Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: https://sam.ensam.eu
Handle ID: .http://hdl.handle.net/10985/9235

To cite this version :

Luc MORHAIN, Pascal SECORDEL, Laurent LANGLOIS - Caractérisation de lubrifiant par approche semi – industrielle pour le forgeage de précision - In: 18ème Congrès Français de Mécanique, France, 2007-08-27 - CFM' 2007 - 2007

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository Administrator : scienceouverte@ensam.eu

Arts et Métiers Institute of Technology

Caractérisation de lubrifiant par approche semi – industrielle pour le forgeage de précision

Laurent Langlois[(1)], Régis Bigot[(1)], Luc Morhain[(1)] & Pascal Sécordel[(2)]

[(1)] ENSAM CER de Metz,
LGIPM,
4 rue Augustin Fresnel, 57070 Metz
Laurent.langlois@metz.ensam.fr

[(2)] ASCOFORGE-SAFE,
Avenue de France, 57301, Hagondange Cedex

Résumé :

En forgeage de précision, la réussite d'une gamme de déformation dépend en grande partie des performances du lubrifiant utilisé. Celui - ci doit permettre d'éviter un contact direct entre l'acier forgé et l'outil et favoriser l'écoulement du métal dans les outillages. L'étude proposée porte sur la mise en place d'essais de caractérisation de lubrifiants pour le forgeage de précision en conditions semi industrielles. Cette étude repose d'une part sur une démarche d'identification et de maîtrise des paramètres influant sur l'opération de forgeage et d'autre part sur la mise en place d'outillages instrumentés permettant un suivi de certains paramètres de forgeage. L'effet du lubrifiant est évalué suivant des critères liés aux efforts de forgeage et à la géométrie de la pièce forgée. Le protocole expérimental mis en place a permis de mener une étude comparative sur les performances de plusieurs lubrifiants de type polymère et la phosphatation.

Abstract :

The success of a cold forging process strongly depends on the effectiveness of the lubricant system. The two main functions of this one is to avoid direct contact between the forged metal and the tools and to help metal flow in the dies. This study presents results obtained with an experimental procedure in order to characterize the lubricant effectiveness during cold forging under semi-industrial conditions. This procedure is based on the identification of the parameters related to the lubricant and driving the forging process. It is based too on the instrumentation of the forging tool in order to follow some particular forging parameters. The effectiveness of the lubricant is estimated through the measurement of the forging load and some dimensions on the forged part. This experimental procedure allowed comparing the effectiveness of two polymer type lubricants and the classical zinc phosphate precoat.

Mots clefs :

Lubrification ; Forgeage de précision ; caractérisation expérimentale

1. La lubrification en forgeage de précision

1.1 Rôles et enjeux de la lubrification en forgeage de précision

En forge à froid, la réussite d'une gamme de déformation dépend en grande partie des performances du lubrifiant utilisé. Celui - ci doit répondre à deux impératifs :
- éviter un contact direct entre l'acier forgé et l'outil, pouvant conduire à une dégradation rapide (grippage, usure) de l'outil de mise en forme, et à des défauts de surface sur la pièce réalisée,
- favoriser l'écoulement du métal dans les outillages, dans des conditions sévères de sollicitation qui amènent la couche lubrifiante à une température de plusieurs centaines de degrés, sous des pressions de plus de 2000 MPa [1].

