



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



核融合炉用W-SiC/SiCハイブリッド材料の耐熱流束特性の研究

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2013-11-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: ワリード, アルサイド モレス モハメッド アブダラ メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/00005105

氏名	ワリード・アルサイト・モレス・モハメッド・アブダラ WALEED ALSAYED MOHREZ MOHAMMAD ABDALLA
学位論文題目	High Heat Flux Durability of W-SiC/SiC Hybrid Component for Nuclear Fusion Applications (核融合炉用 W-SiC/SiC ハイブリッド材料の耐熱流 束特性の研究)
論文審査委員	主査 教授 幸野 豊 教授 齋藤 英之 准教授 岸本 弘立

論文内容の要旨

本論文はダイバーター機器を目的としたタングステンと SiC/SiC 複合材料(以下 SiC/SiC)のハイブリッド材料の製造と評価、大型ヘリカル装置 (LHD) におけるプラズマ暴露実験に関わる研究と考察を行なった内容で、全八章からなる。第一章は本論文の背景について述べたものであり、第二章は本研究に関わる過去の文献をまとめて本論文の趣旨・目的を示している。第三章はアーマー材となるタングステン被覆層の SiC/SiC 板材上への形成法基礎検討と基礎評価を行なった結果である。ハイブリッド材料の製造は全てホットプレス法で行い、具体的には次の通りに実施した。1) タングステンと SiC/SiC 板材同士の拡散接合による製作。更にタングステン板の圧延方向の効果の評価のため、(h) 界面に対して平行な方向、(v) 界面に対して垂直な方向、の二種類のタングステン板材を用いた。それぞれのハイブリッド材料に ID を振り分け、ID (NITE-W/SiC-Dh1) : 平行な圧延方向のタングステン板材の拡散接合、ID (NITE-W/SiC-Dv1) : 界面に垂直な圧延方向のタングステン板材の拡散接合とした。また 2) SiC/SiC プリフォーム上にタングステン粉末の圧粉層を形成した後に一気に加圧焼結を行い、SiC/SiC 板材表面に焼結タングステン層を形成する一体形成法による製作を行なった。これを ID (NITE-W/SiC-S2) とした。第四章は製造したハイブリッド材料に対する大型ヘリカル装置 (LHD) におけるプラズマ暴露実験について記述した。各板材は 0.7mm のタングステン層を持つ 1.5mm の厚さに加工され、LHD 下のダイバーター位置においてプラズマに 5.6 秒間直接暴露された。ハイブリッド板材への平均熱流速は 10MW/m² と計算された。第五章は超音波探傷法によりプラズマ暴露後のタングステン、接合界面お

よびに SiC/SiC 複合材料の内部状態の評価を行なった結果を記述した。プラズマの熱流速によりハイブリット板材の界面部分に導入された損傷の解析走査電子顕微鏡 (SEM) およびに電子プローブアナライザ (EPMA) で行ない、結果を第六章に示した。更に高温熱処理材との接合界面拡散相の比較を行ない、プラズマ暴露時の接合材の温度状態の推定を試みた。これらの研究成果を踏まえて第七章では議論と考察を行い、第八章において本論文の総括を行なった。

ABSTRACT

The objectives of the present dissertation are to fabricate hybrid W-SiC/SiC tiles for divertor components in fusion, and to investigate their high heat flux durability to the divertor plasma exposure in the large helical device (LHD). This thesis consists of 8 chapters. Chapters-1 and -2 introduce the background and previous literatures related to this thesis. Chapter-3 is the material fabrication and properties investigation of the hybrid tiles. Three W-SiC/SiC tiles were successfully fabricated. Two tiles were fabricated by solid state diffusion bonding method. The first tungsten tile used was a horizontal rolled tungsten plate to surface and SiC/SiC composite, this hybrid tile was named as ID (NITE-W/SiC-Dh1). The second tungsten plate used was a vertical rolled plate to surface. The plate was joined to SiC/SiC, and it was named as ID (NITE-W/SiC-Dv1). The third hybrid tile was fabricated by a liquid sintering from tungsten powders and pliable preform of SiC/SiC, with ID (NITE-W/SiC-S2). Hot press method was used for all fabrication. Both tiles of (NITE-W/SiC-Dh1) and (NITE-W/SiC-Dv1) were fabricated with the conditions of pressure up to 20 MPa at 1600°C in argon atmosphere. The last hybrid tile (NITE-W/SiC-S2) was fabricated with the 20MPa at 1800°C in argon atmosphere. These tiles were prepared to screen the appropriate fabrication methods for the plasma facing component production. Macro and micro structure analysis of the tiles fabricated was conducted by an optical microscope, a scanning electron microscope (SEM) and an electro probe micro analysis (EPMA). A High heat flux test was performed for the all tiles and this procedure is described in Chapter-4. The test was performed in the large helical device (LHD) at National Institute of Fusion Science (NIFS). All tiles were thinned to 1.5mm thick tiles which the tungsten armor is adjusted to 0.7mm thick, and set in the sample holder on a manipulator under the LHD. The manipulator lifted the sample holder up to the divertor position and the samples were exposed to plasma. The exposure time was up to 5.6 sec, and the

