

Wissenschaftlicher Ergebnisbericht / Scientific Report 2004

Schwerpunkt / main research area
FE-Vorhaben / RD project

Materie / Matter
E05
Fusion

Institutsbeitrag / institute's contribution

Zentralabteilung Technologie /
Central Technology Division (ZAT)
Dr. R. Sievering Email: r.sievering@fz-juelich.de
Energy
Nuclear Fusion

Verantwortlich / in charge
HGF-Forschungsbereich / Research Field
HGF-Programm / Programme

HGF-Thema / Topic
Internet

Stellarator Research
www.fz-juelich.de/scientific-report

Detailergebnisse / Details

1. Schweißtechnische Untersuchungen für W7X

ZAT hat im Rahmen der Arbeiten für den Aufbau des Fusionsexperimentes Wendelstein 7 X vom Institut für Plasmaphysik der Max-Planck-Gesellschaft den Auftrag erhalten, eine Schweißtechnologie zu entwickeln, die es ermöglicht die Druckstützen der Magnetspulen einzuschweißen. Bild 1.1 (siehe nächste Seite) zeigt den Spulenverband eines Halbmoduls. Der Stellarator besteht aus insgesamt 10 solcher Halbmodule. Die Druckstützen sind im Bild farbig (grün und rot) markiert.

Die besondere Problematik liegt darin, dass nach ursprünglicher Planung die Druckstützen mit einer Schraubverbindung hergestellt werden sollten und die Anschlussstützen an den Spulen entsprechend vorbereitet sind, was aus schweißtechnischer Sicht äußerst ungünstig ist, Bild 1.2. Im Zuge der Entwicklungsarbeiten hat sich jedoch herausgestellt, dass die Kräfte nur durch eine Schweißverbindung sicher zu übertragen sind.

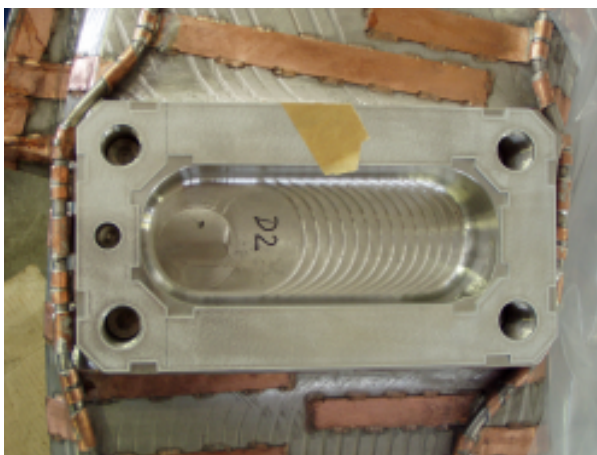


Bild 1.2: Spulenseitige Anschlussfläche (ca. 280x160mm)

Die Druckstützen müssen beidseitig mit den Spulengehäusen verschweißt werden, wobei aufgrund der extrem hohen Belastung durch die Magnetkräfte Schweißnahtdicken von bis zu 25 mm hergestellt werden müssen. Die Schweißarbeiten sollen am fertig montierten Halbmodul und damit zum großen Teil unter erheblich erschwerten Zugänglichkeitsbedingungen durchgeführt werden. Die bereits aufgebrachten Kühlstrukturen, sowie die Isolation des Plasmagefäßes dürfen dabei nicht im geringsten beeinflusst werden. Die anspruchsvollste Anforderung ist jedoch, dass Schweißverzüge von nur max. 1mm auftreten dürfen, um die Position der Spulen und damit des Magnetfeldes nur sehr geringfügig zu beeinflussen. Wird dies nicht erreicht, ist damit zu rechnen, dass die Beherrschung des Fusionsplasmas nicht wie berechnet gegeben ist, was den Erfolg des gesamten Experimentes gefährden würde. Die Entwicklung der Schweißtechnologie ist somit eine Schlüsselaufgabe für die erfolgreiche Inbetriebnahme des Fusionsexperimentes.

