

Compte rendu de la Réunion de la

COMMISSION THEMATIQUE

LAMINAGE

06 Avril 2017, 14-17h

Paris

MINES ParisTech
60 boulevard Saint-Michel, salle Chevalier

Ordre du jour

1 – Exposé & discussion: Tribologie du laminage à chaud

14h00 – 16h00

- Tribologie du laminage à chaud de l'aluminium *Patrick DENEUVILLE*
- Etude de la tribologie des procédés de mise en forme à chaud avec le Warm and Hot Upsetting Sliding Test.
André DUBOIS

2 – Bilan commenté des actions 2016 et Proposition d'actions 2017

16h00 – 17h00

2.1 Actions 2016

- Article pour SF2Minfo (Janvier 2016)
- Réunion du 17 Mars 2016: exposé sur la rectification des cylindres (P. Deneuille)
- ESAFORM (Avril 2016): thème "planéité & rectitude"

2.2 Propositions 2017

- IOM3 / SF2M conference : mesure et contrôle (D. Farrugia / J. Hinton)
- Journée Thématique de la CT Laminage
- Article Techniques de l'Ingénieur sur la modélisation du laminage (version 3D)

3 – Mode de fonctionnement, élection d'un Président et de vice-présidents

1 - Exposés & discussions

Tribologie du laminage à chaud de l'aluminium

Patrick DENEUVILLE

Les conditions de contact

- température de bande 500°C → 250°C mais $T_{\text{contact}} < 200^\circ\text{C}$
- forte contrainte (pour les alliages durs)
- fort glissement car les réductions sont grandes
- zone corticale de la bande chargée en oxydes dont l'alumine, très abrasive.

Problèmes et objectifs

1. limiter l'adhésion est un enjeu majeur : risque de collage global de la plaque ou de la tôle, risque d'encrassement du cylindre par de l'aluminium arraché à la tôle ou "pick up"
2. limiter le frottement : maîtrise des efforts pour limiter la flexion et les problèmes de planéité, sans violer la condition d'engagement (risque de patinage ou refus d'engagement)
3. l'usure apparaît comme un problème secondaire
4. propreté du produit, liée aussi aux phénomènes d'adhésion (point 1, re-transfert du pick-up)

Essais tribologiques

- Les tribomètres standard (pin-on-disk etc.) sont peu représentatifs, que ce soit en usure ou en frottement
- un essai spécifique, sous fort glissement et forte pression: sur un laminoir d'essai, on lamine une barre à contre-sens (en poussant bien sûr la barre dans l'emprise) – ou comment transformer un laminoir en tribomètre.
Les résultats sont bons sur certains points, moins sur d'autres. Par exemple des essais répétés montrent qu'avec chromage, le frottement baisse d'essai en essai au lieu de monter si le cylindre n'est pas chromé. Les observations en usine ne confirment pas. Par contre, l'essai montre plus de collages en l'absence de chromage et cette observation-là est confirmée.
- Laminage d'essai à chaud

Recherche de solutions: les cylindres:

- de manière générale, acier à 5 à 7% (jusqu'à 12%) de chrome, le plus souvent revêtus de chrome dur en sus (anti-adhésion, résistance à l'usure). Problème: le chrome sera banni à terme par REACH, même si un sursis a été obtenu jusque vers 2030). La rugosité est et doit rester $Ra = 1 - 3 \mu m$ pour éviter les refus d'engagement; les cylindres sont souvent brossés pour limiter l'encrassement par l'aluminium et améliorer la qualité de surface des bandes.
- des cylindres HSS ont été essayés (sans chromage) mais difficiles à rectifier.
- essais en laboratoire de revêtements PVD ou plasma comparés au Cr. Un revêtement Plasma donne lieu à beaucoup plus d'adhésion que le chromage, un PVD (WC) donne très peu de pick up. Le problème pour l'industrialisation de telles solutions reste qu'il n'existe pas de réacteurs de taille suffisante.

Recherche de solutions: le lubrifiant

- A chaud, il s'agit d'émulsions (O/W, 1 à 10%) → refroidissement des outils, frottement, usure. La qualité de l'eau (deminéralisée) est essentielle; il faut assurer des débits jusqu'à 2000 m³/h !
- Caractéristiques importantes: point de Leidenfrost élevé (transition caléfaction → mouillage à haute température pour un bon refroidissement), plate-out et mouillabilité sur métal chaud (essai spécifique) et bien sûr composition de l'huile, qui est la phase lubrifiante.
- En effet, le mécanisme de lubrification implique la formation d'un film d'huile pure par des phénomènes conjugués de plate-out et de concentration dynamique. Cela conduit à privilégier des émulsions très instables → à faible teneur en émulgateur, avec le problème de maîtrise des bains et des circuits.
- L'huile est en général minérale (viscosité 50 à 100 cSt @ 40°C). les additifs dépendent en principe du portefeuille d'alliages à laminier. Ce sont plutôt des additifs gérant la viscosité à haute température, haute vitesse de cisaillement. Pas de réaction sur l'aluminium ni sur les cylindres – contrairement aux extrême-pression: interdiction des molécules soufrées, chlorées ou phosphorées qui tachent la bande.
- Emulgateur = souvent un mélange de surfactants (rôle émulsifiant, haute température, dispersant...).
- Autres tentatives: utilisation de solutions vraies, arrosages eau/huile séparés, adaptation de la concentration...
- Problèmes à suivre: vieillissement et évolution du frottement; filtration compliquée; "tramp oils" (hydrauliques) dégradant les propriétés lubrifiantes....

Etude de la tribologie des procédés de mise en forme à chaud avec le Warm and Hot Upsetting Sliding Test. *André DUBOIS*

Le WHUST est un essai tribologique de type glissement pur entre un lopin cylindrique chaud et un frotteur représentant un outil de forgeage, porté typiquement à 200°C. Quelques caractéristiques:

- essai à fort glissement (\rightarrow 40 mm),
- haute pression (supérieure à la contrainte d'écoulement du métal à former)
- déformation de surface ("extension de surface") réglable par calcul FEM via la pénétration du frotteur dans le lopin.
- on lubrifie le frotteur-outil (pour reproduire le forgeage à chaud d'acier) mais on peut aussi lubrifier le lopin (forgeage à froid, forgeage à chaud d'alliages de Ti ou Zr, de superalliages).
- le lopin est chauffé, oxydé éventuellement comme dans la réalité.
- on mesure le frottement, on observe les surfaces (rayures)

Applications: comparaison entre eau graphitée vs lubrifiants "blancs" (sel, émulsion, revêtement sol-gel)

- Graphite (dispersion dans l'eau avec liant): formation d'une couche de Gr par aspersion et évaporation (on fait varier l'épaisseur de 10 à 50 μm par le temps d'application). Après essai, si l'épaisseur est faible, beaucoup de transfert d'oxyde et des rayures apparaissent rapidement. Plus l'épaisseur de Gr est grande, plus le film reste uniforme, plus les rayures sont tardives et le frottement bas. Une granulométrie fine favorise l'homogénéité du film tout au long de l'essai et fournit une meilleure protection et un coefficient de frottement plus bas. Importance du liant (10% / 30% / 50%): trop de liant conduit à un manque de graphite, trop peu donne une couche peu cohérente et une moindre protection.

- Les lubrifiants blancs se développent dans les ateliers de forgeage à chaud pour des questions de propreté mais restent moins efficaces.

2 essais sont présentés: (1) sel de Na, (2) émulsion de polysiloxane. Le coefficient empire plus vite avec les deux lubrifiants "blancs" qu'avec Gr, les rayures apparaissent vite : ils ne sont efficaces que pour de faibles longueurs de glissement. La performance médiocre est attribuée à une mauvaise adhérence de ces lubrifiants sur la surface

Dépôt sol-gel sur les frotteurs (outils) d'alumine renforcée soit par des cristaux d' $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$, soit par du h-BN. Essais WHUST à sec → la formulation à h-BN conduit à moins de collages, moins de frottement. La combinaison de tels revêtements avec des lubrifiants blancs mériterait d'être testée.

2 – 1 Bilan des actions 2016

1 - Réunion : 17 Mars 2016 à Paris

- exposé de P. Deneuille: "rectification des cylindres".
- compte rendu de la réunion des Présidents de CT et proposition de mode de fonctionnement élargi
- propositions d'actions pour 2017, dont 2 trouvent une concrétisation : mesure en ligne (conférence IOM3 prévue en Décembre 2017) et "tribologie à chaud" (exposés de ce jour, pouvant déboucher eux-mêmes sur une Journée Thématique)

2 - Article dans SF2M Info :

"Conjuguer précision et rapidité - vers une nouvelle génération de modèles de laminage des produits plats".
P. Montmitonnet, Q.T. Ngo, édition de Janvier 2016 – *une expérience à renouveler.*

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

L'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) n'a recueilli que 4 communications et a donc été fusionné avec la riche session "Rolling & Forging".

Attention au choix des thèmes, la curiosité semble être un vilain défaut – mieux vaut solliciter sur un sujet où tout le monde va, et suffisamment large pour avoir un nombre suffisant de papiers.

Les grandes sessions portent sur des (familles de) procédés, les auteurs de travaux sur la planéité en laminage doivent choisir entre "laminage" et "planéité" et vont de préférence en "laminage" où ils auront plus d'audience. Les thèmes transversaux ont du mal à vivre.

2 – 2 Actions 2017

- **IOM3 conference** "Measuring and controlling surface and bulk properties through sensing & instrumentation during metal processing "(D. Farrugia / J. Hinton) – SF2M / la CT Laminage - et la SF2M – y sont associées (diffusion de l'AAC)

Ce thème avait été abordé lors de la réunion de Mars 2013 et nous avons pensé en faire le thème soit d'une journée thématique, soit d'une session de conférence. Rolling 2016 à Graz a permis de constater que le sujet est en pleine maturation. L'IOM3 le fait, probablement début Décembre 2017 à Warwick.

- **Journée Thématique en 2017**: l'expérience de la journée "criques", maintenant ancienne (fin 2012) fut réellement intéressante et mérite d'être renouvelée. Nous devons choisir entre plusieurs possibilités:

- frottement, usure, lubrification du laminage à chaud faisant suite aux exposés de ce jour
- porosités et criques: ouverture, fermeture, guérison ← conserve son intérêt

Une autre proposition a émergé à cette réunion: "bilan pratique et critique de l'apport de la simulation numérique en laminage". On envisage de mêler des témoignages en provenance des entreprises (possibilités, succès, limites) et des exposés académiques sur des modélisations avancées (par exemple sur un thème endommagement ou fissuration, voir ci-dessus) qui ouvriraient à plus ou moins long terme des perspectives de progrès pratique. Alexis Gaillac se propose pour aider à l'organisation.

Article Techniques de l'Ingénieur sur la modélisation du laminage

Il s'agit d'un 3^{ème} article sur la modélisation, qui porte exclusivement sur les effets 3D: élargissement, flexion des cylindres, planéité et planage des produits plats, flexion et dressage des produits longs, endommagement et criques de rive, hétérogénéité de température. Toutes les bonnes volontés sont les bienvenues.

Plan prévisionnel et avancement

Introduction : catalogue raisonné et illustré des problèmes 3D en laminage

1 – Elargissement

Influence des ratios dimensionnels, localité de l'écoulement transverse; effets du frottement, de l'anisotropie, du caractère biphasé, du gradient de température. Exemples: produits longs et remplissage des cannelures, cages horizontales et verticales au dégrossissage à chaud des aciers, rétrécissement au tandem à froid.

2 – Déformation des cages, profil et planéité (produit plats)

Description générale et modélisation. Application au calcul du défaut de profil, de la planéité, du planage.

3 – Défauts de rectitude et dressage (produits longs)

4 – Endommagement et fissuration

Phénoménologie et modélisation des criques et de la porosité. Effet d'hérédité cisailage / laminage.

5 – Hétérogénéité de la température

Défauts liés aux gradients de température et leur modélisation

6 – Conclusion / perspectives: couplages entre procédés, modélisation rapide...

3 – Vie de la Commission Thématique

3.1 Evolution du mode de fonctionnement (rappels)

- Les réunions sont désormais ouvertes, elles sont annoncées au préalable via le site de la SF2M et SF2Minfo une fois la date fixée entre membres. Celle-ci est la première du genre.
- Il me semble que cela remplira mieux l'objectif assigné aux CT, « *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.* »
- peut-on aller vers des réunions d'une journée complète afin d'inclure systématiquement un mini-colloque (6-8 présentations) sur un thème fixé à l'avance ?

3.2 Elections

- l'objectif est d'avoir un Président et un vice-président (ou "past president")
- Pas de candidat déclaré en réunion, un appel sera lancé via Internet

Nous avons réfléchi à un élargissement de la CT au "bulk forming" pour une audience plus large.

