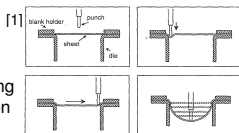


Introduction

Le SPIF (Simple Point Incremental Forming) : nouveau procédé de mise en forme de tôle par déformation locale autour d'un poinçon hémisphérique en mouvement de manière incrémentale.

- Avantages :**
- meilleure formabilité des tôles
 - faibles coûts des outillage
- Inconvénients :**
- temps d'opération du procédé plus long
 - géométrie et état de surface moins bon



En vue d'étudier le comportement de tôle en SPIF, une variante simplifiée avec uniquement un déplacement du poinçon perpendiculaire à la tôle est utilisée : l'emboutissage incrémental.

Démarche : modélisation et simulation couplée à des essais instrumentés par stéréo-corrélations d'images.

[1] Kim T.J. et Yang D.Y., "Improvement of formability for the incremental sheet metal forming process", *International Journal of Mechanical Sciences* 42 (2000) no. 1271-1286

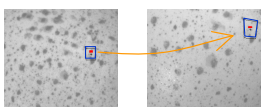
Instrumentation: stéréo-corrélation d'images

Principe : [2] (logiciel Vic-3D®)
1) Etalonnage du banc stéréoscopique



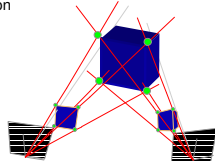
Caméras CCD (resolution 1036x1036 pixels, retina)

- 2) Mouchetis de la surface de l'échantillon
- 3) Appariement stéréoscopique par Corrélation d'Images Numériques (CIN)
- 4) Appariement temporel par CIN

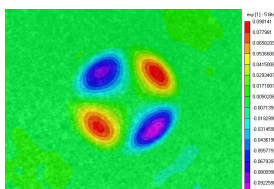


Temps t → Temps t+dt

5) Reconstruction de l'objet en 3D par triangulation



6) Applications : déformation de cisaillement pour un déplacement du poinçon de 15 mm.

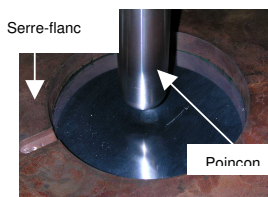
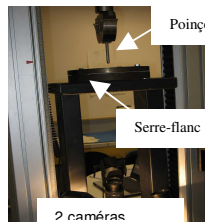


Le champ de vue des caméras correspond à la zone d'étude ci-dessus (Area Of Interest, AOI)

[2] Garcia D. "Mesure de formes et de champs de déplacements tridimensionnels par stéréo-corrélation d'images". Thèse de Doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse (2001).

Essai d'emboutissage incrémental

- Machine électromécanique INSTRON en mode compression.
- Tôle d'aluminium 2024-T3.
- Poinçon cylindrique à tête hémisphérique en acier, diamètre 30 mm.
- Acquisitions des efforts, déplacements poinçon et naires d'images stéréoscopiques



Modélisation

•Modèle élasto-plastique : critère de plasticité et écrouissage isotrope
 ⇒ eq. (1) et (2)

$$f = \sigma_{eq} - R - R_0 \quad (1)$$

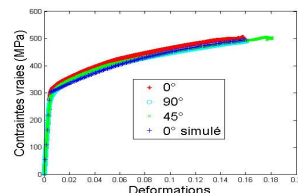
$$R = Q(1 - e^{-bp}) \quad (2)$$

R : Écrouissage isotrope
 R₀ : Limite élastique

p : Déformation plastique équivalente
 Q et b : Paramètres matériaux

Identification des paramètres :

- Essais de traction simple dans 3 directions de la tôle (0°, 45°, 90°).
- Observation : faible anisotropie des tôles.



Paramètres identifiés :

R₀=300 MPa ; Q=250 MPa ; b=10 ; E=70 000 MPa (Module d'Young)

Géométrie :

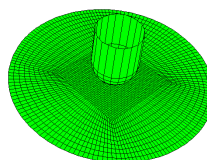
•Diamètre 130 mm (diamètre intérieur du serre-flanc), épaisseur 1 mm.

Logiciel EF :

•Abaqus™/explicit, éléments coques, 9 points d'intégration dans l'épaisseur.

Conditions limites :

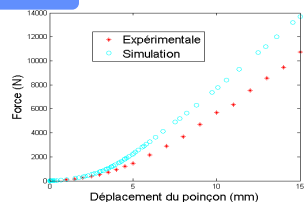
- Encastrement du pourtour de la tôle.
- Déplacement du poinçon (considéré comme rigide).
- Coefficient de frottement 0,2.



Résultats

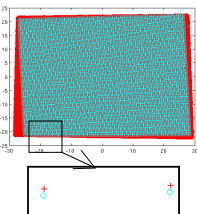
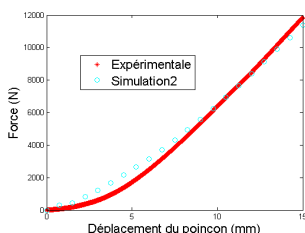
1) Observation : évolution de l'effort global en fonction du déplacement du poinçon.

Tôle fissurée : U_{Poinçon} > 15 mm.

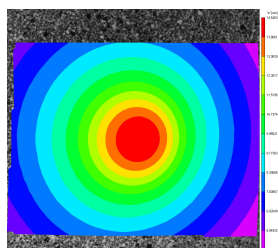


2) Influence des conditions aux limites :

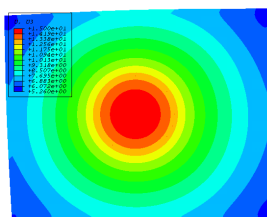
- Dimensions de la tôle = AOI.
- Projection du maillage expérimental sur celui éléments finis.



- Extractions des vecteurs déplacements des nœuds du contour de l'AOI.
- Prises en compte des nouvelles conditions limites.



Champs de déplacements Vic-3D® (gauche) et Abaqus™ (droite)



Conclusions

- Comparaison des champs de déplacements et de l'évolution de l'effort global en fonction du déplacement du poinçon entre simulation et expérience => résultats similaires.
- Actuellement, différences observées entre champs de déformations expérimentaux et simulés :
 - Apparition de déformations parasites sur le pourtour de la tôle (CL),
 - Évolution de la loi de comportement (endommagement, anisotropie, ...),
 - Abaqus™ et Vic-3D® ne calculent pas les déformations de la même façon.

Perspectives

- Réalisation d'essais de traction « charge-décharge » => endommagement de la tôle.
- Réalisation d'essais de traction + CIN => identification des paramètres de la loi de comportement.
- Utilisation de la procédure mise en place dans le cadre de l'emboutissage incrémental pour le formage incrémental.
- Amélioration de la loi de comportement pour le formage incrémental
- Développement d'un pilote de formage incrémental simple point instrumenté (banc multi-caméras, capteurs de forces tri-axes, ...).