

Matériaux innovants

Plus grande longévité et moins d'entretien

Par ing. Koen Vandepopuliere M.Sc, Maintenance Magazine

L'usure et les frottements sont les principales causes de dégradation des machines. Mais heureusement, nos connaissances en la matière augmentent constamment et débouchent sur des nouveaux matériaux et techniques. Ils peuvent conduire à une réduction des frais d'entretien mais aussi de la consommation d'énergie. Sirris a eu la chance de découvrir plusieurs innovations marquantes.

■■■■ La dégradation des machines entraîne de nombreux problèmes. Elle impose le remplacement de certains composants. Parfois un composant défectueux peut provoquer des dommages en cascade. Et, nous n'avons pas encore parlé des coûts provoqués par l'arrêt de la production!

Le frottement, en plus de provoquer l'usure, est une des principales causes de dégradation et il a aussi un impact important sur la consommation d'énergie des machines. Il absorbe en pure perte près de trente pour-cent de la puissance des machines!

Lubrifiants à base de cristaux liquides

Heureusement, on enregistre encore des progrès importants en tribologie (science des frottements) et dans le domaine des matériaux. Notamment grâce aux cristaux liquides. On les connaît avec les écrans LCD, mais ils offrent des atouts non négligeables en mécanique. Stefan Milis, spécialiste des matériaux chez Sirris, explique. "Les Lubrifiants à base de cristaux liquides monomères – MLC en abrégé – permettent aux matériaux de coulisser l'un sur l'autre pratiquement



Les composites à matrice métallique deviennent meilleur marché, grâce à l'utilisation de techniques de coulage moins chères.



Stefan Milis, spécialiste des matériaux chez Sirris : "Les Lubrifiants à base de cristaux liquides monomères – MLC en abrégé – permettent aux matériaux de coulisser l'un sur l'autre pratiquement sans friction. Ils devraient faire leur apparition sur le marché dans deux à trois ans, au début, uniquement dans des applications de niche, comme les paliers ou les boîtiers d'engrenages."

sans friction. Ils devraient apparaître sur le marché dans deux à trois ans. Au début, vous les trouverez dans des applications de niche, comme les paliers ou les boîtiers d'engrena-

ges. La recherche doit encore lever certaines pierres d'achoppement. Tout d'abord, ils sont encore trop chers. Les MLC disponibles dans le commerce sont destinés aux écrans et sont par conséquent très purs. Comme lubrifiants, ce n'est pas nécessaire. Il faudra encore mettre au point des procédés de production donnant des MLC moins purs mais surtout meilleur marché. Deuxièmement, pour le moment, ils ne fonctionnent bien qu'avec de petites pressions, quand la surface de contact est grande. Ils ne conviennent pas encore pour les roulements à billes, caractérisés par des pressions de contact locales élevées. Et troisièmement, leur stabilité thermique n'est pas très élevée. L'utilisation intensive en continu dans les roulements, par exemple d'un camion, entraîne inévitablement un échauffement. Il s'ensuit une température trop élevée pour la génération actuelle de MLC." Outre l'utilisation des MLC comme lubrifiant, on attend beaucoup de leur combinaison avec d'autres liquides ordonnés (p.ex. ioniques), substances tensioactives ('surfactants) et/ou les phases nano.

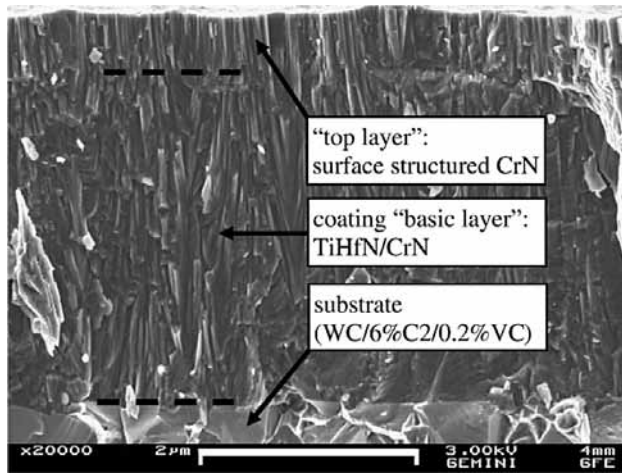
Nouveaux revêtements pour les moteurs à combustion

Dans le monde des moteurs à combustion aussi, les choses évoluent. On élabore des revêtements plus performants pour réduire les pertes d'énergie par frottement ainsi que l'usure. Améliorer la résistance à l'usure des matériaux légers (comme l'aluminium, le magnésium et les plastiques) constitue un important défi. D'autres développements portent sur l'adaptation des moteurs aux "carburants de nouvelle génération" (à base bio; teneur en soufre;...). "En fait, il s'agit d'un large éventail de revêtements", avance Stefan Milis. Certains existent depuis relativement longtemps, mais offrent encore de nombreuses possibilités d'optimisation. Comme exemple, citons le carbone dur amorphe (DLC). Ce traitement de surface est appliqué dans de nombreuses voitures, notamment les systèmes d'injection diesel.

