



HAL
open science

Influence des paramètres expérimentaux sur le comportement thixotrope d'un acier

Pierre Cézard, Régis Bigot, Véronique Favier, Stéphane Mathieu, Marc
Robelet

► **To cite this version:**

Pierre Cézard, Régis Bigot, Véronique Favier, Stéphane Mathieu, Marc Robelet. Influence des paramètres expérimentaux sur le comportement thixotrope d'un acier. 17e Congrès Français de Mécanique, 2005, Troyes, France. pp.1-6. hal-04277734

HAL Id: hal-04277734

<https://hal.science/hal-04277734>

Submitted on 9 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Influence des paramètres expérimentaux sur le comportement thixotrope d'un acier

Pierre Cezard, Régis Bigot, Véronique Favier, Stéphane Mathieu, Marc Robelet

LPMM – ENSAM – 4, Rue Augustin Fresnel, 57070 Metz Technopôle – France

LGIPM – ENSAM – 4, Rue Augustin Fresnel, 57070 Metz Technopôle – France

ASCOMETAL CREAS - avenue France 57300 Hagondange – France

Résumé :

La mise en forme semi-solide des matériaux à bas point de fusion est aujourd'hui une réalité industrielle. Le développement de ce type de procédé pour l'acier est une perspective intéressante et prometteuse pour l'avenir [1]. Cette étude montre l'influence prépondérante de certains paramètres sur le caractère thixotrope de l'acier semi-solide. Ce travail met notamment en évidence l'influence des échanges thermiques sur le comportement de l'acier semi-solide. Il en découle une meilleure compréhension du matériau et de sa mise en forme. Les auteurs proposent également des améliorations pour les méthodes de thixoforgeage actuelles aux vues de ces résultats.

Abstract :

Semi-solid forming of low melting point materials became an industrial reality. Works on similar techniques for steel thixofforming is an interesting perspective [1]. This paper shows the major influence of some parameters on the thixotropic characteristics of semi-solid steel. This works point the key role of thermal exchanges between the slug and the die on the semi-solid steel behaviour. It gives a better comprehension of the semi-solid material and its forming. Authors purpose an improvement of thixofforming process thanks to these results.

Mots clefs :

Thixoforgeage; Matériaux à haut point de fusion ; Echanges thermiques.

1 Introduction

Après plus de 30 ans de recherche sur les procédés de mise en forme semi-solide, les matériaux à bas point de fusion sont aujourd'hui communément utilisés dans l'industrie à l'état semi-solide. En effet, le thixoforgeage offre des possibilités très intéressantes en comparaison avec les procédés de mise en forme traditionnels tels que la fonderie ou la forge à chaud [2]. Ces principaux avantages sont classés dans le tableau suivant :

Avantages par rapport à	
La forge à chaud	La fonderie
Forme plus complexe	Caractéristiques mécaniques
Effort plus faible	Température de travail plus faible
Moins d'usure des outils	Meilleure santé interne

C.Rouff [2] a présenté les possibilités et les avantages du thixoforgeage de l'acier en comparaison avec la mise en forme par forge à chaud de ce matériau (figure1). D'autre part, en collaboration avec le CREAS d'Ascometal, une pièce industriel en acier (porte fusée) a été réalisée par thixoforgeage (figure 2).

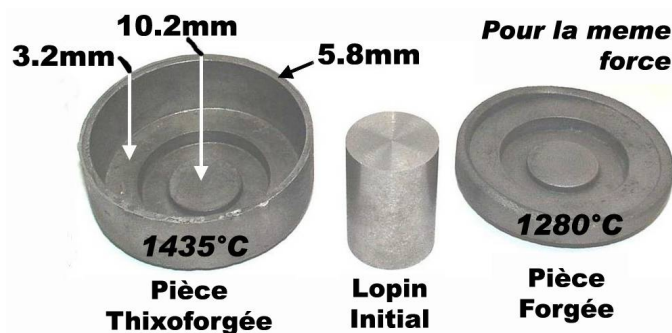


FIG. 1 – Comparaison entre une pièce forgée et une pièce thixoforgée pour la même force



