

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et Mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Mécanique des Matériaux

Mémoire de Master

Etude de retour élastique d'un acier inoxydable (entreprise ATLAS)

Etudié par : Ghellab Assala Oumaima

Dirigé Par : Pr. Elhadj Ouakdi

Pr.Kamel Loucif

Devant le jury :

Pr. kolli	(Président)
Dr. Bella	(Examineur)

Soutenue le : 02/07/2023

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : généralités sur les aciers inoxydables.....	2
1.1 Historique :	2
1.2 Généralités :.....	2
▶ <i>Les aciers martensitiques</i> :.....	3
▶ <i>Les aciers ferritiques</i> :.....	3
▶ <i>Les aciers austénitiques</i> :	4
▶ <i>Les aciers austéno-ferritiques</i> :.....	5
1.3 Principales nuances des aciers inoxydables :	6
1.4 Influence des éléments d'additions :	6
1.5 Lois de comportement plastiques :	7
Chapitre 2: les procédés de mise en forme.....	9
2.1 Procédés de déformation plastique :.....	9
2.2 Pliage des tôles :.....	10
2.2.1 Méthodes de pliage :.....	10
2.2.1.1 Pliage en V :.....	10
2.2.1.2 Pliage en U:.....	11
2.3 Procède d'emboutissage.....	12
2.3.1 Définition :	12
2.3.2 Étapes d'emboutissage :.....	13
2.3.3 Modes de déformation en emboutissage :	13
2.3.4 Emboutissage en température:	14
2.3.4.1 Emboutissage à froid :	14
2.3.4.2 Emboutissage à chaud :	14
2.4 Défauts de mise en forme des tôles métalliques :	15
2.4.1 Défauts d'emboutissage :	15
2.4.1.1 Formation des plis durant l'emboutissage :	16
2.4.1.2 Retour élastique :	17
2.4.1.3 Rupture (striction) :	18
Chapitre 3 : Le retour élastique.....	19
3.1 Définition :	19

3.2 Origine de retour élastique :	20
3.3 Influence des paramètres opératoires sur le retour élastique :	21
3.3.1 Influence des paramètres du processus sur le retour élastique :	22
❖ Influence de la force de serrage (BHF) :	22
❖ Influence de température :	23
❖ Influence du frottement et de lubrification :	25
❖ Influence de la vitesse :	26
3.3.2 Effet des propriétés du matériau sur le retour élastique :	27
❖ Effet de la résistance mécanique :	27
❖ Influence d'effet Bauschinger :	30
3.3.3 Effet de la géométrie sur le retour élastique :	31
❖ Influence de la largeur :	31
❖ Influence de l'épaisseur :	32
❖ Influence des dimensions de la matrice et du poinçon :	33
Chapitre 4 : Étude expérimentale	34
4.1 But de travail :	34
4.2 Choix de matériaux :	34
4.3 Caractérisation de deux aciers inoxydables :	34
4.3.1 La composition chimique :	34
a. Mesure d'épaisseur :	36
b. Mesure de la rugosité :	37
c. Mesure de dureté :	38
4.4 Les tests de caractérisation mécanique :	40
4.4.1 Essai de traction :	40
a. Préparation des éprouvettes :	41
b. résultats obtenus à partir des essais de traction :	44
4.4.2 Essais d'étirage pliage :	48
a. Etirage-pliage en V :	48
b. Etirage-pliage en U :	49
4.4.3 Calcul du retour élastique :	52
4.4.4 Interprétations des résultats des essais étirage-pliage en V :	55
4.4.5 Interprétations des résultats des essais étirage-pliage en U :	58
Conclusion générale :	60
Références Bibliographiques :	62

Liste des tableaux

Chapitre1 : Généralité sur les aciers inoxydables.

Tableau 1.1: Composition de quelques aciers austénitiques.....	4
Tableau 1.2: Caractéristiques de quelques aciers austénitiques.....	5

Chapitre2 : Mise en forme des tôles.

