

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**



**3<sup>ème</sup> CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR L'ÉNERGIE, LES MATÉRIAUX, L'ÉNERGÉTIQUE  
APPLIQUÉE ET LA POLLUTION (CIEMEAP'2016)**

**CONSTANTINE, ALGERIE,**

**30-31 Octobre 2016**

**3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY, MATERIALS, APPLIED ENERGETICS AND  
POLLUTION (ICEMAEP'2016)**

**CONSTANTINE, ALGERIA,**

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

## **ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES BATTITURES DU LAMINOIR À CHAUD COMPLEXE SIDÉRURGIQUE IMETAL-ANNABA**

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>CENTRE DE RECHERCHE EN TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES : CRTI P.O.Box 64, Cheraga 16014 Alger, Algérie, bmaalem@gmail.com

### **RÉSUMÉ**

Les battitures de laminoir à chaud du complexe sidérurgique d'IMETAL-Annaba représentent 0,1% de la production annuelle des produits plats laminés causant des pertes considérables qui peuvent être valorisées dans certains domaines d'application via des techniques de récupération appropriées.

A priori, nous avons étudié les propriétés thermiques des battitures provenant du laminoir à chaud. La formation de ces battitures au cours de laminage dépend de plusieurs facteurs métallurgiques, en particulier la température dans le four de réchauffage, la pression partielle des gaz dans les différentes zones du four poussant, le temps de séjour à l'intérieur du four, la température de bande dans les différentes étapes de laminage etc...

L'analyse thermique par DSC et TGA montre des pics exothermiques synonyme d'une déshydratation et déshuilage de la calamine et des pics endothermiques indiquant une éventuelle recristallisation des oxydes de fer en l'occurrence FeO qui est stable au-delà d'une température de 570°C.

**Mots clés :** Battitures, Oxydation, Laminage, Propriétés Thermiques, DSC-TGA.

### **1. INTRODUCTION**

Plusieurs recherches sur la nature, la structure et les propriétés thermiques de calamine formée au cours de fabrication des aciers au carbone ont été réalisées depuis longtemps [1-4]. Cependant, la recherche dans ce domaine a toujours été activement étudiée par de nombreux spécialistes, en particulier ceux de l'industrie sidérurgique [5-7].

Dans le complexe sidérurgique d'El-Hadjar IMETAL-Annaba, les produits plats sont laminés à chaud. La qualité de la tôle mince durant le processus de laminage se trouve affectée par la formation des couches de calamine sur la surface de la tôle au cours toute l'opération de déformation le long du train à chaud.

En vue de minimiser sa formation à l'intérieur du four on doit respecter certaines conditions nécessaires parmi lesquelles la teneur en fumées qui doit être comprise entre 1,5%-2,5%.

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

Ainsi, le facteur d'air excédentaire est de 1,0-1,15, un réglage correct de la flamme des brûleurs, contrôle permanent de la pression à l'intérieur du four qui empêche toute entrée d'air parasite par les portes ou par les hublots. Dans une plage de température comprise entre 1200 et 1290°C, la décarburation se produit du fait de la baisse de la teneur en carbone dans la couche de surface de la brique qu'il résulte d'une diminution de la dureté de la surface de la bande causant des défauts de surface. L'épaisseur de la couche d'oxyde diminue en raison d'un faible taux de croissance d'oxyde dans cet environnement de basse température dans des stades avancés de laminage.

La qualité superficielle (rugosité) des battitures diminue lorsque l'épaisseur de la couche d'oxyde augmente. Cependant, la calamine est moins riche en oxydes au cours du procédé de laminage sur le train à chaud.

La calamine formée sur la surface de l'acier est en trois couches constituées principalement en FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

La wüstite est la moins dure, la plus malléable et la plus dominante dans les variations de température du laminoir à chaud [8].

Plus la température de laminage est élevée, plus les fractions volumiques de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sur FeO est grande [9-11].

Dans ce travail, le but est d'étudier les propriétés thermiques de la calamine qui provient d'une oxydation à des températures élevées dans le four de réchauffage.

**2. METHODE EXPERIMENTALE**

L'acier destiné à l'emballage appelé fer blanc est défini par la norme NFA 36-150. la nuance atteinte après laminage à froid et étamage est T57. Le laminage à chaud de l'acier à bas carbone A9 (nomination interne) de composition chimique suivante :

Eléments	C	Mn	Si	S	P	Al	Fe
%	0,09	0,35	0,04	0,025	0,025	0,05	Balance

TABLEAU 1. Analyse chimique de l'acier A9

Les battitures collectées du laminoir à chaud ont un aspect grisâtre de composition chimique identifiée par analyse chimique réalisée à l'aide d'un spectromètre FRX de type SIEMENS SRS 3000. Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau 2.

