

Réalisation d'un Tube d'Echangeur Thermique en Inox Périodiquement Ondulé Sous Forme S.

Cheriet K^{#1}, Demagh Y^{#2}, Serir L^{#3}

[#] LESEI – Faculté de Technologie, Département de Mécanique, Université Batna 2, Algérie.

¹ cheriet.kamell@gmail.com

² y.demagh@univ-batna2.dz

³ l.serir@univ-batna2.dz

Résumé—Le transfert de chaleur dans des canaux sinusoïdaux périodiquement, dans le sens du courant avec des sections transversales circulaires sont peu étudiés. La technique de réalisation de ces tubes périodiquement ondulés sous forme S, nécessite la conception et la réalisation d'une cintruse semi-automatique à galets. Cette réalisation confirme l'effet de la variété du diamètre des galets sur les diamètres des tubes en inox. Le tube est Aisi 316L creux de diamètre extérieur 14mm et d'épaisseur de 1mm. Dans cette étude trois différentes courbures sont choisies, avec des rayons 80-120-160 mm à une longueur de 6mètre.

Mots clés—Cintruse, Galet, Transfert de chaleur, Acier Inoxydable

I. INTRODUCTION

La courbure du tuyau incurvé induit un écoulement secondaire à travers le flux principal qui peut améliorer considérablement le taux de transfert de chaleur [1–2]. Cependant, la littérature pour l'étude des tuyaux incurvés à courbure variable périodiquement (par exemple, tuyau incurvé ondulé) est relativement très peu [3–4].

La réalisation de ces tubes nécessite la conception et la réalisation d'une cintruse semi-automatique. Cette cintruse contient des galets à différents diamètres selon le fléchissement de tube. Le tube est inoxydable de type (Aisi 316L) creux, de diamètre 14mm et d'épaisseur de 1 mm. Dans cette étude et pour comparaison, on a choisi trois différents rayons de courbure 80 – 120 – 160 mm.

II. MATERIEL ET METHODES

Le cintrage et un façonnage sans enlèvement des copeaux à l'aide ou sans aide de chaleur, sur des machines spéciales appelées cintruses, dans lequel une partie de la matière d'œuvre est définitivement portée, tout en conservant autant que possible sa section, de sa position originale dans un autre sens [5].

D'après la difficulté de cintrer un tube en forme S, avec un point tangent qui appartient au deux demi-cercle. Aussi, sans avoir une partie rectiligne de matière, sa demande une conception différente.

A. Caractérisation Physique du Tube Inoxydable AISI 316L

TABLE I. Caractéristiques physiques du tube inoxydable AISI 316L

AISI 316L	DIN	1.4404 - X 2 CrNiMo 17 12 2					AFNOR	Z 2 CND 17 12
Particularités								
Acier inoxydable avec une excellente résistance à la corrosion, ne différant de l'acier 316 L (1.4435) que par une variation de teneur en nickel et en molybdène. Ses caractéristiques sont donc identiques au 316 L (1.4435). En raison de son usinabilité limitée, on utilisera de préférence des aciers optimisés (PX, PM) lorsque des usinages complexes sont nécessaires. Cet acier convient parfaitement pour des pièces en contact prolongé avec la peau							Usinable	
							Trempable	non
							Polissable	-
							Magnétisable	non
							Durcissable	non
							Soudable par	
							MIG, TIG, WIG	oui
							Arc	oui
Résistance								
Autogène	oui							
laser	oui							
Composition chimique selon DIN [%]								
c	si	Mn	p	s	Cr	Mo	Ni	Autre
< 0.03	< 1	< 2	< 0.045	< 0.015	16.5-18.5	2 - 2.5	10 - 13	N < 0.11
Propriétés physiques								
Densité ρ [kg·m⁻³]	Résistivité électrique ρ [$\mu\Omega\cdot m$]		Chaleur spécifique C_p [J·kg⁻¹·K⁻¹]			Conductivité thermique λ [W·m⁻¹·K⁻¹]		
7980	0.75		500			15		
Coefficient de dilatation							Module élastique	

α [10 ⁻⁶ ·°C ⁻¹] entre 20°C							E [GPa]
100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	200 à 20°C
16.5	17.5	17.5	18.5	18.5	19	19.5	172 à 400°C
Propriétés mécaniques							
Etat	Limite élastique Rp0.2 [MPa]				Résistance à la rupture Re A5 [MPa]	Allongement de rupture A5 [%]	Dureté Vickers [HV]
	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C			
Recuit	190	166	137	118	490-690	≥45	150 - 200
Ecroûti max	1300				1400	5	430
Traitements thermiques							
Type	Milieu			Commentaires			
Décapage	6 - 25 % HNO3 + 0.5 - 8 % HF			A l'état recuit uniquement et à chaud			
Passivation	20 - 50% HNO3			A chaud			

B. Calcule de la Faisabilité dePliage

La formule suivante est la formule utilisée pour le calcul.

$$K = \frac{R_m * S_p}{\phi^2} \dots\dots\dots 1$$

- R_m : Le rayon moyen de cintrage
- S_p : L'épaisseur nominale du tube
- Φ : Diamètre du tube

$K > 0.3$; Le cintrage du tube est plus facile, ce n'est pas nécessaire de faire un outillage de support spécifique.

