

Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von oligokristallinem X2 CrNiMo 18-15-3

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das mechanische Verhalten von oligokristallinen Mikrostrukturen am Beispiel des v.a. in der Medizintechnik verwendeten austenitischen Stahls X2 CrNiMo 18-15-3 in Form von Drähten und Blechproben untersucht. Oligokristalline bzw. wenigkristalline Mikrostrukturen können in der Praxis insbesondere bei dünnen Querschnitten durch die geringe Bauteildimension in Verbindung mit einer begünstigenden Wärmebehandlung auftreten.

Es wurden Zugversuche an gekerbten bzw. nicht gekerbten Runddrähten und Blechproben und nennspannungskontrollierte Ermüdungsversuche an Runddrähten, Flachdrähten und Blechproben durchgeführt. Hierbei wurde die Veränderung der Mikrostruktur der Proben v.a. mithilfe der Rückstreuungselektronenbeugung (engl. „EBSD“) erfasst. Dazu wurden bei ausgewählten Proben mit flacher Probengeometrie vor Versuchsbeginn, während des abgestoppten Versuchs und nach Versuchsende EBSD-Messungen durchgeführt. Hierzu wurde u.a. eine modular aufgebaute Probeneinspannung konstruiert, welche am Prüfgerät und zur Analyse im Rasterelektronenmikroskop verwendet werden kann.

Im Zugversuch zeigen oligokristalline, lösungsgeglühte Runddrahtproben deutlich geringere Festigkeits- und Zähigkeitskennwerte ($R_m = 163 \pm 43$ MPa, $A_{ges} = 34 \pm 14$ %) im Vergleich zu polykristallinen Runddrahtproben ($R_m = 380 \pm 16$ MPa, $A_{ges} = 85 \pm 3$ %). Eine milde Kerbung ($\alpha < 1,028$) der oligokristallinen und polykristallinen Drähte verringert die Bruchverlängerung unabhängig von der Kornanzahl der Proben im Kerbinneren auf ein niedriges Niveau mit einer Bruchverlängerung, die kleiner als die jeweilige Kerbbreite ist. Ein deutlicher Unterschied abhängig von der Kornanzahl lässt sich in der Zugfestigkeit zwischen den gekerbten Proben mit weniger ($R_m = 420-482$ MPa) und mehr als fünf Körnern im Querschnitt ($R_m = 595-727$ MPa) erkennen.

Die EBSD-Untersuchungen an den ermüdeten, nicht gekerbten, oligokristallinen, lösungsgeglühten Runddrahtproben und an den nicht gekerbten, oligokristallinen Blechproben zeigen massive Kornrotationen von über 10° (GOS) in Bruchnähe und v.a. in relativ großen Körnern mit hohem Schmid-Faktor an. Die gekerbten, oligokristallinen Draht- und Blechproben zeigen im Kerbbereich ebenfalls eine massive Kornrotation an, welche durch die geometrisch bedingte Spannungsüberhöhung durch die Kerbung und weniger durch den Schmid-Faktor der Körner im Kerbinneren bestimmt ist. Die axialen Ermüdungsuntersuchungen wurden durch das bei dünnen Proben notwendige positive Spannungsverhältnis durch zyklisches Kriechen überlagert und führten im oligokristallinen, lösungsgeglühten Zustand zu starken Streuungen bzgl. der Bruchlastspielzahl: So zeigten z.B. eine Probe bei 300 MPa Oberspannung bereits bei zwei Zyklen einen Bruch, während eine weitere Probe im gleichen Zustand bis 2 Millionen Zyklen nicht gebrochen ist.

Eine Kaltverfestigung um 10% des oligokristallinen Zustands führt zu einer deutlichen Erhöhung der Dauerfestigkeit auf 450 MPa ($R=0,5$) im Vergleich zum oligokristallinen, lösungsgeglühten Zustand (250 MPa) durch die Erzeugung einer stabilen $\{111\}$ bzw. $\{112\}$ – Textur. Die Körner nahe der Bruchstelle in den Proben des lösungsgeglühten und kaltverfestigten Zustands zeigen überwiegend eine starke Verdrehung in die $\{113\}$ – Lage, ausgehend von einer Kristallorientierung mit hohem Schmid-Faktor ($>0,44$). Die Verdrehung ist dabei mit einer starken lokalen Dehnung verbunden, welche sich örtlich stark unterscheiden und aufgrund dieser Dehnungs- und Rotationsunterschiede zu einer beulenartigen Oberflächentopographie führt. In oligokristallinen Proben mit weniger als fünf Körnern im Querschnitt kann ein einzelnes Korn durch massive Rotation und durch wenige Korngrenzen zu nahezu ungestörtem Abgleiten der Gleitebenen und damit zum frühzeitigen Versagen begünstigen.