FIG.2 – Porte fusée en acier réalisé par thixoforgeage

Pour le thixoforgeage des aciers, et plus généralement pour les matériaux à haut point de fusion, la température atteinte lors de la refusion partielle (ou lors de la resolidification partielle) induit des problèmes qui n'existent pas pour les matériaux à bas point de fusion. Les échanges thermiques entre la pièce et les outils ont un rôle majeur sur le comportement global puisqu'ils modifient la fraction de solide à la surface du lopin et peuvent créer une peau solide durant la mise en forme de la pièce. De ce fait, la température est un paramètre du premier ordre en ce qui concerne le thixoforgeage de l'acier. H.Shimahara et R.Kopp [3] ont développé une approche intéressante pour éviter ces problèmes d'échanges thermiques en réalisant leurs essais rhéologiques dans des fours hautes températures permettant de chauffer l'outillage et la pièce et de réaliser ainsi des essais isothermes. C'est en effet la seule solution pour évaluer correctement l'influence des paramètres du second ordre tel que la vitesse de déformation ou la microstructure sur le comportement de l'acier semi-solide.

2 Travaux expérimentaux

2.1 Contexte

Notre objectif est de caractériser le comportement de l'acier semi-solide et plus précisément de déterminer les paramètres les plus influents. La complexité du procédé amène un grand nombre de paramètres dont la modification peut changer de façon importante la réponse du matériau. Par exemple, durant la phase de d'obtention du semi-solide, le fait de refroidir du liquide ou de chauffer du solide ainsi que la cinétique de ces procédés influencent profondément la microstructure du matériau semi-solide et de ce fait le comportement global du lopin [4]. Durant le procédé de mise en forme proprement dit, la vitesse de déformation, la géométrie finale de la pièce, les échanges thermiques avec l'outillage, la fraction de solide, etc... vont conditionner la réponse du semi-solide.

Le tableau suivant tente d'établir une liste des principaux paramètres intervenant lors d'un procédé de thixoforgeage:

Phase d'élaboration
Solidification partielle ou refusion partielle
Type de chauffage (Conduction, Induction...)
Temps de cycle
Continuité du cycle
Histoire du matériau (laminage, etc...)
Brassage (Mécanique, Electromagnétique...)
Phase de mise en forme
Phase d'élaboration
Echanges thermiques
Vitesse de déformation (et déformation)
Durée du procédé

Pour les matériaux à haut point de fusion, les phénomènes thermiques et leur contrôle sont essentiels car ils peuvent complètement masquer l'influence d'autres paramètres.

2.2 Tests rhéologiques

Pour comprendre le comportement de l'acier semi-solide, nous utilisons trois tests rhéologiques présentés sur la figure 3. Le lopin de départ est cylindrique, de hauteur 45 ou 65mm selon l'essai et de diamètre 38mm.

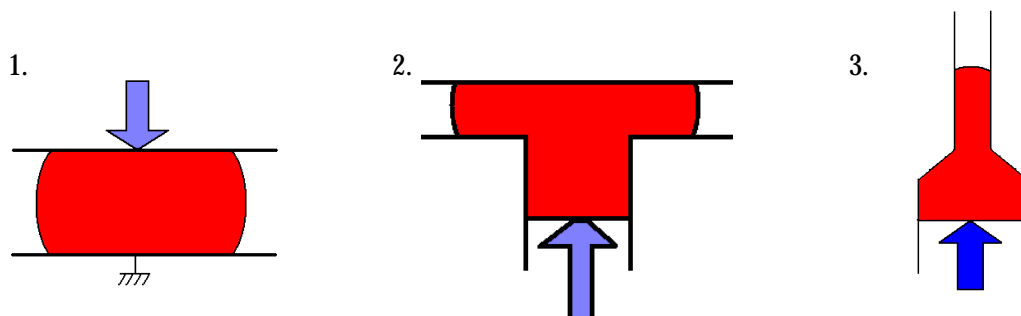


FIG. 3 – 1) Essai de compression, 2) Essai de filage radial, 3) Essai de filage direct

L'état semi-solide est obtenu par refusion partielle dans un four à induction. Généralement, la fraction solide utilisée est d'environ 60% ce qui correspond approximativement à une température de 1450°C pour les nuances d'acier que nous utilisons (à l'équilibre thermodynamique). La vitesse de déformation change en fonction de la vitesse du coulisseau de la presse ainsi que de la géométrie mise en forme. Pour les résultats présentés ci-après nous avons conservé une vitesse de coulisseau de 40mm/s.

