

Commission Thématique LAMINAGE

Réunion du 17 Mars 2016
Paris, MINES ParisTech

Compte Rendu

Présents:

A Paris:

P. Deneuille (Constellium), D. Lawrjaniec (Asco Industries),
P. Montmitonnet (MINES ParisTech CEMEF), H. Zahrouni (Université de Lorraine LEM3)

Par téléphone:

D. Farrugia (Tata Steel UK), C. Bourgin (Ugitec), T. Sourisseau (Ugitec)

1 – Rectification des cylindres de laminage à froid d'alliages légers Patrick DENEUVILLE

Objectif: obtenir un bon état de surface des cylindres pour assurer celui des tôles (réflectivité).

Critère de succès: le résultat est vérifié en atelier de rectification, à l'œil et avec un rugosimètre 1D portable.

La qualité de surface des cylindres une fois rectifiés est un paramètre important:

- $0.2 < Ra < 0.5 \mu\text{m}$, $3 < R_{\text{max}} < 6.5 \mu\text{m}$ pour la tôle,
- $Ra \sim 0.1 \mu\text{m}$ pour la feuille mince,
- $Ra < 0.001 \mu\text{m}$ pour le grand brillant (atteint par rectification + polissage)

Cylindres: le plus souvent des 3 à 5% Cr + Mo/V, quelques HSS (type M2), dureté 800-900 Hv. Le temps de monte est de quelques heures à quelques jours en fonction de l'exigence produit, soit 120 à 250 km laminés. Un chromage dur double environ la durée de monte par rapport à l'acier nu. L'interdiction prochaine des bains avec du Cr^{6+} est un gros problème mais n'est pas le sujet du jour.

Il n'y a pas d'usure significative des cylindres dans le laminage de l'aluminium, car ce sont des défauts de surface (chocs, rayures) qui déclenchent la rectification pour éviter qu'ils ne se transfèrent comme défauts de surface de la tôle.

L'opération de rectification comporte plusieurs étapes:

- déchromage à la meule,
- rectification proprement dite; on enlève 200 à 400 μm sur 50 mm trempé → DDV cylindre 200 montes

SF2M

- rechromage (5 µm), sur site pour les usines de Constellium

En général, 3 séquences de rectification proprement dite, chacune composée de plusieurs passes

- Ebauche: les vitesses sont assez grandes: rotation cylindre, rotation meule 30 à 40 m/s, translation chariot (3 à 4 m /minute). Meule et cylindre tournent dans le même sens ou en sens opposé
- Semi-finition: profondeur de passe et vitesses plus faibles
- Finition: très faible profondeur, vitesse chariot très faible

Les meules: pour des raisons économiques, on utilise 1 seule meule pour les 3 stades, ce n'est pas optimal

Matériaux:

- **Abrasifs = alumine (corindon, Knoop 2000)**, mais il existe aussi SiC (2500), cBN (testé pour les HSS), diamant (Knoop 7000), grains 30 à 200 µm, les plus anguleux.
- **Liants** vitrifiés.
- **Porosité** volontairement ajoutée pour piéger les débris d'usure de la meule, les carbures arrachés au cylindre... Ça aide à éviter les débris piégés qui rayent.

Synthèse des conditions par 2 indicateurs:

- rapport des vitesses de rotation meule / cylindre ("speed ratio", 1.2 à 1.3)
- taux de recouvrement = nombre de passages de la meule en un point donné du cylindre
$$\text{Vitesse de rotation (trs/min)} \times \text{Largeur chariot} / V_{\text{chariot}}$$

Dans le cas du Grand Brillant: la rectification descend à $R_a = 0.02$ voire $0.01 \mu\text{m}$, puis on polit à la pâte diamant (mesh 420 – 500). Opération très manuelle qui peut descendre à $R_a = 1 \text{ nm}$! Une mesure de brillance est faite de temps en temps mais c'est le plus souvent à l'œil

Défauts de rectification (estimation: à l'œil d'expert).

