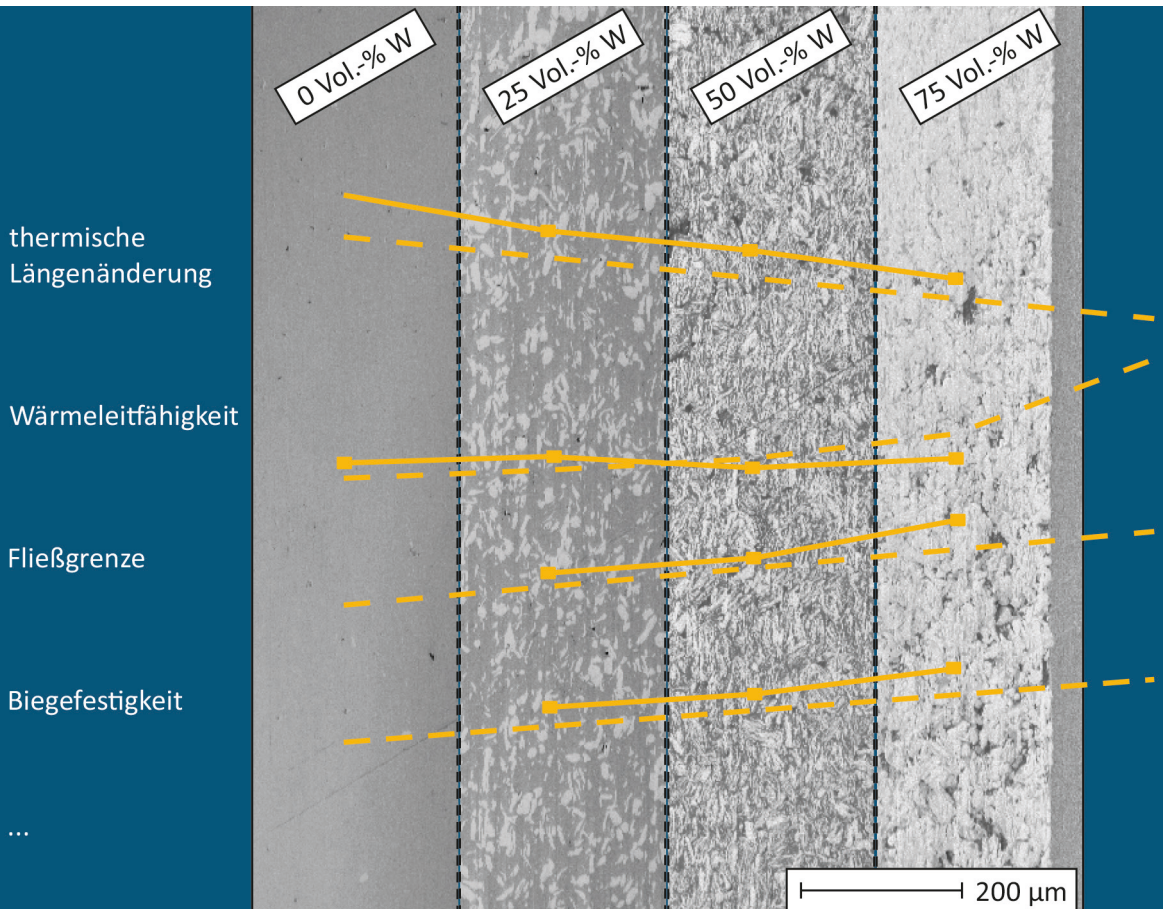


Charakterisierung gradierteter Eisen/Wolfram-Schichten für die erste Wand von Fusionsreaktoren

Simon Heuer



Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Plasmaphysik (IEK-4)

Charakterisierung gradiertter Eisen/Wolfram- Schichten für die erste Wand von Fusionsreaktoren