Tableau2.1: Procédés de déformation plastique	9
--	---

Chapitre3: Le retour élastique.

Tableau3.1: Paramètres influant le retour élastique.....	21
Tableau3.2: Epaisseur correspondante à chaque type de TRIP.	33

Chapitre4 : Etude expérimentale.

Tableau4 1 : Composition chimique du lot1.....	34
Tableau4.2: Composition chimique du lot2.....	34
Tableau4.3 : Mesures de l'épaisseur d'un acier inoxydable lot1	35
Tableau4.4: Mesures de l'épaisseur d'un acier inoxydable lot2.	36
Tableau4.5 : Tableau comparatif de la rugosité dans les deux aciers étudiés.....	38
Tableau4.6: Valeurs théorique de la rugosité de surface des aciers inoxydables.	38
Tableau4.7: Résultats de dureté.	39
Tableau4.8: Dimensions des éprouvettes de traction en acier inoxydable.	41
Tableau4 9 : Caractéristiques mécaniques de la nuance –Lot1.	45
Tableau4.10 : Caractéristiques mécaniques de la nuance – Lot 2.	46
Tableau4.11 : Valeurs du coefficient d'écrouissage et du coefficient d'anisotropie mesurés différentes position pour les deux lots.....	48
Tableau4.12: Caractéristiques des boulons utilisés.	50
Tableau4. 13: Couple, BHF et contrainte de serrage appliqués sur chaque boulon.	50
Tableau4.14: Conditions expérimentales.	51

Liste des figures

Chapitre1: Généralité sur les aciers inoxydables.

Figure 1.1: Microstructure des aciers inoxydables martensitiques	3
Figure 1.2 : Microstructure des aciers inoxydables ferritiques.	4
Figure 1.3: Microstructure des aciers inoxydables austénitiques.....	4
Figure 1.4 : Microstructure des aciers inoxydables duplex.....	5

Chapitre2 : Mise en forme des tôles.

Figure2.1: pliage de tôle.....	10
Figure2.2: pliage en v.	11
Figure2.3 : pliage en U.....	12
Figure2.4: Description de l'outil d'emboutissage	12
Figure2.5: pièces obtenus par procédé d'emboutissage	13
Figure2.6: les phases de procédé d'emboutissage.....	13
Figure2.7 : Emboutissage par expansion et par retreint.	14
Figure2.8 : Les principaux défauts pour les procédés de mise en forme.	15
Figure2.9: Défauts structuraux : rupture	16
Figure2.10: Défaut de forme d'emboutissage : formation des plis.	16
Figure2. 11: Différents types de plis durant l'emboutissage.....	16
Figure2.12: Retour élastique après l'emboutissage.....	17
Figure2.13 : Exemple d'ouverture d'une pièce en U après retour élastique.	17
Figure2.14: Striction sur une tôle épaisse (en haut) et très mince (en bas).....	18

Chapitre3 : Retour élastique.

Figure3.1: Exemple d'un Retour élastique de contour d'une pièce de cuisinière.....	19
Figure3.2: Apparition du retour élastique et fissuration de la couche tendue d'une tôle pliée	20
Figure3.3: Représentation des paramètres de caractérisation du retour élastique, des différentes zones et de la forme de l'éprouvette : (a) Avant le retour élastique, (b) Après le retour élastique	21
Figure3.4: Retour élastique pour différents efforts de serrage sur un acier doux	22