$0.1 < K < 0.3$; processus de cintrage de difficulté normale pour lequel il est nécessaire d'utiliser un seul mandrin intérieur est fixe.

$0.08 < K < 0.1$ pour cintrer le tube il faut un efface plis et un mandrin intérieur fixe.

$0.05 < K < 0.08$ Le cintrage est faisable lors qu'il y a un efface – plis et un mandrin intérieur mobile.

$K < 0.05$ Le cintrage du tube n'est pas faisable. Dans ce cas il faut construire des outillages spéciaux.

Pour les différents rayons de courbure 80-120-160-10mm en trouve que $k = 0.408 - 0.612 - 0.816 - 0.05$ successivement.Pour les trois premières courbures en constate que le cintrage est faisable sans plis.

C. Conception d'une Cintreuse Semi-Automatique

Cette étude a pour but la conception d'une cintreuse semi-automatique.

Celle-ci contient un moteur à double sens à une vitesse 2300 tr/min, un petit réducteur, un deuxième réducteur qui réduit la vitesse angulaire, une chaîne de transmission. Ainsi, deux fin de course pour déterminer la position de départ et la fin de cercle et une boîte de commande, un arbre claveté deux galets rainuré avec port galet et un socle.

D.Dessin d'Assemblage Assisté par Logiciel Solidworks

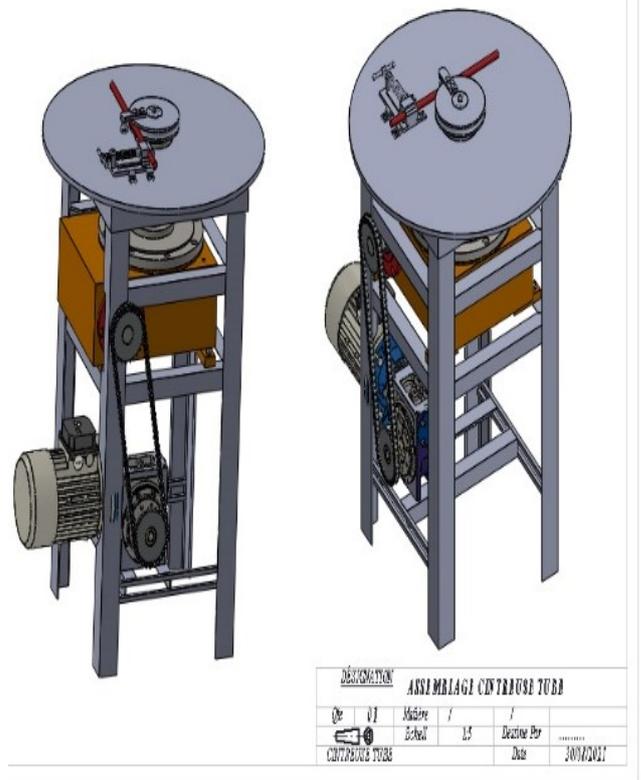


Fig.1 Dessin d'Assemblage de la Cintreuse

La (Fig.1) est une présentation d'un dessin d'assemblage d'une cintreuse semi-automatique assisté par un logiciel solidworks(2016).

Cette cintreuse est constituée d'un moteur à double sens à une vitesse de rotation angulaire de 2300 tr/min.Ce moteur raccordé avec un petit réducteur, ce dernier est aussi attaché par un pignon de diamètre 88mm et de 16 nombre de dents.

La transformation dumouvement sera assuré par une chaîne de transmission, raccordé avec un autre pignon et relier avec

un autre réducteur ; qui contient une visse sans fin et une roue denté.

Ce mécanisme permet de réduire la vitesse de rotation et augmente le couple.



Fig. 2 Réalisation d'une cintreuse semi-automatique.

La figure ci-dessus (Fig.2) montre la fabrication et la réalisation d'une cintreuse avec des galets rainurée de diamètre 14 mm ajusté par le tube en inox.



Fig. 3 La Méthode de Transmission de Vitesse par Chaîne

La méthode de transmission du mouvement par chaîne est présentée par (solidworks 2016). Ainsi que les différents composants de mécanisme.