Le non-respect de ces exigences se traduit sur les pièces par des défauts dimensionnels ou des défauts d'aspect (criques, chevrons), et sur les outillages par des dégradations prématurées (grippage, fissuration).
La pratique industrielle en forge à froid généralise encore actuellement l'utilisation de couches de surface, composés de phosphates et de lubrifiants spécifiques. Le remplacement de ces procédés traditionnels s'impose pour résoudre les problèmes de rejets et de traitement des effluents, de coûts de maintenance et d'exploitation des équipements mais aussi de coûts d'investissements associés.
Pour résoudre les problèmes, il est nécessaire de s'appuyer sur les résultats obtenus par conversion chimique habituelle, c'est – à - dire en particulier de considérer que la surface métallique à recouvrir d'un système lubrifiant nouveau, nécessite la réalisation d'un film parfaitement adhérent et susceptible de porter le système de lubrification, adaptable aux opérations de mise en forme visées. C'est à partir de cette analyse que des produits de substitution aux produits conventionnels phosphates/savons, adaptés à différentes conditions de forgeage à froid ont été développés [2 ; 3 ; 5 ; 6] ; une formulation est déjà industrialisée depuis 5 ans en milieu industriel [7].
Les principaux paramètres caractérisant le système outil – lubrifiant – pièce peuvent être classés de la façon suivante :
- les paramètres liés aux outils et à la pièce : état structural de la matière et état de surface de l'outil et de la pièce
- la nature et l'épaisseur du lubrifiant,
- les longueurs et les vitesses de glissement relatives, les pressions de contact et les déformations en surface.
Des essais « classiques » de laboratoire comme le test de l'anneau ou les différents essais de filage, ont été développés pour caractériser les lubrifiants [2-5]. Les résultats obtenus par ces méthodes ne sont pas toujours aisément transposables aux géométries produites industriellement. Par exemple, certains de ces essais ne permettent pas de reproduire les niveaux de pression de contact et les augmentations de surface rencontrées lors du forgeage. De même les critères permettant de transposer le phénomène d'encrassement des outils sont difficiles à identifier. De plus, ce phénomène ne peut être mis en évidence sur un faible nombre de pièces forgées.
L'étude proposée porte sur la mise en place d'essais de caractérisation de lubrifiants pour le forgeage de précision en conditions semi industrielles. Cette étude repose d'une part sur une démarche d'identification et de maîtrise des paramètres influant sur l'opération de forgeage et d'autre part sur la mise en place d'outillages instrumentés permettant un suivi de certains paramètres de forgeage en fonction de la chronologie des essais. Pour cela, le processus de fabrication de l'ébauche avant l'opération de forgeage est conservé. Par contre, pour limiter l'influence des paramètres liés à la fabrication des bruts, une sélection de ces derniers est effectuée suivant des critères matériau et géométriques. L'effet du lubrifiant est évalué suivant des critères liés d'une part aux efforts de forgeage et d'autre part à la géométrie de la pièce forgée. Le protocole expérimental mis en place a permis de mener une étude comparative entre plusieurs lubrifiants susceptibles d'être des solutions alternatives à la phosphatation. Ce travail entre dans le cadre d'une étude plus vaste ayant pour objectif de rendre le procédé de forgeage à froid plus respectueux de l'environnement notamment en trouvant un remplaçant à la phosphatation.

1.2 Démarche pour la caractérisation des lubrifiants

Dans cette étude, on cherche à isoler l'effet de la nature du lubrifiant sur le comportement tribologique de l'interface outil matière au cours d'une opération de forgeage de précision. Pour cela, il faut avoir une maîtrise suffisante des autres paramètres influents tout en restant représentatif des conditions industrielles de fabrication. Dans cette optique, la démarche consiste à sélectionner des ébauches issues de la ligne industrielle de production. Afin d'isoler l'effet du lubrifiant, les ébauches sont sélectionnées suivant des critères permettant le limiter les effets des variations de paramètres de process (même lot matière et limitation de la variation des paramètres du processus de fabrication) et de taille de lopin. Les critères de sélection doivent être définis afin de représenter un compromis entre leur pertinence vis-à-vis du processus de fabrication et la complexité de leur évaluation (temps de mesure, précision…). Les grandeurs mesurées pour évaluer l'efficacité d'un lubrifiant, sont liées aux efforts de forgeage et à la géométrie des pièces produites. Les côtes relevées sur la pièce forgée

doivent être le plus fortement influencées par le comportement tribologique de l'interface outil – matière.
Dans ce qui suit, sont exposés les principaux résultats obtenus lors d'une étude comparative entre deux lubrifiants et la phosphatation. Dans un premier temps est exposé le détail des essais. Dans une deuxième partie est abordé le traitement des résultats afin d'extraire l'influence du lubrifiant. Les principales conclusions de l'étude et les perspectives de ce travail font l'objet de la dernière partie.