Origines

- vibrations de la rectifieuse → équilibrage de la meule en rotation (les rectifieuses sont souvent équipées d'accéléromètres)
- "chatter marks" (meule trop rigide)
- "lignes d'avance" = contraste de brillance, lignes hélicoïdales dues à une gamme inadéquate (nombre de passes... Dureté superficielle?). Problématique car ça ne se voit pas dans l'atelier de rectification, mais sur les bandes après quelques km de laminage.
- fissures, détectables par courants de Foucault
- rayures dues à des particules dures en liberté dans le contact venant soit du cylindre, soit de la meule → Il est essentiel de raviver régulièrement la meule à la pointe diamant (dressage), même si c'est un coût car on rajoute à l'usure de la meule.

Discussion

(DF) pénétration d'hydrogène dans le métal, due au coolant? (PDe) pas de problème de ce type à ma connaissance

(DF) Contraintes résiduelles? (PDe) On a des fissures, des éclatements (rares, non spontanés mais dus à des chocs de manipulation). Raison profonde = contraintes résiduelles. Contraintes induites par la rectification (tensiles en surface), ou contraintes de trempe (qualité du revenu?)

SF2M

remodelées par l'enlèvement de matière, effet de défauts pré-existants ? La contrainte est mesurée après les passes d'ébauchage de rectification.

(PM) et les cylindres de laminage à chaud? (PDe) la rugosité est plus forte, pour augmenter le frottement afin d'éviter les refus d'engagement. Certains cylindres sont chromés aussi. Les rectifications sont moins fréquentes; les gammes sont un peu différentes (plus d'ébauchage, moins de finition), mais de même profondeur totale (200 à 400 µm). Les cylindres peuvent être brossés (brosses métalliques diverses) sur laminoir, en continu ou pas, pour éliminer les *collages*.

(DL, CB) Sur les produits longs, pas de forte spécification. En passes amont, simple tournage; en passes aval, souvent des galets WC-Co rectifiés, l'état de surface est plus soigné mais ça reste secondaire.

2 – Bilan des actions 2015

a - Réunion : 28 Avril 2015 à Metz

- exposé de J.-Y. Dantan: "Sélection et Optimisation Robuste des Processus de Production"
- visite de la plateforme Vulcain et de l'IRT

b - Article dans SF2M Info :

"Conjuguer précision et rapidité - vers une nouvelle génération de modèles de laminage des produits plats" - P. Montmitonnet, Q.T. Ngo

La discussion en séance confirme la demande du côté industriel de modèles plus rapides que les calculs éléments finis que leur rapport qualité / prix ne justifie pas dans tous les cas. L'académie enregistre.

c – Conférence ESAFORM 2016 (Nantes, 27 - 29 Avril)

Appel à communication d'un Mini-Symposium sur la modélisation de la planéité des bandes et de la rectitude des produits longs, ainsi que des procédés visant à les améliorer (planage, dressage).

4 papiers ont été recueillis:

- 1 sur la modélisation des défauts de planéité des tôles
- 1 sur la modélisation du procédé de planage
- 2 sur la modélisation du dressage des barres

Compte tenu du faible nombre de papiers, nous essayons d'adosser la session au symposium "Rolling & Forging".

3 – Compte rendu et échanges sur la Réunion des Présidents de CT - 10 Juin 2015 -

La réunion du 10/06/2015 a été organisée par le Président de la SF2M pour:

- échange des bonnes pratiques
- comment la SF2M peut-elle aider ses CT ?

Pourquoi une CT (objectifs statutaires) ?

« Favoriser l'échange des connaissances entre les Laboratoires et avec le milieu industriel*, participer à l'approfondissement des connaissances et à l'amélioration des démarches et des outils d'étude et de recherche. »

(proposition alternative: "au sein d'une communauté scientifique").

Discussion de la CT Laminage, du 17/03/2016

La liste des CT est passée en revue ainsi que leur fonctionnement: gouvernance plus ou moins collective (Bureau), ouverture sur la communauté ou fonctionnement de "Club", caractère international marqué pour certaines, périmètre scientifique ou applicatif volontairement restreint pour d'autres pour éviter la concurrence avec d'autres Sociétés.

Etat des lieux: la CT Laminage est peu structurée, plutôt "Club" même si elle invite parfois des experts extérieurs, comporte deux membres étrangers (Belgique et Royaume-Uni) et assume sa parité industrie / académie et son périmètre large "le laminage et toutes les opérations annexes".

