



Doctoral Thesis

Temperature dependency of stress corrosion cracking

Author(s):

Vogt, Helen

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001827586> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Temperature dependency of stress corrosion cracking

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

Helen Vogt

Dipl. Werkstoff-Ing. ETH

born March 11, 1968

citizen of Menziken (AG)

Accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Dr. h. c. M.O. Speidel, examiner
Prof. Dr. H. Böhni, co-examiner

Summary

The present work is intended to be a contribution to the understanding of the effect of temperature on stress corrosion crack growth rates in metallic materials. A mechanistic understanding of stress corrosion cracking would be helpful for predicting the residual lifetime of a component. In general, stress corrosion cracking is caused by either anodic dissolution, hydrogen embrittlement, enhanced surface mobility or by creep processes. Which of these reactions is rate controlling depends on the susceptible material and on the environment.

Eight models of stress corrosion cracking which allow quantitative predictions of crack velocity depending on temperature, stress intensity and in some cases yield strength were chosen from the literature. In order to evaluate these mechanisms, different commercial metal alloys were tested in high purity water. Fracture mechanical methods were used involving precracked double cantilever beam (DCB) specimens. The tested alloys include light weight metals such as aluminium (7022, 2014) and magnesium (WE 54, MA 84), a zirconium alloys used in the nuclear industry (Zr 2.5%Nb) and the high strength low alloy steel AISI 4340. The results of these alloys were compared with the stress corrosion cracking behaviour of nickel base alloys⁽⁶⁶⁾, low alloy steam turbine steels⁽⁶⁵⁾ and the austenitic alloy 304⁽⁵⁶⁾. The experimentally determined activation energies were compared with those of various possible mechanisms in order to identify the rate controlling mechanism for the alloy and environment in question.

The two aluminium alloys 7022 and 2014 show different temperature dependencies: Below 50°C crack growth rates of the high strength aluminium alloy 7022 exhibit a temperature dependency which is typical of hydrogen embrittlement and of enhanced surface mobility including interactions with hydrogen. At higher temperatures surface mobility alone could be rate controlling. For alloy 2014, anodic reactions rather than surface mobility seem to be rate controlling for stress corrosion cracking in water.

The two magnesium alloys WE 54 and MA 84 exhibit an activation energy of 50kJ/mol, respectively 35kJ/mol. The surface mobility model including hydrogen effects at lower temperatures is able to predict satisfactorily the measured crack propagation rates of both alloys. The good correlation with the effect of temperature on hydrogen diffusion in pure magnesium is also an indication that some form of hydrogen embrittlement is rate controlling for stress corrosion cracking of these two alloys.

The cracking mechanism in the zirconium alloy Zr 2.5%Nb remains unclear. Based on the measurements of activation energies it is not possible to discriminate between hydrogen diffusion alone or hydrogen diffusion coupled with the terminal solubility of hydrides. In order to clarify this point, further experiments are needed in environments where no hydrides can form.

The temperature dependency of the alloy AISI 4340 on the other hand can be attributed to hydrogen embrittlement. Both the internal hydrogen model as well as the surface mobility model including hydrogen effects are able to predict correctly the influence of temperature on crack propagation rates. The diffusion of hydrogen in ferritic steels has a similar activation energy as measured for AISI 4340. Other

high strength, low alloy steels exhibit similar temperature dependencies, leading to the assumption that hydrogen embrittlement is also rate controlling in these systems.

Stress corrosion crack growth rates in the nickel-base alloy IN 600 were taken from literature and compared with the corresponding models. These comparisons lead to the assumption that anodic dissolution and surface mobility are rate controlling rather than creep processes for stress corrosion cracking in simulated primary water.

The temperature dependency of sensitised AISI 304 in water on the other hand indicates that anodic dissolution rather than surface mobility or creep processes is rate controlling for stress corrosion cracking of this system.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll ein Beitrag sein zum Verständnis der Temperaturabhängigkeit von Spannungsrisskorrosion in metallischen Legierungen. Ein mechanistisches Verständnis der Spannungsrisskorrosion wäre hilfreich um die Lebensdauer von strukturellen Komponenten berechnen zu können. Im allgemeinen wird Spannungsrisskorrosion entweder durch anodische Auflösung, Wasserstoffversprödung, erhöhte Oberflächenbeweglichkeit oder Kriechprozesse verursacht. Welche dieser Reaktionen geschwindigkeitsbestimmend ist, hängt von der Legierung sowie von der Umgebung ab.

