

16. Mai 1994

Diss. ETH Nr. 10644

**Stress corrosion cracking of pressure vessel steels  
in high temperature water**

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

presented by

**Andreas Kraus**

Dipl. Werkstoff-Ing. ETH

born January 1, 1964

citizen of Uster (ZH)

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



## **Abstract**

The generation of electrical energy in thermal power stations is generally based on water as the heat carrier because of its availability and easy handling. Unfortunately, this results also in a variety of corrosion problems which affect the reliability and restrict the useful life of the equipment.

The present work concentrates on the investigation of stress corrosion cracking of reactor pressure vessel steels in hot water above 200 °C, under environmental conditions resembling those in the primary circuit of light water reactors under normal and faulted conditions.

Today it's well known that practically all of the applied structural metallic alloys may undergo environmentally assisted cracking in hot water, if stresses and environment meet certain conditions. It has become apparent that in relation to the susceptibility to stress corrosion cracking with deionized water is not just water and therefore a number of physical and chemical parameters, partly difficult to access by analytical and measuring techniques, play a decisive role. The effect of these parameters is much too little understood quantitatively to set up reliable thresholds and computation bases.

It was the intention and the goal of this work to quantitatively investigate the main influential parameters of stress corrosion cracking in high temperature water with low alloy reactor pressure vessel steels.

For the testing, a fracture mechanics based technique with precracked double cantilever beam specimens was used to obtain directly measurable crack growth rates. The important parameters which were systematically examined were the dissolved oxygen content and the resulting corrosion potential, the temperature, the stress intensity and the specimen geometry as well as impurities in the water.

It became apparent that the corrosion potential at the crack mouth has a very strong effect and for sustained crack growth, must exceed a certain threshold level. This threshold is however dependent on the temperature, the chemical composition of the water and steel and possibly other factors.

The main part of this work was dedicated to the study of the effect of the corrosion potential and the temperature on the growth rate of stress corrosion cracks. The results obtained allow to define the conditions for fast and stable crack growth in hot water above 200 °C. They provide information about the maximum growth rate which can be expected. Quantitative interrelations between the dissolved oxygen content, the corrosion potential, the temperature and the resulting susceptibility to stress corrosion cracking are given.

## Zusammenfassung

Die Erzeugung elektrischer Energie in thermischen Kraftwerken basiert meist auf dem Wärmeträger Wasser, da dieser billig verfügbar und einfach zu handhaben ist. Leider ergeben sich dadurch auch eine Vielzahl von Korrosionsproblemen, welche die Betriebsicherheit beeinträchtigen und die Lebensdauer der Anlagen einschränken.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Untersuchung der Spannungsrisskorrosion von Reaktordruckbehälterstählen in Heisswasser, unter Bedingungen, welche denen im Primärkreislauf von Leichtwasserreaktoren ähnlich sind.

Es kann heute als sicher angesehen werden, dass praktisch alle heisswasserbeaufschlagten metallischen Legierungen in irgend einer Weise Spannungsrisskorrosion zeigen können, falls Spannungen und umgebendes Medium geeignete Bedingungen annehmen. Es hat sich gezeigt, dass im Zusammenhang mit der Anfälligkeit auf Spannungsrisskorrosion in Wasser eine Reihe physikalischer und chemischer, zum Teil analytisch und messtechnisch nur schwer zugänglicher Parameter eine entscheidende Rolle spielen. Der Einfluss dieser Parameter ist heute quantitativ viel zu wenig gut bekannt, als dass zuverlässige Grenzwerte und Berechnungsgrundlagen geschaffen werden könnten.

Es war Absicht und Ziel dieser Arbeit, anhand niedriglegierter Reaktordruckbehälterstähle einige Einflussgrössen quantitativ zu untersuchen und belastbare Ergebnisse zu gewinnen.

Zur experimentellen Untersuchung wurde eine bruchmechanische Versuchstechnik mit angerissenen Proben verwendet, welche als Ergebnis unmittelbar eine Risswachstumsgeschwindigkeit liefert. Zu den wichtigen Einflussgrössen, welche in der vorliegenden Arbeit systematisch untersucht wurden, gehören der Sauerstoffgehalt, das damit verbundene Korrosionspotential, die Temperatur, die Spannungsintensität und die Probengeometrie, sowie Verunreinigungen im Wasser.

Es hat sich gezeigt, dass das Korrosionspotential am Ort der Rissbildung den stärksten Einfluss ausübt und für schnelles Risswachstum notwendigerweise einen gewissen Grenzwert überschreiten muss. Dieser Grenzwert ist jedoch von der Temperatur, der Wasserchemie und Stahlzusammensetzung und möglicherweise von weiteren, noch nicht systematisch untersuchten Faktoren abhängig. In dieser Arbeit wurden insbesondere die Potentialabhängigkeit des Spannungskorrosions-Risswachstums sowie auch deren Temperaturabhängigkeit untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen auf, unter welchen Bedingungen schnelles Risswachstum mit bekannter Geschwindigkeit in Heisswasser oberhalb 200 °C befürchtet werden muss und liefert quantitative Zusammenhänge zwischen dem gelösten Sauerstoff, dem Potential, der Temperatur und der Anfälligkeit auf Spannungsrisskorrosion.