kornstruktur, b) mit einem Einkristallplastizitätsmodell simuliert

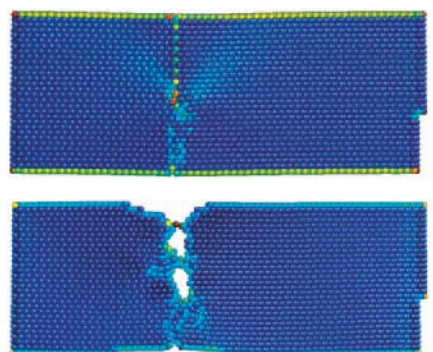


Abb.3
Korngrenze in Wolfram auf atomistischer Skala (Finnis-Sinclair Potential Simulation), 15x7 nm, a) Blockade einer Versetzung durch die Korngrenze, b) Bruch der Korngrenze