

Sprödbbruchanalyse von Reaktordruckbehältern für idealisierte und natürliche Werkstofffehler

M. Miksch, Erlangen

Um die Sicherheit einer Reaktorkomponente gegen Sprödbbruch nachzuweisen, können zwei verschiedene Methoden der Bruchmechanik angewendet werden:

- Sehr einfache analytische Formeln, die für idealisierte Strukturen und Belastungen entwickelt wurden, können im Zusammenhang mit geeigneten Formfaktoren verwendet werden.
- Berechnungen mit Hilfe von Ergebnissen nach der Methode der Finiten Elemente.

Das aufwendigere Verfahren ist die Berechnung mit Finiten-Elementen. Sie dient zur Bestätigung der Ergebnisse aus analytischen Verfahren und findet Anwendung bei der Berechnung von komplizierten Strukturen.

1. Die Berechnungsverfahren

Der Spannungsintensitätsfaktor K_I kann aus den Spannungen und den geometrischen Daten bestimmt werden. Wenn K_I unter einer kritischen Werkstoffgröße, der Bruchzähigkeit K_{Ic} liegt, kann das Auftreten von sprödem Bruch ausgeschlossen werden.

1.1 Analytisches Verfahren

In diesem Fall hängt der Spannungsintensitätsfaktor K_I lediglich von der Geometrie und der Spannungsverteilung in der fehlerfreien Struktur ab.

$K_{I\infty}$ kann mit Hilfe von einfachen Formeln für den betrachteten RiB in einer unendlich großen Platte berechnet werden. Der Einfluß einer endlichen Wandstärke und der RiBlage muß durch einen Formfaktor f berücksichtigt werden. K_I ist gleich dem Produkt aus $K_{I\infty}$ und f .

1.2 Mit der Methode der Finiten Elemente

K_I erhält man über die tatsächlichen Spannungen und Verschiebungen der Elemente und Knotenpunkte der rißbehafteten Struktur, die Ergebnisse einer Berechnung mit Finiten Elementen sind.

Mit diesen Ergebnissen kann man K_{Ic} nach folgenden drei Arten erhalten:

- a) Durch die Verschiebung der Knotenpunkte aus der RiBebene.
- b) Aus der Spannungsverteilung in dem Bereich der RiBspitze.
- c) Aus der Änderung der Gesamtenergie über der Änderung der RiBtiefe.

Sämtliche Verfahren ergeben theoretisch den gleichen K_{Ic} -Wert.

2. Beispiel, Thermoschock-Berechnung

Der Sicherheitsnachweis für die Belastung durch Thermoschock, infolge der Kernnotkühlung, wird erbracht. Der zylindrische Teil eines Reaktordruckbehälters mit einem endlosen Oberflächenriß in Umfangsrichtung wird, wie in der im Vorhergehenden erläuterten Weise, berechnet.

3. Sicherheitsbeurteilung

Die Sicherheit gegen Sprödbruch kann, wie gezeigt wird, mit beiden Methoden (analytisch und mit Finiten Elementen)

ten) nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse werden verglichen und es wird gezeigt, daß man mit den Ergebnissen der analytischen Berechnung auf der sicheren Seite liegt.

Bei dem Verfahren mit Hilfe der Finiten Elemente erweist sich die Energiemethode als brauchbarstes Verfahren. Die Betrachtungen wurden vorerst auf den theoretischen Fall eines endlosen Umfangrisses an der Oberfläche bezogen.

Darüberhinaus werden Untersuchungen an verschiedenen natürlichen RiBkonfigurationen von begrenzter Länge unter der Oberfläche sowie Einflüsse von benachbarten Rissen gezeigt.