Comportement en frottement à chaud d'un acier 28NCDV10 oxydé à 850°C à l'air et en vapeur d'eau

M. Labaiz, I. Guillot, G. Beranger, D. Petelot

► To cite this version:

M. Labaiz, I. Guillot, G. Beranger, D. Petelot. Comportement en frottement à chaud d'un acier 28NCDV10 oxydé à 850°C à l'air et en vapeur d'eau. Journal de Physique IV Proceedings, 1993, 03 (C9), pp.C9-951-C9-961. 10.1051/jp4:1993998 . jpa-00252441

HAL Id: jpa-00252441

<https://hal.science/jpa-00252441>

Submitted on 1 Jan 1993

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.

Comportement en frottement à chaud d'un acier 28NCDV10 oxydé à 850 °C à l'air et en vapeur d'eau

M. Labaiz^(1,*), I. Guillot⁽¹⁾, G. Beranger⁽¹⁾ et D. Petelot⁽²⁾

⁽¹⁾ UTC-LG2MS, Division Matériaux, B.P. 649, 60206 Compiègne, France

⁽²⁾ Centre d'Etudes Vallourec, route de Leval, B.P. 17, 59620 Aulnoye-Aymeries, France

Résumé. — Durant les opérations de formage à chaud des tubes, l'outillage en contact avec le métal est soumis à d'importantes sollicitations mécanique, thermique et tribologique, en particulier de frottement-usure à chaud. L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement en frottement-usure à chaud du couple outil-produit sous l'influence d'une oxydation de l'outil. Les essais de frottement à chaud ont lieu sur un tribomètre permettant de reproduire la complexité des mécanismes de détérioration des outils. Il est constitué d'un galet frotteur tournant (acier 28NCDV10) et d'un cylindre chauffé, fixe (en acier au carbone A42 ou acier inoxydable à 13% de Cr) simulant respectivement l'outil et le produit. Les galets sont préalablement oxydés à 850 °C dans deux milieux : air ambiant et vapeur d'eau. Le frottement de galets sans préoxydation montre la prédominance d'une usure métallique sévère entraînant une dégradation de l'état de surface et un collage de particules métalliques empêchant la rotation du galet. L'oxydation des galets dans un four électrique (à 850 °C), à l'air ambiant, contribue à la formation d'une couche d'oxydes de 200 µm composée d'hématite (Fe₂O₃) en surface et de magnétite (Fe₃O₄) à cœur. On remarque dans ce cas une amélioration notable du frottement. Pour les galets oxydés à différents taux d'humidité, on constate un comportement différent pour les premiers cycles de frottement (2 mn environ) : le frottement du galet oxydé dans un milieu à 65% d'humidité est plus aisé que pour le cas du galet oxydé à 25% d'humidité. Par ailleurs, le taux d'usure est plus important dans le cas de l'oxydation des galets à l'air ambiant.

Abstract. — The industrial tools are subjected to thermal, mechanical and tribological stresses, during the Mannesmann piercing process. So, the purpose of this work is to investigate the influence of the pre-existent oxide film on friction process between the forming tool and the tube, during the piercing in hot metal forming. A wear behaviour of a low alloy steel (28NCDV10) is studied on a cylinder-disc tribometer. Two different atmospheres, which are air and steam, are employed for oxidizing the discs at 850 °C. The experimental results of non oxidized discs exhibit a severe oxidation wear and metal transfer from the cylinder to the disc. While, the oxidation of the discs, notably in the case of steam, shows a decreasing in the wear rate.

1. Introduction.

Durant les opérations de formage à chaud des tubes, l'outillage en contact avec le métal est soumis à d'importantes sollicitations mécanique, thermique et tribologique en particulier de frottement-usure à chaud. Certains auteurs [1, 2, 3] ont montré l'importance de la nature des oxydes formés sur les surfaces antagonistes lors d'un contact métal chaud-outil. Ces

(*) Adresse actuelle: Institut de Métallurgie, Université d'Annaba, BP 12, 23000, Annaba, Algeria

oxydes peuvent constituer un film de transfert ou jouer le rôle du troisième corps, abrasif ou lubrifiant [4, 5]. L'objectif de ce travail, est d'étudier le comportement en frottement-usure à chaud du couple outil-produit sous l'influence d'une préoxydation de l'outil à l'air [6] et en vapeur d'eau. Celle-ci contribue à la formation d'un troisième corps facilitant le frottement et limitant l'usure des deux matériaux en contact.

