
Modélisation de procédé de mise en forme assisté par multiples sources des vibrations

5.1 Introduction

Jusqu'à présent, le ancien travail de recherche effectué dans le domaine de procédé de mise en forme assistée par vibration est l'application de vibrations par une seule source qui transfère la translation à outillage inférieure. Les autres travaux présentent dans la littérature sont le procédé d'écrasement assiste par rotation et le forgeage orbital. L'application de deux ou trois sources de vibration peut produire translation ainsi que l'effet de rotation pendant le procédé de mise en forme qui a besoin d'une étude détaillée de découvrir cet effet.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons principalement sur l'impact de l'utilisation de sources multiples des vibrations dans le procédé de mise en forme des matériaux. Le mouvement de la matrice inférieure sous l'effet de la vibration générée par plusieurs actionneurs piézoélectriques multiples est identifié. L'étude cinématique et la modélisation mathématique liée à ce mouvement est effectuée dans le détail pour montrer la génération d'onde progressive avec l'application de la vibration à plusieurs. L'application des ondes progressives dans le procédé de mise en forme des matériaux est une technique innovante et n'a été jamais discuté précédemment.

La génération de l'onde progressive dans la matrice inférieure et son transfert à la pièce à forger à l'aide de simulations par éléments finis sont effectuées dans le logiciel FORGE2011 ®. Ensuite l'impact de l'onde progressive au cours du procédé de forgeage est observé. L'objectif principal de la réalisation de cette étude est de profiter de la génération de l'onde progressive dans le procédé et son impact sur la réduction de la force du forgeage. L'impact des différents paramètres de vibration sur le gain est également abordé dans ce chapitre.

5.2 Modélisation du procédé de forgeage assisté par vibration

Afin d'obtenir les avantages de la vibration dans le procédé de forgeage, le couplage entre les actionneurs piézo-électriques et le système mécanique doit être étudié. Pour cela, il est nécessaire d'étudier la cinématique de la matrice inférieure. Dans cette section, les modélisations du procédé des forgeages avec un, deux et trois actionneurs piézoélectriques sont présentées.

5.2.1 Modélisation de procédé de forgeage assisté par une source de vibration

Le procédé de forgeage assisté par une source de vibrations (actionneur piézo-électrique) a été présenté dans les chapitres 3 et 4. Dans le chapitre 3, le développement du modèle analytique a été décrit et dans le chapitre 4, l'application pratique de l'utilisation d'un actionneur piézo-électrique a été décrite.

Le schéma détaillé du procédé de forgeage avec un actionneur piézo-électrique est présenté dans le chapitre 4. Afin de rendre le procédé simple, nous avons négligé le frottement entre l'actionneur piézo-électrique, matrice inférieure et la pièce. Seules forces qui agissent sur la pièce sont considérées : la force générée par l'actionneur piézo-électrique et de la force de forgeage suivant OZ (directions de réduction de hauteur du lopin).

La matrice inférieure dispose le mouvement de déplacement $a_1(t)$ avec une vitesse $v_1(t)$. L'équation cinématique de la matrice inférieure peut être écrite comme $v_1(t) = v_z$. De même, la force sur le point O (centre) de la matrice inférieure et la pièce peut être écrite comme $F_1(t) = F_z$. Le modèle analytique a été développé et la force de réaction basée sur l'analyse des contraintes au cours du procédé de forgeage a été calculée au chapitre 3.

Maintenant, on peut examiner le procédé de forgeage assisté par multiple sources de vibrations. Elle nous permet de voir l'impact des moments dans les deux directions x et y.

5.2.2 Modélisation de procédé de forgeage assisté par deux sources des vibrations

Maintenant, nous considérons le procédé de forgeage avec deux sources des vibrations. Le schéma de ce procédé de forgeage est présenté dans la Figure 5-2. Ici, on considère que le frottement est négligeable entre la matrice inférieure et la pièce à forger, les seules force appliquées sur le lopin à forger générée par deux actionneurs piézo-électriques et la force de procédé du forgeage.