Eléments	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
%	7,04	9,09	20,22	29,31	0,36	0,05	0,34	0,05	0,03

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

TABLEAU 2. Analyse chimique de la calamine par FRX

### **2.1. Préparation des échantillons**

La calamine a été concassée sous forme de petits morceaux à l'aide d'un broyeur mécanique muni d'un disque tournant, pendant 03 minutes collectée sous forme de poudre fine de granulométrie 20 à 35  $\mu\text{m}$ .

### **2.2. Analyse thermique**

Les essais d'analyses thermiques ont été effectués par un équipement SDT Q600 V20.9 Build20. Les porte-échantillons utilisés sont en alumine. Les essais ont été effectués dans une atmosphère contrôlée afin d'éviter d'éventuelle contamination des échantillons.

Parmi les avantages en matière d'exploitation des courbes, les résultats ont été présentés sur le même graphe DSC-TGA.

Par ailleurs, on a fait un recuit à 580°C pendant 2h avec une montée en température de 20°C/Min jusqu'à celle de maintien.

La vitesse de chauffage adoptée est de 10°C/Min dont le balayage se fait à partir de la température ambiante jusqu'à 1100°C.

Le choix de montée de température est basé sur des constatations révélées sur des travaux menés dans ce sens et qui ont prouvé de résultats techniques concluants [12-14].

## **3- RESULTATS**

Sur les courbes d'analyses thermiques on constate l'apparition de pics. Nous constatons deux pics, l'un exothermique à 340°C et l'autre endothermique à 568°C.

Le pic exothermique représente la déshydratation de la calamine de l'eau et des huiles. Cependant, au pic endothermique à 570°C un processus de début de réarrangement des grains ce qui indique une recristallisation primaire (figure1).

B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>

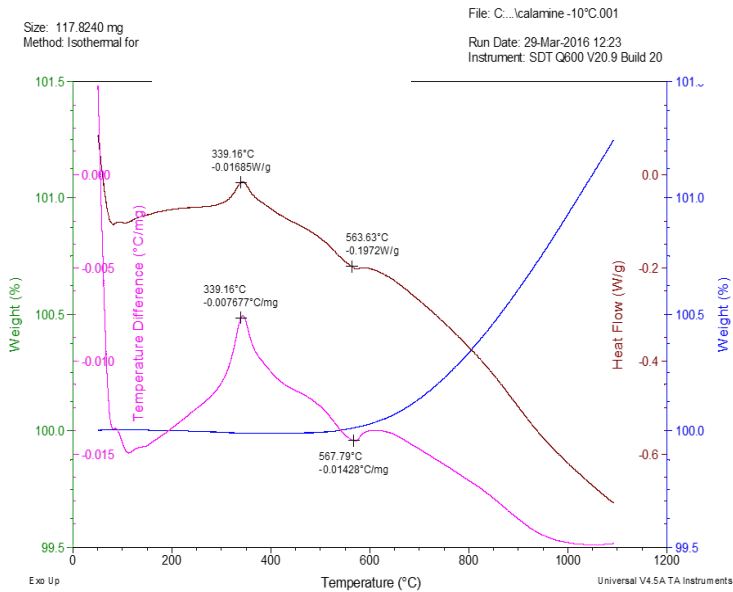


FIGURE 1. DSC-TGA de la calamine brute

Au-delà de 1000°C, la tendance des courbes de l'écoulement de chaleur et celle de DSC n'est pas parfaitement claire. De point de vue stabilité, un régime stationnaire sera établi sur la figure 1, un léger pic s'aperçoit à 570°C sur la figure 2. La perte de masse prend une allure linéaire à partir de T=700°C.