Tribology of Aluminium Hot Rolling

Patrick Deneuille
Constellium C-Tec

SF2M CommisionTechnique Laminage
06 Avril 2017



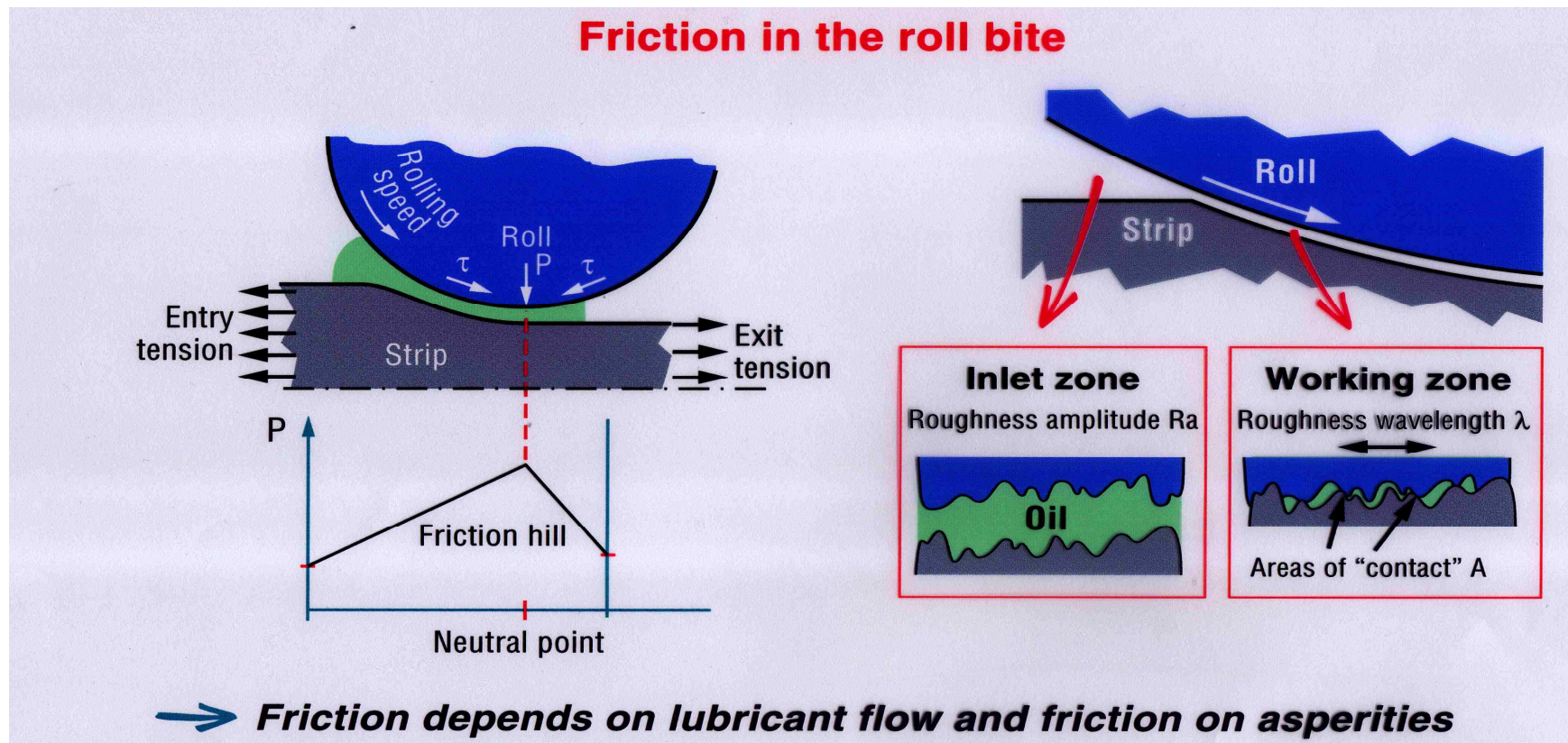


Outline

- ▲ **1. Hot rolling conditions : partners in the roll bite**
- ▲ **2. Roll considerations**
- ▲ **3. Lubrication considerations**
- ▲ **4. Questions/Discussion**

Introduction

- Inside the roll bite three protagonists
 - ▶ The hot Aluminium
 - ▶ The manufacturing tools : the rolls
 - ▶ The interface: the coolant or lubricant





Introduction : 1st partner the metal

- **Aluminium in hot rolling**
 - ▶ 250 °C to 500 °C
 - ▶ Various alloys : soft and hard.
 - ▶ 50 to 350 Mpa (not very high but if wide, roll bite long due to thickness)
 - ▶ Cortical zone from casting with hard abrasive oxides
 - ▶ Natural oxides

 - **Typical sizes**
 - ▶ From 600 mm to 2 mm
 - ▶ Breakdowns (multipasses) and tandems (successive passes in a row)

 - **Constraints**
 - ▶ Flatness and thickness distribution in width
 - ▶ Cleanliness
 - ▶ Fresh reactive surface created by the elongation
-



Introduction : 2nd partner the rolls

- **Conditions**
 - ▶ Temperature of contact normally under 200°C
 - ▶ Tempering temperature limit to respect

- **Hardness**
 - ▶ High stresses, high sliding (shear stresses)
 - ▶ Abrasive materials and particles

- **Constraints**
 - ▶ Keep the roughness
 - ▶ Avoid bite refusals
 - ▶ Bending and temperature control (flatness)
 - ▶ Grindability



Introduction : 3rd partner the emulsion

- **A rolling emulsion has two main functions :**
 - ▶ Reduce and control the friction and eventually the wear
 - ▶ Cool down the rolls to control the temperature at a reasonable level

- **That's why 2 main components :**
 - ▶ A formulated oil
 - ▶ Water (most often DI water)

- **Constraints**
 - ▶ Be unstable for a good friction reduction
 - ▶ Be stable for storage in the tanks



Introduction : Tribology? Where and what

- **Contact conditions**

- ▶ **High stresses; high temperatures**
- ▶ **Roughness relatively important**
- ▶ **High relative slidings**
- ▶ **Abrasives particles coming mainly from the oxide (alumina)**

- **Phenomenons**

- ▶ **Temperature and friction to be controlled**
- ▶ **Wear to be evaluated and measured**
- ▶ **Aluminium build up on rolls**
- ▶ **Accidents**



The roll side : which material

How to select the best tool surface material and to simulate long term performances?

- **Classical bench friction/wear tests**
 - **Wear test easy but poor relation with real life**
 - **Friction measurements (pin on disc, pin on flat, ...)**

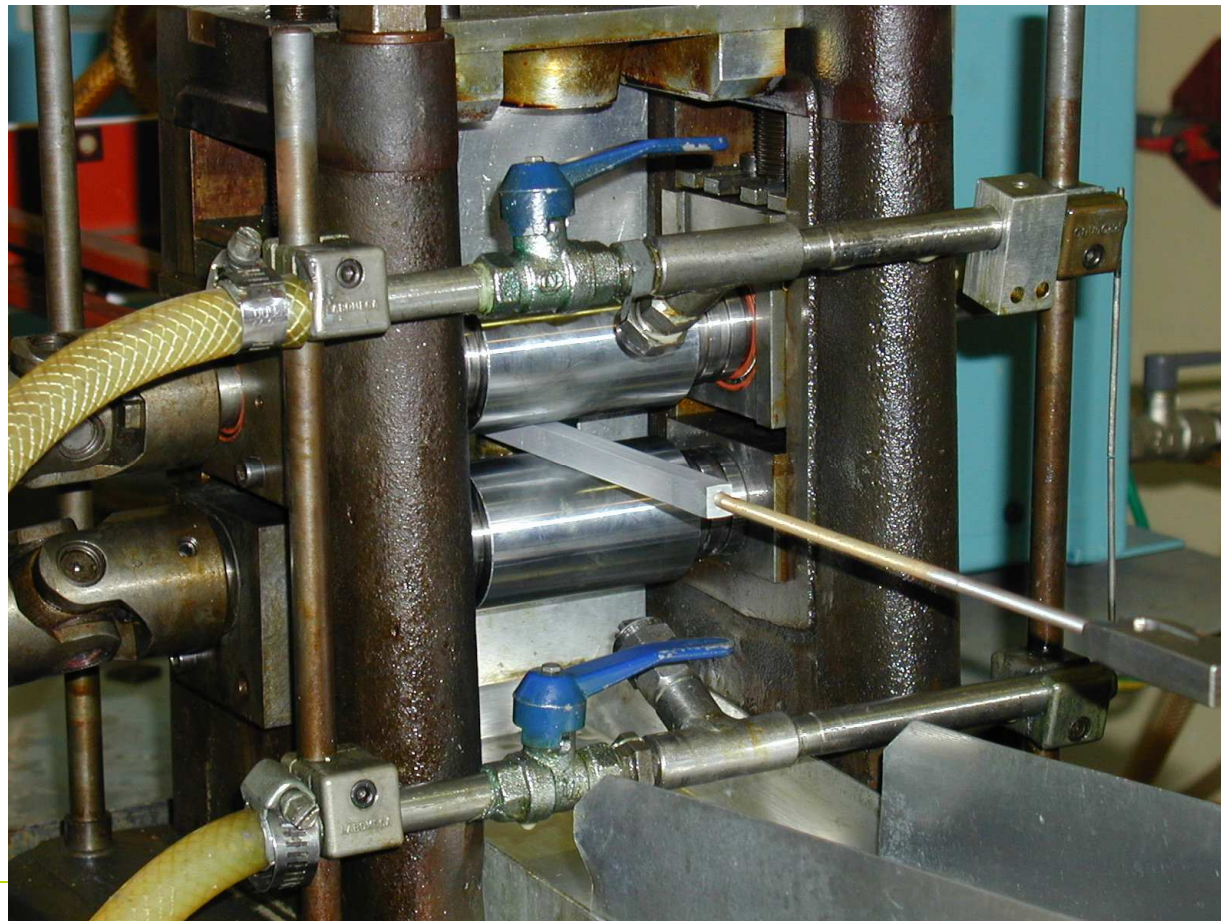
- **Representative lab tests**
 - **Small mills**

Today High Cr rolls or chrome plated (not yet about to be replaced)

HSS not easy to grind

First step: hot rolling simulator (not a tribometer)

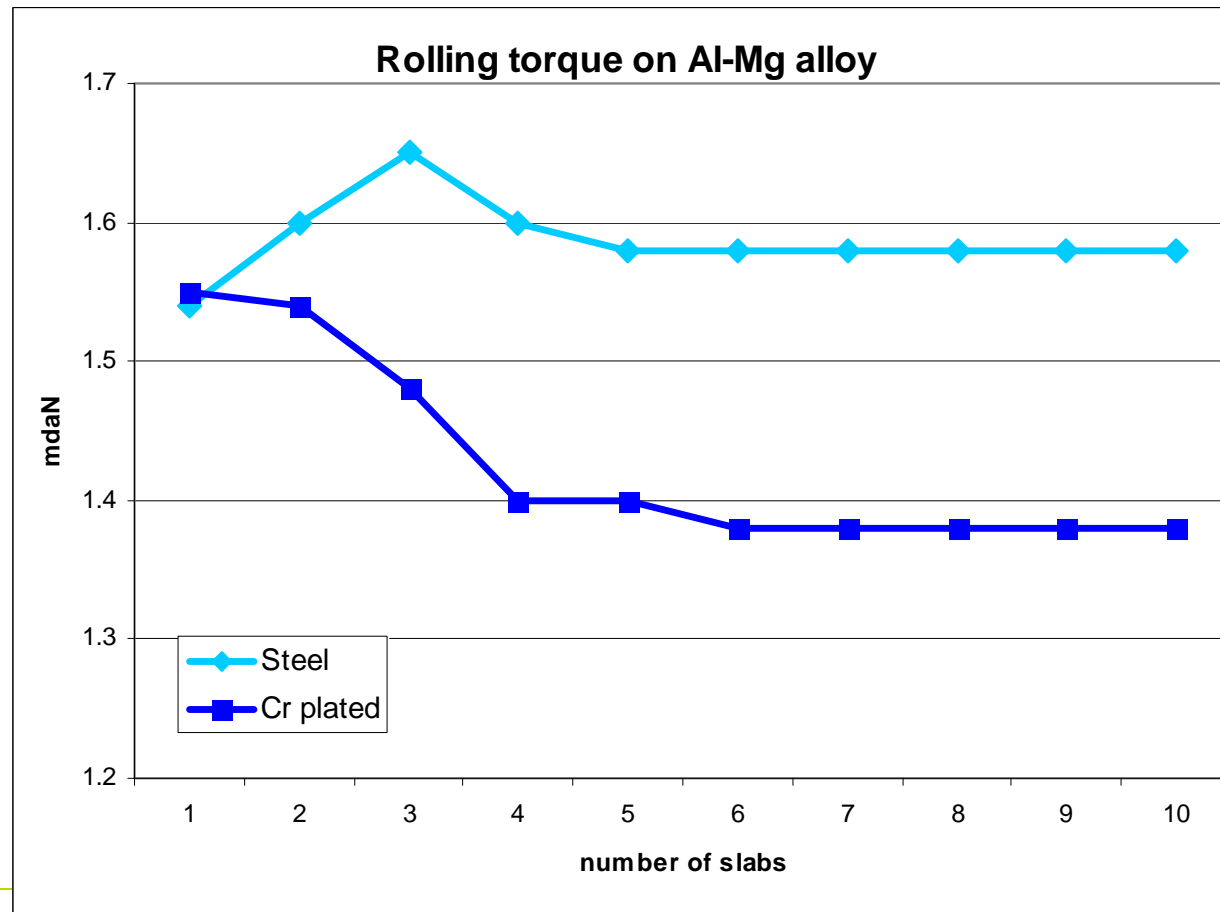
Specific “tribometer” to roll bars, rolls with various hard coatings, torque measurement



First: hot rolling simulator

Comparison between steel and chrome plated rolls

Friction via the torque (successive slabs without cleaning) & build-up



First: hot rolling simulator

Build-up layer after 10 samples

:

- Layer well visible on the steel roll
- Layer less pronounced on the Cr plated roll

But what about the thermal exchanges?