La réduction de vitesse du moteur assuré par des réducteurs de vitesse. L'alignement des deux extrémités d'arbres de transmission sera obtenu par un accouplement flexible RA. Il est généralement utilisé pour compenser les déplacements angulaires, axiaux et radiaux minimisés de l'arbre.



Fig.4 Gabarit de cintrage rayon R=80 mm

Dans le cas d'un gabarit de cintrage d'un rayon égale 80 mm (Figure 4), les deux extrémités son sur la même ligne qui passe par le centre de cercle.

Sous l'action de rotation de la cintreuse le métal compris dans la section inférieure est soumis aux forces de compression (max en E) ; les fibres diminuent le métal compris dans la section Haut est soumis aux forces de traction (max en K) donc les fibres s'allongent.

La fibre entre ces 2 zones ne varie pas de longueur par ce que la fibre est neutre.



Fig.5 Ajustement du Tube sur le Gabarit de Cintrage Rayon R=120 mm

La Fig.5 au-dessus montre l'ajustement de tube de diamètre 240 mm sur le gabarit réalisé. Cet outil auquel on a fait référence pour assurer la conformité avec une grande précision de la forme et des dimensions de tubes réalisés.

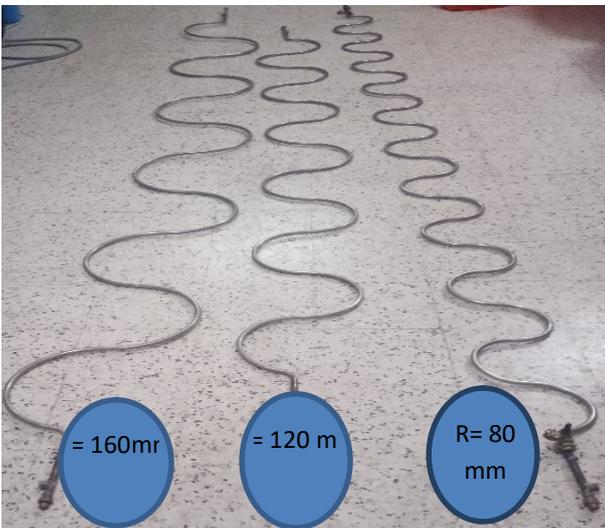


Fig.6 Différents diamètres des tubes cintrés

Les différents diamètres des tubes en aciers inoxydables cintrés sont montrés dans la figure 6. Les tubes présentés sans la partie linéaire avec un point tangent de deux demi-cercle pour chaque tube.

En fin les coefficients de retour élastique ont été déterminés pour chaque tube.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Retour Elastique

Pendant le cintrage, la tige est cintré à un angle θ_0 ; lorsque l'opération est terminée, l'angle s'ouvre légèrement jusqu'à une valeur θ (Fig.7). Ce phénomène est appelé retour élastique.

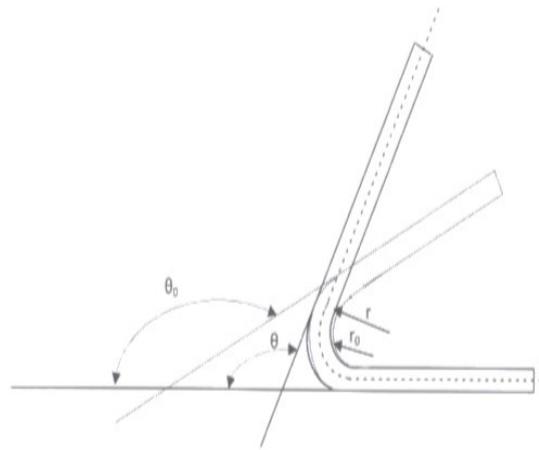


Fig.7 Retour Elastique

B. Calcul du Retour Elastique

La connaissance du retour élastique permet de déterminer le rayon de formage initial r_0 nécessaire pour obtenir un rayon donné r sur la pièce.

Pour des rapports rayon/épaisseur inférieurs ou égaux à 10, QUEENER propose la formule suivante pour le retour élastique :

$$\frac{r_m}{r'_m} = 1 - \frac{3k(1-\nu^2)}{E(n+2)\left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1+n}{2}} \left(\frac{2r_m}{e}\right)^{1-n}} \dots\dots\dots 2$$

Avec :

$r_m = r_0 + \frac{e}{2}$ Rayon moyen avant retour élastique

$r'_m = r + \frac{e}{2}$ Rayon moyen après retour élastique

e : En pliage c'est l'épaisseur de la tôle et en cintrage c'est le diamètre de la tige

n : Coefficient d'écrouissage du métal (daN/mm²). Pour la plupart des aciers n varie entre 0.1 et 0.25

k : Coefficient d'amplitude du métal (daN/mm²) (loi d'écrouissage $\sigma = k \epsilon^n$)