2. Dispositif et protocole expérimentaux

2.1 Gamme de fabrication

Le support de l'étude est le forgeage de précision d'un pignon conique droit. La gamme de fabrication de ce pignon est décrite dans la figure 1.

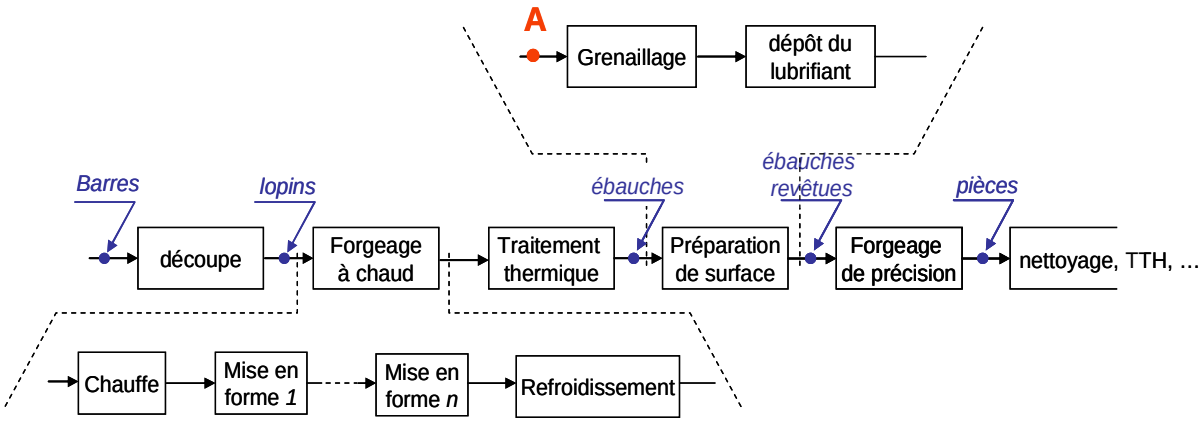

FIG 1 – différentes étapes de la gamme de fabrication d'un pignon forgé de précision

Le matériau de la pièce est initialement approvisionné sous forme de barres extrudées. Les ébauches avant forgeage de précision sont obtenues par forgeage à chaud en plusieurs opérations. La lubrification en forgeage de précision se fait par dépôt de lubrifiant sur les ébauches. Ceci se décompose en plusieurs étapes :

- un grenaillage pour nettoyer et maîtriser l'état géométrique et microstructural de la surface
- le dépôt physique du lubrifiant

2.2 Essais

Pour une meilleure maîtrise des conditions initiales des essais, les ébauches sur lesquelles seront testés les lubrifiants sont extraites de la chaîne de fabrication industrielle à l'état correspondant au point **A** sur la figure 1. L'état des ébauches est donc représentatif du processus de fabrication industriel.
Afin de limiter l'effet des variations des paramètres du processus de fabrication, les ébauches sont extraites de la même campagne de forgeage à chaud. Ceci permet notamment d'avoir des ébauches issues du même lot matière.
Avant les essais de forgeage de précision, les ébauches sont grenaillées puis revêtue de lubrifiant. Les paramètres de l'opération de grenaillage déterminant l'état de surface de l'ébauche, doivent être adaptés au lubrifiant utilisé. Les deux opérations devraient, dans une étude plus complète, être considérées ensemble. Ici, les paramètres de grenaillage appliqués correspondent à ceux liés au processus industriel de phosphatation. On doit donc garder à l'esprit que ceci est dans doute pénalisant pour les autres lubrifiants.
Le dépôt des lubrifiants est réalisé en laboratoire par projection. Un soin est apporté pour essayer de limiter les variations d'épaisseurs déposées. Deux lubrifiants ont été testés et comparés à la

phosphatation. Pour chaque série, les ébauches ont été réparties de façon à avoir la même répartition de poids avant l'opération de dépôt du lubrifiant.

