

Revue éditée par  
**La Revue de Métallurgie**  
fondée en 1904  
par H. Le Chatelier

Président-Directeur Général,  
Directeur de publication  
B. CRETON  
Rédacteur en chef  
L. DEVILLERS

**Siège social**  
**Administration, Rédaction,**  
**Abonnements :**  
La Revue de Métallurgie  
5 rue Luigi Cherubini  
93212 La Plaine Saint-Denis Cedex  
France  
Tél. 33 1 71 92 20 34  
Télécopie 33 1 71 92 25 00  
e-mail : revmet@ffa.fr

**Publicité à la Revue**  
La Revue de Métallurgie  
5 rue Luigi Cherubini  
93212 La Plaine Saint-Denis Cedex  
France  
Tél. 33 1 71 92 20 34  
Télécopie 33 1 71 92 25 00  
e-mail : revmet@ffa.fr



**Publication mensuelle**  
(11 numéros)

#### Tarifs 2008

Prix au numéro :  
France 65 €  
(TVA 2,10 % incluse)  
Etranger 75 € (+ VAT)

Abonnements :  
France 460 €  
(TVA 2,10 % incluse)  
Etranger 550 € (+ VAT)

© Tous droits de reproduction,  
même partielle  
réservés pour tous pays  
(en France : loi du 11 mars 1957,  
article 40, alinéa 1).  
Les articles publiés n'engagent  
que la responsabilité de leurs auteurs.

c.boisse@nos.fr

## CAHIERS D'INFORMATIONS TECHNIQUES

# N°3

MARCH 2008

105<sup>th</sup> YEAR

### Technical papers:

- Blast Furnace
- Steelmaking
- Hot Rolling
- Steel Use

**REVUE DE  
METALLURGIE  
ON LINE :**

[www.revue-metallurgie.org](http://www.revue-metallurgie.org)



REVUE  
DE  
MÉTALLURGIE

## SUMMARY

<b>Technical papers</b>	<b>Expansion phenomena in blast furnace hearths after blowing</b>	M.-A.-G. Bentes, A.-H.-B. de Mello, F. Franklin, R.-J. van Laar, R.-G. van Oudenallen, V.-W.-B. van Straaten, K. Andreev	109
	<b>An overview of ladle free open performance at ArcelorMittal Brasil Monlevade</b>	F. -A.-M. Morais, J.-G. Costa Neto, E.-A. Amaral, L. -V. Penna, M.-A. Bosco, J.-G. Ramalho, A.- E. Almeida	115
	<b>Comprehensive dynamic model for BOF process: a glimpse into thermal efficiency mechanisms</b>	J.-C. Huber, J. Lehmann, R. Cadet	121
	<b>Deformation analysis of surface defect on hot rolling by 3-D FEM simulation</b>	S.-I. Lee, J. Choi	127
	<b>Considerations on PWHT requirements and their effects</b>	G. Masson, Ph. Bourges, L. Coudreuse, P. Toussaint, D. Cardanome	136
	<b>The prescriptive method: an easy tool for simple design of light gauge steel framed housing</b>	C. Etzenbach, C. Mees	142
	<b>Duplex stainless steels, a review after DSS'07 held in Grado</b>	J. Charles	155



Abstracts of technical papers: III - IV  
Suppliers index : V - VI

The "Calendar of Events" and the "Technical Highlights"  
are published in the electronic edition.

[www.revue-metallurgie.org](http://www.revue-metallurgie.org)

Cover picture:

Blast Furnace, Serra, ArcelorMittal Brasil, (ArcelorMittal photo library)