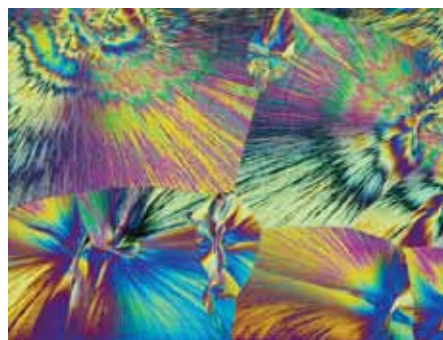
On s'attend dans quelques années à une utilisation étendue à davantage de composants du moteur afin de réduire l'usure et les pertes par frottement. Les chercheurs visent notamment à améliorer l'accrochage, à doper les métaux, p.ex. le tungstène, et les non-ferreux comme le silicium, l'oxygène, le fluor et l'azote. On cherche aussi à améliorer et à rendre moins chers les procédés d'application." Dans les autres cas, il s'agit de développements totalement nouveaux. Par exemple, les revêtements appliqués par plasma aux blocs moteurs légers en alliage aluminium-silicium. Les chercheurs développent actuellement des revêtements à base ferreuse pour donner aux composants en alliage une résistance élevée à l'usure et un faible coefficient de friction. On le fait notamment pour les cylindres et les soupapes soumis à rude épreuve: gaz corrosifs, températures élevées – de 650 à 700 °C - et pressions et vitesses élevées. Les développements dans le domaine de la technologie des matériaux portent notamment sur les prétraitements favorisant une bonne adhésion. Mais aussi sur de nouveaux matériaux de revêtement, comme les revêtements composites nanocristallins sur une base ferreuse, des précipités de borures métalliques durs et une porosité contrôlée. Les développements portent également sur des procédés adaptés à la projection thermique: Plasma Transferred Wire Arc, la projection à l'intérieur des cylindres, la mise au point de fil rempli de poudre. Et sur les finitions, le rodage pour améliorer la lubrification. Les premiers résultats sont encourageants: une résistance à l'usure comparable à la norme industrielle actuelle avec un coefficient de friction réduit de 10 %. À terme, cette technologie des matériaux devrait être disponible sur le marché et conduire à des moteurs plus légers offrant moins de pertes par frottement."

Lubrifiants et revêtements biodégradables

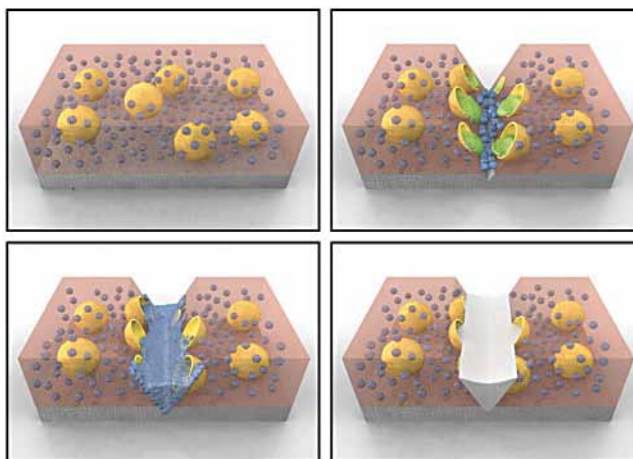
On travaille beaucoup au développement d'alternatives au pétrole comme lubrifiant. On remarquera déjà les esters synthétiques biodégradables développés à l'université d'Aix-la-Chapelle (Allemagne) utilisés pour les procédés de transformation du métal (p.ex.



On développe des revêtements spécialement adaptés aux nouveaux lubrifiants, comme les esters synthétiques biodégradables.



On connaît les cristaux liquides monomères avec les écrans LCD, mais ils offrent des atouts non négligeables en mécanique.



