

DÉGÂTS D'IRRADIATION ET MATÉRIAUX POUR LA FUSION : OPPORTUNITÉS ET DÉFIS

Robin E. Schäublin

Laboratory of Metal Physics and Technology, Department of Materials, ETH Zurich, 8093 Zurich, Switzerland

L'irradiation aux ions est un outil qui permet d'explorer et de modifier les matériaux, mais aussi de tester ceux qui sont soumis à des conditions extrêmes d'irradiation. Un des domaines de prédilection pour cette application est le futur réacteur à fusion thermonucléaire. L'énergie de fusion représente une voie prometteuse pour la production d'énergie durable et sans carbone, mais sa réalisation dépend de notre capacité à surmonter d'importants défis en matière de matériaux. Cet exposé explorera le rôle critique que jouent les matériaux pour permettre aux réacteurs de fusion de résister aux conditions extrêmes auxquelles ils sont confrontés, avec un flux de neutrons élevé, une large charge thermique et une exposition prolongée au plasma (incorporation de l'hélium). Les matériaux candidats les plus prometteurs sont, entre autres, les aciers ferritiques à base Fe–Cr et le tungstène. Leur dégradation commence par les dommages causés par l'irradiation aux neutrons de fusion à 14 MeV. La conséquence la plus directe est le durcissement du matériau, et concomitamment sa fragilisation, incompatible avec la sûreté du réacteur. Une bonne compréhension de ces mécanismes est nécessaire pour en mitiger les conséquences, en commençant par une description détaillée de la microstructure induite par irradiation.

Les récentes avancées technologiques dans l'analyse corrélée des matériaux par microscopie électronique ou par sonde atomique tomographique nous permettent d'atteindre maintenant des informations au niveau atomique sans précédents. Aussi, le développement rapide des outils numériques soutenus par l'intelligence artificielle permet d'extraire ces informations et ses tendances de manière plus systématique et, plus avant, d'éventuellement anticiper la microstructure et le comportement mécanique des matériaux selon les conditions d'irradiation. Idéalement, cette approche pourrait nous permettre de définir des matériaux qui présentent une résistance adéquate à l'irradiation.

Nous mettrons également l'accent sur les dernières avancées dans le domaine de la science des matériaux, telles que les alliages à haute entropie et les matériaux nanostructurés, qui offrent de nouvelles possibilités pour faire progresser la technologie de la fusion. En examinant à la fois les obstacles actuels et les perspectives d'avenir, cette présentation soulignera à quel point une bonne compréhension des mécanismes fondamentaux d'endommagement par irradiation et des solutions innovantes en matière de matériaux sont cruciales pour faire de l'énergie de fusion une solution viable et évolutive pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux. Finalement, un regard sera porté sur quelques applications originales des études de l'impact de l'irradiation sur des alliages métalliques.