

Étude numérique du retour élastique des alliages d'aluminium après emboutissage

F. KHROUF¹, S. BOUTABBA²

1. Laboratoire de Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Campus Chaabat-Erassas, Université Mentouri, Constantine 25000, Algérie fakhr_tkd@hotmail.fr

2. Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université 8 mai 1945 Guelma, Algérie, boutabba_s_lpg@yahoo.fr

Résumé

Le procédé de déformation plastique par emboutissage de tôles est utilisé sur une grande échelle dans l'industrie. Les principaux utilisateurs sont les secteurs de l'automobile. L'amélioration de la compétitivité dans ce secteur industriel peut être obtenue grâce à une réduction des coûts de production, en associant le savoir-faire traditionnel avec les capacités de prévisions offertes par la simulation numérique notamment à l'aide de la méthode des éléments finis. L'allégement des véhicules, l'utilisation de matériaux de caractéristiques mécaniques élevées, pour des raisons d'économie et de sécurité, ainsi que la réduction des délais de fabrication constituent des objectifs importants dans le développement industriel actuel. Au travers des simulations numériques de la mise en forme de tôles minces par procédé d'emboutissage, cet article montre l'influence du coefficient de frottement sur la qualité du produit fini.

Mots clefs: *Emboutissage, Méthode des éléments finis, Coefficient de frottement, Retour élastique.*

1. Introduction

L'emboutissage des tôles minces est un procédé de mise en forme couramment utilisé dans l'industrie [1]. Il consiste à déformer plastiquement des tôles minces à chaud ou à froid afin d'obtenir des pièces de formes complexes. Cependant, cette technique est confrontée au problème du retour élastique dû à la restitution de l'énergie élastique emmagasinée au cours de la phase de chargement, ce qui conduit à un changement de géométrie de la pièce emboutie. Par tôle mince on désigne une tôle qui se présente sous la forme d'une feuille de moins de 3 mm d'épaisseur, appelé aussi flan. La fabrication de pièce par emboutissage représente un secteur important de l'industrie avec des enjeux de plus en plus grands compte tenu du climat actuel de très vive concurrence [2-3].

De nos jours, le secteur du transport est responsable de près de 20% des émissions de gaz à effet de serre produites par l'homme. Les constructeurs automobiles se retrouvent, de fait, particulièrement concernés par les problématiques environnementales et ils s'efforcent désormais de concevoir et fabriquer des véhicules de plus en plus légers. Cette réduction de la masse des

véhicules permet alors d'améliorer de manière significative la consommation de carburant, en réduisant la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. On estime ainsi qu'une réduction de 10% du poids du véhicule améliore la consommation de carburant de 5.5% induisant ainsi une quantité de gaz d'échappement émis proportionnellement plus faible. Toutefois, cette évolution de la structure des véhicules doit pouvoir être mise en place sans pour autant altérer la sécurité ou diminuer leur durée de vie.

Le document est structuré comme suit : les données du problème sont présentées dans la deuxième section. Les résultats des simulations numériques sont détaillés dans la troisième section, le document se termine par les observations finales et la conclusion.

2. Données du problème

2.1 Géométrie

Une vue schématique des différentes parties du montage d'emboutissage est montrée dans la Fig. 1. Le flan est une tôle mince circulaire d'épaisseur $e=1$ mm, de diamètre $L=100$ mm. Le poinçon est un cylindre de diamètre $D=70$ mm, les arrondis ont pour rayons $R1=9,5$ mm et $R2=7$ mm. La course du poinçon est $H=25$ mm.

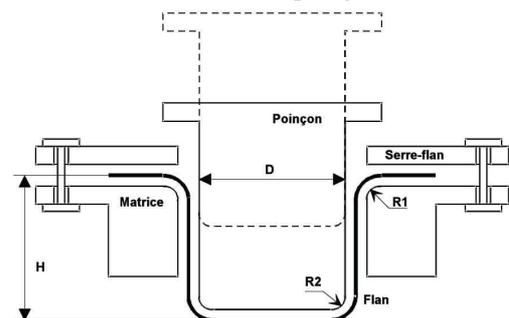


Fig. 1 Géométrie du flan et de l'outil d'emboutissage

2.2 Matériaux

Les alliages d'aluminium sont des matériaux métalliques de plus en plus utilisés dans l'industrie, notamment automobile [4] et aéronautique [5], du fait de leurs bonnes propriétés mécaniques et de leur bon rapport résistance/masse. Cette catégorie de matériaux métalliques regroupe de par leurs éléments d'addition une multitude de matériaux différents.

Le flan est un alliage d'aluminium qui a pour caractéristiques : module d'Young $E = 68000\text{MPa}$, coefficient de poisson $\nu = 0.33$, masse volumique $\rho = 2700\text{kg/m}^3$. Le coefficient de frottement entre le flan et les autres éléments du montage, supposés rigides, est pris égal à 0.1. La simulation numérique, à température ambiante, de l'essai d'emboutissage (Swift), a été réalisée en utilisant les paramètres matériaux identifiés à partir de la base de données expérimentale présentée dans la littérature.

2.3 Gestion du contact

La méthode de contrôle du contact est très importante pour mener à bien l'étude numérique. Actuellement, les algorithmes de contact disponibles sont classés en trois catégories : projection directe nodale (direction node projection DNP), fonction de pénalité, et multiplicateur de Lagrange. La précision du code EF utilisant l'algorithme fonction de pénalité dépend largement des paramètres employés qui ne sont pas toujours faciles à gouverner. L'algorithme multiplicateur de Lagrange augmente les dimensions de l'élément ainsi que la matrice raideur globale et par conséquent le stockage et le temps de calcul CPU, tandis que l'algorithme DNP est une source d'instabilité numérique. Un modèle 2D axisymétriques utilisant le code EF ABAQUS est reporté dans le présent travail.

