

PRESSEINFORMATION

3/83

12. April 1983

DIE STANDFESTIGKEIT DER ERSTEN WAND

Studie über Belastbarkeit der Reaktionskammer eines Fusionsreaktors / Einfluß auf die Ökonomie des Fusionsreaktors

Die Energie eines Fusionsreaktors wird in einer Brennkammer erzeugt, deren Wandmaterial einer enormen Belastung durch Wärme und Teilchenbeschuß standhalten muß. Von der Standfestigkeit der Gefäßwandung, der sogenannten ersten Wand, hängt mit ab, wie wirtschaftlich ein Fusionsreaktor einmal arbeiten kann. Für die ersten Fusionstestreaktoren, deren Bau in den nächsten Jahrzehnten geplant wird, haben jetzt Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München eine Studie über die mögliche Lebensdauer der Brennkammer vorgelegt. Danach können unter Reaktorbedingungen und dem Einsatz heute benutzter Werkstoffe akzeptable Standzeiten bis zu 3 Jahren erwartet werden.

Ein Fusionsreaktor gewinnt seine Energie aus der nuklearen Verschmelzung von Wasserstoffatomkernen, vorzugsweise von Deuterium und Tritium. Die Fusionsreaktion läuft in einem etwa 100 Millionen Grad heißen Wasserstoffplasma ab, das von einem starken Magnetfeld zusammengehalten wird. Der Magnetfeldkäfig isoliert das Plasma von materiellen Wänden, da kein Material den hohen Temperaturen direkt standhalten könnte. Plasma und Magnetfeld sind in einem Gefäß - der Brennkammer - eingeschlossen. Deren Wände sind stärksten Belastungen ausgesetzt, und zwar durch einen Strom von harter Strahlung, energiereichen Neutronen und Helium-Atomkernen (Alphateilchen), die bei der Fusion entstehen. Die Alphateilchen bombardieren die Oberfläche der Wand, die Neutronen durchdringen sie und verändern sie dabei auf mehrfache Weise. Je höher die Wandbelastung, desto schneller wird die Wand zerstört und desto öfter muß sie ausgewechselt werden.

Diese Situation hat Dr. Wolfgang Dänner vom IPP mit einem Computermodell simuliert. In zweieinhalb Rechenstunden läßt sich so die

Wirkung von 20 - 30 Reaktorjahren auf die Wand nachahmen. Die angenommenen Betriebsdaten orientieren sich hauptsächlich an der sogenannten INTOR-Studie, in der ein Internationaler Tokamak Reaktor entworfen wird, der möglicherweise im nächsten Jahrzehnt gebaut werden soll.

Die Studie nimmt als Material für die Gefäßwand den Stahl 316 SS (20% kaltverformt) an. Dies ist eine Legierung, die außer Eisen noch größere Mengen an Chrom und Nickel, sowie Zusätze von Mangan und Molybdän enthält. Über ihr Verhalten unter Neutronenbestrahlung gibt es Kenntnisse aus dem Brutreaktor-Entwicklungsprogramm. Darüber hinaus laufen seit einiger Zeit experimentelle Untersuchungen, in denen ihre Eigenschaften unter Bedingungen ermittelt werden, die denen in Fusionsreaktoren ähneln. Der Reaktor, so die weitere Annahme, soll mit Pulsen von 1000 Sekunden Dauer "brennen", die im Abstand von 100 Sekunden aufeinander folgen - eine durchaus pessimistische Annahme, da spätere Reaktoren nach Möglichkeit im Dauerbetrieb gefahren werden sollen. Die Neutronen belasten die Stahlwand mit einer Leistung von 2 Megawatt pro Quadratmeter. Im gewählten Beispiel der Studie soll der auf der Plasmaseite 500 Grad heiße Stahl mit Heliumgas auf ca. 350 Grad an seiner Außenseite gekühlt werden.

Unter diesen Bedingungen verändert sich auch der härteste Stahl und wird schließlich durch folgende Prozesse unbrauchbar:

- Schwellen: Die Neutronen erzeugen beim Wanddurchtritt kleine Heliumgasbläschen, die den Stahl aufquellen lassen; den gleichen Effekt haben kleine Löcher, die entstehen, wenn Atome durch Neutronenstöße verlagert werden.
- Kriechen: Bei hohen Temperaturen und großen mechanischen Spannungen verformt sich der Stahl langsam aber kontinuierlich ("thermisches Kriechen"); außerdem trägt die Neutronenbestrahlung auch unabhängig von der Erwärmung zum Kriecheffekt bei ("strahlungsinduziertes Kriechen").
- Versprödung: Die im Stahl erzeugten Heliumgasbläschen sammeln sich zwischen den Körnern der polykristallinen Stahllegierung und vermindern dadurch die Festigkeit des Stahls.

- Erosion: An der heißen Wandinnenseite tragen die aus dem Plasma kommenden Ionen Material ab.
- Risse: Auch wohl präparierte Metalloberflächen enthalten unvermeidbar Minirisse von Zehntelmillimeter Tiefe, die unter Belastung wachsen und zu Lecks oder Brüchen führen können.

"Unter Berücksichtigung dieser Prozesse", folgert Wolfgang Dänner aus seinen Berechnungen, "hat die Wand eine Lebensdauer von etwa 3 Jahren, wenn Deformationseffekte von 5% noch tragbar sind und die jährliche Erosion 3 Millimeter nicht übersteigt." Natürlich lassen sich längere Lebensdauern erzielen, etwa wenn die Erosionsrate unter 2 Millimeter pro Jahr gedrückt werden kann. Dies ist ein Problem des Schutzes der Innenwand, der durch eine verstärkte magnetische Isolierung verbessert werden kann, die im IPP ebenfalls untersucht wird. Wenn gleichzeitig etwa 10%-Effekte durch Schwellen und Kriechen noch tolerierbar sind, dann "könnte die erste Gefäßwand sogar 5 bis 7 Jahre halten" (Dänner).