2.3 Echanges Thermiques

Dans un premier temps, pour évaluer l'influence des échanges thermique sur la réponse de l'acier semi-solide, nous avons pour un même type de test changer la température de l'outillage en utilisant un système de collier chauffant régulé. Sur la figure 4, pour un essai de filage direct, les courbes effort-déplacement à deux températures d'outillage différentes sont comparées.

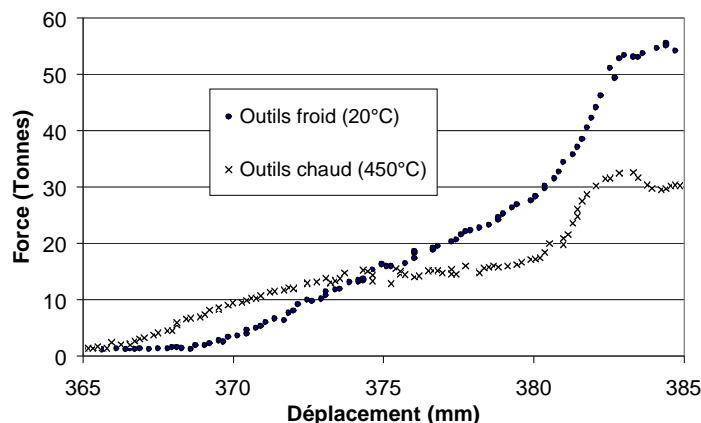


FIG.4 – Effort= f(Déplacement) pour deux essais de filage direct

Clairement, à partir d'un certain déplacement, on constate que lorsque la température de l'outillage est plus grande, la force (mesurée par un capteur de force) est plus faible et la forme de la courbe est légèrement différente. Ces résultats montrent le rôle important des échanges thermiques sur la réponse du matériau. Dans le cas d'un outillage froid, la fraction de solide, tout du moins à la surface du lopin, est nettement supérieure à celle obtenue dans le cas d'un outillage chaud ce qui conduit à un effort de mise en forme supérieur. De plus, Il est important de noter que les phénomènes de frottement sont aussi différents entre la pièce et l'outillage lorsque la température de ce dernier change. L'essai réalisé avec un outillage chauffé à 450°C est encore très loin d'un essai isotherme difficile à mettre en œuvre puisqu'il faut concevoir un outillage résistant aux efforts mis en jeu à 1450°C. Ces difficultés font qu'il est très difficile d'étudier d'autres paramètres comme la vitesse de déformation puisque nous n'arrivons pas à minimiser les effets des échanges thermiques.

La figure 5 montre une courbe effort en fonction du déplacement du coulisseau pour des tests de filage radial successifs. L'outillage n'est pas refroidi entre chaque essai. De ce fait, l'enchaînement des essais et la diffusion d'une partie de la chaleur du lopin dans l'outillage entraînent un réchauffement de ce dernier.

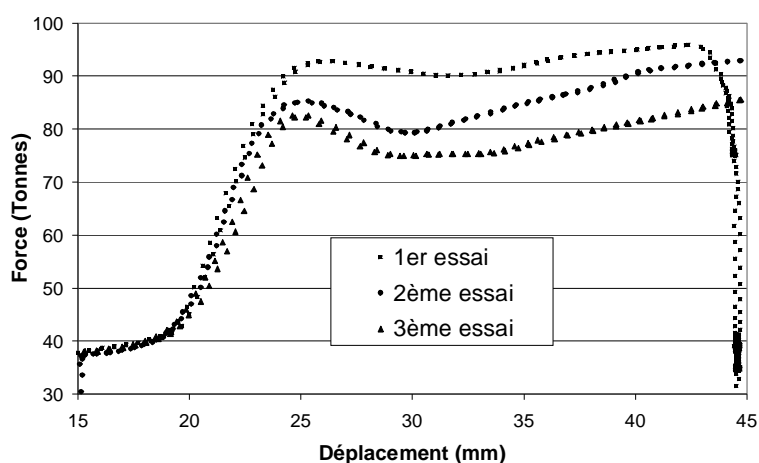


FIG.5 - Effort= f(Déplacement) pour trois essais de filage radial

Une fois de plus, la température des outillages affecte de façon significative l'effort de mise en forme. Par ailleurs, la température de l'outillage influence aussi la phase de filage proprement dite (forte augmentation de l'effort) en modifiant la pente de la courbe.