ν : Coefficient de poisson.

$$\frac{r_m}{r_o} = \frac{\theta}{\theta_o} = K' \dots\dots\dots 3$$

K' : Facteur de retour élastique (Rapport entre la forme de la pièce finie et la forme de l'outil) [6]

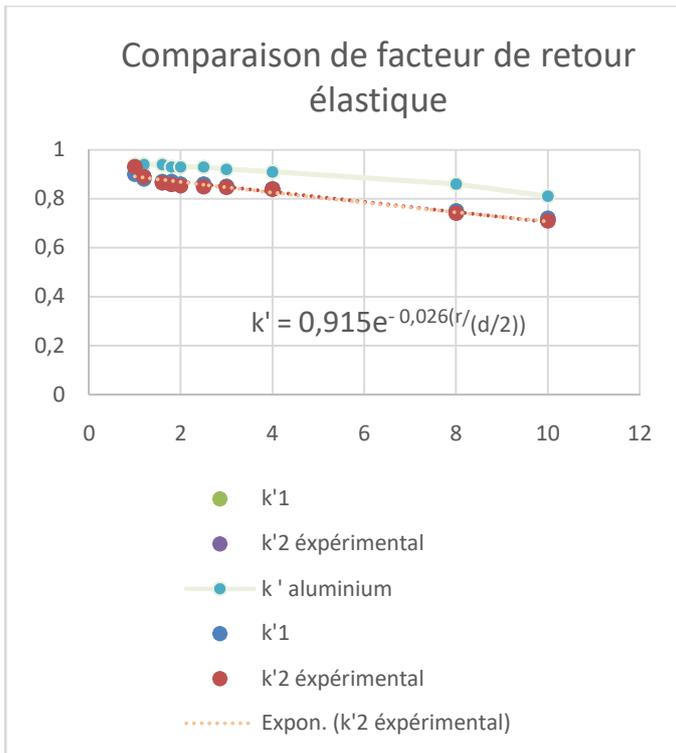


Fig. 8 Comparaison de Facteur de Retour Elastique.

La réalisation des tubes en acier inoxydable périodiquement ondulé sous forme S, nécessite une conception différente. d'après les différentes méthodes de cintrage on trouve toujours l'obstacle de la partie linéaire entre les deux demi-cercles au point tangent.

D'après les résultats obtenus on constate que l'élasticité joue un rôle très important. Surtout pour le retour élastique d'un tube en aciers inoxydable alimentaire ;Aisi 316 L à un diamètre de 14 mm et une épaisseur de 1 mm.

Pendant le cintrage l'angle s'ouvre considérablement en fonction de diamètre de formage et le rayon de tube.

Pour avoir une opération parfaite sans plis, on doit remplir le tube avec une matière qui avait une densité plus proche que l'acier. On remarque quand on augmente le rayon de courbure,

le coefficient de retour élastique diminue selon une fonction exponentielle.

IV. CONCLUSION

La présente étude fournit des données expérimentales pour la réalisation des tubes périodiquement ondulés. L'expérience est effectuée pour mesurer le coefficient de retour élastique d'un tube en acier inoxydable. Le tube est Aisi 316 L de diamètre 14 mm et une épaisseur de 1 mm.

Ce dernier sera utilisé pour un échangeur de chaleur, ainsi que la mesure de transfert de chaleur et les pertes des charges, pour les différents débits d'eau à l'intérieur d'un tuyau ondulé périodiquement à fonction axiale.

Dans la gamme des tests effectués, on constate que le facteur de retour élastique diminue si on minimise le diamètre de courbure.

V. REFERENCES

[1] J. Eustic, Experiments of streamline motion in curved pipes, Proc. R. Soc. London Ser. A 85 (1911) 119–131.
 [2] R. Yang, S.F. Chang, W. Wu, A numerical study of flow and heat transfer in a curved-pipe with periodically varying curvature, ASME paper 95-WA/HT-9, 1995.

[3] S. Murata, Y. Miyaka, T. Inaba, Laminarflow in a curved pipe with varying curvature, J. Fluid Mech. 73 (1976) 735– 752.

[4] N.P. Gopalan, Laminarflow of a suspension in a curved pipe with varying curvature, Int. J. Energy 23 (1985) 621– 632.

[5].N. Nezlioui D Larbi Mise en forme des métaux en feuille application à l'emboutissage des bandeaux bombé d'une cuisinière ENIEM ,36

[6]S. CHIBANE,H. CHELLALI, Etude et conception d'une cintrouse semi-automatique 21