

温度変動照射実験の最近の成果

Recent Progress on V aring Temperature Irradiation Experiments

渡辺英雄¹⁾、室賀健夫²⁾、吉田直亮¹⁾
九大応力研¹⁾、核融合科学研究所²⁾WATANABE Hideo¹⁾, MUROGA Takeo²⁾, YOSHIDA Naoaki¹⁾
Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu Univ.¹⁾, NIFS²⁾

核融合炉の照射環境下では、材料の照射温度はパルス的に変動し、従って構造材料もこの影響を大きく受ける。日米科学技術協力事業 (Jupiter 計画) において、HFIR (High Flux Isotope Reactor) 炉を用いて実施された合計 8 回の温度変動イオン照射の照射後試験が完了したので、この結果について述べると共に国内で先行して実施された同一試料での JMTR 照射 (97M-33U) との結果を比較することにより、照射環境下での温度変動効果について考察した。以下に、ステンレス鋼における高温領域での実験結果について述べる。HFIR13J では、照射量に換算して 10% を低温で照射し、残りの 90% を高温で追照射する照射サイクルを、合計 8 回実施した。温度の変動幅として、200 / 350 、 350 / 500 の 2 条件を目標として、約 4dpa までの照射を行った。しかしながら、照射実験中の温度履歴を検討した結果、若干の修正がなされ、修正後の温度履歴は 225 / 340 、 360 / 520 である。キャプセルの解体は、ORNL (オークリッジ国立研究所) にて行われ、試料を照射後試験の実施場所である PNNL (パシフィック・ノースウエスト研究所) へ輸送した後、内部組織の電子顕微鏡観察を現地にて実施した。

Fe-16Cr-17Ni では、一定温度 (520) 及び変動照射 (360 / 520) とともに転位とボイドが観察されたが、一定温度ではボイドのサイズがほぼ一定で約 53 (nm) であるのに対して変動照射では、10 から 55 (nm) 程度まで分布していた。これは、低温照射中に形成されたボイドが 520 照射中に成長したものと予測される。一方、Fe-16Cr-17Ni-0.024P 合金では、P の添加は照射誘起析出物である Fe₂P を形成することにより高温領域でのボイドを抑制することが知られているが、一定温度 (520) 及び変動照射 (360 / 520) とともに Fe₂P が形成されボイドの形成が抑制されていることがわかる。また、変動照射により Fe₂P が微細化しその数密度も上昇するが、これに伴いボイドの数密度及びサイズが減少することが明らかになった。JPCA-2 では約 0.024% の P と 0.25% の Ti を含む耐照射特性に優れた実用材料であるが、特に高温領域での耐ボイドスエリング特性は Fe₂P の形成による効果が重要である。これは、析出物とマトリクスとの界面が格子間原子及び空孔の欠陥消滅場所となることが主な原因と考えられている。また、実用合金においても変動照射により Fe₂P の形成が促進されることが示された。一方、国内で実施したイオン照射実験では、低温から高温への変動照射により Fe₂P の数密度が増加することが知られている。これは低温で形成された転位ループが高温での追照射により Fe₂P に変質することが明らかになっており、HFIR13J 照射においてもこれと同様の現象が発生しているものと考えられる。また、変動照射により形成される Fe₂P の数密度が増加すれば更なるボイドスエリングの抑制効果が期待されている。

講演では、低放射化 V 合金及び本実験に先行して実施された、JMTR を用いた中性子照射実験の結果についても述べる。