First conclusions

Relatively easy screening

The trial shows differences between the tool materials :

- **Interactions between alloys surface and tool lead to strong differences in build-up layer**
- **Friction stabilized after 5 samples, but different (linked to the Al layer?)**

Tool surface nature appears to play an important role

But it is a bench test even if close to rolling

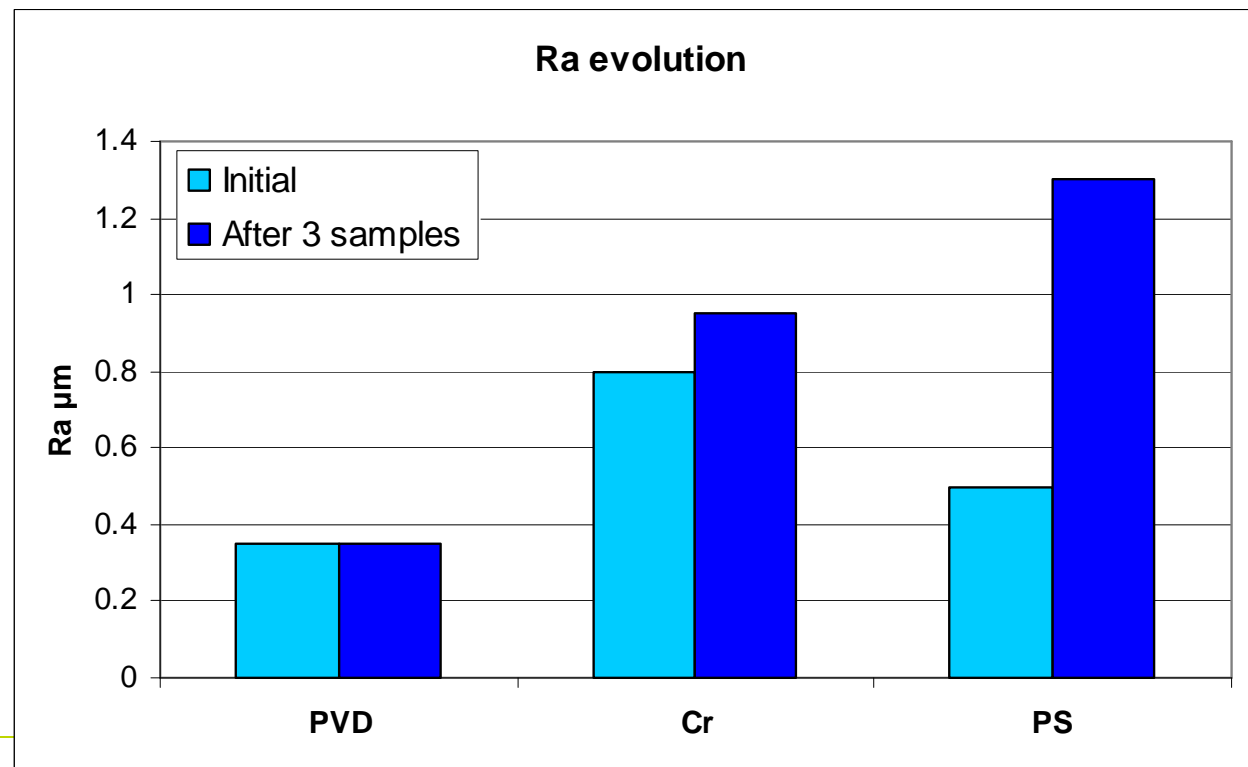
2nd step :hot rolling on a lab mill hard coatings

On a small mill, chrome plated rolls,

Hard coatings PVD or plasma sprayed on steel rolls

Rolling of 3 samples of 1050 (450°C)

Build-up layer : visual aspect, roughness measurements





Step 2: hot rolling on a lab mill

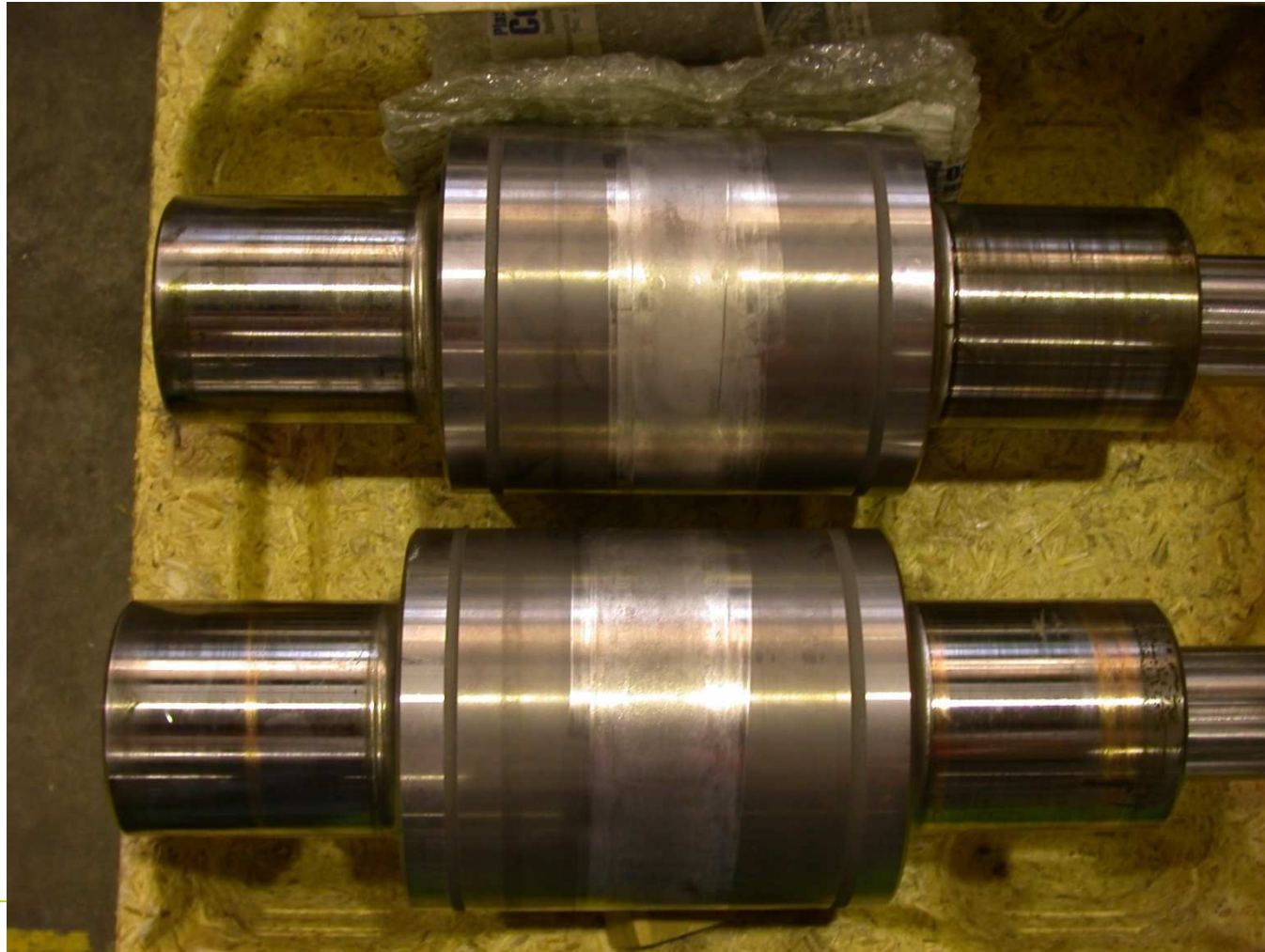
PVD coating type





Step 2: hot rolling on a lab mill

Plasma spraying coating type





Second conclusions

On a mill still strong differences in build-up layers

- **Almost no build-up**
- **Or quick “building” of the layer**

What about the influence of the initial roughness?

In reality most often the rolls are re ground due to other causes than wear : marks, indentations, too much build up

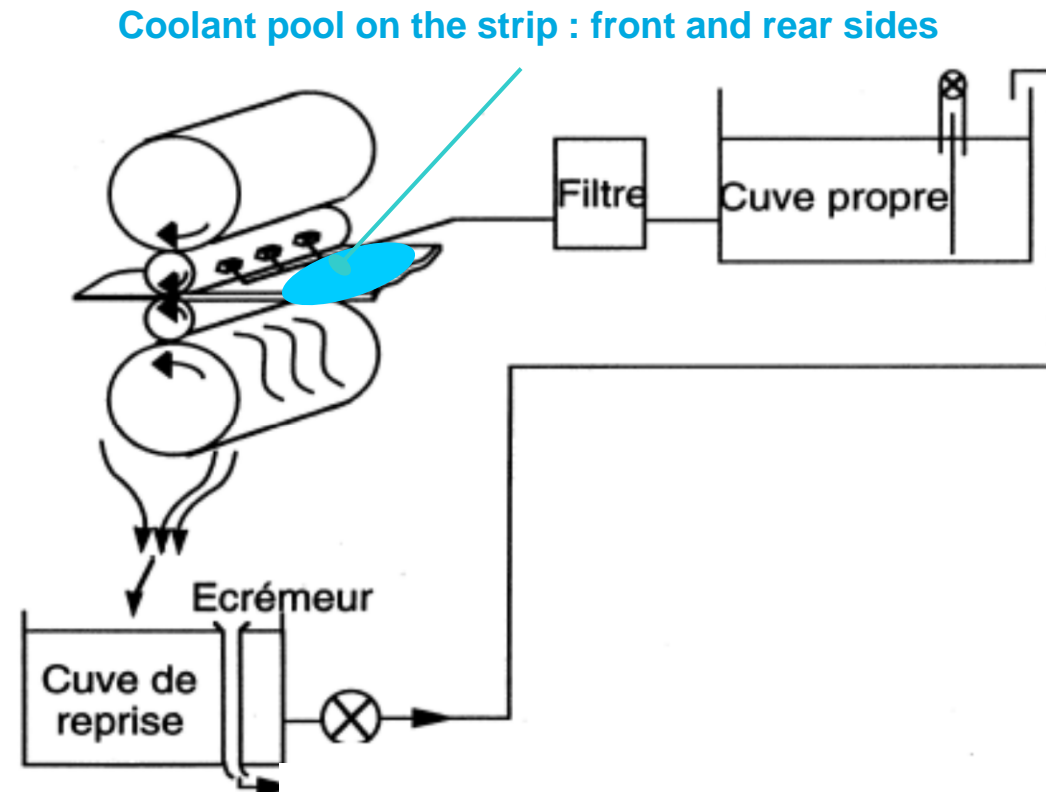


The lubrication side

- **Most often an emulsion «a coolant »**
- **Heat exchange considerations : Leidenfrost point**
- **Second point lubrication of the roll bite : plate out phenomenon**
- **Efficiency : composition of the oil**

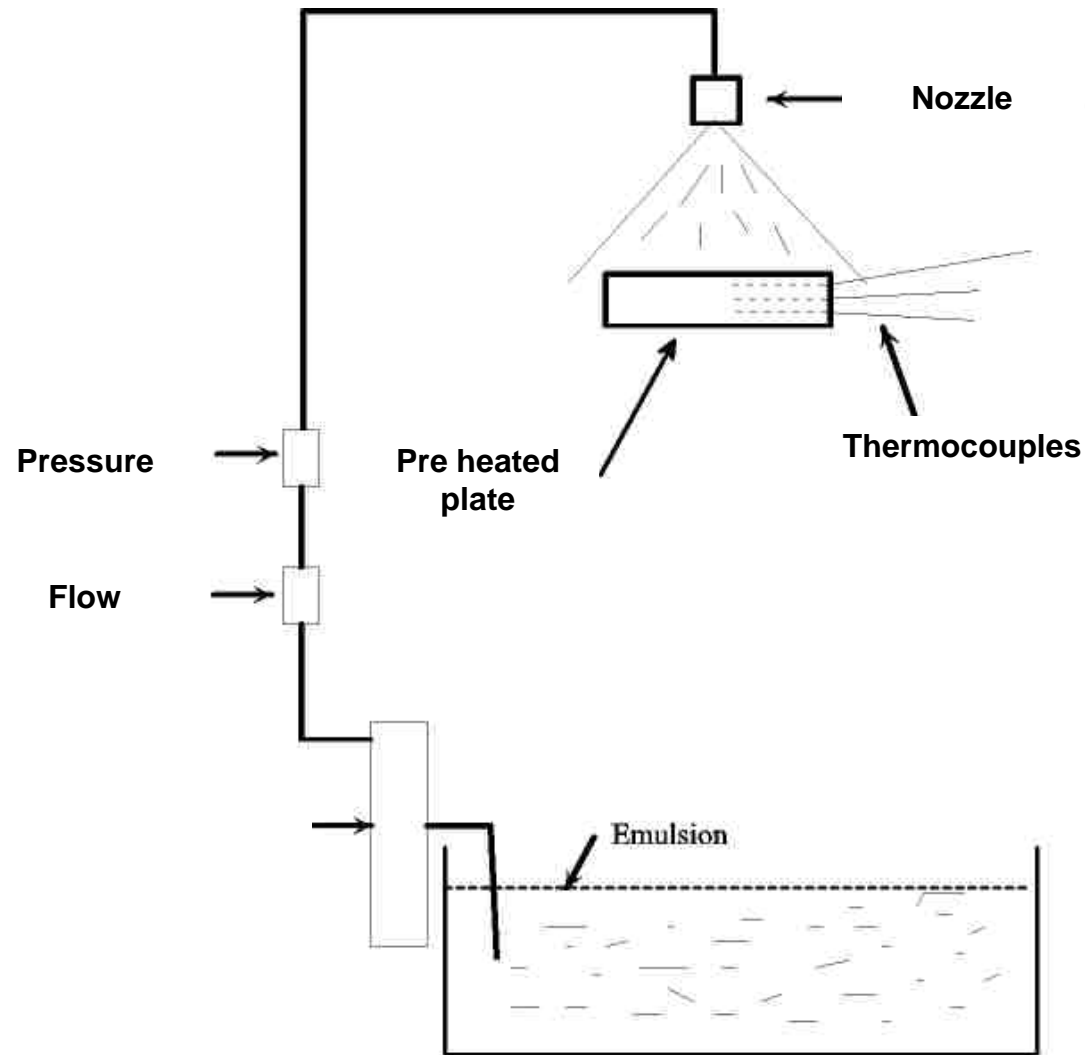
Cooling in hot rolling

- Why the necessity to cool and what to cool down?
 - ▶ Huge amounts of energy due to plastic deformation work generated **internally in the strip**
 - ▶ Friction energy partitioned **between the strip and the rolls**
 - ▶ Adjust the roll dilatation across the width to monitor the gauge profile