**EDITORIAL COMMITTEE  
CAHIERS D'INFORMATIONS TECHNIQUES  
DE LA REVUE DE MÉTALLURGIE**

**Président**

Michel JEANNEAU 01 71 92 20 34

**Membres**

Jacques CHARLES	ArcelorMittal	01 71 92 06 50
Bernard CHATELUS	ArcelorMittal	03 85 85 77 43
Louis DEVILLERS	La Revue de Métallurgie	01 71 92 20 10
Gilles GARRIGUES	DH-GTS Dunkerque	03 28 29 32 95
Dominique KAPLAN	ArcelorMittal	01 71 92 00 21
Alain LECLERCQ	ArcelorMittal	01 41 25 86 54
Vincent LEROY	Metals Co., Liège	32 4 253 41 96
Danièle QUANTIN	ArcelorMittal	03 44 55 74 59
Jean-Marc STEILER	ArcelorMittal	03 87 70 42 38
Bertrand TOUSSAINT de QUIÈVRECOURT	ATS	01 71 92 20 08

Editeur : La Revue de Métallurgie, société anonyme  
Principaux actionnaires : Fédération Française de l'Acier, ArcelorMittal Maizières  
Directeur de la publication : B. CRETON  
Numéro de commission paritaire : 0508 T 83174  
Dépôt légal mars 2008

230 00 2892  
Impression : SIPP  
BP 17319 Roissy en France  
95705 Roissy Ch. De Gaulle Cedex  
Tel : 01 34 29 37 40

### ■ FRANÇAIS

#### **Phénomène d'expansion dans les creusets de hauts-fourneaux après remise en route** 109

M.-A.-G. Bentes, A.-H.-B. de Mello, F. Franklin, R.-J. van Laar, R.-G. van Oudenallen, V.-W.-B. van Straaten, K. Andreev

La mise en route du haut-fourneau n°3 de CSN en 2006 est décrite avec la formation d'un loup solidifié important. Des modèles analytiques et par éléments finis ont été créés pour prévoir les phénomènes d'expansion. Les valeurs prévues sont comparées avec les efforts sur le blindage du creuset et les mesures de contraintes exécutées pendant la mise en service.

#### **Synthèse des résultats d'ouverture des poches à ArcelorMittal Brasil Monlevade** 115

F.-A.-M. Morais, J.-G. Costa Neto, E.-A. Amaral, L.-V. Penna, M.-A. Bosco, J.-G. Ramalho, A.-E. Almeida

ArcelorMittal Monlevade est une usine intégrée de produits longs comprenant une agglomération, un haut fourneau, un convertisseur, un four-poche, une coulée continue et deux laminaires. La capacité de production de l'aciérie de Monlevade est de 1,2 million de tonnes annuelles. Ces dernières années, l'aciérie de Monlevade a augmenté le taux d'ouverture directe des poches grâce à l'amélioration de la qualité des réfractaires et à la standardisation des paramètres opératoires. Les actions principales ont consisté à changer la géométrie du siège et de la busette, à utiliser du sable en double couche et à maîtriser le temps de séjour de la masse de bouchage avant la coulée du convertisseur. Grâce à ces actions, le taux d'ouverture directe des poches a augmenté de 98,5 à 99,8% de 2002 à 2006.

#### **Modèle dynamique global du convertisseur : un aperçu des mécanismes de l'efficacité thermique** 121

J.-C. Huber, J. Lehmann, R. Cadet

Comprendre les mécanismes de transfert thermique au convertisseur est une clé vers une meilleure efficacité thermique, permettant d'augmenter la capacité de production et de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> en réduisant la mise au mille de fonte liquide. Le modèle développé décrit de façon couplée les principaux phénomènes : réactions d'affinage, transferts entre phases, fusion des ferrailles, post-combustion, formation du laitier. L'enthalpie des fumées calculée est cohérente avec les campagnes de mesures réalisées sur convertisseur industriel dès lors que la post-combustion est décrite de façon détaillée. Ce modèle, compatible avec une utilisation en temps réel, est également un outil précieux pour, à l'avenir, améliorer le contrôle dynamique du procédé.

#### **Analyse en déformation des défauts de surface au laminoir à chaud par simulation en 3D par la méthode des éléments finis** 127

S.-I. Lee, J. Choi

L'objectif est de développer une technique de simulation 3D par la méthode des éléments finis pour analyser le comportement en déformation des défauts de surface formés lors du laminage à chaud.