Par la Figure 5-2, nous considérons que matrice inférieure peut avoir deux types de mouvement, une rotation sur O_y avec ω_y et le déplacement le long de OZ. Notez que $v_1(t)$ et $v_2(t)$ sont les vitesses des actionneurs piézoélectriques en direction de OZ seulement. Le déplacement angulaire le long de l'axe y est donné par l'équation 5-3.

Le moment de torsion autour de l'axe y peut être calculé selon équation 5-4. Les équations cinématiques de la matrice inférieure s'écrites comme équation 5-5 et ω_y est calculé par

équation 5-6 où 5-7. Ici, $L = 2R$, on peut obtenir la matrice de vitesse pour l'outillage inférieur donné par équation 5-8.

La force au point 0 dans la direction OZ appliqué par les deux actionneurs piézoélectriques s'écrit (équation 5-9). Le vecteur force au point 0 est calculé par les forces produites par les deux actionneurs piézoélectriques (équation 5-10)

De même, on peut démontrer que l'utilisation de trois actionneurs piézoélectriques durant procédé de forgeage, on peut générer translation dans la direction OZ ainsi que deux rotations ω_x et ω_y .

5.2.3 Modélisation de procédé de forgeage assisté par trois sources des vibrations

L'objectif de cette section est d'analyser un procédé de forgeage qui permet d'utiliser plusieurs actionneurs piézoélectriques pour appliquer mouvement sur la matrice inférieure avec l'aide de vibrations multiples. On peut envisager un procédé de forgeage où la rotation produite dans les axes X et Y par plusieurs actionneurs piézoélectriques dans la matrice inférieure entrer dans la pièce à forger.

On considère un point M à la surface inférieure de la pièce à forger faisant un angle θ avec l'axe X. La vitesse tangentielle à chaque instant est définie par v_M et peut être calculée par l'équation 5-15. Le vecteur angulaire ω de vitesse $\vec{\omega}_M(x, y, t)$ est projetée sur l'axe X et Y et est donnée par l'équation 5-16. Dans la relation, Ω_0 est l'amplitude maximale de la rotation définie sur la base du rayon du lopin, de sorte qu'on maintient le contact entre la matrice inférieure et le lopin donc on a la relation donné par l'équation 5-18. L'amplitude de la vitesse angulaire est représentée par ω et est donnée par

$$\omega = 2\pi f$$

Où f est la fréquence de rotation. Le déplacement angulaire θ_x et θ_y peuvent aussi être calculés par l'équation 5-20. Ici, θ_{x0} et θ_{y0} peuvent être calculés à partir du problème de la valeur initiale. Si la matrice inférieure est inclinée avec un angle sur l'axe X et l'axe Y puis θ_x et θ_y aura quelques valeurs autrement ces termes seront des zéros.

Maintenant, il est facile d'analyser le déplacement (type de mouvement) pour n'importe quel point de la matrice inférieure. La manière plus simple et consiste à analyser le déplacement des deux points de la matrice inférieure, comme indiqué à la Figure 5-6. On appelle R_b le

repère de base fixe et R_d le repère attaché à la matrice inférieure. On considère deux points M et O de coordonnées $(x, y, 0)$ et $(x_1, y_1, 0)$ dans le repère R_d .

Si on définit les deux mouvements du plateau par la composition de deux rotations (dans les directions X et Y) et une translation (selon z) sur la matrice inférieure et la transférer au cadre de base fixe alors nous pouvons obtenir la matrice de mouvement dans le R_b (repère fixe). La combinaison de ces matrices de transfert homogènes est $R_x \cdot R_y$ donnée par l'équation 5-20. Les positions des points M et O dans le repère de base de référence R_b sont donnés par les équations 5-23 et 5-24.

Si on choisit maintenant d'imposer le mouvement du point O tel que donné par l'équation 5-25, le mouvement du point M décrit comme l'équation 5-26.