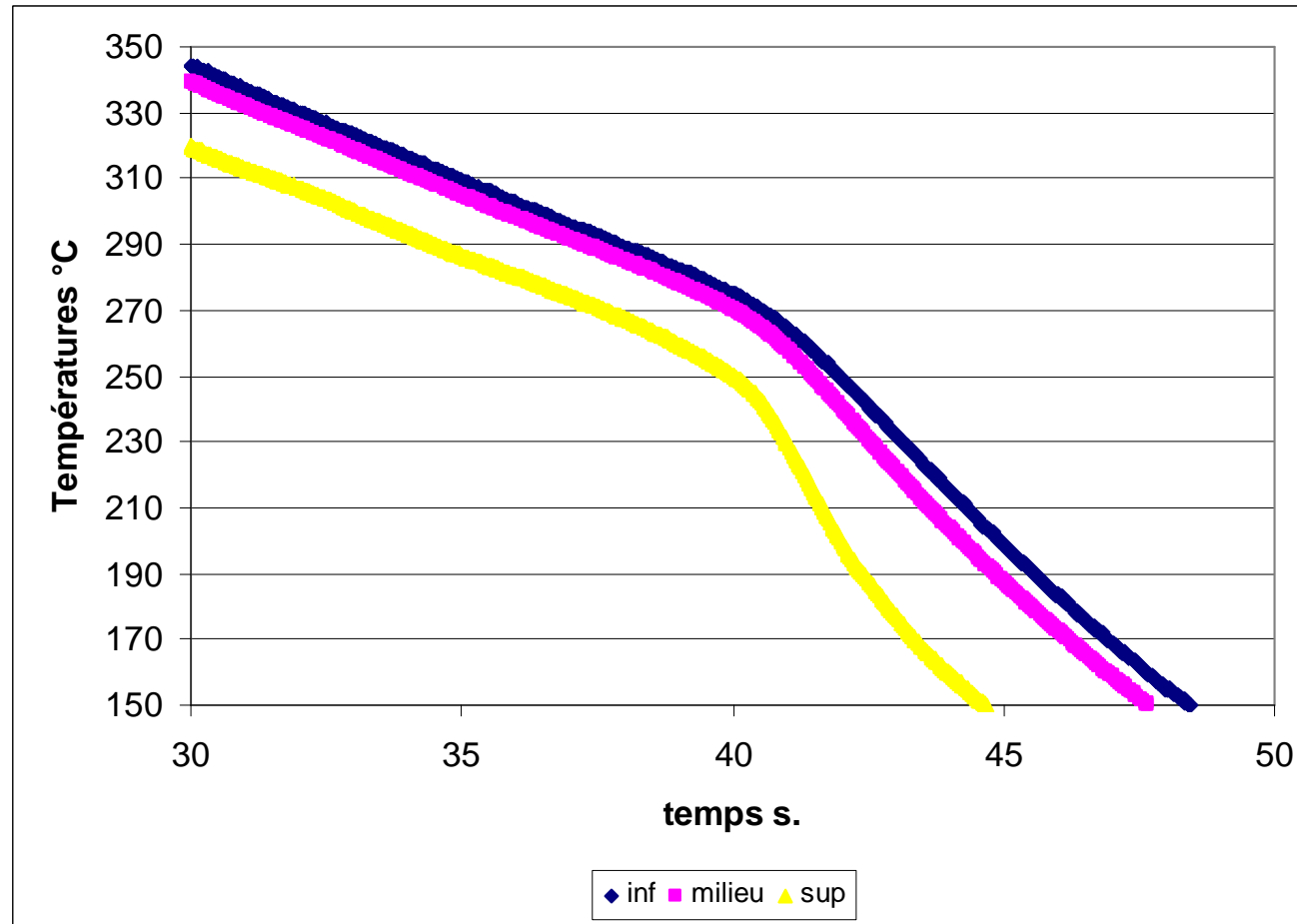
Cooling a strip or a plate: experimental

- The strip is pre heated and then flushed with the fluid
- Three thermocouples describe the heat flux or temperature drop in the bulk



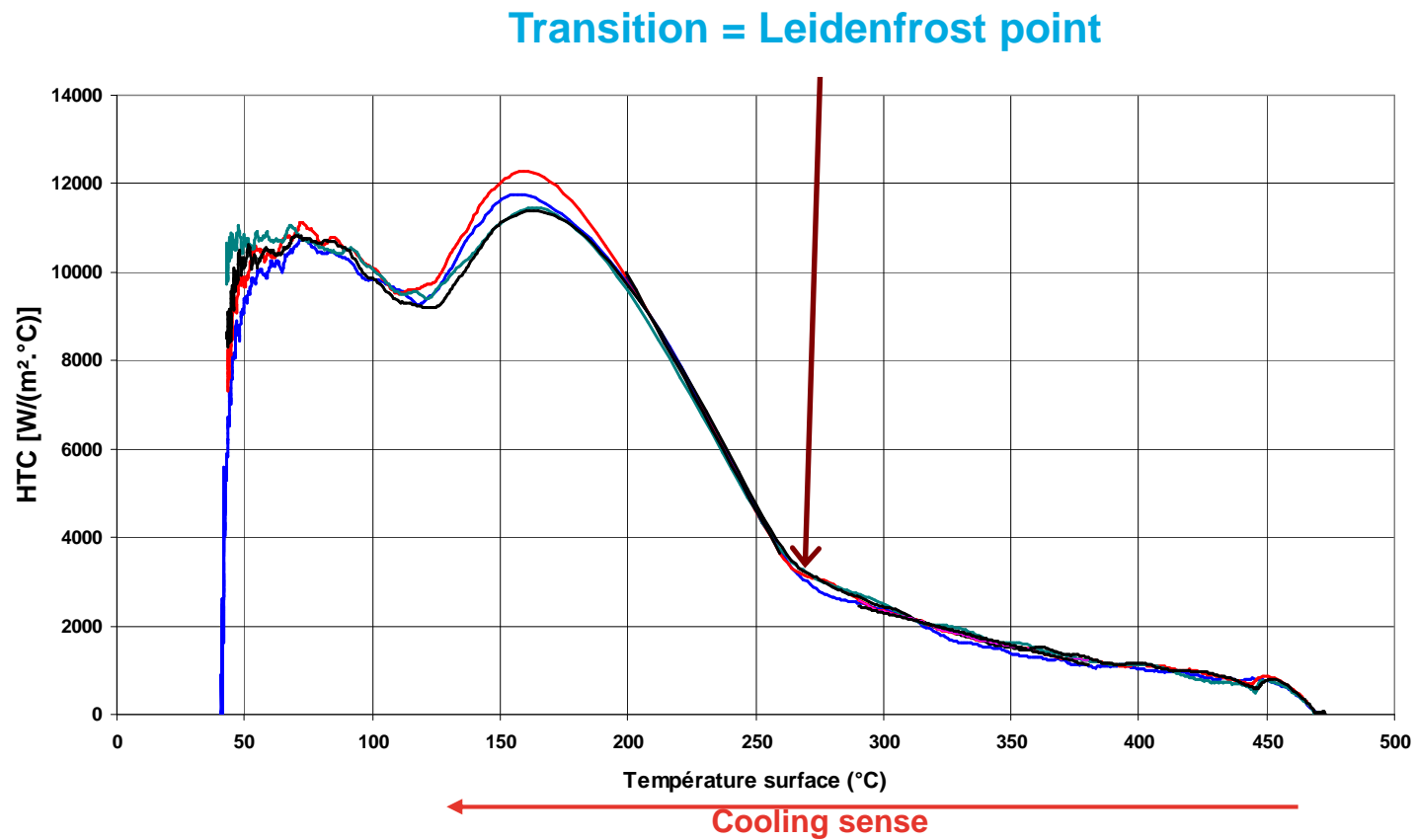
Experimental

■ Three temperatures in depth



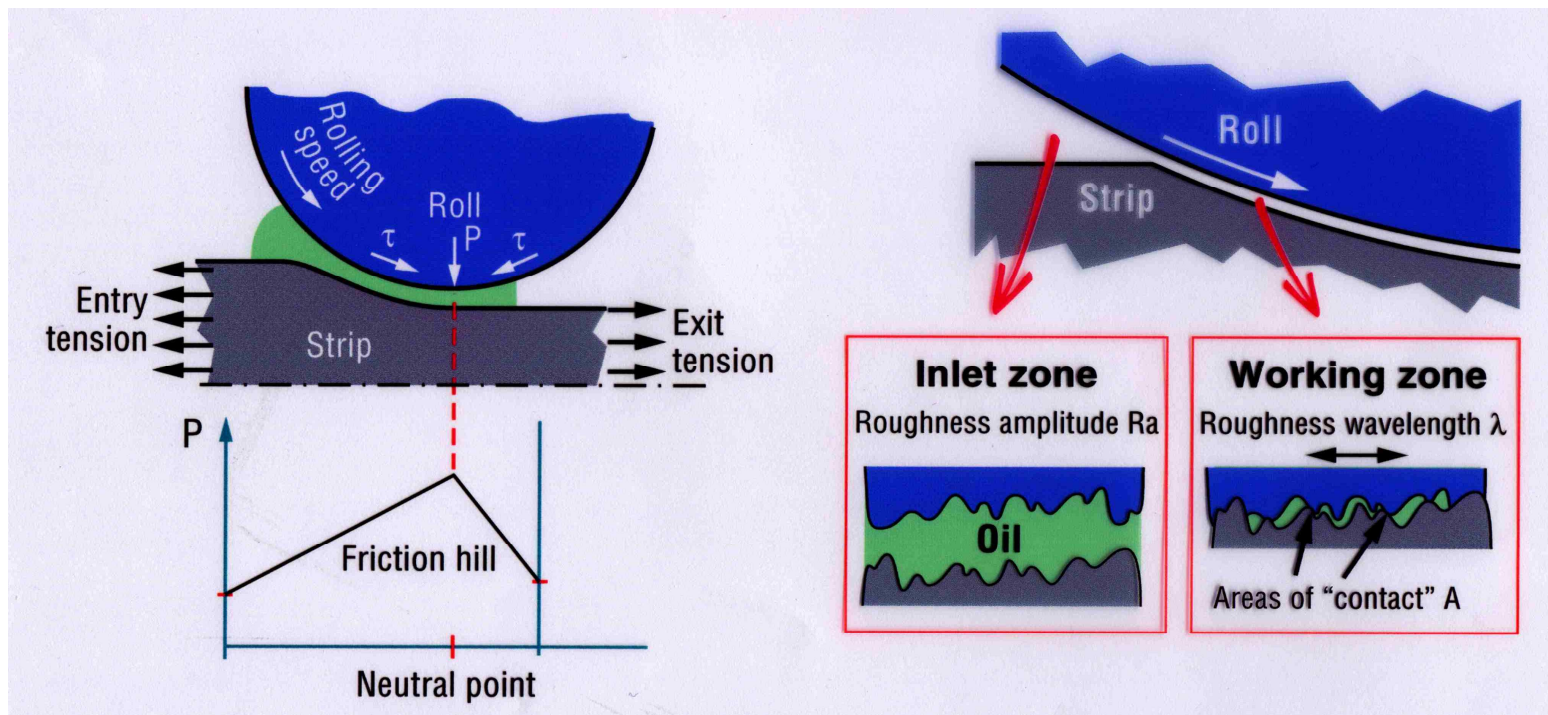
Heat exchange coefficients: Leidenfrost point

- Evolution of the heat exchange coefficient against the temperature
- Transition between calefaction and wetting



Lubrication: need for a consistent oil film

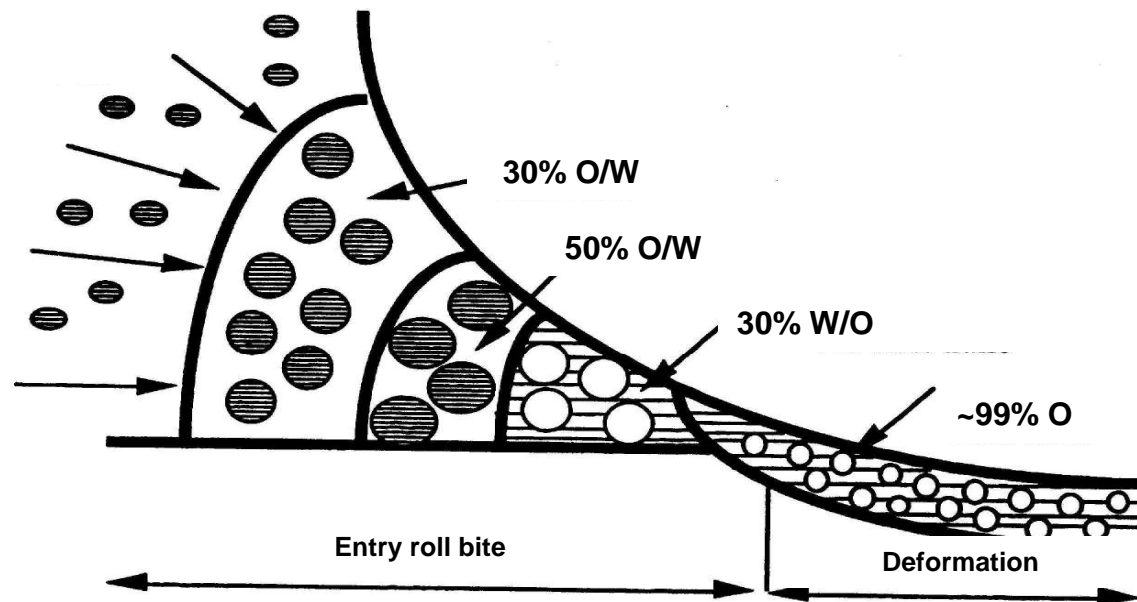
- The best cooling media is water yes but
- As a first approximation the friction is controlled by the oil film thickness
- The roll bite must be fed with enough oil