Acht Modelle von Spannungsrisskorrosion wurden aus der Literatur ausgewählt. Diese Modelle sind in der Lage Rissgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Temperatur, der Spannungsintensität sowie der Streckgrenze zu berechnen. Um diese Modelle zu evaluieren, wurden Rissgeschwindigkeiten von verschiedenen kommerziellen metallischen Legierungen in Reinstwasser ermittelt. Einerseits wurden Leichtmetalle wie Aluminium (7022, 2014) und Magnesium (WE 54, MA 84) geprüft, andererseits eine Legierungen welche in der Kernkrafttechnik verwendet wird, die Zirkonlegierung Zr 2.5%Nb, sowie ein hochfester, niedrig legierter Stahl, AISI 4340. Um die Rissgeschwindigkeit zu ermitteln wurde ein bruchmechanischer Ansatz mittels angerissenen Doppelhebelproben (DCB) gewählt. Die experimentellen Resultate wurden mit den Rissgeschwindigkeiten von Nickelbasislegierungen⁽⁶⁶⁾, von niedrig legierten Dampfturbinenstähle⁽⁶⁵⁾ sowie von der austenitischen Legierung AISI 304⁽⁶⁶⁾ verglichen. Die experimentell bestimmten Aktivierungsenergien wurden mit den modellierten Werten verglichen um den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt für jede Legierung zu ermitteln.

Nachfolgend sind die Resultate zusammengefasst: Die beiden Aluminiumlegierungen 7022 und 2014 zeigen verschiedene Temperaturabhängigkeiten: Unterhalb von 50°C zeigt die hochfeste Legierung 7022 eine Temperaturabhängigkeit welche einerseits typisch ist für Wasserstoffversprödung, andererseits für eine erhöhte Oberflächenbeweglichkeit, gekoppelt mit Wechselwirkungen von Wasserstoff und Leerstellen. Oberhalb 50°C scheint reine Oberflächendiffusion ohne Wechselwirkungen geschwindigkeitsbestimmend zu sein. Bei der warmfesten Legierung 2014 zeigt sich, dass wahrscheinlich anodische Auflösung die Spannungsrisskorrosion in Wasser verursacht.

Die beiden Magnesiumlegierungen WE 54 und MA 84 besitzen eine Aktivierungsenergie von 50kJ/mol bez. 35kJ/mol. Das Oberflächenbeweglichkeitsmodell unter Berücksichtigung von Wasserstoffwechselwirkungen kann die experimentellen Rissgeschwindigkeiten von beiden Legierungen korrekt vorhersagen. Die Temperaturabhängigkeit der Wasserstoffdiffusion in Reinform magnesium stimmt ebenfalls gut überein mit den gemessenen Werten. Dies deutet darauf hin, dass Wasserstoff einen grossen Einfluss auf die Spannungsrisskorrosion dieser beiden Legierungen hat.

Bei der Zirkonlegierung Zr2.5%Nb ist es unklar, welcher Mechanismus geschwindigkeitsbestimmend ist für die Spannungsrisskorrosion in Wasser. Die gemessenen Aktivierungsenergien erlauben keine Unterscheidung zwischen reiner Wasserstoffdiffusion sowie Wasserstoffdiffusion gekoppelt mit der Hydridlöslichkeit. Um diesen

Punkt abzuklären bedarf es weiterer Experimente in einer Umgebung, wo sich keine Hydride bilden können.

Die Temperaturabhängigkeit des niedriglegierten Stahls AISI 4340 ist wiederum typisch für Wasserstoffversprödung. Sowohl das Model des internen Wasserstoffs wie auch das Oberflächenbeweglichkeitsmodell unter Berücksichtigung von Wasserstoffwechselwirkungen können die experimentellen Rissgeschwindigkeiten korrekt vorhersagen. Die Diffusion von Wasserstoff in ferritischen Stählen zeigt eine ähnliche Aktivierungsenergie wie der Stahl AISI 4340. Andere hochfeste, niedriglegierte Stähle zeigen ebenfalls ähnliche Temperaturabhängigkeiten. Dies deutet darauf hin, dass Wasserstoffversprödung in dieser ganzen Stahlklasse verantwortlich ist für Spannungsrisskorrosion in Wasser.

Die Rissgeschwindigkeiten der Nickelbasislegierung IN 600 wurden aus Literaturdaten ausgewählt und mit den entsprechenden Modellen verglichen. Es zeigt sich, dass anodische Auflösung sowie erhöhte Oberflächenbeweglichkeit eher geschwindigkeitsbestimmend sind als Kriechprozesse für die Spannungsrisskorrosion in primärem Wasser.

Die Temperaturabhängigkeit der sensibilisierten Legierung AISI 304, welche ebenfalls aus Literaturdaten gewonnen wurde, deutet andererseits darauf hin, dass anodische Auflösung eher als Oberflächendiffusion oder Kriechprozesse zu Spannungsrisskorrosion in Wasser führt.