Hyperréduction de champs complets en plasticité cristalline

David Ryckelynck – CEMEF – Mines Paris PSL

La formulation des lois de comportement en plasticité cristalline se caractérise par des mécanismes de déformation plastique guidés par un nombre fini de plans de glissement cristallins. Excepté pour le cas des monocristaux, ces mécanismes microscopiques ne sont pas des mécanismes de champs de déformation (totale) de microstructures. Ce ne sont pas des degrés de liberté.

Un des premiers buts de la réduction d'ordre de modèle est de déterminer un faible nombre de mécanismes de déformation, de façon empirique à partir d'une base d'exemple. La réduction d'ordre de modèle s'appuie sur l'apprentissage d'un espace latent (un sous-espace vectoriel ici). On utilise la méthode de décomposition orthogonale aux valeurs propres pour générer les modes de déformation du modèle réduit. Les exemples de déformation de polycristaux sont généralement produits par simulations numériques dans les situations suivantes : (i) pour comprendre l'adaptation des déformations pour de longs chargements cycliques, ou (ii) la relaxation des contraintes en fonction d'une amplitude de déformation cyclique, (iii) ou pour calibrer les coefficients d'une loi de comportement. Ces situations font appel à des modèles paramétrés. On distingue alors une étape préparatoire pour simuler des exemples de déformation avec un plan d'expérience numérique, et une phase d'inférence où on utilise un modèle d'ordre réduit pour poursuivre l'étude paramétrique.

L'hyperréduction qui est présenté ici se caractérise par l'utilisation d'un maillage réduit[1], sur lequel les lois de comportement sont évaluées. Plus le maillage est réduit plus les simulations ont une complexité de calcul faible. Les modèles hyperréduits peuvent être 100 fois plus rapides que les modèles éléments finis, pour des prévisions comparables. Ici, on obtient des accélérations d'un facteur compris entre 2 et 10, selon le nombre d'éléments dans le maillage réduit. En adoptant une représentation matricielle des prévisions des déplacements éléments finis, pour une microstructure figée sur tout le plan d'expérience, l'hyperréduction revient à exploiter au mieux la notion de rang des matrices d'exemple de déplacement. Le maillage réduit est construit de sorte qu'il contienne des points d'interpolation des modes de déplacement et de déformation, selon une méthode d'interpolation empirique.

Les points forts de l'hyperréduction sont : (i) un algorithme indépendant de la loi de comportement, la seule modification du solveur linéaire des logiciels éléments finis, la possibilité de calculer un estimateur d'erreur de relation de comportement. Les points faibles sont : (i) une accélération des simulations moindre que les métamodèles, le maillage du modèle éléments finis doit rester figé.

[1] H. Farooq et al., A pruning algorithm preserving modeling capabilities for polycristalline data, Comput. Mech. (2021), doi:10/1007/s00466-021-02075-5