La technique développée sera appliquée pour quantifier la relation entre les conditions de laminage et les paramètres de fabrication et l'état de surface obtenu après laminage fera l'objet d'essais pour vérifier et valider la technique de simulation. Cette technique permettra de quantifier le retrait en largeur de la brame en tête et en pied, l'extension en largeur après un laminage horizontal, la forme en os de chien, le changement de position du coin de la brame en cours de laminage, la répartition des déformations. Les modifications de forme des défauts de surface formés lors du laminage à chaud ont fait l'objet d'études au moyen d'une technique de simulation en 3D du laminage. La méthode proposée de prédiction des défauts de surface peut être utilisée pour laminier des produits exempts de défauts.

#### **Considérations sur les impositions relatives aux traitements thermiques et leurs effets** 136

G. Masson, Ph. Bourges, L. Coudreuse, P. Toussaint, D. Cardanome

Les nombreux traitements thermiques en cours de fabrication peuvent conduire à une dégradation des propriétés de traction du métal de base ayant déjà subi un revenu ou en dégrader la soudabilité et la ténacité. Il est donc nécessaire de considérer l'ensemble des traitements thermiques subis par les différentes zones : métal de base, zone affectée, métal fondu afin d'optimiser les propriétés de l'ensemble de l'appareil. A partir d'exemples précis, les problèmes posés sont illustrés. Une approche fondée sur la notion de paramètre de revenu est proposée.

#### **La méthode prescriptive : un outil de conception simplifié de structures en acier à profilés minces** 142

C. Etzenbach, C. Mees

L'utilisation de structures acier en profilés minces pour des logements en Europe est presque anecdotique. Les raisons principales en sont le manque de standards, de procédures et les difficultés pour concevoir de telles structures avec la partie 1-3 de l'Eurocode 3. ArcelorMittal a soutenu le développement d'un outil de conception pour le calcul de structures à profilés minces pour des bâtiments de faible hauteur. L'objectif est d'augmenter la part de marché des profilés minces grâce à une méthode de conception simplifiée. L'outil est basé sur un champ d'action clairement défini et inclut des règles de conception, une méthode de calcul par abaques et une bibliothèque de détails constructifs.

#### **Les aciers inoxydables Duplex, une revue après DSS'07 à Grado** 155

J. Charles

Les aciers inoxydables Duplex présentent à la fois des défis techniques nombreux et des propriétés d'usage très élevées avec des rapports coûts/performances excellent, en particulier pour des marchés sensibles : le pétrole et le gaz, les pâtes et papiers, l'adduction d'eau, les usines de désalinisation, la dépollution, les tankers.

L'article est un compte rendu des 100 contributions scientifiques présentées à la dernière conférence Duplex Stainless Steel DSS'07 à Grado, Italie, du 18 au 20 juin 2007.

**Expansion phenomena in blast furnace hearths after blowing** 109

M.-A.-G. Bentes, A.-H.-B. de Mello, F. Franklin, R.-J. van Laar, R.-G. van Oudenallen, V.-W.-B. van Straaten, K. Andreev

The blow-in of CSN blast furnace n°3 in 2006 is reported with a focus on a large solidified salamander that had to be tapped. Analytical and finite element models have been created to predict the expansion phenomena. The predicted values are compared with the hearth shell stress and strain measurements executed during the blow-in.

**An overview of ladle free open performance at ArcelorMittal Brasil Monlevade** 115

F.-A.-M. Morais, J.-G. Costa Neto, E.-A. Amaral, L.-V. Penna, M.-A. Bosco, J.-G. Ramalho, A.-E. Almeida

ArcelorMittal Monlevade is an integrated plant with sinter plant, blast furnace, BOF, ladle furnace, continuous caster, and rolling mill, with a capacity of 1.2 million tpy. During the last years, Monlevade has been raising the ladle free open index through refractory quality improvement and standardization of operational parameters. The main actions were changing of the geometry of ladle well block and nozzle, use of two-layer sand, and control of sand residence time before BOF tapping. Based on these facts, the ladle free open index has increased from 98.5 to 99.8% from 2002 to 2006.

