

Untersuchungen zur Zeitschwingfestigkeit hochfester Schrauben für Kernreaktor-Druckbehälter

H. Kristof und E. Klausnitzer, Erlangen

Abstract:

Specimens of the two steel types SAE 4340 and 25NiCrMo145, which represent steels for bolts of reactor pressure vessels, were examined in a low cycle fatigue test. The test strains simulate the strains in the root of the thread.

Test temperatures: from 20 to 330°C.

The results (number of cycles till a fatigue crack starts) show a slightly higher fatigue resistance of the 25 NiCrMo 14 5.

Einleitung. Als Folge der Leistungssteigerung bei Kernkraftwerken und der damit verbundenen steigenden Größe der Druckgefäße sind Verschlußschrauben nötig geworden, die bei Abmessungen von etwa 300 Ø hohe Anforderungen bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften erfüllen müssen. Im Zuge der Untersuchungen mit dem Ziel dafür einen geeigneten Stahl zu finden, wurden u.a. Betriebsbeanspruchungen simulierende Dehn-Schwellversuche durchgeführt.

Versuchsparameter: Es wurden vergleichend untersucht:

| Werkstoff | mechanische Eigenschaften | | | |
|----------------|----------------------------------|------------------------------|--------------|------------|
| | $\sigma_{0,2}$ N/mm ² | σ_B N/mm ² | δ_5 % | γ % |
| SAE 4340 | 980 | 1070 | 17 | 55 |
| 25 NiCrMo 14 5 | 940 | 1030 | 19 | 65 |

Als Probenmaterial standen Stücke zur Verfügung, die den

Verhältnissen des Bauteiles entsprachen. Diesen Stücken wurden aus dem Randbereich, also dem Ort des Auftretens der Betriebsbeanspruchungen, Längsproben entnommen, sh. Abb. 1. Die Versuchsbeanspruchungen entsprachen berechneten Betriebsbeanspruchungen der Schrauben im Gewindegrund. Die Berechnung erfolgte nach zwei verschiedenen Ansätzen, wodurch sich zwei prinzipiell gleiche, nach Höhe der Beanspruchung jedoch verschiedene Programme ergaben.

Prinzipiell: Zyklisches Recken zwischen der Unterdehnung $\epsilon_u=0$ und einer Oberdehnung ϵ_o , die bereits im plastischen Bereich lag, sh. Abb. 2, $\sigma(\epsilon)$ - Darstellung.

Versuchsprogramme quantitativ:

| Programm | Dehnungen o/oo | | Prüftemperaturen °C |
|----------|----------------|--------------|---------------------|
| | ϵ_u | ϵ_o | |
| 1 | 0 | 15 | RT, 200, 330 |
| 2 | 0 | 22,5 | RT, 200, 330 |

Versuchsaufbau. (Sh. Abb. 3) Die Probe ist mit Gewindespannköpfen in eine Einraum-Zug-Druckprüfmaschine aufgenommen und mit Kontermuttern verspannt. Die Verlagerung wird mittels Schneiden abgegriffen und über Gestänge auf induktive Meßwandler übertragen. Dieses Signal wird zur Maschinensteuerung benutzt. Temperiert wird in einem Ofen, der eine Temperaturkonstanz von $\pm 2^\circ\text{C}$ gewährleistet.

Versuchsdurchführung und Auswertung. Die ersten 5 bis 10 Zyklen wurden alle -danach jeder 25. bis 50. Zyklus in Kraft (Verlagerung)- Darstellung registriert. Aus diesen Schrieben ist, wie in Abb. 2 schematisch dargestellt, σ_{\max} (Zyklenzahl N) zu ermitteln. Der dargestellte Verlauf war prinzipiell in allen Fällen zu beobachten: zunächst steiler, mit steigender Zyklenzahl flacher werdender und in einen linear fallenden Bereich übergehender Kurvenverlauf. Von einem innerhalb enger Grenzen festzulegenden Bereich an war ein mit steigender Zyklenzahl progressiv fallender Kurvenast

festzustellen. Nach / 1 / ist der Übergangspunkt als Beginn eines Makroanrisses anzusehen. Diese Aussage wurde überprüft und bestätigt gefunden. Die Lastspielzahlen bis zum Auftreten eines Makroanrisses für die untersuchten Werkstoffe ist die aus der Untersuchung gewonnene Information.

Interpretation der ermittelten Kennwerte. Die ermittelte Zyklenzahl bis zum Auftreten des Makroanrisses ist nicht identisch mit der Zyklenzahl bis zum Versagen des Bauteiles. Für das Bauteil beginnt mit diesem Zeitpunkt die Phase der Rißausbreitung, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war.

Auch die Ermittlung von $N_{\text{Anriß}}$ beinhaltet eine konservative Betrachtungsweise. Die im Bauteil als Spitze vorhandene Beanspruchung wurde über den Probenquerschnitt gleichbleibend simuliert. Damit blieb die im Bauteil gegebene Stützwirkung, von der durchaus eine Erhöhung von $N_{\text{Anriß}}$ erwartet werden kann, unberücksichtigt.

Ergebnisse. In Abb. 4 ist die Zyklenzahl bis zum Beginn eines Makroanrisses $N_{\text{Anriß}}$ in Abhängigkeit von der Prüftemperatur mit den untersuchten Werkstoffen und den beiden Dehnungen als Parameter dargestellt.

Die Versuchsergebnisse sollten die Frage beantworten, ob der 25 NiCrMo 14 5 gegenüber dynamischen Betriebsbeanspruchungen ein dem bewährten SAE 4340 vergleichbares Verhalten zeigt. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen sogar eine leichte Überlegenheit des 25 NiCrMo 14 5, wenn man die in diesem Zusammenhang interessierenden Temperaturen höher als RT, insbesondere die Betriebstemperatur von 330°C , berücksichtigt.