3. Simulation numérique

L'aptitude des tôles au formage et la détermination des caractéristiques mécaniques du matériau peuvent être envisagées aujourd'hui sans recourir aux procédés classiques, grâce aux puissants outils de calcul et de simulation. La simulation numérique, permet actuellement de visualiser virtuellement le comportement du métal dans l'outil et entreprendre des analyses quasi quantitatives sur des modèles représentatifs de pièces réelles. Le développement de ces méthodes a favorisé l'utilisation de logiciels industriels permettant la simulation des essais, pouvant se substituer entièrement ou en partie à l'expérimentation coûteuse. Ces méthodes nous épargnent la mise au point de prototypes, et nous permettent une prise de décision facile, d'où un gain de temps et de coût. Les approches "réelle" et "virtuelle" sont bien évidemment complémentaires et les prédictions faites grâce aux mathématiques et à la programmation, se valident mutuellement. De même, le modèle mathématique ne peut être utilisé tel quel; il est impératif de lui appliquer des méthodes dites numériques afin que des résultats concrets puissent être obtenus.

Le recours à la simulation numérique est de plus en plus courant au niveau industriel pour garantir la rapidité et la fiabilité de la conception. Dans le cas de l'emboutissage des tôles minces, les simulations numériques doivent permettre d'évaluer les contraintes de mise en forme des pièces, leurs zones critiques de déformation et dans certains cas de prévoir l'usure des outils. L'objectif de la simulation numérique consiste donc à prédire le retour élastique lorsque toutes les forces sont supprimées pour retirer la tôle pliée. Les simulations numériques ont été

réalisées avec la version standard-implicite du code de calcul par éléments finis ABAQUS. Plusieurs simulations ont été réalisées pour trois valeurs du coefficient de frottement entre le poinçon et le flan : 0.1, 0.2 et 0.3.

4. Résultats et discussions

4.1 Influence du coefficient de frottement

Le coefficient de frottement est un paramètre difficile à déterminer, expérimentalement comme numériquement, dans les opérations d'emboutissage. Plusieurs auteurs s'accordent à dire que celui-ci n'est pas constant suivant le type de lubrification, la forme des surfaces de travail des outils (surface plane ou arrondi matrice), la vitesse de mise en forme ou encore suivant les pressions de contact rencontrées durant les opérations de mise en forme [6]. Afin d'étudier uniquement l'effet de ce coefficient de frottement sur les résultats numériques, les simulations sont réalisées avec le maillage de type C3D8I (élément solide), le critère de Von Mises et un écrouissage de type Voce.

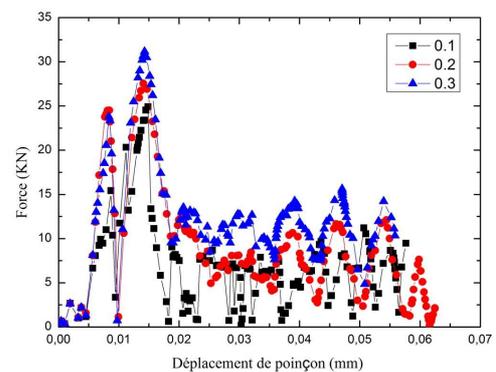


Fig. 2 Influence du coefficient de frottement sur l'effort d'emboutissage du poinçon

La figure 2 montre l'effet du coefficient de frottement sur l'effort d'emboutissage en fonction du déplacement de poinçon. Puisqu'un coefficient de frottement élevé aura bien évidemment pour effet de diminuer le glissement et par conséquent l'avalement du flan, une augmentation de ce coefficient aura pour effet inverse d'augmenter l'effort de mise en forme.

5. Conclusion

Malgré les avancées réalisées au niveau expérimental (techniques permettant de montrer les caractéristiques élémentaires d'un matériau), théorique (modèles de comportement performants) et numérique (codes de calculs capables de réaliser des simulations complexes), les chercheurs pensent qu'il reste du chemin à parcourir avant d'arriver à une maîtrise parfaite de la prédiction de certains phénomènes "indésirables" liés à la mise en forme, tel que le retour élastique.

Dans ce papier, nous avons réalisé une étude numérique de la mise en forme de tôles minces par déformation plastique en tenant compte du contact entre le flan et les différentes parties de l'outil d'emboutissage. Cette étude a permis de quantifier les effets du frottement sur le retour élastique.

Références

- [1] Makinouchi, *Sheet Metal Forming Simulation*, Journal of Material Processing and Technology 60, 19-26 (1996).
- [2] Tiza M., *Recent achievements in computer aided process planning and numerical modeling of sheet metal forming process*, J. Achiev. Mat. Manu. Eng. 24, 435-442 (2007).
- [3] Andersson A., *Information Exchange within Tool Design and sheet Metal Forming*, Journal of Engineering Design 12, 283-291 (2001).
- [4] Miller, W. S, Zhuang, L, Bottema, J, Wittebrood, A, De Smet, P, Haszler, A, and Vieregge, A. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering: A*, 280(1):37-49 (2000).
- [5] Starke, E. A. and Staley, J. T. Application of modern aluminum alloys to aircraft. *Progress in Aerospace Sciences*, 32(2):131-172 (1996).
- [6] Felder, E. Tribologie de l'emboutissage. Ed. Techniques de l'ingénieur. 91 (1994).