Lubrication: specificity of an emulsion

A good bite feeding is not fully acquired

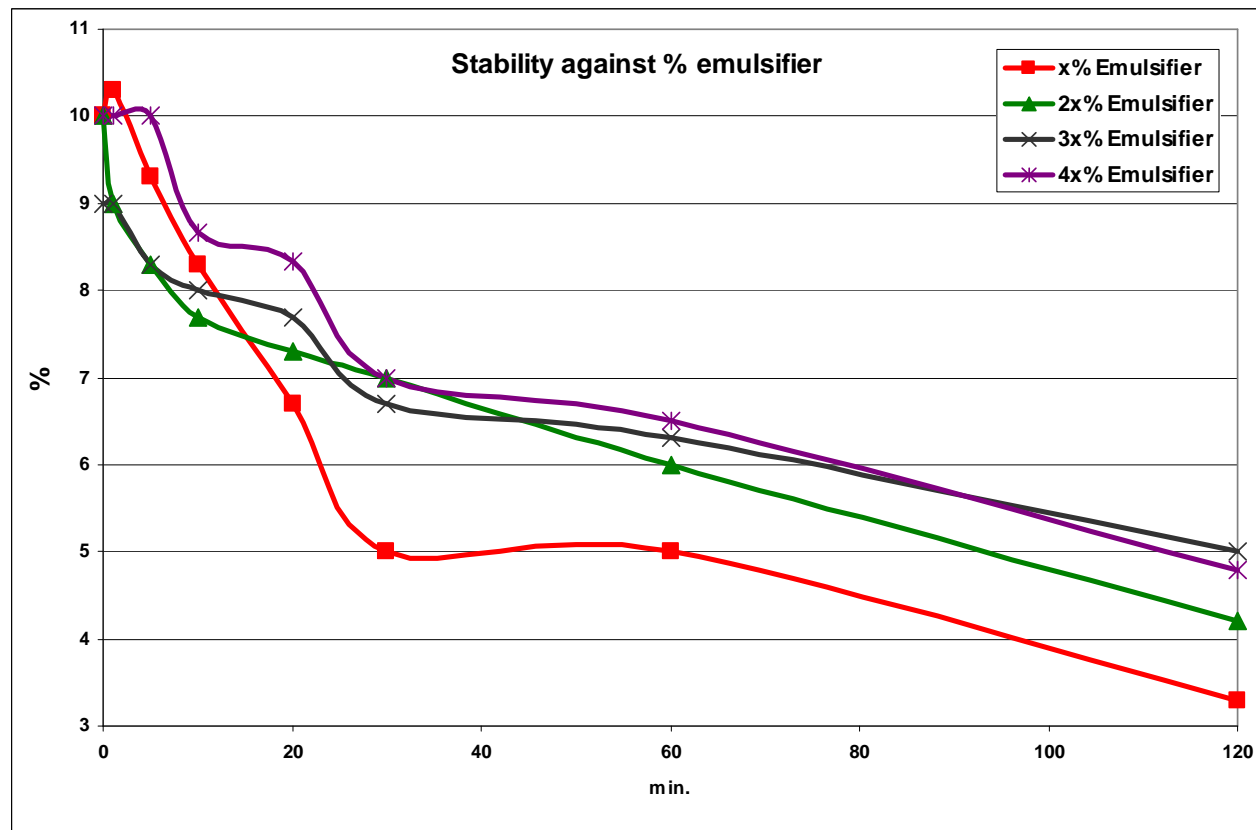
- ▶ Phenomenon of oil phase concentration (plate out)
- ▶ Phase inversion theory
- ▶ Particle size selection/starvation theory



Influence of parameters on the stability

■ Concentration of emulsifier

- ▶ Over a certain concentration no more effect
- ▶ Probably changed if this concentration is very high





Efficiency of the oil

- Oil composition (often not known)
- A base oil that makes the viscosity and the carrier
- The rolling additives depending on the metal, more or less complex and evolutive
- The surfactant package
- Others : anticorrosion, wetting agents, etc



Efficiency of the oil : parameters

- **Main parameters:**
 - ▶ **Oil concentration in water**
 - ▶ **Chemical parameters : ph, age, chemical state (new molecules)**
 - ▶ **Emulsion temperature, spraying conditions**

- **The problems**
 - ▶ **Bad aging**
 - ▶ **Particles inside to be filtered**
 - ▶ **Tramp oils**



Efficiency of the oil : some new trends

- **Adapt the emulsion or the oil to the alloy**

- ▶ **Supplementary feeding**
- ▶ **« Non stable emulsion »**
- ▶ **Separate water and oil**
- ▶ **Solutions**

- **But**

- ▶ **Not always easy to handle**
- ▶ **Long term evolution**
- ▶ **Difficult to change habits**



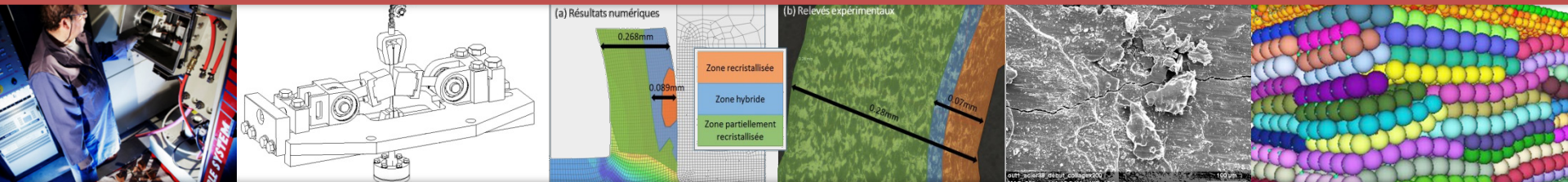
Conclusion

- **The experience on the ground is the most important**
 - ▶ **For all it must be a reference**
 - ▶ **Whatever the issue not always easy to point out the root cause**

- **The protagonists of the contact**
 - ▶ **Rolls not easy to modify (material, roughness, ...)**
 - ▶ **The Metal no choice**
 - ▶ **A certain possibility with the emulsion**

Warm and hot upsetting sliding test: Tribology of metal processes at high temperature

André DUBOIS, Laurent DUBAR, Mirentxu DUBAR
University of Valenciennes, FRANCE



The present work proposes to improve the understanding of lubricated contact during hot forging of metals

- by the use of a specific friction test
- adjusted to simulate industrial contact conditions

Presentation of the friction test

Presentation of several industrial cases, involving graphite based lubricants, white lubricants and new sol-gel tool coatings

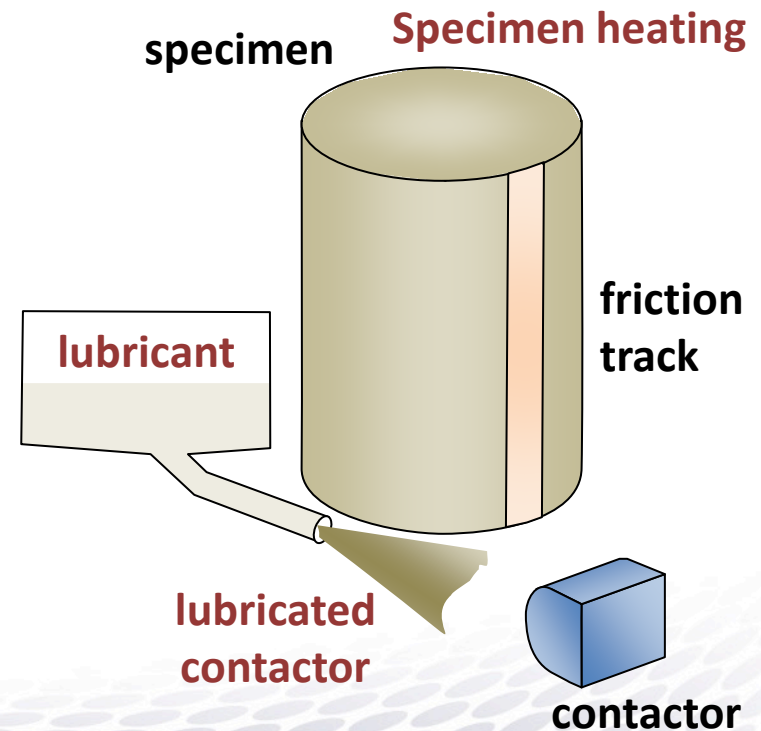
*Tool wear
graphite lubricant
15000 strokes*



*Tool wear
white lubricant
6500 strokes*

Main test parameters

- ➔ **Specimen heating** by induction, **up to 1200°C**
(heating is controlled to adjust oxide scale thickness to industrial one)
- ➔ **Contactor penetration** within the specimen
(contact pressure adjustment)
- ➔ **Lubricant application:**
 - ▶ Liquid lubricant
 - ▶ Spraying pressure from 3 to 9 bars
 - ▶ Spraying time
 - ▶ Nozzle/contactor distance
- ➔ **Sliding speed** (**0 to 0.5 m.s⁻¹**).

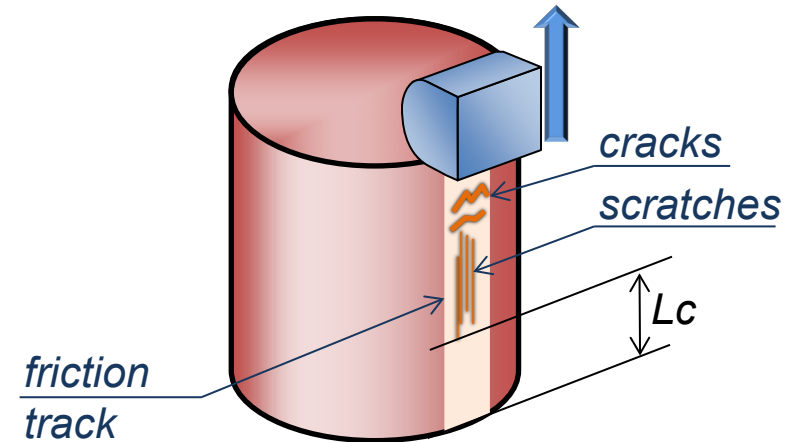


Main test results

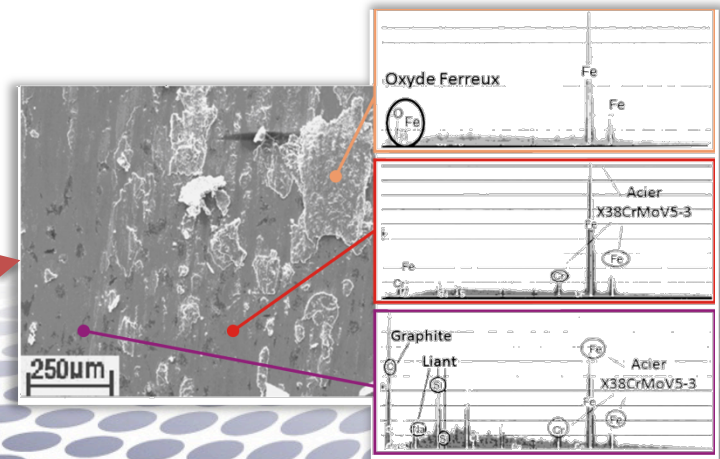
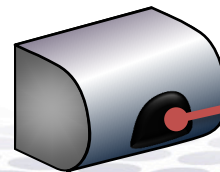
- Coulomb's coefficient of friction**
(computed from geometrical data and online normal and tangential forces measured during WHUST)

$$\mu = \frac{\delta - p + q(F_t/F_n)}{q - (\delta - p)(F_t/F_n)}$$

- Sliding length before first scratch L_c**
(ability of a lubricant to protect workpiece surface)

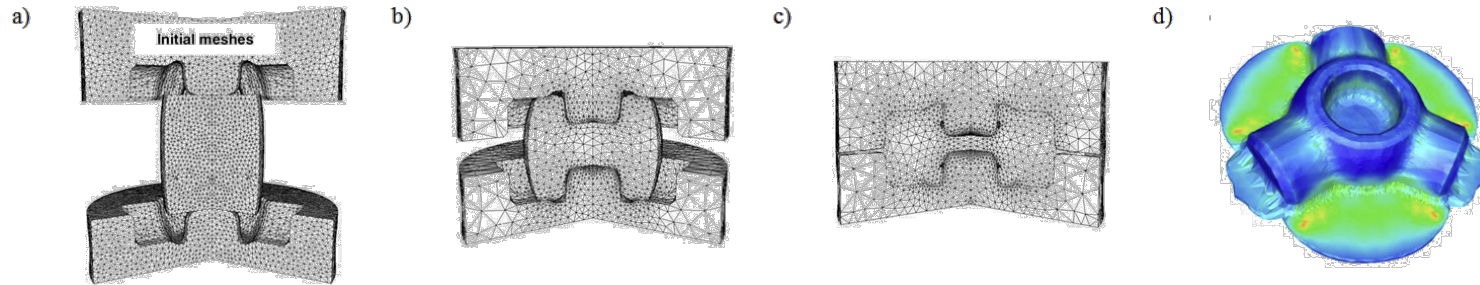


- SEM-EDS & 3D roughness analyses**
(ability of a lubricant to protect tool surface)



Case study

WHUST parameters are adjusted to simulate the contact conditions related to the hot forging of a spindle



Contactors

- + X38CrMoV5 (AISI H11)
- + Nitrided
- + Heated to 200°C

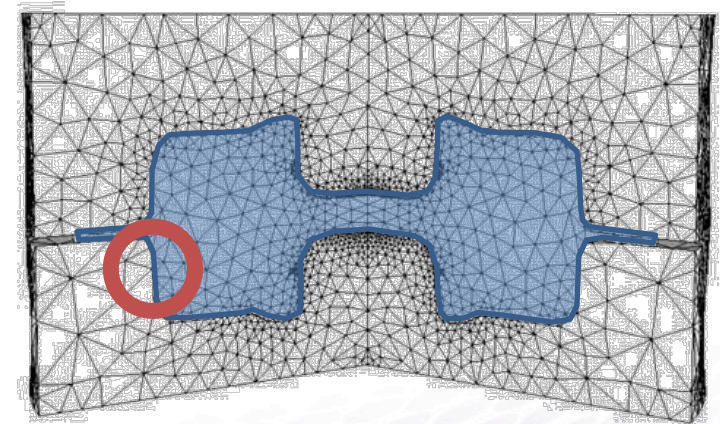


Specimen

- + 27MnCr5
- + Heated to 1100°C
- + Oxide scale at specimen surfaces = 20µm



Contact pressure = 160 MPa, Sliding speed = 60mm.s⁻¹



** from R. Boussetta, T. Coupez, L. Fourment, 2006, Adaptive remeshing based on a posteriori error estimation for forging simulation, Computer Methods Applied Mechanics and Engineering, pp. 6626-6645*

