

Simulation numérique du transfert thermique incluant l'ébullition nucléée lors de la coulée continue des métaux

ABDEL ILLAH NABIL KORTI^a ET YAHIA KHADRAOUI

Université de Tlemcen, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département de Mécanique, BP 230, 13000 Tlemcen, Algérie

Reçu le 6 juin 2003, accepté le 8 juillet 2005

Résumé – Un modèle numérique utilisant la méthode de la capacité effective moyenne est présenté pour étudier le transfert thermique dans le processus de solidification lors de la coulée continue avec refroidissement direct. La résolution du problème est faite par la méthode des volumes finis à maillage fixe. Une chaleur spécifique moyenne est donc utilisée pour simuler le volume incluant la zone de changement de phase. Cette méthode surmonte les inconvénients de la méthode de la capacité effective qui est très sensible au choix de l'intervalle de température de changement de phase. Pour déterminer le coefficient de convection à la surface externe des billettes dans la région basse du moule, une méthodologie a été établie en utilisant d'une part, les théories de l'ébullition nucléée avec convection forcée et d'autre part, celles relatives au film de refroidissement. Les résultats de la simulation numérique sont validés par des résultats expérimentaux publiés. L'étude montre que la vitesse de retrait est un facteur très important pour le contrôle de la microstructure et de la condition d'évasion lors de la coulée des métaux.

Mots clés : Transfert de chaleur / solidification / coulée continue / volumes finis / ébullition nucléée

Abstract – A numerical simulation of heat transfer including nucleate boiling during D. C. continuous casting. An algorithm incorporating the effective heat capacity model is described for the finite volume heat transfer analysis involving the two-phase solidification process in direct-chill continuous casting. An average specific heat is employed to simulate the volume including the phase-change zone in this finite volume analysis with fixed mesh. This method overcomes the limitation of the time increments of the otherwise so-called effective heat capacity method. Using theories of nucleate boiling with forced convection and film cooling, a methodology has been devised to evaluate the external boundary condition in the sub mould region of the ingot. The simulation results show very good agreement with the published experimental data. The current study shows that the withdrawal speeds are very important in controlling the microstructure and breakout condition of the cast material.

Key words: Heat transfer / solidification / continuous casting / finite volume / nucleate boiling

1 Introduction

L'étude thermique des problèmes de changement de phase est d'une grande complexité due à la nature non-linéaire des équations gouvernantes. Pour la résolution de ce type de problèmes, plusieurs méthodes analytiques ont été développées [1–5]. Cependant, ces techniques sont limitées aux problèmes unidimensionnels car elles aboutissent à des formulations très complexes dans le cas des problèmes multidimensionnels. Les méthodes numériques telles que les différences finies [6], les volumes finis [7] ou les éléments finis [8] semblent être plus pratiques pour la résolution de ces problèmes.

Les différents travaux publiés révèlent que ces techniques numériques appliquées aux phénomènes de transfert de chaleur lors du processus de la solidification des métaux peuvent être classées selon deux approches : l'approche à simple région et l'approche à multi-régions. Dans les méthodes à multi-régions, les équations gouvernantes sont appliquées séparément pour chaque phase. La position de l'interface étant inconnue, elle est déterminée en tant qu'élément de la solution. Ces méthodes offrent une bonne précision, mais le coût élevé en termes d'effort de calcul et de stockage d'informations les limite à des problèmes plus simples [9,10]. Dans les méthodes à simple région, le maillage reste fixe et l'équation de l'énergie appliquée au liquide et au solide est résolue simultanément en dépit de la discontinuité du gradient de la température à

^a Auteur correspondant : korti72@yahoo.fr