Diese Werte werden die Wirtschaftlichkeit eines Fusionsreaktors mitbestimmen. Trotz aller Unsicherheit läßt sich jetzt schon erkennen, daß das Gesamtsystem unrentabel wird, wenn die Standzeit der Gefäßwand unter ein Jahr sinkt: Dann müßte man den Reaktor für das Auswechseln der Wand zu oft stilllegen. Umgekehrt zeigt sich aber auch, daß für die vorhergesagten Werte der Standfestigkeit die erste Wand als Kostenfaktor unerheblich bleibt.

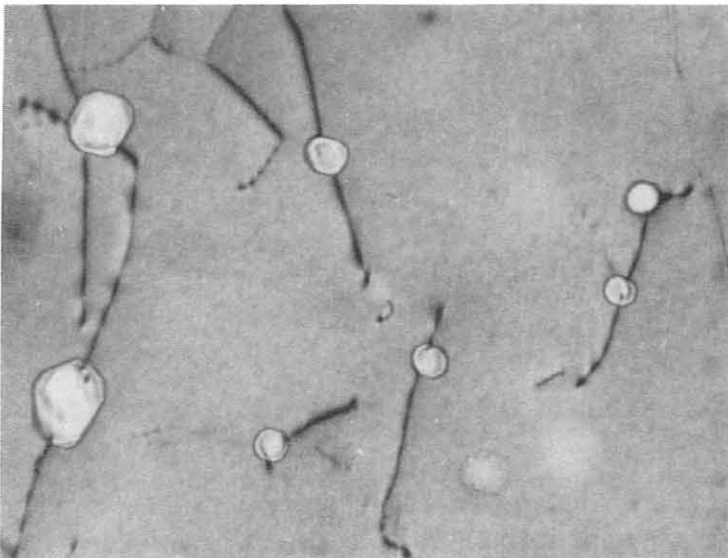
Der in Danners Studie betrachtete Stahl erfüllt keineswegs alle Wünsche der Reaktorplaner, jedoch sind über ihn die meisten technischen Daten verfügbar. Schon gibt es Werkstoffe, die zum Teil besser als Stahl sind. Doch vorläufig ist noch unklar, welches das ideale Wandmaterial sein wird. "Nach heutigem Kenntnisstand", so Dänner, "vereinigt noch kein Stoff alle Eigenschaften in sich, die man sich von einem Fusionsreaktor-Strukturmaterial erhofft. Für viele Werkstoffe sind wichtige Eigenschaften heute nur unzureichend oder überhaupt nicht bekannt, so daß man von einer Festlegung noch weit entfernt ist."

Bildunterschrift: Die Lebensdauer der Brennkammerwand eines Fusionsreaktors wird im wesentlichen durch die zerstörende Wirkung der Neutronen aus dem Fusionsfeuer begrenzt. Typische Beispiele für Veränderungen in Metallegierungen nach längerer Bestrahlung mit Neutronen zeigen die folgenden Bilder:

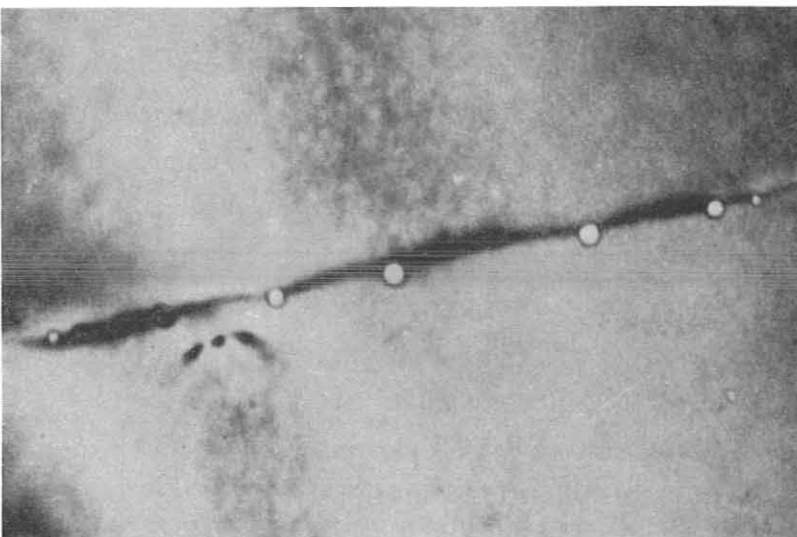
- (a) Porenartige Leerräume von einigen hunderttausendstel Millimeter Größe (hier in 40000 facher Vergrößerung) wachsen unter dem Beschuß von energiereichen Neutronen und führen zum "Schwellen".
- (b) An den Grenzen benachbarter Körner - kompakte Kristallverbände innerhalb der Legierung - sammelt sich Helium in Bläschen (hier die Vergrößerung 200 000 fach); sie "verspröden" das Metall.

Anmerkung der Redaktion

Dieser Text steht Ihnen zur beliebigen Auswertung auch ohne Namensnennung zur Verfügung. Einen Hochglanzabzug der Bilder erhalten Sie unter der Tel.Nr. 089/3299-288.



(a)



(b)

Fotos:
KfK Karlsruhe