Lubricants

➔ Graphites in water

- ⊕ 5% of graphite + 95% of water
- ⊕ Campaign #1 graphite film thickness from 0 to 40 μ m
- ⊕ Campaign #2 graphite particles from 3 to 40 μ m
- ⊕ Campaign #3 bonding agent from 10 to 50%

➔ White Lubricants

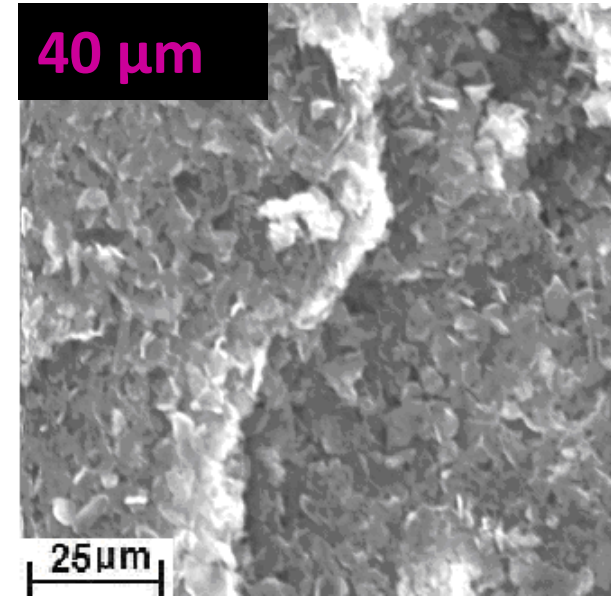
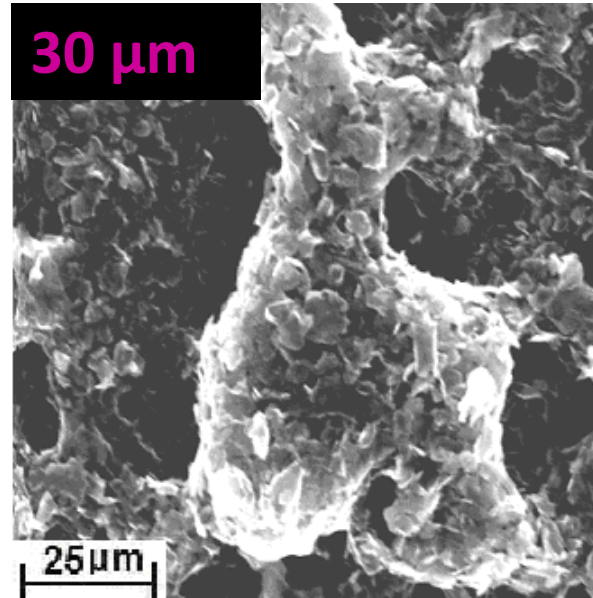
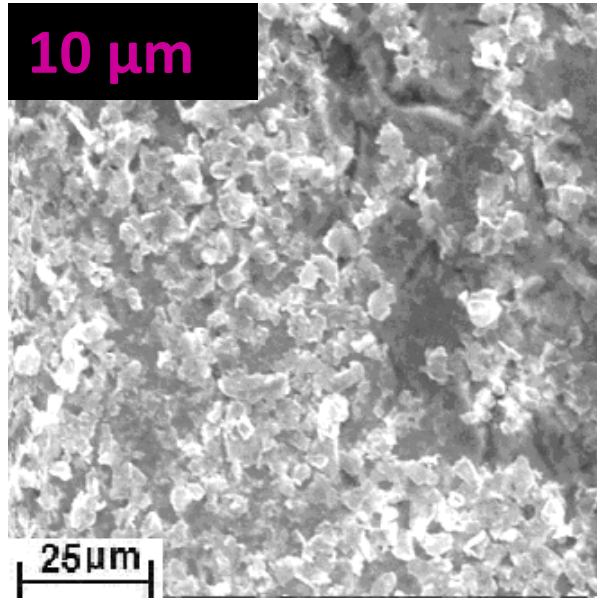
- ⊕ Mineral salt
- ⊕ Emulsion of oil in water

➔ Sol-Gel tool coatings

- ⊕ No lubricant
- ⊕ Sol-Gel coating on contactor surface

Graphite in water lubricants: effect of lubricant film thickness (medium graphite particle size)

Contact surface after the spaying of lubricant, before testing



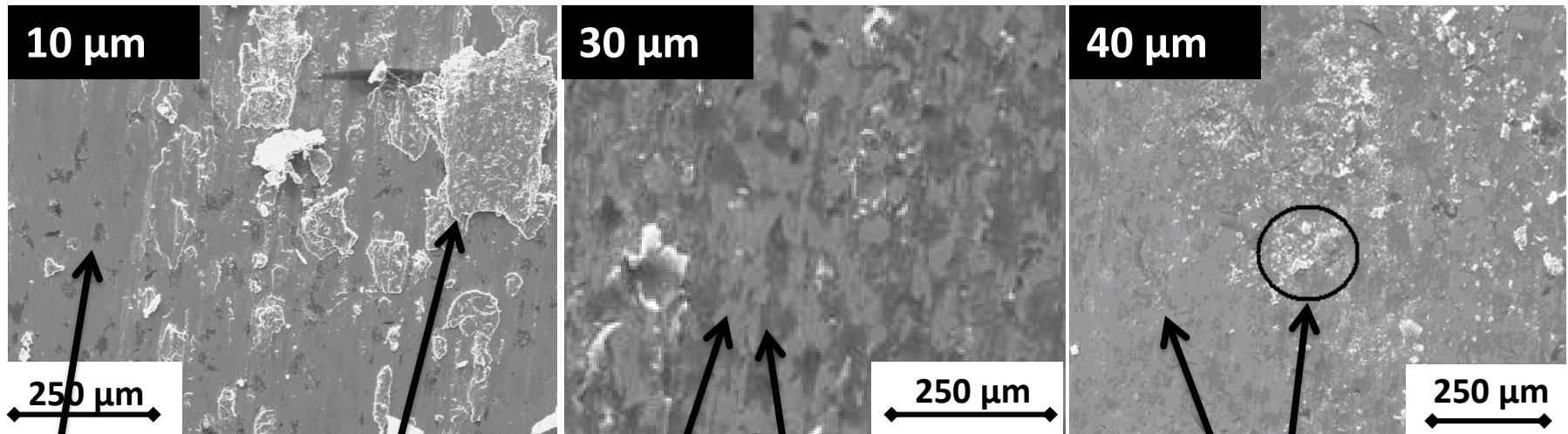
Gathering of small graphite chips. Graphite chips do not seem to be strongly linked together.

“Honeycomb” structure.

Stratified structure

Graphite in water lubricants: effect of lubricant film thickness
(medium graphite particle size)

Contactor surface after the tests



Large oxide scale (coming from the specimen)

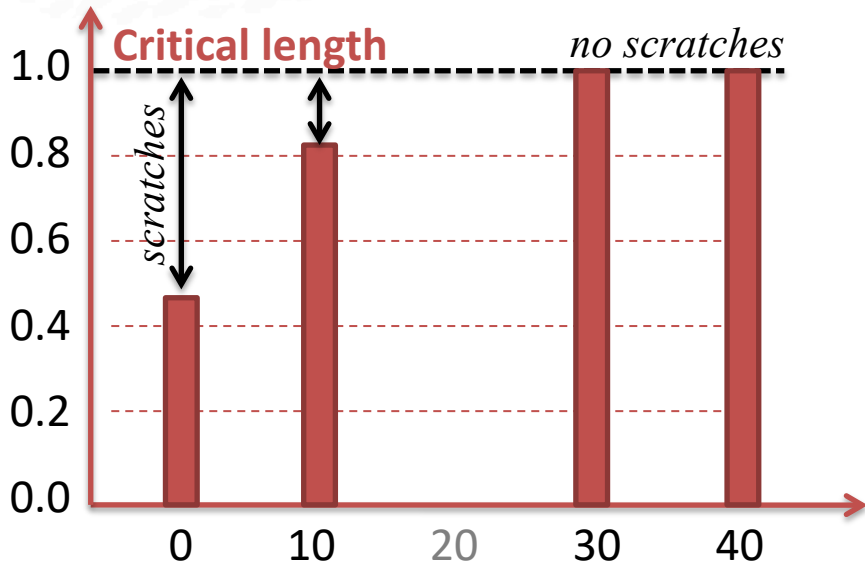
Some small quantities of residual lubricant

Residual graphite (dark grey)

Traces of Na and Si: bonding agents without graphite (light grey)

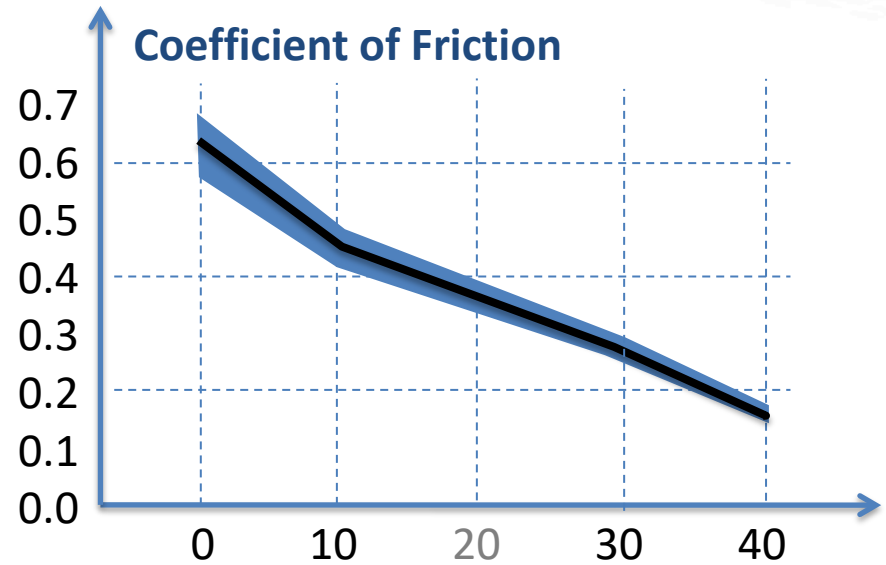
Residual graphite (white and grey)

Graphite in water lubricants: effect of lubricant film thickness (medium graphite particle size)



For small lubricant film thickness:

- ▶ Lubricant is consumed after 20 to 30 mm of sliding
- ▶ direct metal-to-metal contacts occur
- ▶ scratches appear on specimen surface
- ▶ oxide scale are transferred from specimen to contactor surface
- ▶ Leading to high coefficient of friction.

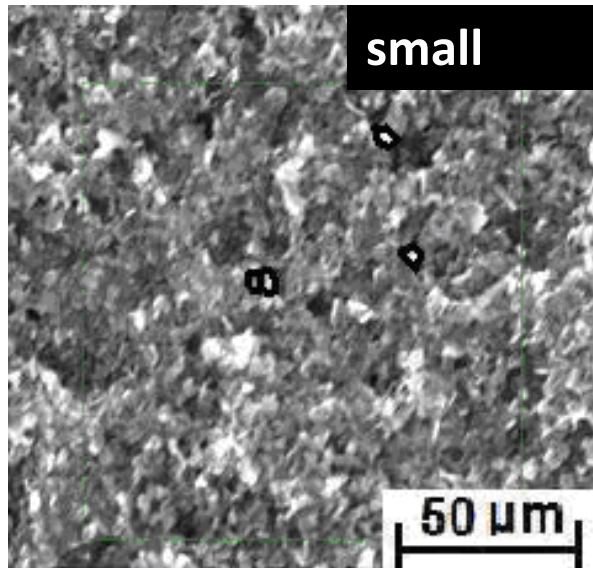


For higher film thickness:

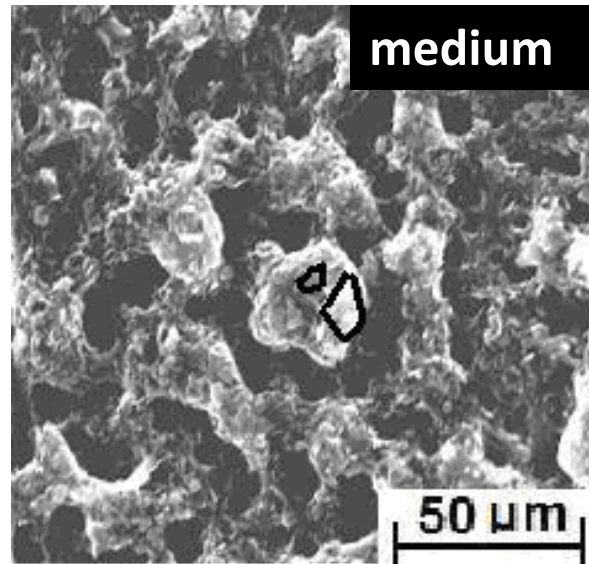
- ▶ Residues of lubricant remain on contactor surface
- ▶ Almost no material transfer are noticed
- ▶ Coefficients of friction remain low, with small discrepancies

Graphite in water lubricants: effect of graphite particle size
(30 μm mean film thickness)