average heat flux load was tentatively calculated to be 10 Mw/m². Chapter-5 describes the results of ultrasonic images of the exposed tiles. The ultrasonic investigation provided wide range inspection of the total surface area of the exposed tiles, which was useful guide to determine the samples cutting position before subsequent macro and micro structure investigation. Chapter-6 describes macro and microstructure evolution of W-SiC/SiC tiles after divertor plasma exposure test. This study included the analysis of the irradiated tiles by macro and microstructure to evaluate the degradation of tungsten surface, the diffusion bonding layer at the interface region and SiC/SiC region. Cracks and fiber/matrix interfacial debonding were detected. EPMA study was conducted to investigate the behavior of diffusion through the interface after plasma exposure. The comparison between the micro structure of both the irradiated tiles and heat treated W-SiC/SiC on the interphase region between tungsten and SiC/SiC was performed to estimate the temperature profile during the plasma exposure. Based on the experiment and results, the direction of the processing and the performance of the W-SiC/SiC Hybrid Component were discussed in Chapter-7, and whole present research is summarized in Chapter-8.

論文審査結果の要旨

本論文では核融合炉ダイバーター機器を目的としたタングステンと SiC/SiC 複合材料（以下 SiC/SiC）のハイブリッド材料の製作と材料評価、大型ヘリカル装置（LHD）におけるプラズマ暴露実験に関わる研究と考察を行った内容である。審査においては候補者より核融合炉におけるダイバーター部材に要求される特性、将来的な核融合炉における SiC 材料の利用とタングステンアーマの必要性と適正が述べられた後、具体的な研究結果の説明とぎろんを行われた。研究に用いた W-SiC/SiC ハイブリッド材料にはホットプレス法により制作され、1) SiC/SiC プリフォーム上にタングステン粉末の圧粉層を形成し、プリフォームとともに加圧焼結を行って SiC/SiC 板材表面に焼結タングステン層を形成する一体成型ハイブリッド材と、2) タングステン板と SiC/SiC 板材を拡散結合した拡散接合材が準備された。拡散接合材は更に圧延方向の異なる（表面に対して平行および垂直な圧延方向の圧延材）板材で製作され、これらのハイブリッド板材によりプラズマ暴露下安定性の評価が行われた。各板材は 0.7mm のタングステン層を持つ 1.5mm の暑さに加工され、大型ヘリカル装置（LHD）のダイバーター位置においたプローブ上でプラズマに 5.6 秒間直接暴露された。ハイブリッド板材表面への平均熱シ流束は 10MW・m²と計算され、これは核融合炉においてダイバーター部への入熱が予想されるのと同等の熱流束である。暴露後の界面部組織変化と温度受胎は微細組織評

価，超音波探傷，有限要素解析により評価された。本研究の条件下において，ハイブリッド板材は大規模に破壊せず，タングステン組織の異方性も顕著に状態変化に影響しなかったが，タングステンと SiC/SiC の界面部には温度上昇に伴う部分的な溶融が生じた。顕著な損傷部の外周領域において界面の温度は 1600℃程度に達したものと推定された。これらの微細組織評価と有限要素法の計算結果から，タングステン厚さは 1mm 程度以上が必要であると結論付けられた。本論文は，SiC/SiC 複合材料とアーマー材であるタングステンについて，ダイバーター要素材料を製作し，LHD を用いて核融合炉環境に近い環境下でのプラズマ暴露実験を世界で初めて行い，その解析法の基盤を整備したという点に意義があり，今後予定される国際熱核融合炉（ITER）でのダイバーター技術研究にも大きく貢献する内容である。以上のように博士論文に値すると認められる。