Unter dem Gesichtspunkt der Ermüdung unter Betriebsbeanspruchung stand damit dem Einsatz des 25 NiCrMo 14 5 für Verschlußschrauben des Kernreaktor-Druckbehälters nichts mehr im Wege.

/ 1 / Dissertation von G. Luft "Wechselverformungsverhalten von Stählen" Universität Stuttgart.

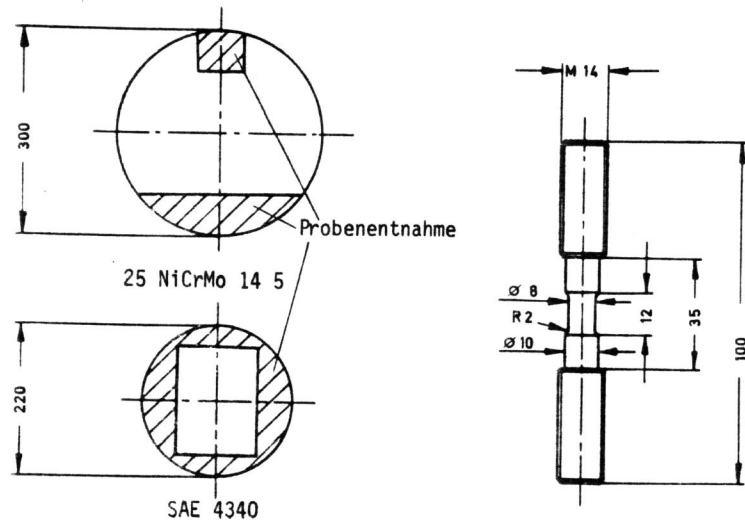


Abb.1 Bereich der Probenentnahme innerhalb der Ronden und Probenform

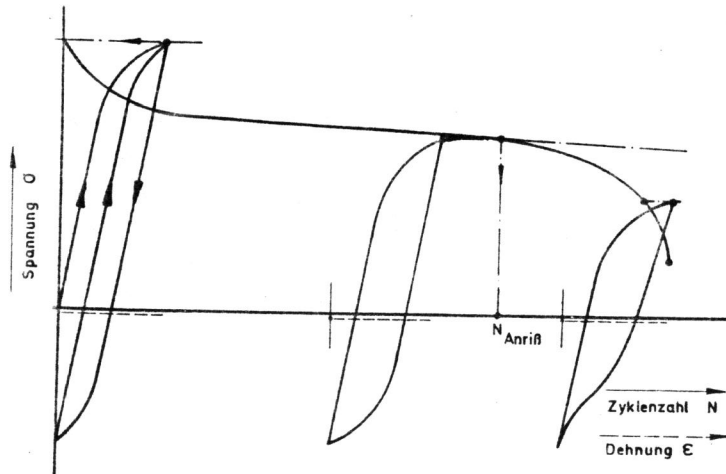


Abb.2 Prüfungsvorgang in $\sigma(\epsilon)$ -Darstellung und Auswertung in $\sigma_{\max}(N)$ -Darstellung (schematisch)

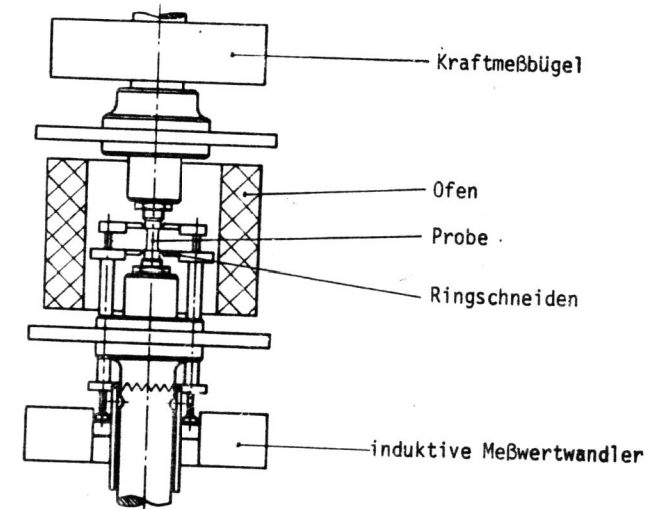


Abb. 3 Meßaufbau

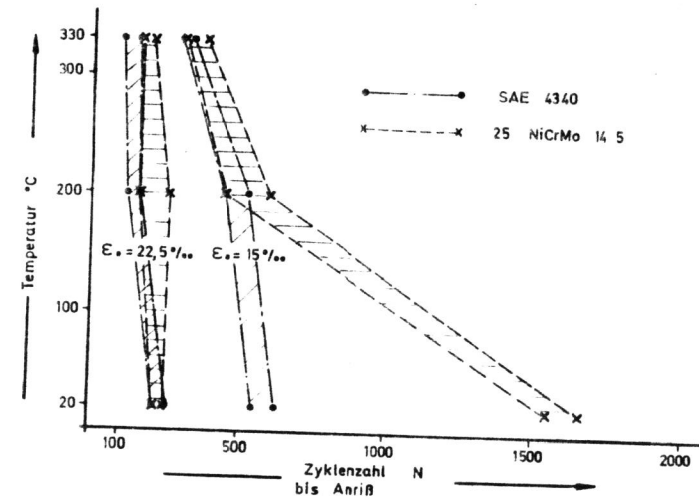


Abb. 4 Einfluß der Temperatur auf die Zyklenzahl bis zum Beginn eines Makrorisses.