

Vers où croissent les dendrites en solidification dirigée d'un matériau cristallin ?

A.Pocheau¹, J.Deschamps¹, & M.Georgelin¹

IRPHE, CNRS & Universités Aix-Marseille I & II, 49 rue Joliot-Curie, B.P. 146, Technopôle de Château-Gombert, F-13384 Marseille, Cedex 13, France
alain.pocheau@irphe.univ-mrs.fr

En solidification dirigée de matériaux cristallins (e.g. en métallurgie), deux directions privilégiées sont en compétition pour orienter la direction de croissance des microstructures dendritiques : la direction du gradient thermique et une direction imposée par l'orientation du cristal. Ainsi, à basse vitesse de solidification, les dendrites croissent dans la direction du gradient thermique ; cependant, à mesure que cette vitesse augmente, elles tournent vers la direction déterminée par le cristal. Ce faisant, elles changent fortement de morphologie, par asymétrie et par développement d'un long cortège de branchements. Ceci pilote des modulations de concentration de soluté dans le solide formé et s'avère donc crucial envers sa microsegrégation et les propriétés physiques qui en découlent.

Peu d'études ont été dédiées à ce phénomène dont la modélisation reste embryonnaire et les développements théoriques absents. Nous en avons donc conduit une étude expérimentale systématique dans un dispositif de solidification dirigée en lames minces avec, pour mélange, un alliage dilué d'un matériau plastique transparent, le succinonitrile [1,2]. Des mono-grains ont alors été sélectionnés puis solidifiés sous des orientations différentes du gradient thermique. Une bibliothèque d'une centaine de données sur les orientations résultantes des dendrites a ainsi été acquise, puis étudiée.

Une symétrie inattendue est apparue. Elle correspond à une invariance d'échelle des angles de croissance des dendrites vis à vis d'un nombre de Péclet formé sur leur taille et leur vitesse. Cette symétrie a été démontrée par une invariance par rescaling des données vis à vis des étalons de nombre de Péclet et d'angle de croissance. Elle a alors conduit, par solution d'une équation fonctionnelle, à l'identification de la forme de la loi d'orientation des dendrites par une relation à deux paramètres. L'ensemble des données s'est ainsi trouvé rassemblé dans une unique relation.

L'action de l'orientation cristalline sur la direction de croissance des dendrites résulte des effets d'anisotropie induits par la structure du cristal sur la tension superficielle et le sous-refroidissement de l'interface. Elle est cependant extrêmement surprenante, car ses modulations anisotropes représentent moins d'un dixième des corrections capillaire ou cinétique, elles-mêmes extrêmement ténues : environ 2.10^{-5} de la température d'équilibre de l'interface. Au total, ces modulations ne sont ainsi équivalentes qu'à un déplacement d'une cinquantaine de nanomètres dans le gradient de température, distance extrêmement faible en regard de la taille des dendrites, de l'ordre d'une centaine de micromètres. Et pourtant, ces modulations gouvernent bien l'orientation de l'ensemble de la microstructure à haute vitesse et ce, indépendamment de la direction du gradient thermique. C'est dire si la compréhension théorique de cet effet est délicate. A cet égard, l'identification d'une symétrie profonde dans ce système s'avère donc une piste à saisir.

Références

1. J. Deschamps, M. Georgelin and A. Pocheau, *Crystal anisotropy and growth directions in directional solidification*, *Euro. Phys. Lett.* **76**, 291-297 (2006).
2. A. Pocheau, J. Deschamps and M. Georgelin, *Dendrite growth directions and morphology in the directional solidification of anisotropic materials* *JOM* **59**, 71-76 (2007).