

<b>TITRE</b>	<b>Comportement thermo-mécanique des oxydes de fer à haute température</b>
<b>Objectif général</b>	Méthodologie d'étude de la déformation et de la rupture d'une couche superficielle dure sous fortes sollicitations thermomécaniques
<b>Contexte</b>	Une couche d'oxyde se forme inévitablement sur l'acier lors de son chauffage en four et du laminage sur le Train à Bande à chaud (TAB). L'oxyde peut être utile comme isolant thermique ou, à $T > 1000^{\circ}\text{C}$ , comme "lubrifiant" (effet anti-adhésion). Mais, trop épais, sa fragilité peut créer des défauts de surface. Pour contrôler son épaisseur, l'oxyde est éliminé lors d'étapes spécifiques du procédé. Celle qui nous intéresse ici est le « décalaminage secondaire » avant la section finisseuse du TAB. Le décalaminage, c'est un jet d'eau sous pression (150 bars) qui refroidit brutalement la surface de la tôle, met l'oxyde sous fortes contraintes thermo-élastiques et conduit à la fracture et au décollement de tout ou partie de l'oxyde.
<b>Présentation détaillée</b>	<p>Le travail de thèse consiste à identifier les mécanismes de rupture et les contraintes critiques correspondant à la fracture transverse et au décollement de l'oxyde. Diverses nuances d'acier seront choisies pour leur difficulté plus ou moins grande à être décalaminées. L'étude physico-chimique établira la structure de leur couche d'oxyde en fonction des éléments d'alliage (Mn, Si, Al, Cr, P, S...). La résistance mécanique sera <i>in fine</i> reliée à la structure de chaque couche d'oxyde. Le travail inclut</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'étude de la microstructure et des contraintes de l'oxyde en fonction des conditions de croissance et de la température.</li> <li>• la conception d'essais mécaniques pertinents à haute température dans un contexte de petites déformations (flexion, indentation).</li> <li>• leur modélisation en vue de l'identification des paramètres.</li> </ul> <p>Le but est d'aboutir à une compréhension globale des mécanismes physiques et mécaniques intervenant lors du décalaminage et de se doter de la capacité d'en réaliser la modélisation quantitative par éléments finis.</p>
<b>Réf. bibliographiques</b>	<p><b>M. Krzyzanowski, J. Beynon &amp; D. Farrugia</b>, Oxide Scale Behavior in High Temperature Metal Processing, John Wiley &amp; Sons, 2010</p> <p><b>B.A. Latella &amp; M. Ignat</b>, Interface fracture energy of sol-gel bonded silicon wafers by three-point bending, J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 23, pp.8-13, 2012</p> <p><b>B. Picqué, S. Mouret, P.-O. Bouchard, P. Montmitonnet &amp; M. Picard</b>, Mechanical behaviour of iron oxide scale : experimental and numerical study, Wear 1260, pp. 231-242, 2006</p> <p><b>M. Schütze</b>, Mechanical properties of oxide scales, Oxid. Met. 44, 1-2, pp.29-60, 1995</p> <p><b>M. Varga, S. Leroch, H. Rojacz &amp; M. Rodriguez-Ripoll</b>, study of wear mechanisms at high temperature scratch testing, Wear 388-389, pp.112-118, 2017</p> <p><b>M. Zhang, B. Liu, C. Grenier, P. Montmitonnet, M. Picard &amp; J.-L. Boréan</b>, Oxide Fracture Mechanisms in Descaling of Steel Strips on the Hot Strip Mill, 14th Int. ESAFORM Conf. on Material Forming, April 27-29<sup>th</sup>, 2011, Queen's University Belfast, Northern Ireland, UK. AIP Conf. Proc. 1353, G. Menary, ed., pp. 333-338</p>
<b>Outils</b>	Prototype d'indentation à chaud
<b>Mots-clé</b>	Mécanique ; Rupture ; Oxydes de fer ; Décalaminage
<b>Type projet</b>	Convention CIFRE. Partenaire industriel et employeur: ArcelorMittal
<b>Profil &amp; compétences</b>	Sciences des matériaux, Science des Surfaces et Interfaces, Mécanique des matériaux
<b>Lieu</b>	Sophia Antipolis principalement (MINES ParisTech – CEMEF)

	Séjours courts à Maizières-lès-Metz (ARCELORMITTAL)
Equipes de recherche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF, UMR CNRS 7635) Pôle Surfaces &amp; Procédés (PSP)</li> <li>• ARCELORMITTAL MAIZIERES RESEARCH SA, Global R&amp;D / Equipe Laminage à chaud.</li> </ul>
Encadrants	<p>Pierre Montmitonnet – pierre.montmitonnet@mines-paristech.fr  Karim Inal – karim.inal@mines-paristech.fr  Alain Burr – alain.burr@mines-paristech.fr  Pierre-Olivier Bouchard – pierre-olivier.bouchard@mines-paristech.fr</p>
Modalités d'encadrement	<p><b>Doctorat de l'Université de Recherche PSL*</b> préparé à MINES ParisTech  <b>Spécialité Doctorale</b> : Mécanique Numérique et Matériaux  <b>Ecole Doctorale</b> Sciences Fondamentales &amp; Appliquées (ED-SFA, Nice)</p>