Les peintures autoréparantes sont déjà commercialisées. Des revêtements métalliques présentant la même propriété sont en préparation.

l'emboutissage). La recherche multidisciplinaire porte non seulement sur les lubrifiants et la toxicité/biodégradation. On développe également des revêtements qui sont spécialement adaptés à ces nouveaux lubrifiants. Il s'agit de revêtements constitués de couches alternées de TiHfN et CrN, d'une épaisseur d'environ

10 nm. La couche supérieure de CrN mesure environ 500 µm d'épaisseur et sa structure de surface adaptée favorise la lubrification. Les petits trous font office de réservoirs qui retiennent le lubrifiant qui est libéré lentement pendant le fonctionnement de la machine. Ce revêtement est appliqué par dépôt physique en phase gazeuse (PVD) sur deux matériaux courants en mécanique: l'acier HSS et le métal dur (carbure de tungstène - 6 % cobalt). Par comparaison à la norme industrielle (revêtement TiCN combiné avec un

lubrifiant à base d'huile minérale) la force de déformation maximale baisse ainsi de 7 à 9%. La machine dure alors plus longtemps. En outre, les lubrifiants biodégradables ont moins d'impact sur l'environnement que leurs alternatives à base d'huile minérale.

Composites à matrice métallique

Des alliages coulés à base d'aluminium, de magnésium et de fer peuvent devenir résistants à l'usure en les rendant plus durs dans la masse en intégrant des particules céramiques dures (carbures, oxydes, ...). Mais ils deviennent moins résistants aux impacts. De plus, la charge d'usure est souvent localisée. Il n'est pas rentable de rendre toute la pièce plus dure à l'aide de particules (surtout) relativement chères. La solution consiste à intégrer les particules dures uniquement en surface, là où c'est nécessaire. On obtient ainsi des microstructures locales qui sont en fait des composites à matrice métallique. Stefan Milis: "auparavant ces composites à matrice métallique étaient utilisés uniquement dans les applications haut de gamme. Le processus de frittage métallique utilisé était relativement cher. De nouveaux procédés meilleur marché sont apparus sur le marché: ils font appel à la technique du coulage. Les

particules dures sont appliquées localement dans le moule. Pendant le coulage, elles sont incorporées au métal liquide. Après refroidissement, on obtient une pièce coulée présentant localement des particules dures intégrées à la structure métallique. Actuellement, on optimise encore cette solution: le matériau, les dimensions et la forme des particules ainsi que le procédé. L'objectif est d'atteindre un coût total de possession le plus bas possible en comparant les frais d'usure et d'entretien

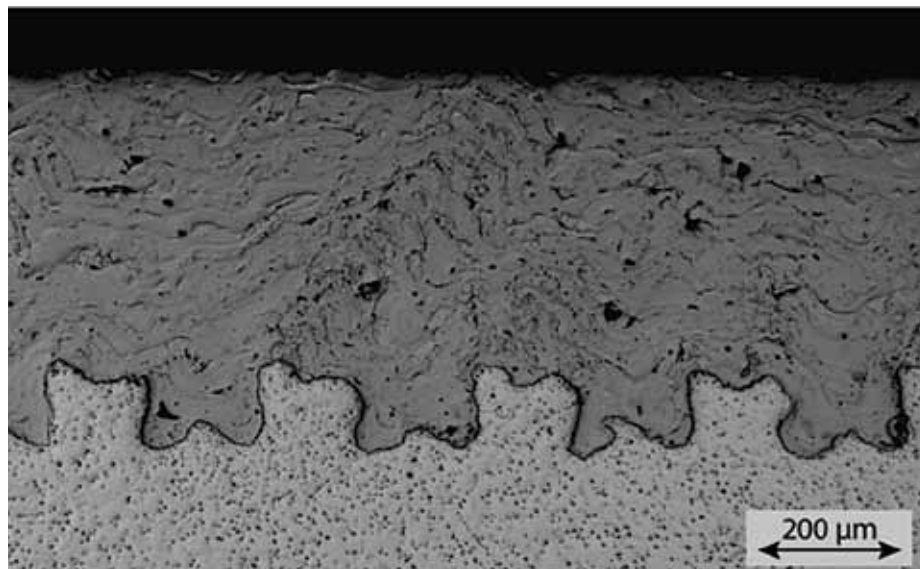
par rapport au coût d'achat de pièces d'usure par exemple."

Des nano-additifs dans les polymères

On trouve les polymères dans les plastiques en vrac mais aussi dans les composites (par exemple les plastiques renforcés par des fibres de verre ou de carbone) ou les revêtements organiques (peinture, émail, vernis, ...). On peut dire que les polymères sont légers et offrent de nombreuses possibilités en matière de formage (p.ex. le moulage par injection), mais ils offrent généralement des propriétés mécaniques et une dureté limitées. Les nano-additifs peuvent apporter la solution. Leur petite taille (1 nano= un milliardième de mètre) leur donne un grand rapport surface/

POSS - polyhedral oligomeric silsesquioxane -, en fait une molécule hybride composée d'un noyau de silice anorganique sur lequel sont greffés des groupes organiques."