Figure3.5: La comparaison entre les forces de serrage .	22
Figure3.6: L'effet de BHF sur le retour élastique	23
Figure3.7: Variation de la limite élastique en fonction de température(Al)	24
Figure3.8: Effet de la température sur le retour élastique	24
Figure3.9: L'effet du coefficient de frottement sur le retour élastique (°)	25
Figure3.10: Influence de la vitesse du poinçon sur le retour élastique en emboutissage.	26
Figure3.11: Influence du matériau sur la forme de la pièce après retour élastique.	27
Figure3.12: Effet de la variation du module de Young sur le retour élastique[	28
Figure3.13: Effet de la limite d'élasticité sur le retour élastique	28
Figure3.14: Description des axes principaux et d'orthotropie (repères d'anisotropie)	29
Figure3.15: Effet de l'anisotropie initiale sur le retour élastique lors de pliage en U, (a) géométrie de la pièce pliée après retour élastique, (b) variation du retour élastique en fonction du coefficient d'anisotropie moyen r .	30
Figure3.16: Mise en évidence du phénomène Bauschinger (écrouissage cinématique) à travers un essai cyclique.	31
Figure3.17: Effet Bauschinger sur le retour élastique.	31
Figure3.18: Variation du retour élastique en fonction du rapport entre la longueur et la largeur pour différentes épaisseurs.	32
Figure3.19: Effet de l'épaisseur sur le retour élastique.	32
Figure3.20: Variation du retour élastique en fonction du rayon de la matrice.	33

Chapitre4 : Etude expérimentale.

Figure4.1: Appareil de contrôle du faux-rond M 200.	37
Figure4.2: Rugosimetre (TAYLOR HOBSON) Série Surtronic S-100.	37
Figure4.3: Schéma présentant le profil de rugosité.	38
Figure4.4: Duromètre de type Q30M.	39
Figure4.5: Empreinte de l'essai de dureté.	39
Figure4.6: Machine de traction (Zwick Roell Z 100).	40
Figure4.7 : Dimensions d'éprouvette normalisée.	41
Figure4.8: machine de découpage au robot fil (électro érosion CUT 400 SP).	42
Figure4.9: Les éprouvettes obtenues par découpage au robot fil.	42
Figure4.10: Emplacement de l'éprouvette avant et après l'essai de traction.	42
Figure4.11: Eprouvettes après l'essai de traction.	43
Figure4.12: Les largeurs et les épaisseurs mesurées après l'essai de traction.	44

Figure4.13 : Contrainte en fonction de la déformation ; (a) Conventionnelle et (b) vraie. (lot1).....	45
Figure4.14 : Contrainte en fonction de la déformation ; (a) Conventionnelle et (b) vraie. (lot2).....	46
Figure4.15: Dessin de définition de la pièce pour les deux types d'essais (V, U).	48
Figure4.16: Epreuve en charge (a), Epreuve déchargée, mais toujours serrée (b).....	49
Figure4.17: Dispositif d'étirage-piage en U adapté sur la machine de traction.....	49
Figure4.18 : Les différents cas du retour élastique final.	52
Figure4. 19 : Épreuves après étirage-piage en V.	53
Figure4.20: Épreuves après étirage-piage en U.	54
Figure4.21: Courbes expérimentales d'essai d'étirage-piage en V.....	55
Figure4.22: Effet de BHF sur l'angle du retour élastique final aux extrémités ($\Delta\alpha$)	57
Figure4.23: Courbes expérimentales d'étirage piage en U.	58
Figure4.24: Effet de BHF sur l'angle du retour élastique final aux extrémités ($\Delta\alpha$)	59

Liste des abréviations

BHF	Force de serrage
h	Profondeur d'étirage
Ra	Rugosité
E	Module de Young
R_p	Rayon de poinçon
R_d	Rayon de matrice
V_p	Vitesse du poinçon
R_m	Résistance maximal
C	Couple de serrage

Résumé :

Le retour élastique peut causer des problèmes dans la production de pièces embouties, car il peut entraîner des écarts dimensionnels par rapport aux spécifications souhaitées.