Aufgrund der Komplexität der Schweißtechnik ist es weder der Forschung noch den Entwicklern von FEM-Programmen bis heute gelungen, rechnerische Methoden zur Verfügung zu stellen, die es ermöglichen Schweißverzüge hinreichend genau vorherzusagen. Deshalb müssen die in der ZAT erarbeiteten schweißtechnischen Lösungen und Verfahrensweisen mittels praxisnaher Modellschweißungen in mehreren Schritten erprobt werden. Im ersten Schritt wird die Verfahrensweise an sog. Mockups überprüft, Bild 1.3.

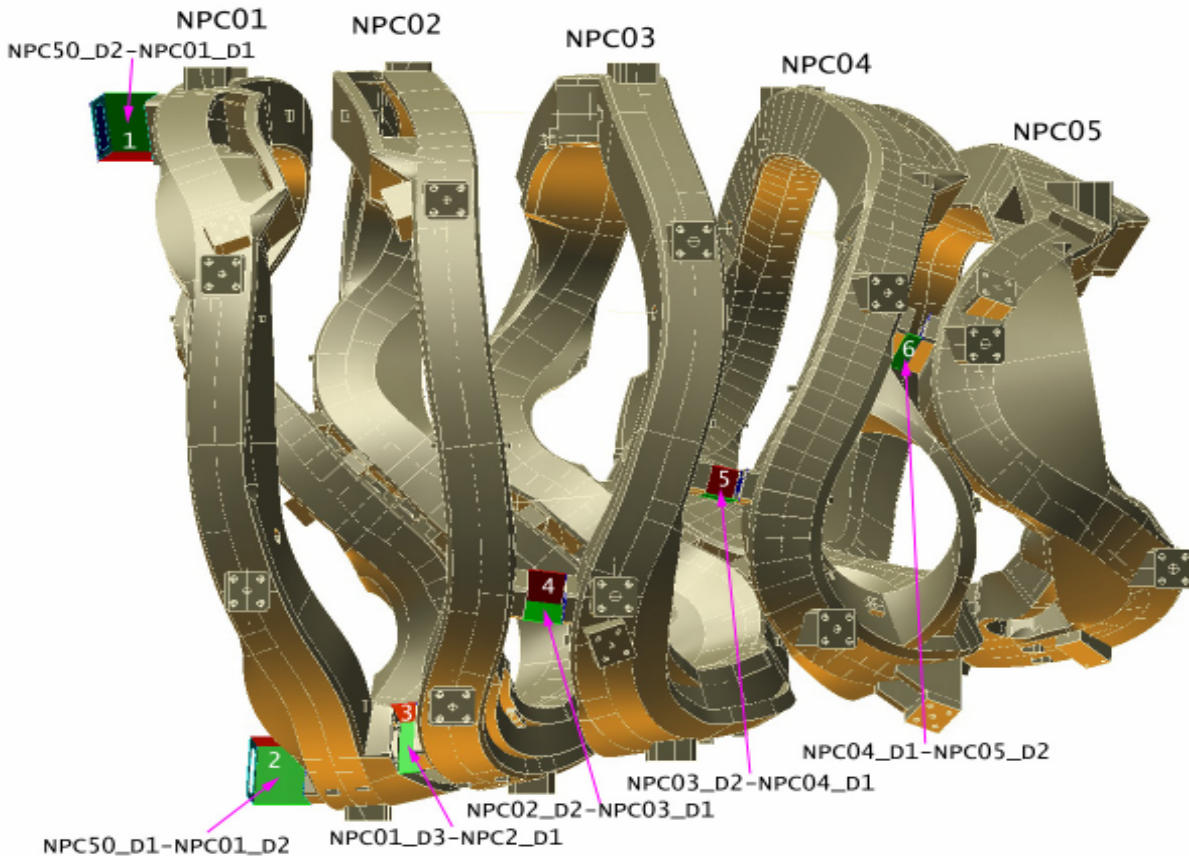


Bild 1.1: Spulenverband eines Halbmoduls des Stellarators



Bild 1.3: Maßstabsgerechte Nachbildung einer Druckstütze im Schweißversuch

Damit wird überprüft, ob die gewählten Schweißverfahren und Schweißparameter geeignet sind. Die Schweißprozedur wird mehrfach unterbrochen, um die geometrischen Veränderungen der Druckstütze durch die Wärmeeinwirkung beim Schweißen zwischen den einzelnen Schritten der Schweißfolge auf einer 3D-CNC-Meßmaschine exakt zu erfassen.