Si on note maintenant $x - x_1 = R \cos(\psi)$ et $y - y_1 = R \sin(\psi)$, on obtient l'équation 5-27 donc on est capable de choisir une onde progressive sinusoïdale pour tout cylindre de rayon R dont le centre n'est pas forcément le centre du plateau et de superposer un mouvement en z défini par $L_a(t)$.

Conclusion

Le dimensionnement (norme) des axes de rotation est donc lié à celui de la translation.

- Si on s'intéresse uniquement à la génération d'un mouvement de type onde progressive, alors $\Delta L(t) = -R \cos(\psi) \theta_y + R \sin(\psi) \theta_x$ est uniquement lié au rayon maximum R du lopin et aux amplitudes des mouvements de rotation. Si on suppose que l'on ait un défaut de centrage du lopin, alors il faut imposer un mouvement en z tel que $L(t) = R_1 \cos(\psi_1) \theta_y - R_1 \sin(\psi_1) \theta_x$ dont l'amplitude maximale vaut $R_1 \theta_{max}$.
- Si on désire atteindre en n'importe quel point du plateau une amplitude suffisante pour pouvoir placer un lopin en ce point et atteindre à la vitesse maximale de déformation v_0 , alors il faut s'intéresser uniquement à la vitesse du point M. Dans ce cas, se sont les dimensions du plateau qui détermine les amplitudes du mouvement des axes de rotation et de l'axe en z.

5.3 Simulations d'éléments finis pour l'application de multi-vibrations dans procédé de forgeage

Après avoir décrit la nature du mouvement de la matrice inférieure sous l'influence de plusieurs vibration en procédé de forgeage de matériaux dans la section précédente, l'objectif

de cette section est de vérifier et d'appliquer cette proposition au cours du procédé de forgeage et observe les avantages de l'utilisation de cette technique. Dans la pratique, la modélisation et la conception de pot vibrant pour générer des multi vibrations est compliqué comparée celle oui du pot avec une source de vibration. Un grand nombre de facteurs doivent être mis au point avant d'utiliser cet ensemble de vibration. La sélection du matériel pour la fabrication de pot, le choix des actionneurs piézoélectriques, la structure permettant de transférer des vibrations, le contact et de matériau de la pièce sont des contraintes importantes à garder à l'esprit de la conception.

Pour résoudre ces problèmes, des simulations par éléments finis ont été réalisées dans FORGE2011 ® pour analyser le procédé de forgeage sous l'influence des multi vibrations. Cette modélisation et son analyse nous donne les avantages suivants:

- Le pot de vibration ou l'assemblage multi-vibration n'a pas besoin d'être modélisés, comme seules les données générées peuvent être utilisés pour montrer la vibration agissant sur la matrice inférieure,
- Le mouvement de matrice inférieure peut être visualisé et aussi on peut comparer au mouvement proposé obtenue par l'étude cinématique,
- Le comportement des matériaux différents peut être analysé,
- Différents paramètres de procédé peuvent être étudiés afin d'analyser leurs impacts sur le procédé et d'identifier les plus importants.

Des résultats de simulation par éléments finis permettre la compréhension de ce qui se passe au cours du procédés. Le logiciel Forge2011 ® est un outil de simulation puissant pour analyser en trois dimensions (3D), le flux de procédés de mise en forme de complexes, tels que matrice de forgeage ouverte (refoulement), matriçage fermé, le laminage et le procédé d'extrusion. La question importante est de savoir comment intégrer la vibration dans FORGE2011 ®. La section suivant répondra à cette question.

5.4 Description de procédé de forgeage dans FORGE 2011 ®

Pour les simulations éléments finis du procédé de forgeage dans le domaine viscoplastique, le procédé de forgeage à chaud est sélectionné mais la température a été maintenue à 20 ° C et l'effet thermique a été éliminé dans le calcul pour gagner du temps.