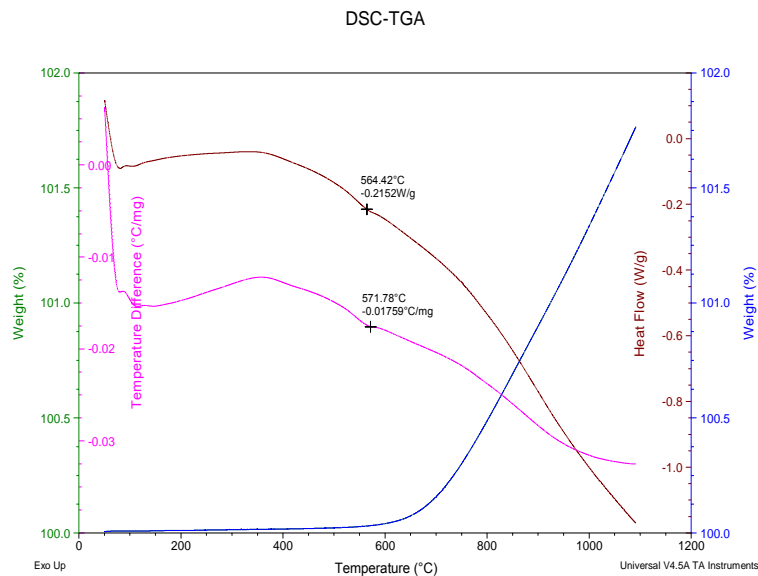


FIGURE 2. DSC-TGA de la calamine brute

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

Pour les échantillons qui ont subi un recuit à 580°C pendant 2h avec une montée de température de 20°C/Min jusqu'au maintien suivi d'un refroidissement au four.

Les courbes DSC/ATG obtenues sont présentés sur les figures 3 et 4.

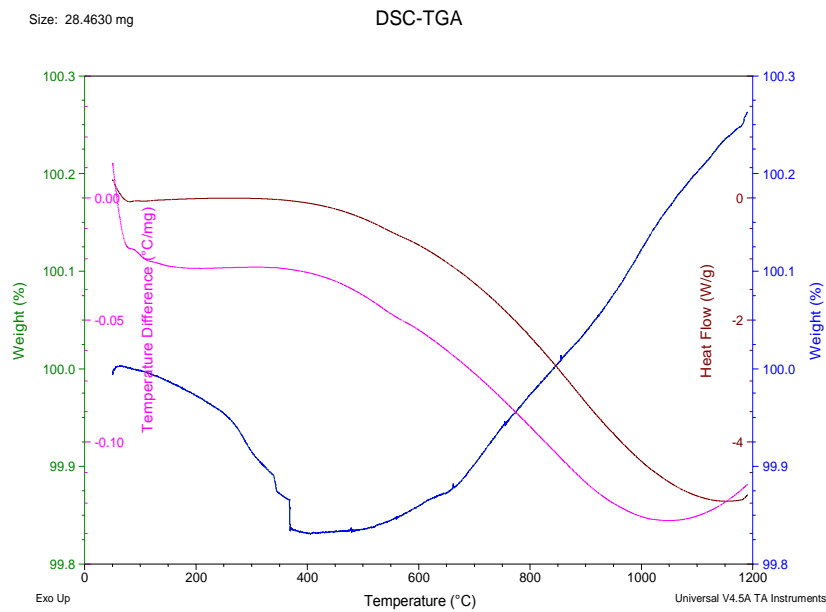


FIGURE 3. DSC-TGA de la calamine après recuit à 580°C

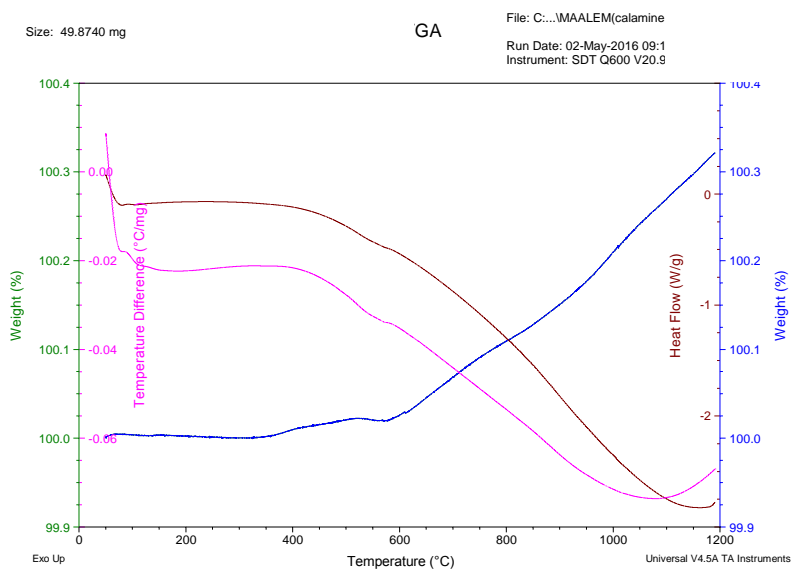


FIGURE 4. DSC-TGA de la calamine après recuit à 580°C

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

Sur les courbes de la figure 3 et 4 on aperçoit une absence totale de pics exothermiques expliquant la disparition entière des eaux et des huiles et de toutes matières étrangères.