Un schéma de l'outillage de forgeage est donné sur la figure 2.

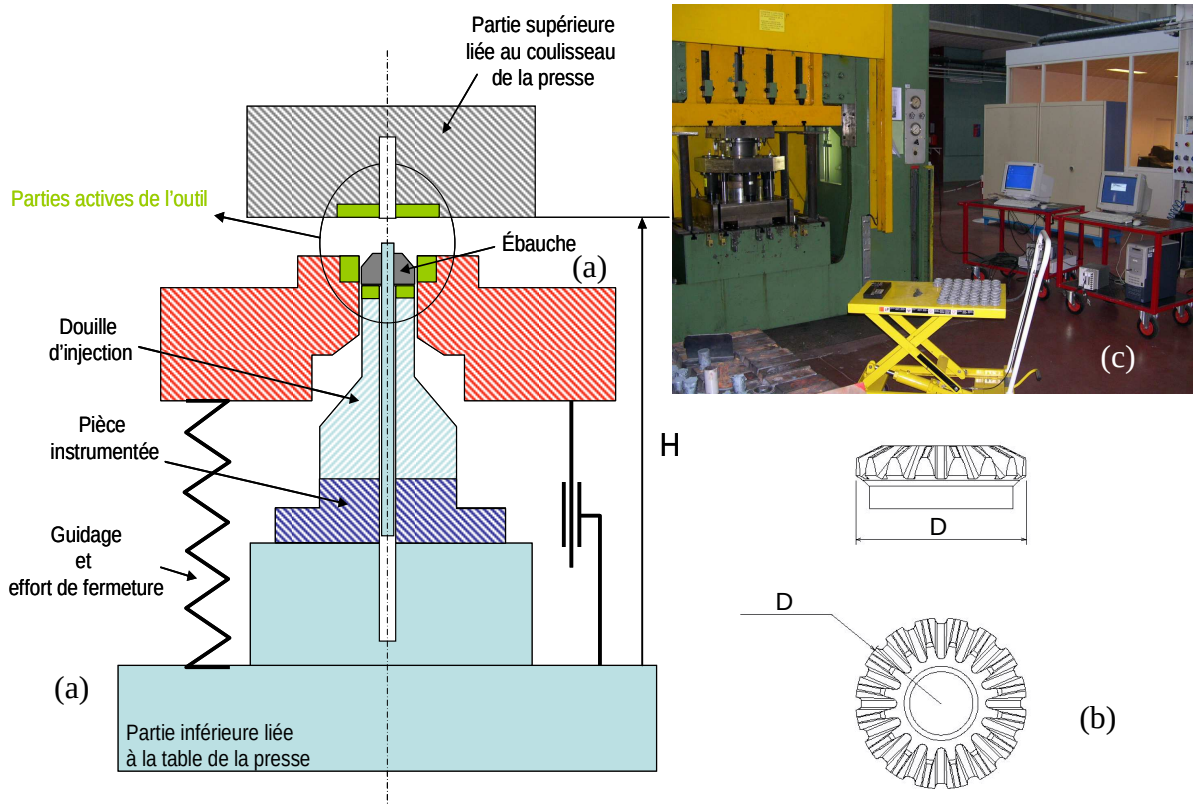

FIG. 2 – (a) Schéma de principe de l'outillage instrumenté pour le forgeage de précision
(b) Dessin de la pièce forgée (c) photographie générale de l'installation

Deux simulations de l'opération de forgeage de finition ont été réalisées avec des coefficients de frottement différents. Ces deux simulations mettent en évidence que l'effet du lubrifiant peut être estimé par la mesure du diamètre extérieur du pignon (D) et de l'effort transmis par la douille d'injection (voir figure 2). Toutefois, le diamètre du pignon forgé est également influencé par la géométrie initiale de l'ébauche et en particulier par son volume. Pour limiter l'effet de ce dernier, les ébauches ont été classées suivant leur poids. Celui-ci apparaît comme un compromis entre la nécessité de maîtriser les variations géométriques de l'ébauche et la simplicité de la mesure.
D est mesuré sur trois diamètres par un pied à coulisse au pied de la presse avec une résolution de 0,01mm. L'effort sur la douille d'injection sera mesuré au cours du forgeage par l'intermédiaire d'une pièce support de la douille instrumentée avec des jauges de déformation.