Dans ce travail, on s'intéresse au domaine viscoplastique seulement et le comportement du matériau est exprimé à l'aide de la loi Norton-Hoff,

$$\sigma_0 = k\varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m$$

σ_0 = Contrainte d'écoulement

ε , $\dot{\varepsilon}$ = déformation équivalente et taux de déformation

k = Consistance du matériau

n = coefficient d'écrasement et m = sensibilité à la vitesse de déformation

Le procédé d'écrasement est simple et intéressant pour des études théoriques et expérimentales. Les multi vibrations peuvent être appliquées par une presse générique attachée à matrice inférieure (pot vibrant). Avant d'entrer dans le détail de la façon d'appliquer vibration dans la simulation, nous allons d'abord regarder la configuration dans FORGE2011 ® utilisé pour effectuer ces simulations. Cette installation se compose de trois parties principales (Figure 5-7),

- Coulisseau
- Billet (Lopin)
- Pot vibrant

La hauteur du lopin se trouve dans la direction Z alors que les directions radiales sont les axes X et Y. Pour ces simulations, l'aluminium a été utilisé comme matériau de la pièce à forger. D'autres matériaux peuvent également être utilisés on modifié les coefficients des matières dans le fichier de matériau de la pièce. Le tableau 5-1 présent les paramètres matériau, géométriques et du procédé utilisé pour la simulation.

5.4.1 Application de multi-vibrations dans le procédé de forgeage

La vibration est appliquée à la matrice inférieure (pot vibrant) à l'aide d'une presse générique. Cette presse sera la source de multi-vibrations dans le procédé de forgeage. La cinématique de la presse générique est obtenue avec deux rotations autour de deux axes combinés avec une translation. Il existe trois types de simulations possibles avec les trois mouvements possibles de presse générique. Une combinaison de RPM1 et de translation (TR) correspond à la création d'un tube, alors que la combinaison de deux rotations et TR correspond à l'exemple de forgeage rotatif.

5.4.2 Génération de données pour la presse Générique

Afin de simuler le mouvement, les données doivent être transférées à la presse générique. Les champs nécessaires sont remplis dans le dossier de presse générique (Figure 5-10). La

durée de forgeage doit être mentionnée en secondes. Les vitesses V_x , V_y et V_z de la presse générique sont nulles. Nous devons remplir les champs 'rotation speed1, axis1 de rotation, point1 de l'axe, Rotation Speed2, Axis2 de rotation et Point2 de l'Axe'.

La vitesse de rotation dans les directions X et Y doivent être générées. Les équations 5-28-5-31 sont utilisées pour générer les données de vitesse angulaire de rotation autour de les axes X et Y. L'incrément de temps considéré est 0.005sec pour cette simulation. La simulation débute à l'instant $t = 0$, on doit donner l'angle initial de 0.137° à outillage inférieur dans le direction Y.

5.4.3 Vérification de la présence de rotation dans le lopin

Maintenant, afin de voir comment vibration est entrée dans la pièce de matrice inférieure, trois capteurs ont été placés sur et près de la surface inférieure Nous prenons différents nœuds sur la pièce spécialement sur la face inférieure (Figure.5-11.) D'la pièce qui est en contact avec la matrice inférieure (pot vibrant dans ce cas) pour placer nos capteurs. Trois capteurs ont été fixés à trois positions pour suivre leur déplacement, la vitesse et peut également enregistrer des paramètres scalaire, comme la contrainte équivalent, la déformation équivalente et vitesses de déformation. Ces capteurs sont placés avant les simulations ont été lancés et sont appelés "a priori capteurs". La mesure des données relatives, tels que le déplacement et la vitesse peuvent nous aider à prédire que notre simulation va dans la bonne direction ou non.