Dans ce contexte on nous a demandé d'effectuer la caractérisation chimique, géométrique et à l'étude du comportement plastique de deux types d'acier inoxydables, qui sont utilisées dans la fabrication d'une pièce de cuisinière au niveau de l'entreprise ATLAS SETIF. Nous avons fait des essais mécaniques de traction, des essais de dureté, une analyse de la composition chimique et des mesures de la rugosité. Les essais expérimentaux ont montré une diminution importante du retour élastique avec l'augmentation de l'effort de serrage et son augmentation avec la croissance du profondeur et ceci pour les deux types de tests d'étirage-pliage (En U et V).

Mot clés : retour élastique, acier inoxydable, la force de serrage.

Abstract:

Springback can cause problems in the production of stamped parts as it can result in dimensional deviations from the desired specifications. In this context, we were tasked with conducting chemical, geometric, and plastic behavior characterization of two types of stainless steel used in the manufacturing of a cooker component at ATLAS SETIF company. We performed tensile mechanical tests, hardness tests, chemical composition analysis, and roughness measurements. The experimental tests demonstrated a significant decrease in springback with increasing clamping force and an increase in springback with deeper depths for both types of tests (U and V-shaped).

Keywords: springback, stainless steel, clamping force.

المخلص

يمكن أن يسبب الرجوع المرن مشاكل في إنتاج القطع المختومة حيث يمكن أن تؤدي إلى انحرافات أبعاد عن المواصفات المطلوبة. في هذا السياق، طُلب منا إجراء توصيف كيميائي وهندسي وسلوك بلاستيكي لنوعين من الفولاذ المقاوم للصدأ المستخدمين في تصنيع جزء من الطباخ في شركة ATLAS SETIF. قمنا بإجراء اختبارات ميكانيكية للشد، واختبارات صلادة، وتحليل تركيبة كيميائية، وقياسات للخشونة. أظهرت الاختبارات التجريبية انخفاضاً ملحوظاً في الرجوع المرن مع زيادة قوة الضغط وزيادة العودة المرنة مع زيادة الأعماق في كلا النوعين من الاختبارات (بشكل U و V).

كلمات مفتاحية: العودة المرنة، الفولاذ المقاوم للصدأ، قوة الضغط.

Introduction générale

Les produits plats (tôles) sont largement utilisés pour réaliser diverses composantes dans les industries mécaniques (automobiles, électroménagers), Des développements considérables ont été également réalisés ces dernières années pour l'amélioration des procédés de mise en forme de ces tôles.

Après la mise en forme par déformation plastique (étirage-pliage, emboutissage,..... etc.), il est rare que la pièce produite conserve parfaitement sa forme après le retrait des outillages. La forme et les dimensions qui sont imposées initialement ne sont pas les mêmes après usinage. Cette déformation est essentiellement due au phénomène du retour élastique. Ce dernier est expliqué par l'existence la variation des contraintes résiduelles à travers l'épaisseur de l'embouti.

Ce travail a été proposé dans le cadre d'une collaboration entre l'entreprise **ATLAS (Sétif)** et l'université (**Institut IOMP**). L'objectif principal est de faire une étude pour évaluer les causes du retour élastique apparu sur le contour d'une pièce de cuisinière, fabriquée par le procédé d'emboutissage. Notre contribution est de faire des essais d'étirage-pliage avec différentes conditions de chargement pour évaluer les paramètres du retour élastique.

Le mémoire est réparti en quatre principaux chapitres:

- Chapitre1 : Dans ce chapitre nous présentons les généralités sur les aciers inoxydables, en faisant une classification des aciers inoxydables destinés principalement à la mise en forme.
- Chapitre 2 : nous présentons des procédés de mise en forme et plus particulièrement le pliage et l'emboutissage.
- Chapitre 3 : son contenu résume globalement l'influence des différents facteurs sur le retour élastique et les techniques appliquées pour minimiser ce dernier.
- Chapitre 4: est consacré à la présentation d'une étude expérimentale et à l'interprétation des résultats obtenus. En fin le mémoire sera clôturé par une conclusion générale avec des suggestions.