On trouve sur le marché déjà depuis des années les premières applications de ces nanoadditifs. Les défis consistent à augmenter notamment la compatibilité entre les nanoparticules et la matrice polymère, à obtenir une bonne dispersion dans la matrice, à développer de nouveaux additifs améliorant encore les propriétés ou réduisant les coûts et à améliorer l'ouvrabilité. La recherche intensive dans ce domaine devrait porter ses fruits dans les années à venir et déboucher sur d'intéressantes innovations de matériaux.



Les développements portent également sur des procédés adaptés à la projection thermique.

volume. À titre d'exemple, les nanoparticules (en formes de plaques) de montmorillonite ont une surface de 750 m² par gramme. Par déduction, 7 g permettent de recouvrir entièrement un terrain de football!

Stefan Milis: "Déjà à des concentrations relativement faibles, de quelques pour-cent, les grandes molécules de polymères ont un contact intense avec les nano-additifs. L'ajout de nanoparticules en faible proportion à un polymère peut déjà avoir un grand impact sur ses propriétés. En fonction du polymère et des propriétés à améliorer, on peut utiliser d'autres types de nanoparticules. Les principales sont: l'argile nano, présente dans la nature souvent sous forme de plaques ; les fullerènes – des molécules de carbone constituées d'anneaux de carbone – dont les nanotubes de carbone et les types sphériques; oxydes métalliques; et le

Peintures et revêtements métalliques autoréparants

Quand vous vous griffez, la plaie se referme, le sang s'arrête de couler et la peau repousse. Les scientifiques essaient d'atteindre la même chose avec les peintures et les revêtements métalliques, ... Science-fiction? Pas vraiment. Plus fort encore, les premières peintures offrant cette propriété sont déjà sur le marché. "La peinture comprend deux sortes de microcapsules en polyuréthane", explique Stefan Milis. "La première sorte contient des monomères, la deuxième un catalyseur. En cas d'éraflure, les deux sortes de capsules de la zone endommagée se brisent et libèrent le contenu liquide. Le catalyseur déclenche la réaction des monomères entre eux ce qui conduit à la formation d'un polymère qui recouvre l'éraflure. Depuis peu, ce mécanisme peut aussi être appliqué

aux revêtements métalliques. Ce n'était pas possible auparavant, car les capsules étaient trop grandes, souvent de l'ordre de 10 µm par comparaison à l'épaisseur de la couche elle-même, généralement de 20 µm. La société allemande Fraunhofer vient de mettre au point des capsules de 100 nanomètres, qui résistent en outre aux conditions sévères de l'application du revêtement." En plus des capsules de monomères et de catalyseur, on pense aussi à des microcapsules contenant des produits anti-oxydants ou lubrifiants.

Revêtements antibactériens autonettoyants, faciles à entretenir

La prolifération de micro-organismes impose un entretien fréquent. Il faut parfois utiliser des techniques chimiques ou mécaniques agressives. De nouveaux matériaux et revêtements facilitent le travail. "La texture de surface évoquée plus haut est une approche possible", estime Stefan Milis. "On peut appliquer par exemple des écailles de requin microscopiques. Les bords tranchants percent les parois cellulaires des micro-organismes qui ne survivent pas. Une autre possibilité est l'application de nanopails en plastique sur la surface qui empêchent les micro-organismes de se fixer. Une autre méthode est l'application de couches antiadhésives résistant aux griffures, comme le carbone dur amorphe (DLC), certaines couches de céramique. Certaines peintures, des silicones, le téflon, des sol-gels sont aussi intéressants: ils sont hydrophobes et anti-adhésifs. On peut en outre incorporer à ces revêtements des additifs bactéricides, p.ex. des particules d'argent. Cela les rend encore plus performants comme agents antibactériens. Et enfin, on voit aussi apparaître des matériaux appelés photocatalytiques. Ces matériaux, p.ex à base de dioxyde de titane -TiO₂, sous sa forme 'anastase' -, décompose les impuretés organiques et anorganiques sous l'influence des rayons UV. Comme le verre arrête presque tous les rayons UV, jusqu'il y a peu, cet effet n'était possible qu'à l'extérieur ou en recourant à une source UV artificielle. Des progrès récents ont rendu cet effet possible rien qu'avec la lumière visible en dopant le TiO₂. Cela ouvre de nouvelles possibilités pour son utilisation derrière des vitres ou en lumière artificielle. "Comme vous pouvez le voir, la technologie des matériaux offre encore de nombreuses possibilités pour rendre les composants des machines plus efficaces et rentables, en matière de résistance au frottement, d'usure ou de besoin de nettoyage. Et c'est tout bénéfique pour l'industrie. <<