

Groupe de Travail « Mécanique des Polymères »
Groupe Scientifique et Technique de l'Association Française de Mécanique
parrainé par le G.F.P. (Groupe Français d'Etudes et d'Applications des Polymères)

Compte rendu de la journée du Jeudi 15 Janvier 2009
«Analyse mécanique de surface ;
AFM, Nano indentation et rayure»

Organisation : Noëlle Billon et Bruno Fayolle

Les propriétés des films minces ou de surface de polymères restent encore difficiles à quantifier alors que les effets de confinement et de surface libre nous permettent de les imaginer différentes de celle des polymères massifs.

Des techniques expérimentales existent et sont de plus en plus utilisées. Pour prometteuses que soient ces techniques elles n'en sont pas moins délicates à interpréter et à mettre en œuvre.

La faible « rigidité » des matériaux polymères, leur caractères visco élastique et/ou visco plastique aussi bien que les échelles d'espace considérées (10 nm) rendent indispensables un ajustement des protocoles expérimentaux et des exploitations théoriques.

Cette journée sera l'occasion de faire un état de l'art dans ce domaine et de mettre en perspective apports et limitations de l'AFM, la nano indentation et les essais de rayure.

Remarques sur le déroulement de la journée :

- La journée a regroupé une quarantaine de participants.
- L'analyse mécanique de surface a été abordée depuis l'échelle nanométrique (AFM) à l'échelle macroscopique (Rayure)
- Cette thématique sera abordée dans le futur par un nouveau groupe de travail spécialisé dans les propriétés de surface (A. Chateauminois, C. Gauthier)
- La prochaine journée du groupe se déroulera à la rentrée 2009, le thème restant à définir.

Résumés des présentations :

Bernard Nysten
Unité POLY-UCL CeRMiN

Mesures et imagerie nanomécaniques
par microscopie de force atomique

Le but de cet exposé sera de faire une revue non-exhaustives des méthodes basées sur la microscopie de force atomique (AFM) permettant de mesurer et de cartographier les propriétés

nanomécaniques de surfaces et de nanomatériaux, en particulier les surfaces et les nanostructures polymères.

En ce qui concerne, la mesure des propriétés mécaniques, en particulier le module élastique, les techniques suivantes seront présentées :

- * nanoindentation par la mesure de courbes de force,
- * essais de flexion 3 points nanoscopiques par la mesure de courbes de force,
- * mesures en AFM de contact « résonant » (ultrasonic AFM).

Différentes techniques permettant de cartographier à l'échelle nanométrique les propriétés mécaniques de surfaces polymères seront ensuite décrites brièvement :

- * imagerie en mode « force-volume »,
- * la microscopie de modulation de force (FMM),
- * * la mode de force pulsée (Pulsed Force Mode),
- * * l'imagerie de la phase en mode d'amplitude modulée (AM-AFM).

Le mode « Harmonix » récemment introduit sur le marché sera aussi abordé.

Eric Felder
Mines-Paristech, CEMEF

Etude par indentation et nano-indentation
des propriétés mécaniques des polymères

Le but de cet exposé est de faire le point sur les possibilités de mesure des propriétés mécaniques des polymères par les essais d'indentation. Sans rentrer trop dans les détails techniques, on présentera successivement :

- Un bref historique des essais d'indentation depuis Brinell jusqu'à la nano-indentation
- Les principales modalités de mise en œuvre : géométries des indenteurs ; essais « traditionnels » de dureté, essais d'indentation instrumentée
- Les concepts thermomécaniques de base de l'indentation: relation entre les conditions de l'essai (géométrie et mode de chargement de l'indenteur) et déformation et vitesse de déformation représentatives, régime thermique du matériau lors de l'essai ; conséquences pratiques ;
- Le problème de l'aire de contact et de la mesure du module d'Young des polymères en indentation instrumentée
- L'identification des réponses fréquentielles, des paramètres de modèles visco-élastiques linéaires, de modèle viscoélastiques-plastique.
- L'identification des courbes contrainte-déformation à moyenne et grande déformation
- Les effets de taille.

Mots-Clés: Dureté, Nanoindentation, polymères, courbe contrainte-déformation, simulation numérique, viscoélasticité, viscoplasticité, effets de taille.

Antoine Chateauminois
ESPCI, PPMD

Propriétés mécaniques de films polymères confinés
dans ses contacts : viscoélasticité et plasticité

Les contacts mettant en jeu des couches minces sont souvent associés à un confinement mécanique caractérisé par de fortes amplifications des déformations, ainsi que par des niveaux de pression hydrostatique élevés. Sous de telles conditions, le comportement mécanique de couches polymères peut différer largement de la réponse à l'état massif. Dans le cas de couches vitreuses, des comportements non linéaires liés, par exemple, au développement de la plasticité sous forte pression hydrostatique sont attendus. Ces régimes plastiques encore mal compris se rencontrent dans de nombreuses situations, parmi lesquelles on peut citer le frottement ou encore le cisaillement des adhésifs.

Au travers d'une analyse mécanique de contacts revêtus en situation de confinement, nous présenterons des résultats expérimentaux récents obtenus sur des couches polymères par des méthodes de contact latéral. Ceux-ci nous permettront de discuter de la dépendance en pression du comportement viscoélastique linéaire de films polymères dans leur zone de transition vitreuse. Des aspects largement plus méconnus liés à la rhéologie de couches polymères confinées en régime de plasticité cyclique (rajeunissement mécanique) seront également abordés.

Christian Gauthier
ICS CNRS-UPR 22 Strasbourg

COMPORTEMENT AU FROTTEMENT ET A LA
RAYURE D'UNE SURFACE DE POLYMERE

L'analyse du contact en mouvement tangentiel entre une pointe rigide et la surface d'un polymère solide sera présentée. Tout contact met en œuvre une réponse volumique (des déformations plus ou moins plastiques) et une réponse surfacique (frottement). Nous avons cherché à dissocier ces réponses tout en gérant les dépendances en température et en vitesse. L'effet de la viscoélasticité sur la pression moyenne de contact et sur la scission interfaciale sera présenté. Quelques endommagements observés sur polymères non revêtus seront présentés et analysés (craquelure, cisaillement).

Le coefficient de frottement apparent est le rapport entre la force tangentielle et la force normale imposée à l'objet qui se déplace. Il est en général décomposé en une part d'obstacle et une part de frottement adhésif. Un modèle d'analyse du frottement apparent a été développé pour analyser les évolutions observées pour le frottement apparent lorsque le contact élastique devient plastique. Des mesures récentes indiquent que le frottement vrai local dépend de la recouvrance structurale et que la plasticité peut réactiver ce frottement à sa valeur initiale.