5.4.4 Résultats des simulations

Dès que la présence de la rotation à la surface supérieure de la matrice inférieure et dans la surface inférieure de la pièce à usiner a été vérifiée, l'effet de la vibration sur le procédé de forgeage peut être observé. Cela peut être réalisé :

- En comparant la force de forgeage requis pour les procédés avec et sans vibration
- L'observation du changement de direction du vecteur de vitesse pour une période de temps au cours du procédé de forgeage

5.4.4.1 Gain dans la réduction du procédé de forgeage

Les simulations de procédé de forgeage avec et sans vibration sont effectuées et les forces de forgeage nécessaires sont obtenues. Il indique clairement que la force de forgeage pour le procédé s'est considérablement réduite. La réduction de la force normalisée peut être trouvée en comparant la force nécessaire sans vibration avec celle avec multi vibration au cours du

forgeage. Il ya une réduction de 21,5% à la fin du procédé de forgeage et qui montre les avantages du procédé de forgeage assisté par plusieurs vibrations. Au début, le gain dans la réduction de la force de forgeage dépend du temps.

5.4.4.2 Changement dans la direction du vecteur de vitesse

Le champ de vitesse a été obtenu pour les deux instants au cours de la période ($T = 0,1 \text{ s}$) 2-2.1sec dans la Figure 5-14. On voit clairement qu'il ya un changement dans la direction du vecteur de vitesse du côté droit au côté gauche de la pièce pendant une demi-période de l'onde progressive. Ce changement dans la direction du vecteur de vitesse explique la modification de la friction sur la matrice inférieure.

5.4.5 Vérification de résultants des simulations

La qualité des résultats des simulations peut être évaluée de deux manières, d'abord en trouvant la valeur de Ω_0 à différents intervalles au cours de procédé de forgeage .Le second, est en effectuant une simulation avec un maillage fin pour vérifier la convergence de la solution.

5.4.5.1 Vérification de l'amplitude de rotation maximale au rayon différent

Afin de vérifier notre simulation de procédé de forgeage assisté par multi vibration et avec les trois capteurs, nous pouvons mesurer la valeur d'amplitude maximale de la vitesse angulaire Ω_0 en mesurant R_{max} et v_0 . En effet puisque Ω_0 est une valeur constante de sorte que l'augmentation R_{max} au cours du procédés de forgeage, v_z doit également augmenter de façon correspondante. Cela signifie que

$$\frac{v_{02}}{v_{01}} = \frac{R_{max2}}{R_{max1}}$$

Les vitesses et les déplacements (rayon dans les directions X et Y) à n'importe quel point peuvent être mesurés à l'aide de capteurs a priori attachés à la pièce. Pour vérifier nos calculs, nous examinons d'abord la vitesse à différents instants. Nous pouvons choisir n'importe quel capteur, par exemple le capteur 3 à la position (20 0 0), soit à $R = 20 \text{ mm}$ à X extrémité La vitesse. v_z Correspondant à cette position de nœud pour les trois premières secondes est présenté à la Figure 15.5. L'augmentation du rapport de la vitesse dans ce cas, est de 1,10. De même, nous pouvons analyser l'augmentation du rayon X en traçant en fonction du temps, l'augmentation du rayon R dans la direction X est observé et il se trouve

être de 1,12. Il est observé que Ω_0 reste constant au cours du procédé de forgeage. Les résultats sont vérifiés pour les deux autres capteurs et positions.

5.4.5.2 Effet du changement de maillage

Une première simulation a été effectuée avec un maillage grossier de 3,31mm. Pour voir la convergence de la solution avec ce procédé de forgeage, nous avons réduit la taille des mailles de 2,20mm. Si le résultat de la simulation est la même que celle obtenue avant alors nous pouvons dire que le calcul converge et nous avons obtenu une solution convergée. Les résultats des simulations avec le maillage (Figure 5-17) déterminent si la solution converge et que les deux courbes se superposent. Cela confirme la validité de la simulation effectuée. L'inconvénient de faire des simulations avec maille fine est que cela prend beaucoup plus de temps comparé avec un maillage grossier car le calcul est effectué sur plus de nombre de nœuds mais le résultat est beaucoup plus fiable.

