



< LA METALLURGIE ET LE MONDE FERROVIAIRE (PARTIE 2) >

Bonjour à toutes et à tous,

Avec cette 2^{ème} newsletter, **METALLO CORNER**, qui a toujours le souci de rapprocher d'avantage le monde industriel et la Métallurgie, poursuit son descriptif associé aux grands axes de travail métallurgique dans le transport ferroviaire, en se préoccupant plus particulièrement des équipements roulant.

Les informations collectées reposent sur nos lectures du moment et sur l'excellent travail des animateurs Yves Quéré et André Pineau et de leur équipe compilé dans le rapport de l'Académie des Sciences et des Technologies intitulé « La métallurgie science et ingénierie ».

I. Les enjeux des équipements roulants :

Pour ce type de pièces, la sécurité, la fiabilité, la consommation d'énergie, le confort sont les moteurs du développement : résistance à l'usure, à la fatigue, la corrosion, l'allègement, l'éco-conception (choix des matériaux, des revêtements, peintures,...), et la réduction de l'émission sonore ou la protection contre le bruit.

Je vous propose donc d'aborder les caisses, les freins et les éléments de liaison au sol afin d'évaluer l'impact des matériaux métalliques sur ces organes mécaniques.

II.1. Les caisses

Le cahier des charges se décline en termes de résistance à la fatigue et à la corrosion et de résistance au crash. Les composants sont en acier mécano-soudé ou en alliages d'aluminium. L'allègement est l'une des requêtes majeures. Pourtant, on n'utilise pas de composites à matrice polymère (dont on ne connaît pas assez bien le vieillissement sur plusieurs dizaines d'années), en revanche les matériaux métalliques (aciers et alliages légers : essentiellement les alliages d'aluminium) sont omni présents, assemblés par soudage et très souvent collés. Il est donc important que l'ingénieur est une bonne maîtrise de la métallurgie des aciers et des aluminiums pour choisir judicieusement les nuances et les traitements associés.

II.2. Les freins (disques et garnitures de freinage, paliers lisses, valves pneumatiques, ...)

II.2.1. Disques et garnitures de freinage.

Les disques sont des aciers forgés ou des fontes devant supporter une forte résistance à l'usure, aux chocs et à la fatigue. Ils travaillent en température,



nécessitant, dans le cas de hautes énergies à dissiper, des formes complexes d'auto-ventilation (structure creuse avec entrainement d'air pas ailettes intégrées) obtenu par coulée en sable perdu. Ces formes complexes sont difficiles à couler et conduisent à des taux de rebus importants. Disques et patins de friction sont les consommables les plus importants de l'exploitation d'un train.

L'optimisation des freins à disques ferroviaires implique une augmentation de la capacité à dissiper l'énergie, un allègement significatif du dispositif de freinage ainsi qu'une amélioration des performances tribologiques sous humidité. Dans ce contexte, on utilise deux grandes familles de technologie :

- Les disques de frein à faible diffusivité thermique à base de matériaux de friction réfractaires,
- Les disques de frein à haute diffusivité thermique en composite à matrice métallique CMM (non abordé dans cette argumentaire).

Pour les systèmes à faible diffusivité thermique, les revêtements de cermets (ex : NiCr-Cr₃C₂) où l'utilisation de superalliages base cobalt (stellite) et les garnitures en titanate d'aluminium sont des solutions intéressantes : stabilité du coefficient de frottement, bonne tenue à l'usure et faible sensibilité à l'humidité.

D'autres études ont été menées à l'aide de caméras thermographiques infrarouge et de thermocouples pour appréhender les gradients thermiques et les bandes chaudes sur des freins à disques haute puissance en 28CrMoV 05-8 afin de limiter le crissement et la fissuration.

Une compréhension du couple d'usure acier (ou fonte)/patin passe forcément par la compréhension du rôle de la microstructure (fibrage, porosités ouvertes, durcissement de surface, ...) ; il serait également intéressant de développer des matériaux de disques qui s'usent dans le même laps de temps que les roues, pour des questions de commodité de changement de pièce.

La compétence métallurgie nécessiterait grandement d'être développée dans ce domaine. Des pistes de recherche sont ouvertes pour l'emploi d'alliages frittés, de composites à base aluminium ou de traitements de surface multicouches.

II.2.2. Paliers lisses des tringleries.

De nombreux paliers lisses sont utilisés sur les tringleries permettant d'actionner les systèmes de freinage. Ces articulations sont soumises à des conditions de fonctionnement extrêmement sévères : charges statiques élevées, abrasion (par gravillonnage), corrosion, vibration (fretting usure), micro-grippage une fois que la graisse est évacuée du contact,...