Grâce à une large série d'essais, nous avons pu mettre en évidence l'importance majeure des échanges thermiques sur la réponse de l'acier à l'état semi-solide et plus généralement le rôle clé de la température. Il

est impossible de concevoir une étude robuste sur le thixoforgage des matériaux à haut point de fusion sans maîtriser parfaitement ces phénomènes. Leur compréhension est essentielle pour identifier le rôle de chaque paramètre du procédé.

2.4 Développement du procédé

Pour limiter les échanges thermiques nous avons réalisé des essais supplémentaires en vaporisant un spray à base de céramique sur les outillages. Sur la figure 6, sont représentés deux essais de filage direct avec ou sans cette couche de céramique.

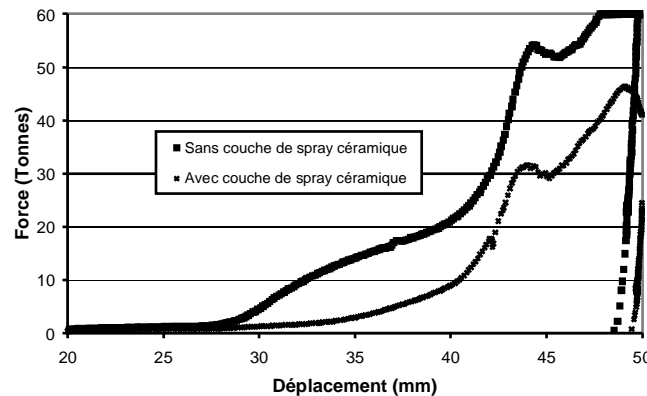


FIG.6 - Effort= f(Déplacement) pour deux essais de filage direct avec ou sans couche de céramique

La présence de cette fine couche diminue nettement l'effort nécessaire à la mise en forme. La céramique joue un rôle de frontière thermique et limite ainsi la chute de la température à la surface. De ce fait, la solidification de la peau est moins rapide et moins importante; l'effort de mise en forme s'en trouve diminué. Par ailleurs, cette fine couche peut aussi jouer le rôle de lubrifiant, diminuant les frottements, améliorant l'écoulement de la matière et de ce fait, la qualité géométrique de la pièce finie.

3. Conclusions et perspectives

Ces expériences montrent la nécessité d'un travail approfondi sur les phénomènes thermiques pour comprendre et prédire le comportement des semi-solides et plus spécifiquement celui des matériaux à haut point de fusion. Les échanges thermiques ont un rôle clé pendant la mise en forme mais ils ont aussi une influence critique sur les caractéristiques mécaniques de la pièce finie. D'un point de vue industriel ou scientifique, le contrôle et la compréhension de tous ces phénomènes thermiques sont aujourd'hui essentiels pour le développement des procédés de thixoforgage. A l'avenir, les modèles et les simulations visant à prédire ou reproduire ce procédé devront inévitablement introduire l'influence de la thermique dans leurs calculs.

Références

1. M.Deye, Le Thixoforgage gagne l'acier, L'Usine Nouvelle 2936 (2004) 76-77
2. C.Rouff, Contribution à la caractérisation et à la modélisation du comportement d'un acier à l'état semi-solide – Application au thixoforgage, Thesis, Ecole Nationale d'Arts et Métiers (2003)
3. H.Shimahara and R.Kopp, Investigations of basic data for the semi-solid forging of steels, 8th Semi Solid Processing Conference, Limassol, Cyprus (2004).
4. Z.Fan, Semisolid metal processing, Int. Materials reviews 42 (2002) 49-85