Um qualitativ hochwertige Schweißnähte sicherzustellen, werden diese einer ständigen Überprüfung unterzogen, da später am Original aufgrund der räumlichen Bedingungen keine zerstörungsfreien Prüfverfahren eingesetzt werden können. So werden z.B. die mechanischen Gütewerte der geschweißten Proben in einer in der ZAT eigens dafür gebauten Kryo-Zugvorrichtung zerstörend geprüft, Bild 1.4. Die Zugprobengeometrie ist durch die DIN 50125 „Zugproben der Form B mit $d_0 = 8\text{mm}$ “ bestimmt.



Bild 1.4: Zerstörte Zugproben nach Zugverzug bei 77°K

Damit konnte sichergestellt werden, dass die hohen Festigkeitswerte bei 77°K auch an den Schweißnähten der verwendeten amagnetischen Stähle 1.4429 und 1.3960 mit $R_{p0,2} > 750$ MPa erreicht wurden.

Die Schweißparameter und die Schweißnahtfolge werden in mehreren Schritten optimiert. Im Anschluss daran werden die gewonnenen Ergebnisse in Schweißversuchen überprüft, die die reale Zugänglichkeit und die Arbeitsbedingungen im Montagestand für die Spulen nachbilden, Bild 1.5.



Bild 1.5: Vorbereiteter Schweißversuch mit eingeschränkter Bewegungsmöglichkeit für den Schweißer

Zum Ende des Berichtsjahres wurden dann erstmals in den Montageständen des IPP in Greifwalds Versuchsschweißungen an Demonstratorspulen durchgeführt, um die gewonnen Erkenntnisse für den ersten der 10 unterschiedlichen zu verschweißenden Druckstützentypen zu überprüfen, Bild 1.6.

Es konnte gezeigt werden, dass die in der ZAT entwickelte Schweißtechnologie anwendbar ist, und die hohen Anforderungen eingehalten werden.

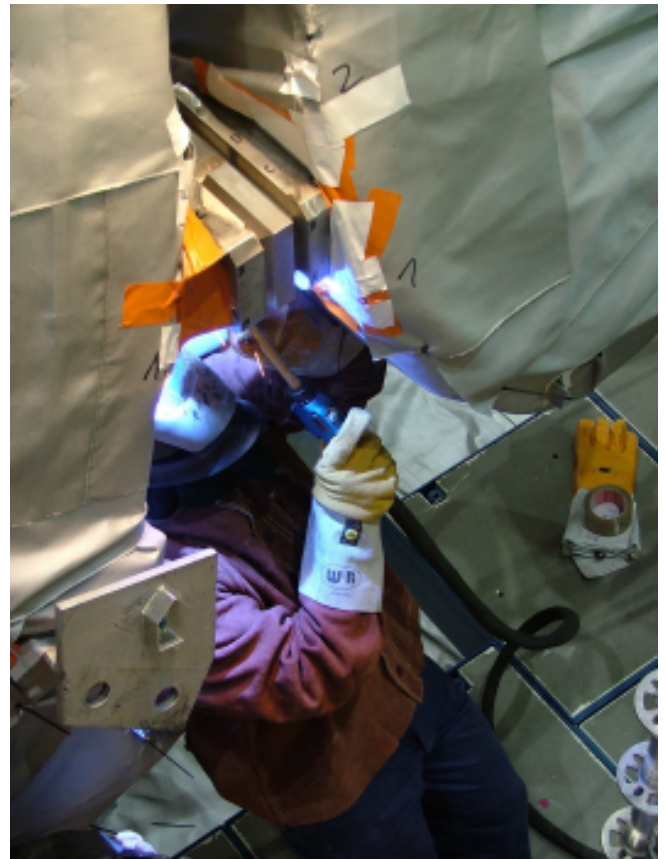


Bild 1.6: Schweißexperiment an den Demospulen