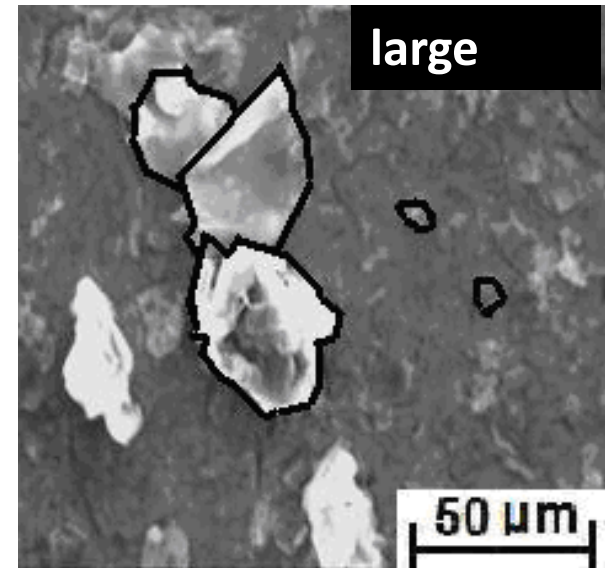
Contactor surface after the spaying of lubricant, before testing



small graphite particles cover
 the whole surface
 No specific structure

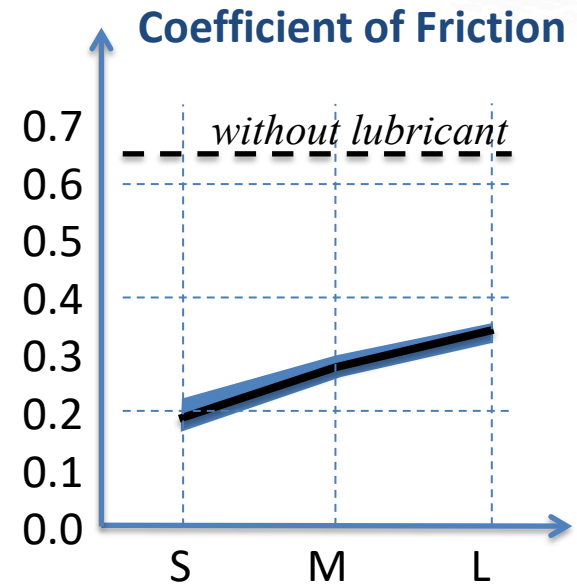
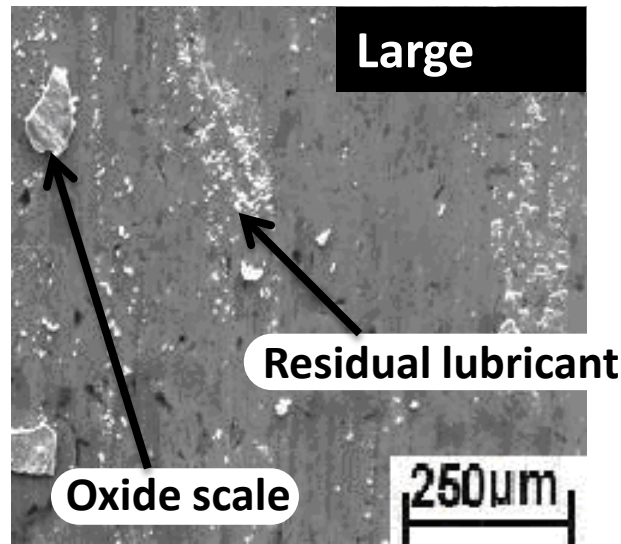
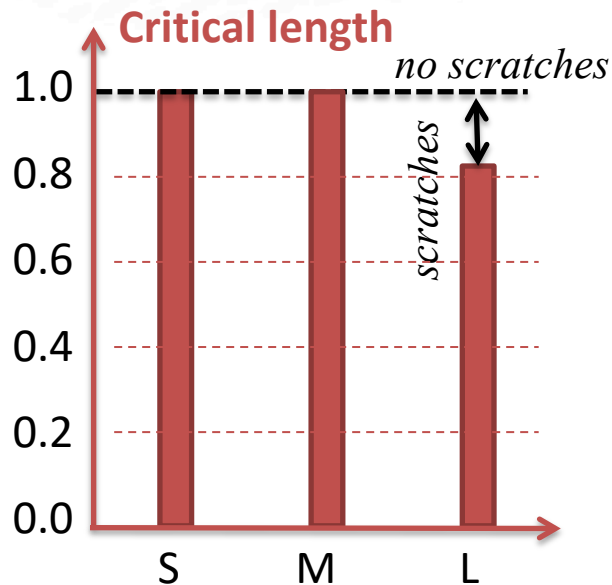


“Honeycomb” structure



Large graphite particles and
 places without lubricant

Graphite in water lubricants: effect of graphite particle size (30 μm mean film thickness)

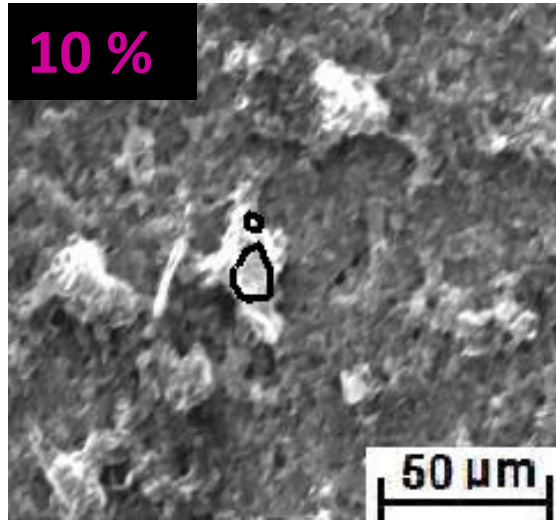


- For small and medium particle sizes:
- ▶ Lubricant remains bonded on the contactor surface
 - ▶ No scratches appear on specimen surface
 - ▶ The coefficient of friction remains low.

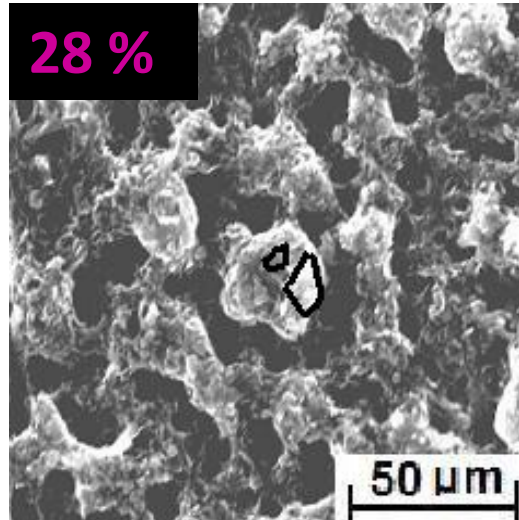
- For large particle size:
- ▶ Large particles are crushed on contactor surface
 - ▶ Residues of lubricant remain on contactor surface
 - ▶ Some oxide scale transfer occurs
 - ▶ Coefficients of friction increase up to 0.3

Graphite in water lubricants: effect of content of bonding agent
(medium particle size, 30 μm film thickness)

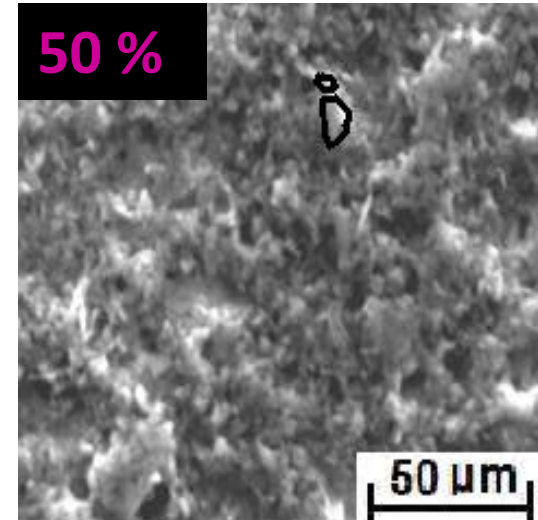
Contactor surface after the spaying of lubricant, before testing



10 %



28 %



50 %

Not enough bonding agent to create a “honeycomb” structure.

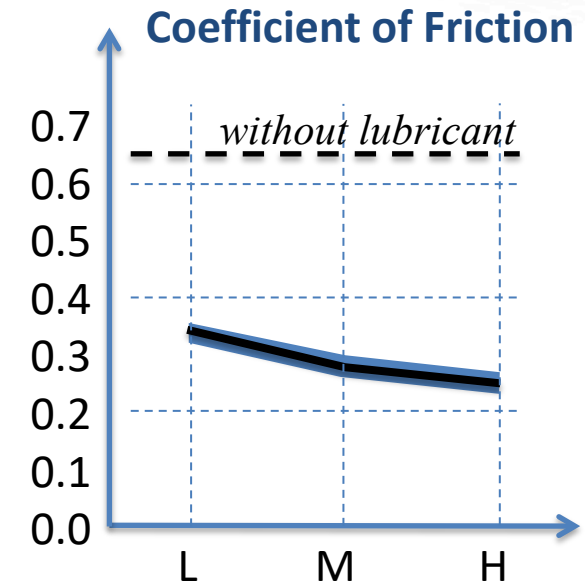
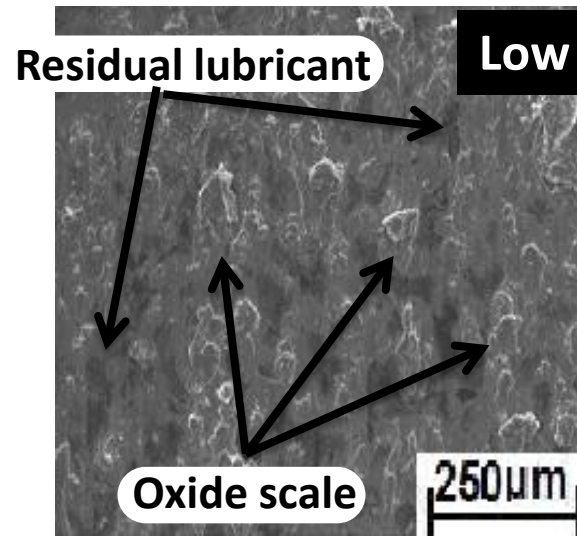
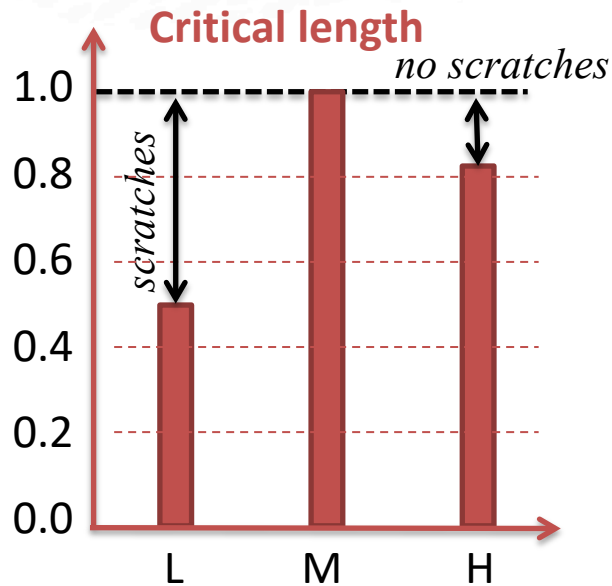
“Honeycomb” structure

Layer with no specific structure

IV – Results

Graphite in water lubricants: effect of content of bonding agent

(medium particle size, 30 μm film thickness)



For low content of bonding:

- ▶ Some lubricant remains bonded on the contactor surface (*dark grey*)
- ▶ Many oxide scales are transferred to contactor surface
- ▶ The coefficient of friction slightly increase.

For high content of bonding:

- ▶ Lubricant remain all over contactor surface
- ▶ No material transfer are noticed
- ▶ Coefficients of friction remain low (0.25)

White lubricants

- ➔ **Objective:** how to explain the untimely wear of forging tool when lubricated with some white lubricants ?

*Tool wear
graphite lubricant
15000 strokes*



*Tool wear
white lubricant
6500 strokes*

- ➔ **Tested lubricants**

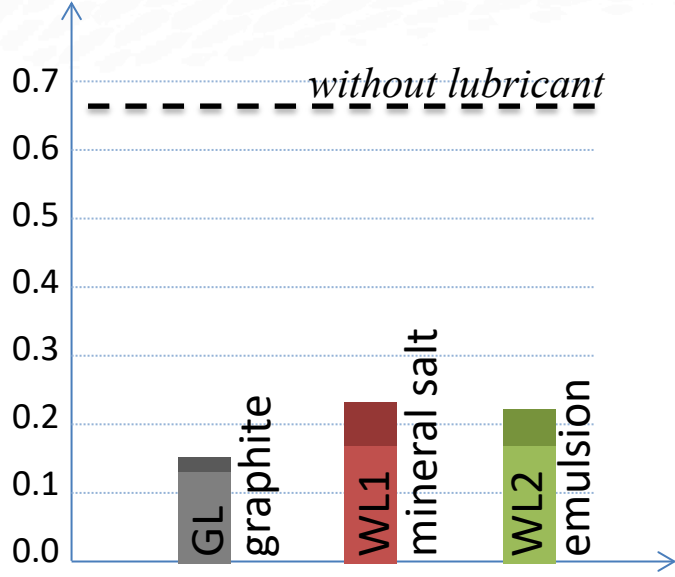
GL = 5% of graphite in water

WL1 = mineral salt (*containing sodium*)

WL2 = emulsion of siloxane in water (*containing silicon*)

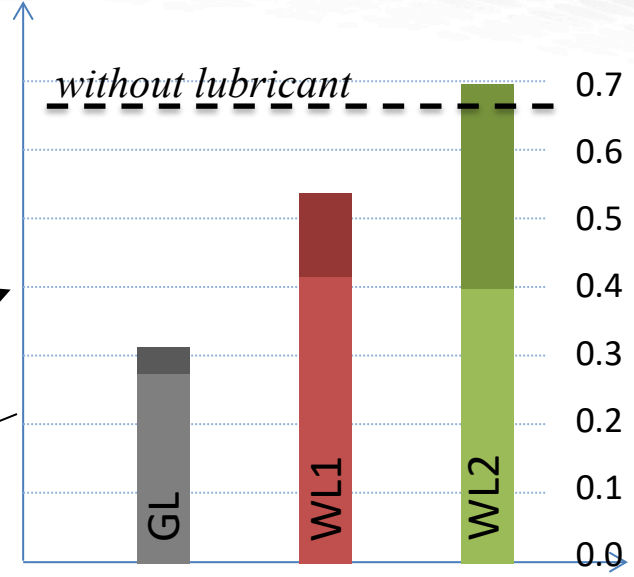
White lubricants

Coefficient of Friction

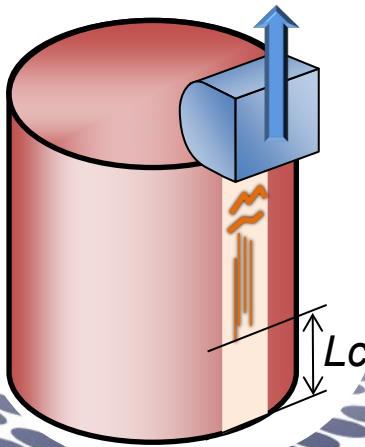
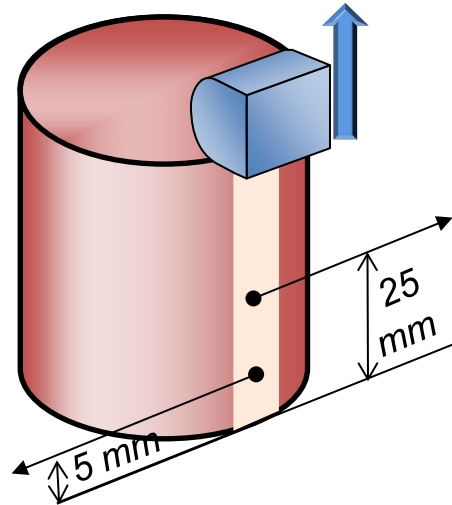