3. Résultats et discussion

Sur la figure 3 sont présentés les résultats obtenus pour les deux lubrifiants et la phosphatation. Un cercle sur le graphe donne pour un pignon forgé l'écart en mm entre le diamètre mesuré et le diamètre nominal en fonction de l'effort de forgeage maximum donné au travers du signal délivré par les jauges de déformations. La taille du cercle est une fonction croissante du poids de l'ébauche.

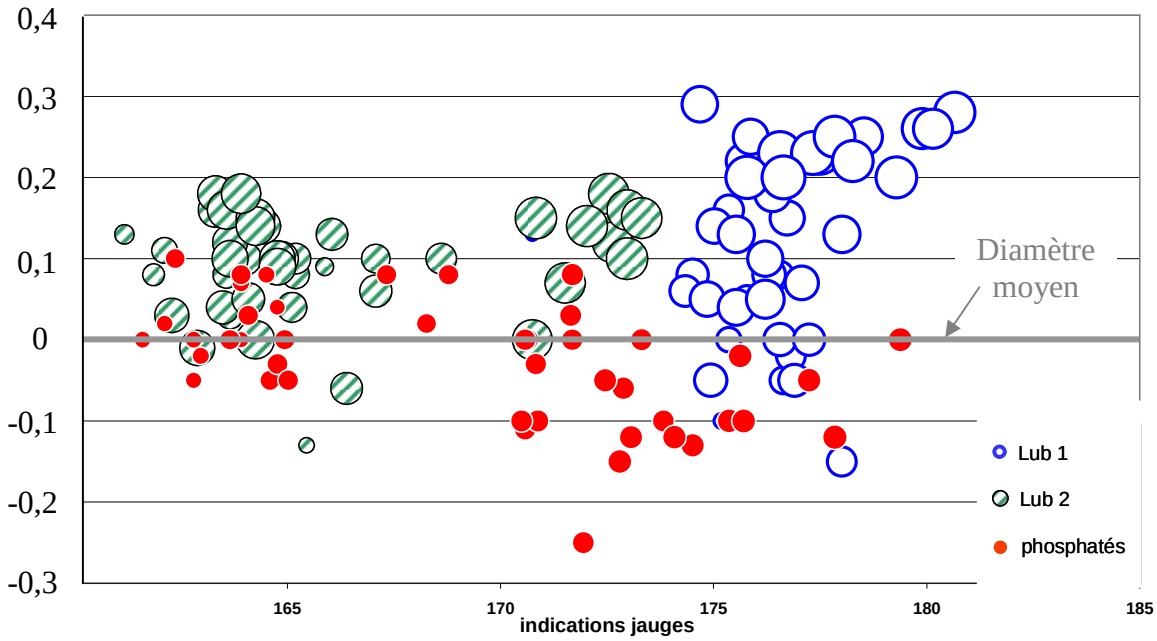

Figure 3 : effort d'injection et diamètre des pièces forgées pour les deux lubrifiants et la phosphatation.