**Comprehensive dynamic model for BOF process: a glimpse into thermal efficiency mechanisms** 121

J.-C. Huber, J. Lehmann, R. Cadet

Understanding thermal transfer mechanisms in BOF converter is a key for higher energy efficiency, involving higher production capacity and lower CO<sub>2</sub> emissions through low hot metal ratio capability. The developed model achieves a coupled description of the major phenomena: refining reactions, mass transfers between phases, scrap melting, post-combustion, slag formation. The calculated exhaust fumes enthalpy is fitting well the measured thermal balance trials with industrial converter when implementing a detailed description of the post-combustion. This model, compatible with real-time use, is also a valuable tool for further improvement in dynamic control of the process.

**Deformation analysis of surface defect on hot rolling by 3-D FEM simulation** 127

S.-L. Lee, J. Choi

The major objective of this research is to develop a 3-D FEM simulation technique in order to analyze the deformation behavior of surface defects on hot rolling. The developed technique will be applied to

quantify the relationship between rolling condition and the process parameters, and the rolling pattern will be tested to verify and validate the simulation technique. This technique will allow us to quantify the shrinkage of slab width at the head and tail, width spread after the horizontal rolling, dog-bone shape, position change of the slab corner as the slab is being rolled, strain distributions. And the shape change of surface defects in hot rolling was investigated using the 3-D rolling simulation technique. The proposed prediction method of surface defect can be utilized to make defect free products in rolling.

**Considerations on PWHT requirements and their effects** 136

G. Masson, Ph. Bourges, L. Coudreuse, P. Toussaint, D. Cardanome

The many heat treatments upon fabrication may deteriorate the tensile properties of the tempered base material or to alter its weldability or toughness. It is essential to take into consideration all heat treatments each zone is submitted to: base metal, heat affected zone, weld metal in order to optimize the global properties of the vessel. Major issues are illustrated by precise examples. An approach based on the equivalent tempering parameter is put forward.

**The prescriptive method: an easy tool for simple design of light gauge steel framed housing** 142

C. Etzenbach, C. Mees

Very little light gauge steel framing is used for dwellings in Europe. The main reasons are the lack of standards, common procedures and the difficulties to design such structures with Eurocode 3 part 1-3. ArcelorMittal has supported the development of a design tool for low-rise steel framed buildings. The objective is to increase the light steel framing market thanks to a comprehensive and user friendly design package. The tool is based on a clearly defined scope and includes conception rules, design method by graphs and a construction details library.

**Duplex stainless steels, a review after DSS'07 in Grado** 155

J. Charles

Duplex stainless steels present simultaneously very diversified technical challenges and very attractive in service properties along with excellent cost/properties ratios particularly in very critical markets: oil and gas, chemical industry, pulp and paper industry, water systems, desalination plants, pollution control equipments, chemical tankers. This paper reviews the 100 scientific contributions at the latest international Duplex Stainless Steel Conference DSS'07 in Grado, Italy, June 18-20, 2007.

IN THE NEXT ISSUE (APRIL 2008)

**Simulation of the calcium treatment of aluminium killed steel**

H.-J. Visser, M. Biglari, R. Boom

**Calcium and magnesium thermodynamics in steel and its impacts on secondary steelmaking**

A. Costa, E. Silva

**Industrial applications of Tenova FlexyTech® flameless low NOx burners**

M. Fantuzzi, L. Ballarino

**Cast floor robotics, concept and test results**

A. Jungbauer, J. Penn, J. Lanschützer, H. Hebner

**ArcelorMittal Tubarão hot skin pass, flatness improvement in thin gauges**

C. Nunes da Silva, F. Countinho Dornelas, L.-F. da Silva Volpato, L. Torres Sequeira, G. de Martin Samaglia, Q. Ribeiro Sobrinho, F.-G. da Silva Araújo

**New steel grades for light weight LPG cylinders**

J. Goudemez, M. Chiappini, G. Desplaces, R. Bregnon