<b>TITLE</b>	<b><i>Thermo-mechanical behaviour of iron oxides at high temperature</i></b>
<b>Global objective of work</b>	Methodological study of deformation and fracture of a hard superficial layer under severe thermomechanical solicitations
<b>Context</b>	An oxide film called “oxide scale” inevitably forms on the steel surfaces during heating and rolling operations in the Hot Strip Mill (HSM). The oxide may play positive roles: thermal insulator, “lubricant” (anti-seizure effect) at $T > 1000^{\circ}\text{C}$ . But if it grows too thick, the brittle oxide layer may induce surface defects. To control its thickness, the oxide is eliminated at specific stages of the HSM processing. We address here the “secondary scale” to be eliminated by the secondary descaler at entry of the Finishing Mill (FM) section. The descaler is basically a high pressure water jet (150 bars) which brutally cools down the hot strip surface, puts the oxide under very high thermo-elastic stresses leading to its transverse fracture and peeling-off.
<b>Detailed presentation</b>	<p>The PhD work consists in identifying the fracture mechanisms and the critical stresses for transverse fracture and for delamination of the oxide scales. Several steel grades will be chosen so as to cover a variety of descaling difficulties. Their physical and chemical study will establish the internal structure of the oxide scale as a function of the alloying elements (Mn, Si, Al, Cr, P, S...). The fracture behavior will be related to the structure of each oxide scale. The work includes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• the study of the oxide layers in terms of their microstructure and their stress as a function of growth environment and temperature.</li> <li>• the design of adequate mechanical tests at high temperature.</li> <li>• their modelling for parameter identification.</li> </ul> <p>It should lead to a global understanding of the physical and mechanical mechanisms involved in the descaling process and a capacity of quantitative finite element modelling of the process.</p> <p><b>References</b></p> <p><b>M. Krzyzanowski, J. Beynon &amp; D. Farrugia</b>, Oxide Scale Behavior in High Temperature Metal Processing, John Wiley &amp; Sons, 2010</p> <p><b>B.A. Latella &amp; M. Ignat</b>, Interface fracture energy of sol-gel bonded silicon wafers by three-point bending, <i>J. Mater. Sci.: Mater. Electron.</i> 23, pp.8-13, 2012</p> <p><b>B. Picqué, S. Mouret, P.-O. Bouchard, P. Montmitonnet &amp; M. Picard</b>, Mechanical behaviour of iron oxide scale : experimental and numerical study, <i>Wear</i> 1260, pp. 231-242, 2006</p> <p><b>M. Schütze</b>, Mechanical properties of oxide scales, <i>Oxid. Met.</i> 44, 1–2, pp.29–60, 1995</p> <p><b>M. Varga, S. Leroch, H. Rojacz &amp; M. Rodriguez-Ripoll</b>, study of wear mechanisms at high temperature scratch testing, <i>Wear</i> 388-389, pp.112-118, 2017</p> <p><b>M. Zhang, B. Liu, C. Grenier, P. Montmitonnet, M. Picard &amp; J.-L. Boréan</b>, Oxide Fracture Mechanisms in Descaling of Steel Strips on the Hot Strip Mill , 14th Int. ESAFORM Conf. on Material Forming, April 27-29<sup>th</sup>, 2011, Queen’s University Belfast, Northern Ireland, UK. AIP Conf. Proc. 1353, G. Menary, ed., pp. 333-338</p>
<b>Tools</b>	<i>Hot indentation hardness prototype</i>
<b>Key-words</b>	Mechanics ; Fracture ; iron oxides ; descaling
<b>Project type</b>	CIFRE Convention. Industrial partner and employer: ArcelorMittal
<b>Skills, abilities</b>	Materials Science, Surface & Interface Science, Mechanics of Materials
<b>Location</b>	Sophia Antipolis mainly (MINES ParisTech – CEMEF) Short stays at Maizières-lès-Metz (ARCELORMITTAL)
<b>CEMEF team(s)</b>	CEMEF, Pole Surfaces & Processes (PSP)
<b>Supervisors</b>	Pierre Montmitonnet – pierre.montmitonnet@mines-paristech.fr Karim Inal – karim.inal@mines-paristech.fr Alain Burr – alain.burr@mines-paristech.fr Pierre-Olivier Bouchard – pierre-olivier.bouchard@mines-paristech.fr