Évolution proposée après discussion:

- renouvellement de la gouvernance: élection d'un Président, bureau de 3 membres par exemple, lors de la prochaine réunion (l'automne 2016)
- rendre publique notre activité via la page web de la CT sur le site de la SF2M: date et ordre du jour des réunions annoncés suffisamment à l'avance, libre participation de toute personne intéressée, compte rendu publié sur la même page Web. Nous continuons à inviter des experts chaque fois que c'est utile. Les journées thématiques seront ouvertes ou pas selon le degré de confidentialité du thème.

L'ouverture vers d'autres sociétés devrait se faire naturellement par la libre participation, celle vers l'étranger viendra ensuite.

4 – Propositions d'actions 2016-17

Idées lancées pour des présentations, des journées thématiques, des sessions de conférences:

- mesures et modèles d'évolution de la porosité en laminage, fermeture ou guérison?
- criques à chaud: rupture ductile ou rupture fragile, interfaces et interphases fragilisantes.
Ces deux premiers points, fermeture de porosités et criques à chaud, peuvent être réunis et forment un thème jugé important par les présents. Nous tentons de mettre sur pied (pour l'automne?) une journée dédiée, appuyée sur les conclusions de la journée "criques" de 2012 et sur des travaux récents sur la fermeture de la porosité. Une partie des intervenants peut être invitée, et pourquoi ne pas laisser venir des propositions – toujours via le site web de la SF2M.
- 2^{ème} édition de la conférence "Oxides" IOM3 – SF2M, probablement en 2017 après 2014.
Nous renouvellerons notre participation si on nous le propose.
- Lubrification à chaud et à froid, propreté de surface et dégradation des cylindres.
La discussion fait émerger divers problèmes de tribologie à chaud (plus large que "lubrification"). Nous prévoyons un exposé lors de la prochaine réunion, qui servirait de poisson-pilote à une journée ou session de conférence. Les bonnes volontés sont les bienvenues.

- Mesures innovantes en ligne pour le contrôle process et la validation des modèles.
Ce point a un véritable intérêt, comme l'avait montré l'exposé de N. Legrand lors de la réunion de la CT de Mars 2013 sur la mesure en ligne de la microstructure à chaud (taille de grains etc.). Il faudrait élargir le propos, mais il faut trouver un organisateur / catalyseur.

5 - Projet d'article de la CT Laminage pour les Techniques de l'Ingénieur

En mettant au goût du jour les articles M3065 et M3066 sur la modélisation du laminage, P. Montmitonnet a été conduit par la limite à 20 pages à en expulser tout le 3D et toute la modélisation de la déformation des cylindres. Il souhaite proposer un article supplémentaire sur ces aspects-là (déjà prévu sous le code M3067), dont la rédaction serait collective du fait de la multiplicité des compétences requises.

Le plan prévisionnel résumé suit. Le détail est disponible auprès de P. Montmitonnet pour ceux qui voudraient se joindre à l'équipe de rédaction ou apporter des idées:

- 1 – Catalogue raisonné et illustré des problèmes 3D en laminage
élargissement, flexion des cylindres et défauts de planéité, température hétérogène, endommagement et criques.
- 2 – Elargissement ou rétrécissement
Modèles simplifiés et modèles complets, les principaux facteurs influents (frottement, comportement mécanique, température), produits plats et produits longs, méthodes de contrôle (tension de produit, edge rolling).
- 3 - Déformation des cages, profil, planéité (produits plats)
Description, mesure et contrôle, modélisation des défauts de profil et de planéité, du planage
- 4 - Produits longs: rectitude
Description des problèmes, mesure et contrôle, exemples de modélisation
- 5 - Endommagement et fissuration
Criques et pores, effets d'hérédité, modélisation de l'endommagement à la fissure, rebouchage de la porosité
- 6 - Température
Divers problèmes liés à la thermique et qualité du produit, un exemple de modélisation: thermique au train à fil
- 7 – Conclusion et perspectives
Modélisation "through process", modélisation "rapide et opérationnelle".