

# **Interactions mécanique et chimique du ZDDP dans la lubrification des revêtements DLC**

Valentin Salinas

Les revêtements DLC (diamond-like carbon) sont une solution très prometteuse pour réduire les pertes d'énergie et l'usure liées au frottement des composants mécaniques dans les moteurs thermiques. Aujourd'hui, les DLC sont déjà appliqués par exemple sur les cames et poussoirs, mais sont typiquement lubrifiés avec des huiles moteur traditionnelles conçues pour des surfaces en acier. L'effet de certains additifs organométalliques sur les propriétés tribologiques des DLCs n'est cependant pas encore clair. En particulier, l'influence du dialkyldithiophosphate de zinc (ZDDP), largement utilisé pour ses propriétés anti-usure et son caractère antioxydant, doit être précisée.

Les expériences montrent que dans des contacts DLC/DLC, le comportement tribologique peut être optimisé en fonction de la rigidité, la nano-topographie de surface, et la teneur en hydrogène du DLC. Une combinaison optimale de frottement très faible et résistance à l'usure élevée est possible en utilisant un carbone amorphe tétraédrique sans hydrogène (ta-C) avec une dureté modérée. D'autres revêtements relativement moins durs montrent également une résistance à l'usure élevée, ainsi que la formation des tribofilms dérivés du ZDDP, mais présentent un coefficient de frottement plus élevé. D'autre part, des ta-Cs plus durs subissent une forte usure associée à une diffusion du soufre sous la surface.

Afin d'aller plus loin dans la compréhension du rôle du soufre dans l'usure des ta-Cs durs, d'autres additifs avec et sans soufre ont été testés. Encore une fois, une forte usure a été observée avec les additifs soufrés, alors que cette dernière ne se produit pas avec les additifs non soufrés, comme le dialkylphosphate de zinc (ZP). De plus, un couple tribologique asymétrique, de type ta-C dur/acier, permet de limiter la réactivité et la diffusion du soufre à la surface du revêtement carboné, le protégeant ainsi de l'usure. Les solutions proposées dans ce travail de doctorat s'inscrivent dans l'optique de la réduction concomitante du frottement et de l'usure, afin de diminuer la consommation de carburant tout en prolongeant la durée de vie des pièces mécaniques dans les moteurs à combustion interne.

# **Comprehension of friction and wear mechanisms of DLC coatings in ZDDP-lubricated conditions**

Valentin Salinas

For more than a decade now, Diamond-like carbon (DLC) coatings have been applied on internal combustion engine sliding components e.g. cam lobes, tappets, finger followers, and piston rings to reduce energy losses due to friction. These coatings are therefore lubricated with traditional engine oils that were originally developed for steel parts. However, the effect of certain additives, such as zinc-dialkyldithiophosphate (ZDDP), on the tribological behavior of DLCs is still unclear.

The experiments show that for DLC/DLC contacts, the tribological behaviour in ZDDP-additivated oils can be optimized by tailoring their stiffness, surface nano-topography and hydrogen content. An optimal combination of ultralow friction and negligible wear is achieved using hydrogen-free tetrahedral amorphous carbon (ta-C) with moderate hardness. Softer coatings exhibit similarly low wear and thin ZDDP-derived patchy tribofilms, but higher friction. Conversely, harder ta-Cs undergo severe wear and sub-surface sulphur contamination.

To further investigate the effect of sulphur on the wear of hard ta-Cs, other additive molecules with and without sulphur are tested. Wear is also observed with another sulphur-containing additive, di-ter-butyl-trisulphide (TPS), while no wear occurs and ultra-low friction is maintained in Zinc dialkylphosphate (ZP). Furthermore, with an asymmetric ta-C/steel tribopair, the diffusion and reactivity of sulphur at the ta-C surface is limited, thus inhibiting wear. These solutions are in line with the search of reducing friction, avoiding wear, and improving fuel efficiency of ICE in passenger cars.