

---

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE LAUSANNE  
 POLITECNICO FEDERALE DI LOSANNA  
 SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAUSANNE

---



ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
 FÉDÉRALE DE LAUSANNE

DEPARTEMENT DE MICROTECHNIQUE  
**INSTITUT DE PRODUCTION MICROTECHNIQUE**  
 CH - 1015 LAUSANNE

Sonia VIONNET  
 tél. direct : ++41 21 693.77.80  
 tél. secrétariat : ++41 21 693.38.17  
 téléfax : ++41 21 693.38.91  
 E-mail : [sonia.vionnet@epfl.ch](mailto:sonia.vionnet@epfl.ch)

## TESTS SUR DES BILLES POUR LA MISE AU POINT DE NOUVELLES POUTRES

*le 24/05/00*

*(tests réalisés à l'IPM, par G. CORRADINI et S. VIONNET)*

### Plan

<b><u>I. Introduction</u></b>	2
<b><u>II. Etude expérimentale</u></b>	2
II.1. Echantillons	2
II.2. Principe et déroulement des tests	3
II.2.1. Pourquoi ces tests ?	3
II.2.2. Principe et protocole	3
II.2.2.1. Principe	3
II.2.2.2. Protocole	3
<b><u>III. Résultats et observations</u></b>	4
<b><u>IV. Interprétation des résultats</u></b>	5
<b><u>V. Conclusions et perspectives</u></b>	6
V.1. Conclusions	6
V.2. Perspectives	6

### Résumé

Jusqu'à présent, les capteurs, que nous utilisions, étaient formés d'une poutre (en céramique), sur laquelle était brasée une bille en acier de 2 mm de diamètre. Cette bille correspondait à l'emplacement au niveau duquel s'effectuait la pression.

Or, lors de nos tests de résistance mécanique, entre autres, il s'est avéré que ce point de pression était trop grossier et constituait une source d'erreurs (imprécision et non reproductibilité des mesures).

Par conséquent, il a été décidé de diminuer le diamètre des billes utilisées. Nous avons donc opté pour des billes de 1 mm de diamètre, en acier, recouverte d'un dépôt de cuivre de 10  $\mu\text{m}$  pour permettre le brasage sur la poutre.

Afin de vérifier l'adhérence de ces nouvelles billes, des « shear-tests » ont été effectués, et ont confirmé notre choix ; d'autant plus que la résistance de ces nouvelles billes aux essais de cisaillements s'est révélée être supérieure à celle des billes de 2 mm de diamètre, dont le revêtement est différent.

## **I. Introduction**

Pour améliorer les performances de nos capteurs de pression, nous avons décidé de réduire à 1 mm le diamètre des billes sur lesquelles s'applique la pression.

De nouvelles billes ont donc été conçues avec un autre type de revêtement, en l'occurrence du cuivre.

Le but de notre étude est de vérifier la résistance mécanique de ces billes, plus précisément la bonne adhérence des sphères à la brasure. Pour cela, une série de « shear-tests » ou tests de cisaillement a donc été programmée pour vérifier si un revêtement en cuivre de 10  $\mu\text{m}$  convenait pour que ces billes de 1 mm de diamètre adhèrent correctement à la poutre.

## **II. Etude expérimentale**

Il s'agit d'étudier l'adhérence de différents lots de billes dont le diamètre et le revêtement varient.

### **II.1. Echantillons**

- 3 billes en acier inox (55 HRC, ISO 3090) + 10  $\mu\text{m}$  de cuivre : 1 mm de diamètre
- 3 billes en acier « normal » (5401, ISO 3090) + 10  $\mu\text{m}$  de cuivre : 1 mm de diamètre
- 3 billes en acier inox (55 HRC, ISO 3090): 1 mm de diamètre
- 3 billes en acier « normal » (5401, ISO 3090): 1 mm de diamètre
- 3 billes en acier + 5  $\mu\text{m}$  Optalloy : 2 mm de diamètre

Le revêtement « Optalloy » est un dépôt que réalise Huba Control (Würenlos) : il est composé d'un alliage ternaire CuZnSn.