2. Conditions d'essais.

La machine de frottement utilisée (Fig. 1) simule les opérations de formage à chaud et a pour but de reproduire la complexité des mécanismes de détérioration des outils [7]. Ainsi elle permet, d'une part de considérer l'action synergique des facteurs thermique, mécanique et tribologique et d'autre part d'étudier séparément les phénomènes de dégradation, tels que l'usure à chaud ou la fatigue thermique [8]. Elle est constituée d'un galet frotteur (acier 28NCDV10) et d'un cylindre chaud (acier au carbone A42 ou acier inoxydable à 13% de Cr) simulant respectivement l'outil et le produit. La composition chimique des matériaux étudiés est donnée par le tableau I. La vitesse de rotation du galet a été choisie égale à 0,2 m/s. Le cylindre, chauffé par induction à 1200 °C, est maintenu fixe durant les essais. La force normale de contact cylindre-galet est égale à 10 daN. Un capteur de force permet d'enregistrer la force tangentielle, à partir de laquelle est déterminé le coefficient de frottement en fonction du nombre de cycles, chaque cycle correspondant à un tour de rotation du galet. Le taux d'usure est apprécié par la mesure de la variation de masse du galet au cours du test.

Tableau I. — *Composition chimique des aciers étudiés.*

désignation	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
28NCDV10	0,19	0,365	1,23	0,648	0,62	2,47	0,238
Fe-13Cr	0,2	0,3	—	13	1	—	—
A42	0,29	0,2	0,372	—	—	0,04	0,024

Afin de déterminer les conditions optimales d'essais, des tests préliminaires ont été réalisés en faisant varier la charge et la vitesse de rotation du galet. L'influence de ces deux paramètres est surtout notable pour l'acier à 13%Cr : à partir d'une vitesse de 0,2 m/s et pour une force de contact de 20 daN, le frottement engendré est très important et provoque un grippage du galet. La représentativité du test de frottement décrit est surtout qualitative; les phénomènes observés sur les galets, durant le frottement en laboratoire, sont similaires à ceux constatés sur les outils industriels.

3. Galets sans préoxydation.

Le frottement des galets de nuance 28NCDV10 non préoxydés sur des cylindres en aciers A42 ou à 13%Cr montre la prédominance d'une "usure métallique" sévère [9]. On observe

Fig. 1. — Schéma de principe de la machine d'essai.

en effet (Fig. 2), un grippage instantané du galet caractérisé par un collage de particules métalliques de la piste sur le galet, jouant ainsi le rôle d'outil de coupe et provoquant la formation d'étincelles à l'interface des matériaux en contact. Ce grippage peut dans les cas extrêmes empêcher la rotation du galet. Les mêmes phénomènes sont par ailleurs observés lors de l'augmentation de la charge pour le couple galet préoxydé-acier inoxydable.

4. Galets préoxydés.

4.1 PRÉOXYDATION À L'AIR AMBIANT. — Les galets sont oxydés à 850 °C pendant 2 heures dans des conditions industrielles. L'analyse par diffraction des rayons X (Fig. 3) et par Spectroscopie Raman Laser (SRL) des couches d'oxydes formées (Fig. 4) montre la présence de deux couches : Hématite (Fe_2O_3) en surface et magnétite (Fe_3O_4) à cœur. L'épaisseur totale de la couche est constante au niveau de la surface de frottement et environ égale à 200 μm . L'adhérence résiduelle des couches d'oxydes au substrat métallique après refroidissement a

Fig. 2. — Adhésion d'acier à 13%Cr sur un galet frotteur non oxydé conduisant à un coefficient de frottement élevé.

Fig. 3. — Spectre de diffraction des rayons X d'un galet oxydé à 850 °C à l'air : présence des oxydes Fe_2O_3 et Fe_3O_4 et de la matrice de fer.

été mesurée en procédant à des tests d'arrachement de ces couches. Le test d'arrachement consiste à exercer progressivement un effort de traction sur un picot de 3 mm de diamètre

Fig. 4. — Galet oxydé à 850 °C à l'air : mise en évidence de Fe_2O_3 en surface par spectre Raman-laser.

