

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'ingénieur

Doctorat ParisTech
(mémoire provisoire)
T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers
Spécialité " Mécanique - matériaux "

présentée et soutenue publiquement par

Peng WANG

**Solid-shell finite elements for quasi-static and
dynamic analysis of 3D thin structures:
Application to sheet metal forming processes**

Directeur de thèse : **Farid ABED-MERAIM**

Co-encadrement de la thèse : **Hocine CHALAL**

Jury

M. Laurent DUCHÊNE, Professeur associé, ArGEnCo, Université de Liège, Belgique

M. Thomas ELGUEDJ, Maître de Conférences – HDR, LaMCoS, INSA de Lyon, France

M. Jean-Philippe PONTHOT, Professeur, LTAS, Université de Liège, Belgique

M. Olivier POLIT, Professeur, LEME, Université Paris Nanterre, France

M. Habibou MAITOURNAM, Professeur, IMSIA, ENSTA ParisTech, France

M. Farid ABED-MERAIM, Professeur, LEM3, Arts et Métiers ParisTech, France

M. Hocine CHALAL, Maître de Conférences, LEM3, Arts et Métiers ParisTech, France

Rapporteur

Rapporteur

Examinateur

Examinateur

Examinateur

Examinateur

Examinateur

ÉLÉMENTS FINIS SOLIDE–COQUE POUR L’ANALYSE QUASI-STATIQUE ET DYNAMIQUE DES STRUCTURES MINCES 3D : APPLICATION AUX PROCÉDÉS DE MISE EN FORME

RESUME : La simulation numérique par la méthode des éléments finis (MEF) fournit de nos jours une aide considérable aux ingénieurs dans les processus de conception et d’optimisation des produits. Malgré le développement croissant des ressources de calcul, la fiabilité et l’efficacité des simulations numériques par la MEF restent des qualités importantes à améliorer. Ce travail de thèse consiste à développer une famille d’éléments solide–coque (SHB) pour la modélisation tridimensionnelle des structures minces. Cette famille d’éléments SHB est basée sur une formulation tridimensionnelle en grands déplacements et rotations. La technique dite “d’intégration réduite dans le plan”, en utilisant un nombre arbitraire de points d’intégration dans la direction de l’épaisseur, permet de modéliser des structures minces avec une seule couche d’éléments. Dans ce travail de thèse, deux éléments SHB prismatique et hexaédrique linéaires, ainsi que leurs contreparties quadratiques, ont été implantés dans le code de calcul par éléments finis ABAQUS pour l’analyse quasi-statique et dynamique des structures minces. La performance de ces éléments a été validée à travers une série de cas tests académiques, ainsi que sur des problèmes complexes de type impact/crash et des procédés de mise en forme de tôles minces. L’ensemble des résultats numériques obtenus révèle que ces éléments SHB représentent une alternative intéressante aux éléments coques et solides traditionnels dans la modélisation tridimensionnelle des structures minces.

Mots clés : structures minces, élément fini, verrouillage, déformation postulée, solide–coque, quasi-statique, dynamique, mise en forme de tôles

SOLID–SHELL FINITE ELEMENTS FOR QUASI-STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF 3D THIN STRUCTURES: APPLICATION TO SHEET METAL FORMING PROCESSES

ABSTRACT: Nowadays, the finite element (FE) simulation provides great assistance to engineers in the processes of design and optimization of products. Despite the growing development of computational resources, reliability and efficiency of the FE simulations remain important features that still need to be improved. The current work contributes to the development of a family of solid–shell elements (SHB), for the 3D modeling of thin structures. Based on a 3D formulation, reduced integration and special treatments for the elimination of locking effects and the control of spurious zero-energy modes, the SHB solid–shell elements are capable of modeling thin 3D structural problems with only a single element layer, while accurately describing the various through-thickness phenomena. In the current contribution, a family of prismatic and hexahedral SHB elements, with their linear and quadratic versions, have been implemented into ABAQUS using both standard/quasi-static and explicit/dynamic solvers. The performance of the SHB elements has been evaluated via a series of popular benchmarks as well as impact/crash problems and sheet metal forming processes. All numerical results reveal that these SHB elements represent an interesting alternative to traditional shell and solid elements for the 3D modeling of thin structural problems.

Keywords: thin structures, finite element, locking, assumed strain, solid–shell, quasi-static, dynamic, sheet metal forming