Il va donc falloir réfléchir à des solutions tribologiques qui réduiront les phénomènes adhésion, de corrosion, de fretting usure et qui amélioreront les coefficients de



frottement des différents systèmes. Face à ces enjeux, on peut assez facilement travailler sur le traitement thermique et le traitement de surface appropriés aux sollicitations décrites (axe oxynitrocarbure + revêtement auto-lubrifiant type PTFE ou MoS₂) mais également sur la topographie de surface pour limiter l'évacuation des graisses au niveau de la bague antagoniste elle-même traitée.

II.2.3. Valves.

Puisque les freins peuvent être pneumatiques (mais également hydrauliques), il existe de nombreux éléments de distribution (ex : air comprimé) constitués de valves en fontes ou d'alliages d'aluminium de fonderie. Le principal obstacle matériau est celui de la maîtrise de la coulabilité et de la porosité ouverte.

Remarque : il faut également souligner la timide montée du développement de dispositifs de freinage magnétique, qui fonctionnent par adhérence électro-commandée de patins magnétiques sur la voie. Ces dispositifs s'ajoutent et renforcent les technologies précédentes (patins sur disques) dans le cas de conditions sévères d'exploitation (présences de pentes fortes, conditions climatiques, freinage sur très courtes distances comme pour les métros, ...). Le concepteur est alors confronté à la recherche de matériaux métalliques présentant la meilleure performance magnétique associée à une grande résistance à l'usure par frottement.

II.3. Eléments de liaison au sol : roues, essieux, bogies.

On trouve là des pièces de fonderie de grande taille et des assemblages mécano-soudés (pour le bogie). Les cahiers des charges portent sur la résistance mécanique, la fatigue, l'endurance au choc et la corrosion. Il s'agit des éléments de liaison au sol qui supportent la charge du train et de nombreux organes de sécurité mais qui doivent aussi supporter les imperfections des voies (rectitude, usure, discontinuités des jonctions rail/rail, ...) les soumettant à une intense sollicitation de fatigue et chocs. Pour des raisons de performance (réduction du nombre de bogies à un par voiture, ...), la conception des bogies est fortement contrainte par des problèmes d'encombrement.

Les roues sont en acier de fonderie, usinées. Elles s'endommagent par usure de la zone de contact roue/rail (en particulier lors du freinage et dans les courbes des voies) et patins de freinage/roue (pour les systèmes de freinage sur roue, à distinguer des freinages sur disques pour de plus grandes énergies de freinage). Elles subissent plusieurs ré-usinages en cours de vie. C'est un élément majeur du coût d'entretien qui justifie une réelle préoccupation matériaux mais aussi des solutions préventives embarquée (système d'anti-patinage – l'ABS des trains –, des graissages localisés de la gorge de la roue dans les courbes...).

On retrouve sur ce type de pièces du traitement thermique (trempe à l'eau ou eau + polymère, du chauffage par induction, ... souvent réalisés chez TTT (Traitements



Thermique Terrenoire spécialisé en partie dans le traitement des pièces volumineuses mais également dans le grenailage et les peintures) et du traitement de surface (axes d'essieux en acier ou alliage léger durcis par dépôt de nickel électrolytique, zinc, zinc-nickel, ou cadmium LHE (Low Hydrogen Embrittlement).

II. Bilan : Les matériaux métalliques et les problématiques dans le monde ferroviaire

Alors même, si nous savons que les matériaux ne sont que rarement le moteur des évolutions, on s'aperçoit que réfléchir dans cette voie permet tout de même d'atteindre les objectifs fixés par le pôle de compétitivité I-Trans.

Il faut donc des métallurgistes capables de penser « système ». Les exigences de fiabilité et de durée de vie très spécifiques au ferroviaire ouvrent donc des perspectives de progrès importantes aux approches métallurgiques sous l'angle de la mécanique de la rupture qui est encore largement peu connu et déployé dans les Bureaux d'Etudes.

C'est pour l'ensemble de ces grandes actions, que l'équipe **METALLO CORNER** attache une grande importance à ce secteur d'activité.

Notre expérience terrain associée notre méthode de travail **PMP** (Produits / Matériaux / Procédés) est à votre disposition pour analyser vos systèmes : couplage matériaux / manufacturing / sollicitations et environnement.

Pour la prochaine newsletter, nous aborderons le rôle de la métallurgie dans l'opération de cisailage...