Fig. 5. — Test d'adhérence : empreinte laissée par le picot sur la surface de l'échantillon.

collé sur la surface de l'échantillon [10]. L'ensemble des résultats montre une dispersion importante des mesures, une couche ou une sous-couche d'oxydes étant à chaque fois arrachée. Le test est pour notre cas surtout qualitatif : l'empreinte laissée par le picot et la couche

Fig. 6. — Test d'adhérence : couche d'oxydes collée au picot.

Fig. 7. — Essai sur cylindre en 13%Cr : variation de la masse.

d'oxydes arrachée sont étudiées en microscopie électronique à balayage (Figs. 5, 6) pour examiner la nature de la rupture (adhésive ou cohésive).

Après 50 cycles de frottement sur une piste en A42 on remarque la présence d'une faible quantité de particules d'oxydes collées sur le galet ainsi que de petits écaillages. Dans les mêmes conditions, pour une piste en acier à 13% de Cr, la calamine est détruite sur toute la surface de frottement du galet et l'on constate de même le collage de particules d'oxydes.

Pour 5000 cycles de frottement sur une piste en acier à 13%Cr, la surface du galet présente un état fortement dégradé avec une alternance de collages d'oxydes et de décohésion de la

a)

b)

Fig. 8. — a) Essai de 400 cycles d'un galet oxydé sur une piste en acier inoxydable à 13%Cr : important transfert de métal et dégradation de la surface; b) Spectre EDS des particules collées sur le galet et provenant de la piste en 13%Cr.

calamine. Le suivi de la perte de masse du galet, effectué tous les 500 cycles, montre une variation globale négative (Fig. 7). Au bout de 500 cycles, la perte de masse du galet est déjà de -50 mg; elle est principalement due à la destruction de la calamine (Figs. 8a et 8b). Lors de la poursuite du test, on observe des collages importants qui peuvent se traduire par une augmentation relative de la variation de masse, à 1000 ou 4500 cycles par exemple. Les

mêmes phénomènes, moins marqués cependant, sont observés lors des 500 premiers cycles de frottement sur une piste en acier A42 (Fig 9). On a donc une compétition entre deux phénomènes :

- une augmentation du coefficient de frottement et une perte de masse selon un processus d'usure abrasive.
- un transfert de métal ou d'oxyde de la piste vers le galet, ce qui conduit à une diminution du coefficient de frottement et à une augmentation de la masse du galet.

L'étude des oxydes formés sur l'acier à 13%Cr et des propriétés qui en découlent pour notre cas, n'est pas encore achevée, mais il faut cependant noter leur caractère très abrasif [7], ce qui pourrait expliquer cette augmentation de l'usure et du frottement par rapport à l'acier au carbone.

Fig. 9. — Essai de 400 cycles d'un galet oxydé sur une piste en acier A42 : altération superficielle et faible collage induisant un coefficient de frottement peu important.

4.2 PRÉOXYDATION EN VAPEUR D'EAU. — Les galets sont préoxydés à 850 °C dans un mélange de vapeur d'eau et d'air industriel, avec des taux d'humidité relative de 25%, 40% et 65%.

L'analyse par diffraction des rayons X montre la présence de Fe_3O_4 et Fe_2O_3 . La figure 10 représente les résultats expérimentaux de la variation de masse du galet frotteur sur une piste en 13%Cr. On en retient principalement que l'usure est plus importante pour le galet oxydé à l'air ambiant. Pour les galets oxydés en vapeur d'eau, l'usure est croissante avec le pourcentage d'humidité.

Différents auteurs [11-13] ont déjà remarqué l'influence de la vapeur d'eau sur les propriétés mécaniques des oxydes. Ceux-ci acquièrent une certaine plasticité pouvant développer des caractéristiques de glissement favorables pour le frottement, ce qui explique cette différence du comportement pour le cas de l'oxydation à l'air ambiant et en vapeur d'eau.

Par ailleurs, le pourcentage d'humidité ou la pression de vapeur influe considérablement sur l'adhérence des couches d'oxydes. Armanet [12] constate qu'un taux modéré de vapeur

Fig. 10. — Essais de frottement : Variation de masse des galets oxydés à l'air ambiant et en vapeur d'eau.

d'eau favorise le développement d'oxydes adhérents tandis qu'un taux élevé conduit à des décollements et à une perte d'adhérence des oxydes. Dans notre cas, un taux d'humidité supérieur à 40% ne permet pas l'obtention d'oxydes adhérents. Les oxydes formés à 65% vont être rapidement enlevés durant le frottement (surtout Fe_2O_3).