Sliding length = 5 mm

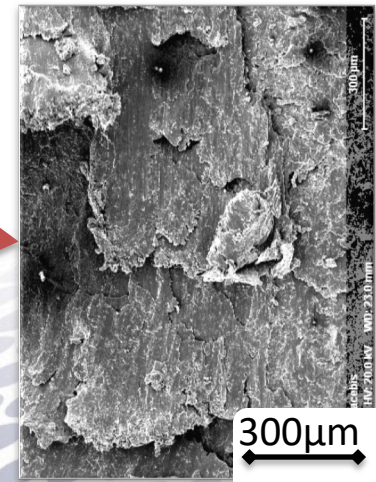
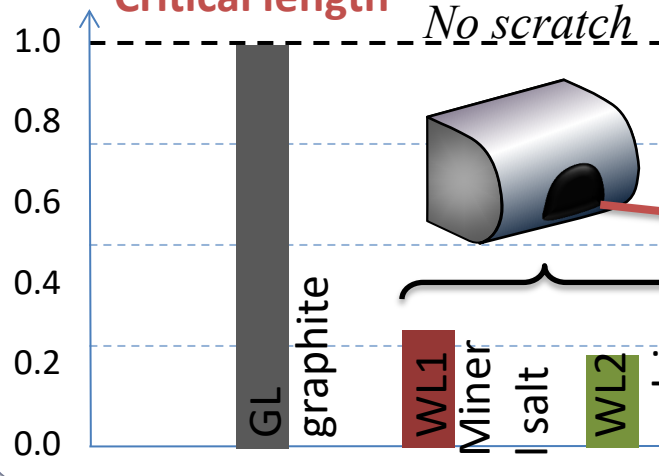
Coefficient of Friction



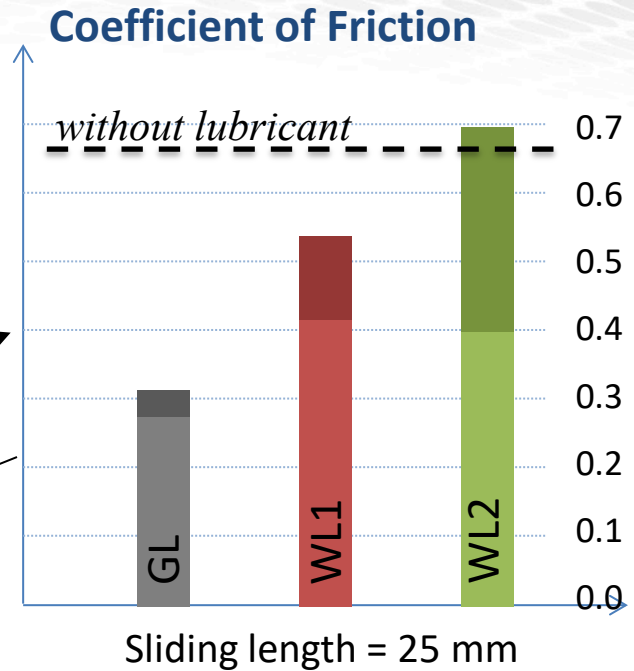
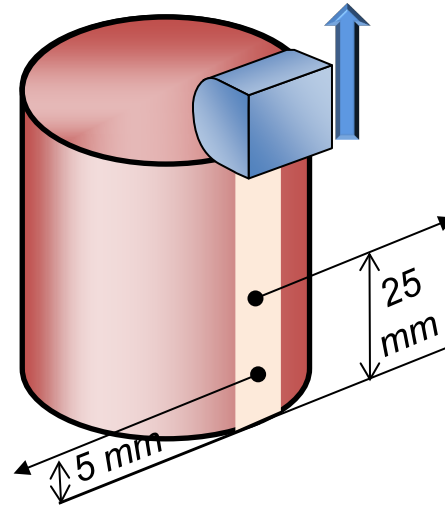
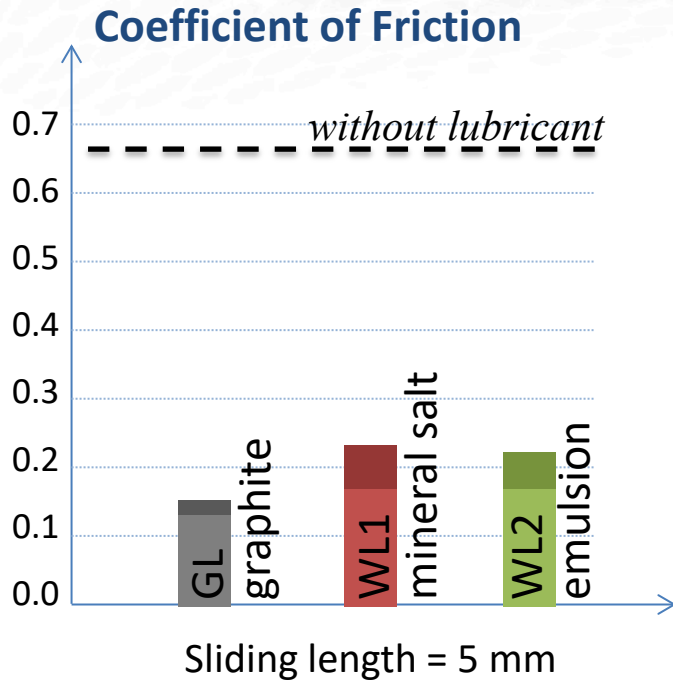
Sliding length = 25 mm



Critical length



White lubricants



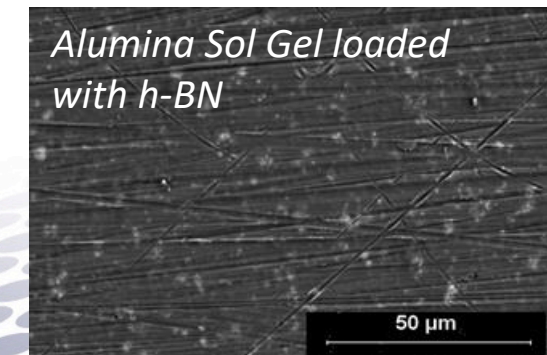
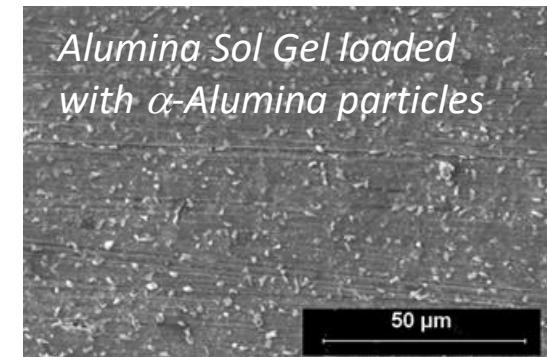
Tested white lubricants lose their ability to reduce friction as soon as the sliding lengths becomes greater than 10 mm:

➔ due to the **poor bonding of these lubricants** to tool surfaces, both WL1 and WL2 lubricants are **quickly consumed**, oxide scale transfer takes place, **leading to friction increase** and first scratches to appear.

Sol-Gel coating

➔ **Objective:** first trials on a new type of tool coating

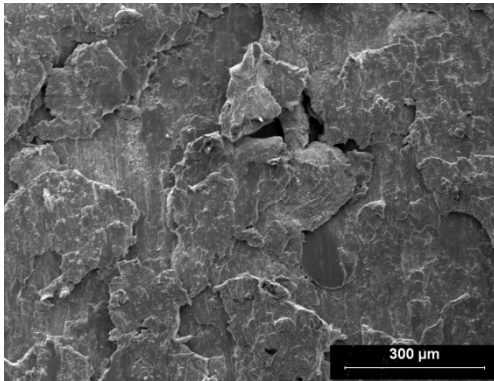
- ⊕ Alumina Sol-Gel coating prepared by controlled gelification of Aluminum tri-sec butoxide precursor in an alcoholic based solvent
- ⊕ Loaded with α -alumina or with Boron Nitrate (h-BN) particles
- ⊕ Coating thicknesses in the range 200nm-300nm
- ⊕ No lubricant is used



Sol-Gel coating

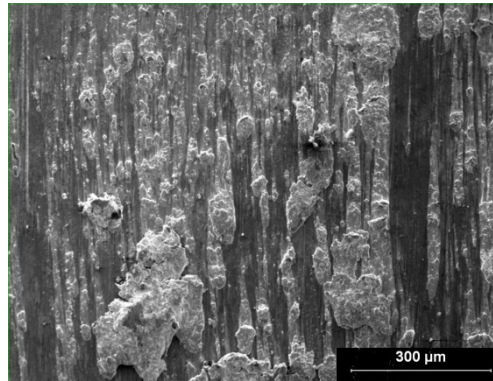
Non coated contactor

Coef. Of friction $\mu = 0.70$



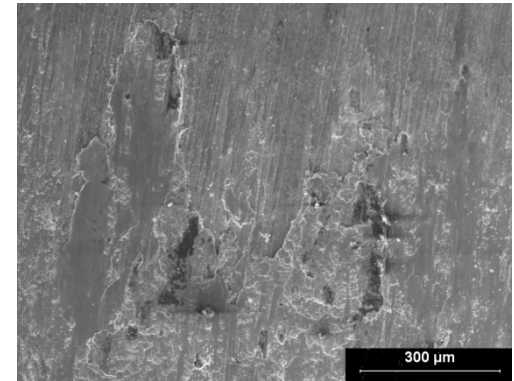
Contactor coated with alumina sol-gel loaded with α -alumina particles

Coef. Of friction $\mu = 0.55$
(-14%)

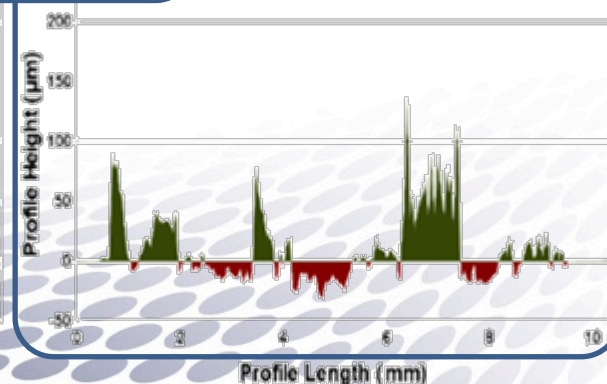
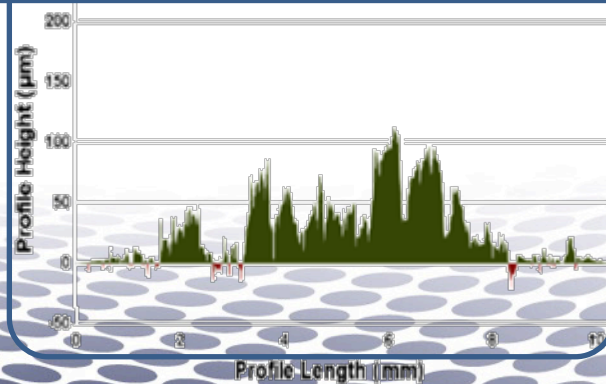
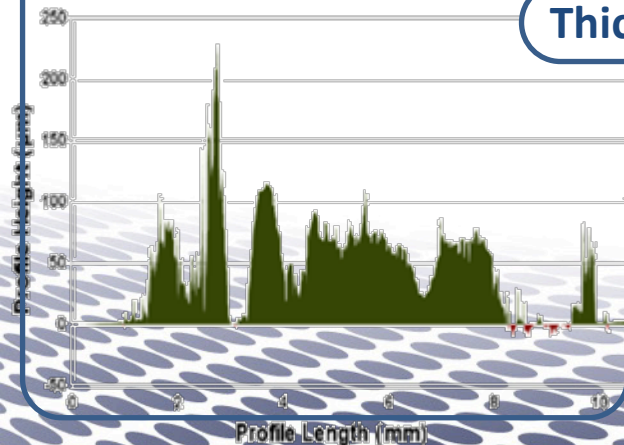


Contactor coated with alumina sol-gel loaded with h-BN particles

Coef. Of friction $\mu = 0.40$
(-42%)



Thickness of transfer material to tool surface



Warm and Hot Upsetting Sliding Test

- ▶ WHUST simulates conditions of contact encountered in hot forming processes
- ▶ WHUST is able to discriminate a wide range of lubricants
- ▶ WHUST results provide useful qualitative and quantitative information to help:
 - ▶ Engineers to test and choose new lubricants,
 - ▶ Researchers to develop new coatings to improve tool life.

Lubrication in hot forging of steel

- ▶ Chemical composition of graphite layer plays a direct role on lubricant efficiency
 - ▶ Silicone and sodium based white lubricants lead to low coefficients of friction...
 - ▶ but their bonding to tool surface is too weak
 - ▶ Alumina Sol-Gel coatings reduce friction and protect tool surface
 - ▶ Performances of the alumina Sol-Gel coating are increased when loaded with h-BN particles
- ▶ In both cases, adherence of lubricant on tool surface is the key point to ensure a good lubrication at high temperature

Thank you for your attention

Contact

Pr. André Dubois
andre.dubois@univ-valenciennes.fr