Dans un premier temps, on peut remarquer le faible poids des ébauches phosphatées par rapport aux autres types d'ébauches lubrifiées. Ceci provient du processus physique de la phosphatation dissolvant une faible quantité de matière en surface de pièce.
Pour les deux lubrifiants (Lub 1 et Lub 2 sur la figure 3) on note que les diamètres mesurés sont en moyenne plus grands que ceux obtenus avec la phosphatation. Ceci peut être dû soit à un moindre remplissage de la partie des outils correspondant à la denture soit à un volume initial d'ébauche plus important. Dans le premier cas, ceci serait lié à une moindre efficacité du lubrifiant.
On note que pour des volumes d'ébauches sensiblement équivalents, les efforts de forgeage et le diamètre forgé sont plus importants pour le lubrifiant 1, ceux obtenus pour le lubrifiant 2 étant du même ordre de grandeur que pour les ébauches phosphatées.

Ces résultats mettent en évidence les meilleures performances du lubrifiant 2, celles-ci étant relativement proches de celles de la phosphatation.

4. Conclusions et perspectives

L'étude présentée consiste à permis d'étudier l'efficacité de lubrifiants pour le forgeage de précision en faisant un compromis entre la maîtrise des paramètres de l'essai et la représentativité industrielle. Pour éviter la transposition, toujours délicate, entre des essais tribologiques types et les conditions de production d'une pièce forgée, les tests ont eu lieu sur des géométries réelles avec des ébauches extraites du processus industriel de fabrication mais sur un outillage instrumenté et dans les conditions plus « souples » de laboratoire. La performance globale d'un lubrifiant est déterminée à partir de la mesure de paramètres liés aux efforts de forgeage et à la géométrie de la pièce, ceux-ci ayant été identifiés grâce à la simulation. Le protocole mis en place a permis, avec un nombre de pièces forgées restreint, de démontrer la possibilité d'utiliser un lubrifiant de type polymère en forgeage de précision, de classer plusieurs lubrifiants suivant leur efficacité et de les comparer à celle de la phosphatation.
Ces résultats sont les premiers obtenus dans le cadre d'une étude plus vaste visant à caractériser et aider au développement de nouveaux lubrifiants. Pour une estimation plus juste des performances d'un lubrifiant, il est nécessaire de considérer l'opération de dépôt du lubrifiant et de grenaillage de la surface dans son ensemble.

Basée sur un besoin industriel, cette approche doit être complétée par une transposition des modes de déformation de la surface de la pièce forgée sur une géométrie teste. La définition de cette dernière s'inspirera des travaux réalisés par Cochran (2006), Gariety et al. (2007) Ou encore Wang (2004). Cette approche s'appuiera entre autre sur une estimation et une comparaison des conditions tribologiques lors des différents tests et de l'opération de forgeage industrielle. Cette transposition apportant une généricité aux travaux présentés ici.

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la société ASCOMETAL-CREAS pour leur aide essentielle, SPECIFIC POLYMERS pour avoir fourni les lubrifiants et des conseils ainsi que le Laboratoire de Chimie Macromoléculaire de Montpellier (UMR CNRS 5076).

6. Références

1. Thomas Steenberg, Janus Stavn Olsen, Erik Christensen, Niels J. Bjerrum, « Estimation of temperature in the lubricant film during cold forging of stainless steel based on studies of phase transformations in the film », Wear 232 (1999) 140-144
2. Joseph Lyle Cochran, « Development and Evaluation of Environmentally Friendly Cold-Forging Lubricants Based on an Emulsion Polymerization System », PHD Thesis, 2006
3. Mark Gariety, Gracious Ngaile, Taylan Altan, « Evaluation of new cold forging lubricants without zinc phosphate precoat », International Journal of Machine Tools and Manufacture 47 (2007) 673-681
4. G. Shen, A. Vedhanayagam, E. Kropp, T. Altan, « A method for evaluating frictio using a backward extrusion-type forging » Journal of Material Processing Technology, 33, 1-2, 1992, 109-123
5. ZG Wang, « Tribological approaches for green metal forming », Journal of material processing technology 151 (2004) 223-227
6. Brevet FR99/05554 : Composé réactif non polluant pour le revêtement des métaux, en vue de les protéger de la corrosion et de faciliter leur déformation à froid.
7. ASCOFORGE – SAFE, avenue de France, 57301 Hagondange Cedex