Au niveau du frottement, on constate pour 25% d'humidité un début de frottement difficile alors que pour le cas de 65% d'humidité, le frottement est plus aisé. Il faut remarquer que les premiers cycles de frottement (50 à 100 cycles) témoignent du comportement intrinsèque des couches d'oxydes, la suite du frottement faisant intervenir le phénomène de transfert, donc de frottement adhésif, dont l'évolution et l'acuité gouvernent l'apparition d'événements ultérieurs (accroissement du coefficient de frottement et de la vitesse d'usure).

5. Préoxydation de la piste.

Nous avons procédé à une préoxydation des pistes en aciers A42 et 13%Cr dans les mêmes conditions opératoires que les galets. Les coefficients de frottement obtenus dans ces conditions, c'est-à-dire avec un galet préoxydé, sont en moyenne plus faibles que ceux mesurés sans préoxydation de la piste (Fig. 11). Le comportement au frottement est identique pour les 100 premiers cycles, que la piste en A42 soit préoxydée ou non. Cette phase correspond à la destruction partielle de la couche de calamine initiale du galet. Par contre, lors de la poursuite du test, on remarque une très nette augmentation du coefficient de frottement pour la piste non préoxydée et corrélativement une perte de masse du galet plus importante. A l'inverse, la préoxydation de la piste favorise le frottement, la calamine du frotteur étant remplacée par les oxydes de la piste qui jouent alors le rôle de troisième corps.

Fig. 11. — Essais de frottement sur pistes oxydées et non oxydées.

6. Conclusion.

L'épaisseur des couches d'oxydes susceptibles de se former à la surface des galets frotteurs ou encore la résistance à l'oxydation à chaud de ces derniers joue un rôle important lors du frottement. Les oxydes de chrome sont connus par leur caractère abrasif et contribuent dans notre cas à une augmentation du frottement et de l'usure comparativement aux oxydes de fer. Cependant, les propriétés liées à l'interaction de ces oxydes à haute température restent encore à préciser.

L'oxydation en vapeur d'eau donne à première vue des résultats intéressants, consistant en la diminution du taux d'usure. Néanmoins le taux de vapeur d'eau est déterminant et dans ce cas des essais supplémentaires s'imposent.

La présence d'une couche d'oxydes au niveau du contact permet la formation d'un troisième corps dont dépend le frottement. La nature et la structure des couches d'oxydes sont déterminantes. Cette couche une fois disparue peut entraîner un contact direct entre les matériaux antagonistes et conduire à leur collage et à leur dégradation.

Bibliographie

- [1] FELDER E., *Rev. Metall. CIT* (Déc. 1984) 931-942.
- [2] SULLIVAN J.L., ATHWAL S., *Tribol. Int.* **16** (1983) 123-131.
- [3] GLASCOTT J., STOTT F.H., WOOD G.C., *Oxid. Met.* **24** (1985) 99-113.
- [4] DELAMARE F., KUBIE Y., LEVEQUE R., *Bull. Cercle Et. Mét.*, t. XIV (Déc. 1978) 242-259.
- [5] GODET M. and BERTHIER Y., *Bull. Cercle Etud. Mét.* **XV** (5) (Mars 1984) I.1-I.7.

- [6] LABAIZ M. *et al.*, *Mém. Etud. Sci. Rev. Mét.* **9** (1991) 538.
- [7] GUILLOT I., Thèse de Docteur de l'UTC (Compiègne, 1990).
- [8] FLUZIN Ph., Thèse de Docteur-Ingénieur (Compiègne, 1985).
- [9] LIM S.C. *et al.*, *Acta Metall.* **35** (1987) 1343-1348.
- [10] ZIANE E., BERANGER G., CODDET C., CHARBONNIER J.C., *J. Adhes.* **19** (1986) 197-205.
- [11] TUCK C.W., ODGERS M., SACHS K., *Corros. Sci.* **9** (1969) 271-285.
- [12] ARMANET F., Thèse de Doctorat d'état (Compiègne, 1984).
- [13] CHAUDANSON H., Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Sud (Orsay, 1990).