Maintenant, nous pouvons observer les différents paramètres qui peuvent influencer sur le gain en effort de forgeage (réduction de la force). Ces paramètres incluent des paramètres de procédés tels que l'amplitude maximale de rotation, la fréquence de onde progressive, les paramètres du matériau et les paramètres de frottement. La simulation sera effectuée avec et sans vibration et les effets de ces paramètres seront discutés.

5.4.6 Effet de paramètres de procédés sur le gain de réduction de la force de forgeage

Il ya deux paramètres importants qui peuvent avoir une incidence sur la valeur du gain donc la réduction de la force de forgeage. Le premier est Ω_0 , l'amplitude maximale de rotation et l'autre est la fréquence f . La fréquence est importante pour décrire l'amplitude de rotation et son rôle est limité par Ω_0 . Cela signifie que Ω_0 est le seul paramètre important L'impact de Ω_0 peut être vu en effectuant une simulation avec une valeur différente de Ω_0 . La valeur de Ω_0 pour la dernière simulation était de 0,15rad/s et nous avons changé cette valeur à 0.10rad/s. Les simulations sont effectuées avec et sans vibrations, il est observé que le gain dans la réduction de la force de forgeage est de 14% à la fin qui est inférieur à un gain obtenu dans le cas $\Omega_0=0.15rad/sec$ pour la même diminution de 21,5%.

De même, une autre simulation est réalisée avec les mêmes données utilisées avant, mais changé le diamètre (50 mm) de la pièce à usiner qui modifie la valeur de $\Omega_0=0,08rad/s$. les forces nécessaires pour le procédé de forgeage avec et sans vibration et on à noter que Ω_0

joue un rôle important sur le gain obtenu par la réduction de la force de forgeage. L'impact de Ω_0 sur la réduction de la force de forge est montré dans le tableau 5-3.

5.4.7 Effet de la variation des paramètres de matériaux

Pour voir l'impact des effets multiples de vibration sur différents matériaux, procédés de forgeage sont exécutés avec multi-vibration et sans vibration pour $m = 0,4$ (coefficient de sensibilité à la vitesse de déformation). Il a été observé que les procédés de forgeage avec différentes valeurs de m donnent un gain légèrement différent avec l'application de vibrations. Dans ce cas, le gain en effort de forge à la fin du procédé est de 19%. Il atteint (21,5%) avec un m égal à 0,1.

5.4.8 Effet de la variation des paramètres de frottement

Dans ces simulations forgeage (écrasement d'un lopin de 35mm) avec coefficient de matériau (sensibilité à la vitesse de déformation) $m = 1$ a été réalisée mais les coefficients de friction (Coulomb limite Tresca) ne sont pas appliquées. Le refroidissement bilatéral a été utilisé. En effet, le refroidissement bilatéral ne permet pas le déplacement des nœuds attachés à la surface des matrices.

Le gain dans la réduction de force de forgeage est à peu près égal à 33% (Figure 5-24), lorsqu'on applique un liquide de refroidissement bilatéral, la pièce à forger est bombé dans le centre. Ceci s'explique car les interfaces de la pièce avec l'outillage sont bien placées dans les centres de matrices et n'autorise aucun mouvement, alors que le milieu de la pièce se déforme et se renfle au centre.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué des études cinématiques du mouvement de matrice inférieure sous l'influence d'un, de deux et de trois sources de vibrations (actionneurs piézoélectriques) dans les procédés de mise en forme. L'application d'une source de vibration génère uniquement une translation dans la direction Z alors que l'application de deux ou de trois produits une translation (axe Z) ainsi que la rotation dans les deux axes X et Y. Cette étude est importante, elle montre quel type de vibration est introduit dans la pièce par l'ensemble de vibration. Le mouvement de la matrice avec plusieurs sources de vibration est plus complexe et l'étude cinématique montre qu'une onde progressive est générée dans la matrice inférieure par l'application de trois sources de vibrations.