#### **4. CONCLUSION**

L'analyse chimique a montré un fer total de l'ordre de 65,66 % avec d'autres oxydes en traces.

Après l'analyse des résultats de DSC/ATG pour des échantillons de calamine, les courbes obtenues ont montré une déshydratation et déshuilage à des températures voisines de 340°C.

Aussi, des pics endothermiques vers 570°C ont été constatés indiquant d'une part un processus de recristallisation primaire, d'autre part, on a constaté une absence totale des pics sur les tracés des courbes DSC/TGA après avoir fait un recuit à 580°C pendant deux heures suivi d'un refroidissement au four. On a constaté aussi une perte de masse sensiblement vers des températures voisines de 700°C qui suit une loi linéaire pour la calamine broyée subissant un recuit à 580°C.

La décarburation est généralement observée pour l'oxydation d'acier au-dessus de 700°C, à l'instar des aciers à basse teneur en carbone, tandis que l'enrichissement carbonique dans le substrat d'acier peut arriver aux températures d'oxydation au-dessous de 700°C.

#### **REFERENCES**

- [1] A. Rahmel and J. Tobolski, *Corrosion Science* 5, 333, (1965).
- [2] C. W. Tuck, M. Odgers and K. Sachs, *Corrosion Science* 9, 271, (1969).
- [3] R. Y. Chen and W. Y. D. Yuen, *Oxidation of Metals* 53, 433, (2000).
- [4] R. Y. Chen and W. Y. D. Yuen, *The 41st MWSP Conference Proceeding*, 37, 697–705, (1999).
- [5] Y. Kondo, H. Tanei, N. Suzuki, K. Ushioda and M. Maeda, *ISIJ International* 51, 1696, (2011).
- [6] K. Ngamkham, N. Klubvihok, J. Tungtrongpaioj and S. Chandra-ambhorn, *Steel Research International*, (2012).
- [7] S. Tanigushi, K. Yamamoto, D. Megumi and T. Shibata, *Materials Science and Engineering A308*, 250, (2001).
- [8] Y. Kondo, *Steel Research International* 81, 98, (2010).
- [9] S. Chandra-ambhorn, T. Nilsonthi, Y. Wouters and A. Galerie, "Oxidation Kinetics, Mechanical Adhesion and Pickling Behaviour of Thermal Oxide Scales on Hot-rolled Conventional and Recycled Steels", *Steel Research International* 81, 130-133, (2010).
- [10] S. Chandra-ambhorn, K. Ngamkham, N. Jiratthanakul, "Effects of Process Parameters on Mechanical Adhesion of Thermal Oxide Scales on Hot-Rolled Low Carbon Steels", *Oxide Met* 80, 61–72, (2013).

**B. Maalem<sup>1</sup>, A. Balaska<sup>1</sup>, W. Alem<sup>1</sup>, A. Hamouda<sup>1</sup>, S. Djemili<sup>1</sup>**

- [11] S. Biroasca, G. D. West and R. L. Higginson, “Microstructural investigation of the oxide scale on low carbon steel”, *Metal*, 24, 1-8, (2005).
- [12] J. XU, “Kinetics of Wüstite Formation and Reduction of Manganese alloyed Steel”, Master Thesis, Delft University of Technology, Netherlands, (2013).
- [13] M. Krzyzanowski, J.H. Beynon, D.C. Farrugia, “Oxide Scale Behavior in High Temperature Metal Processing”, Wiley & Sons, Weinheim, (2010).
- [14] D. Genève, D. Rouxela, P. Pigeata, M. Confente, “Descaling ability of low-alloy steel wires depending on composition and rolling process”, *Corrosion Science*, 52, 1155-1166, (2009).
- [15] M. Ritu, “A Simple and Effective Method of the Synthesis of Nanosized Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles”, *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 4, 41-46, (2013).
- [16] “Documentation de formation ALFASID, fours de réchauffage réhabilitation du LAC VOEST ALPINE STAHL”, (2001).
- [17] G.Naveen Kumar, Y.V.Mohana Reddy, K.Hemachandra Reddy Synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles reinforced polyester/nanocomposites *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 5, 8, (2015).
- [18] Ahmed S. Al-Kadya, M. Gaber a, Mohamed M. Husseinb, El-Zeiny M. Ebeida, “Structural and fluorescence quenching characterization of hematite nanoparticles”, *Spectrochimica Acta Part A* 83, 398–405, (2011).