Simon Heuer

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 382

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-252-8

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	ix
1. Einleitung	1
1.1. Aktueller und prognostizierter Energiemarkt	1
1.2. Erzeugung elektrischer Energie durch Kernfusion	2
1.2.1. Physik der Kernfusion	2
1.2.2. Struktureller Aufbau eines Fusionsreaktors	5
1.3. Stand der Forschung	8
1.3.1. Belastung von Plasma Facing Components und Konstruktion der ersten Wand	8
1.3.2. Fügen von Wolfram und RAFM-Stählen	11
1.3.3. Funktional Gradierte Materialien (FGMs)	16
1.4. Versagen einer PFC-Fügung und Folgerungen für notwendige Entwicklungen	19
1.5. Ziel und Weg	20
2. Grundlagen der Materialien und Herstellungsmethoden	23
2.1. Untersuchtes Materialsystem	23
2.1.1. Reduced Activation Ferritic Martensitic (RAFM)-Stähle	23
2.1.2. Wolfram	26
2.1.3. Thermodynamische Aspekte des Binärsystems Fe-W	28
2.2. Makromechanik und Mikromechanik	30
2.3. Einordnung und Mechanismen der verwendeten Herstellungsverfahren . .	31
2.3.1. Magnetron Sputtering	32
2.3.2. Flüssigphaseninfiltration	34
2.3.3. Plasmaspritzen	35
2.3.4. Elektrisch unterstütztes Sintern	39
3. FE Modellierung der ersten Wand mit gradierten Schichten	41
3.1. Grundlegende Beschreibung des Modells	42
3.2. Berechnung des Temperaturfeldes in gradierten Materialien	45
3.2.1. Wärmeübergangskoeffizient	47
3.2.2. Wärmeleitfähigkeit	48

3.2.3.	Dichte	49
3.2.4.	Spezifische Wärmekapazität	49
3.3.	Berechnung von Dehnungen in gradierten Materialien	50
3.3.1.	Elastische Dehnungen	53
3.3.2.	Thermische Dehnungen	54
3.3.3.	Plastische Dehnungen	56
3.4.	Nicht berücksichtigte Charakteristika des FE Modells	62
4.	Schichtherstellung und Charakterisierung	65
4.1.	Schichtherstellung	65
4.1.1.	Magnetron Sputtering	65
4.1.2.	Flüssigphaseninfiltration	68
4.1.3.	Atmosphärisches Plasmaspritzen	70
4.1.4.	Electro Discharge Sintering	74
4.2.	Charakterisierungsmethoden	78
4.2.1.	Mikrostrukturelle Untersuchungen	79
4.2.2.	Stoffliche Zusammensetzung	82
4.2.3.	Thermo-physikalische Eigenschaften	84
4.2.4.	Mechanische Eigenschaften	87
5.	Ergebnisse und Diskussion	91
5.1.	Ergebnisse der thermo-mechanischen Simulation	91
5.1.1.	Standardmodell	91
5.1.2.	Komponente mit direkter W-RAFM-Stahl-Fügung	102
5.1.3.	Anzahl der Teilschichten eines FGM	106
5.1.4.	Schichtstärke eines FGM	109
5.1.5.	Konvergenz-Studie	111
5.1.6.	Komponentengröße	112
5.1.7.	Zusammenfassung der Ergebnisse der thermo-mechanischen Simulation	115
5.2.	Fe/W-Schichten mittels Magnetron Sputtering	116
5.3.	Fe/W-Komposite mittels Flüssigphaseninfiltration	121
5.4.	X12Cr13/W-Schichten mittels Atmosphärischem Plasmaspritzen	127
5.4.1.	Ausgangspulver	128
5.4.2.	Mikrostrukturelle Charakterisierung der APS-Komposite	129
5.4.3.	Thermo-physikalische Charakterisierung der APS-Komposite	140
5.4.4.	Mechanische Charakterisierung der APS-Schichten	146
5.4.5.	Machbarkeitsstudie zur Herstellung gradiertes APS-Schichten	150

5.5. Fe/W-Komposite mittels Electro Discharge Sintering	151
5.5.1. Ausgangspulver und mechanisches Legieren	152
5.5.2. Mikrostrukturelle Charakterisierung der EDS-Komposite	157
5.5.3. Thermo-physikalische Charakterisierung der EDS-Komposite	169
5.5.4. Mechanische Charakterisierung der EDS-Komposite	175
5.5.5. Machbarkeitsstudie zur Herstellung gradiertter EDS-Komposite	179
6. Abschließende Gesamtdiskussion	183
6.1. Das FE Modell unter Berücksichtigung wahrer Schicht-Eigenschaften	183
6.2. Evaluierung der Herstellungsmethoden	187
7. Zusammenfassung und Ausblick	195
7.1. Zusammenfassung	195
7.2. Ausblick	197
Anhang	199
A. Diffusionsschweißen	199
A.1. Grundlagen des Diffusionsschweißens	199
A.2. Durchführung der Schweißversuche	201
A.3. Ergebnisse der Schweißversuche	204
Tabellenverzeichnis	207
Abbildungsverzeichnis	209
Literatur	215
Danksagung	233

**Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 382
ISBN 978-3-95806-252-8**