#### **remarques :**

- les épaisseurs de dépôt mentionnées n'ont qu'une valeur indicative. En fait, il suffit qu'il soit assez épais pour permettre le brasage de la bille, la précision n'étant pas notre première préoccupation (d'où notre choix pour les techniques de dépôt ci-dessous, qui offrent un revêtement suffisamment acceptable pour notre étude).
- les dépôts d'Optalloy sont réalisés au tonneau (méthode industrielle) alors que le cuivrage s'effectue au panier (méthode plus « artisanale », pour les petites quantités).

- le dépôt Optalloy est effectué chez Huba Control (Würenlos), tandis que le cuivrage est réalisé chez Orolux (Le Noirmont).
- les billes ont été fournies par Technomag (Le Mont-sur-Lausanne).

## II.2. Principe et déroulement des tests

### II.2.1. Pourquoi ces tests ?

Certes, il aurait été plus judicieux d'utiliser des billes de 1 mm de diamètre possédant le même revêtement (Optalloy) que celles de 2 mm, puisque ces dernières donnaient des résultats satisfaisants en matière d'adhérence. Cependant, nous fûmes confrontés à un problème de quantités.

En effet, notre lot de billes était insuffisant pour effectuer un dépôt au tonneau, comme le faisait Huba. Nous avons donc été contraints de trouver une autre entreprise qui réalisait des dépôts « au panier », et dans le même temps, de nous soumettre à leur nature de revêtement ; en l'occurrence le cuivre.

### II.2.2. Principe et protocole

#### *II.2.2.1. Principe*

« shear-test » : ce sont des tests de cisaillement qui consistent à pousser la bille parallèlement et longitudinalement à la poutre.

Un profil de force est alors obtenu et la charge maximale, que la bille peut supporter, est ainsi déterminée. Au dessus de cette valeur, la bille est arrachée.

#### *II.2.2.2. Protocole*

Il est nécessaire de préparer les échantillons :

- Chaque bille est fixée sur une poutre en alumine sur laquelle est déposée une fine couche de brasure (SnAg : Sn96 P2-NC440 : soudure microbond). Puis, le brasage est réalisé sur une plaque chauffante.
- On vérifie la bonne mouillabilité de la brasure sur la bille au binoculaire (la brasure doit « monter » légèrement sur les parois de la sphère, pour former un ménisque).
- Puis, les poutres portant les mêmes types de billes sont collées sur un socle rigide, pour des raisons expérimentales. En effet, les poutres seraient trop fragiles pour ce type de test : elles casseraient avant que la bille n'ait été arrachée. Les supports munis des poutres sont ensuite polymérisés à l'étuve à 150°C pendant environ 15 minutes. Puis, on les laisse refroidir pour que la brasure soit dans un état optimum.

On peut, alors, procéder à la phase de test, qui comporte deux étapes :

- le « shear-test », proprement dit : on détermine la charge maximale supportée par la bille,
- l'observation de la bille et de la brasure au binoculaire : pour déterminer la cause de la rupture (dépôt, brasure, poutre...).

### III. Résultats et observations

Suite à la série de « shear-tests », les résultats obtenus et les observations sont rassemblés dans le tableau 1.

Tableau 1 : ensemble des résultats obtenus et observations.

type de bille	diamètre de la bille (mm)	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	observations
acier inox + Cu	1	1550	2300	1900	c'est la brasure qui cède : ++ (la brasure se décolle de la poutre)
acier normal + Cu	1	2400	2400	2600	meilleurs résultats : la bille est arrachée <b>avec</b> la brasure ; excellente mouillabilité: +++
acier inox + optalloy	2	1850	1650	-	référence : moins bons résultats qu'avec le dépôt de cuivre ; la brasure cède : +
acier inox « brut »	1	700	950	350	c'est la bille qui se décolle de la brasure:mauvaise mouillabilité : -
acier normal « brut »	1	-	-	-	aucune adhérence, mauvaise mouillabilité : --

m1 : charge maximale que peut supporter la bille avant d'être arrachée zone « grisée »: référence ; toutes les charges supérieures aux valeurs correspondant à l'Optalloy sont acceptables. (Notons, cependant, que les valeurs pour l'Optalloy ne sont qu'indicatives. En effet, il est difficile de les comparer aux autres billes puisque leur diamètre est plus grand : les contraintes et le point d'application de la force lors du test différent.)

*remarques :*

- la mention « brut » signifie qu'il n'y a aucun revêtement sur la bille.
- les différences observées entre les valeurs pour un même type de billes sont dues à des aléas expérimentaux. Ici, cela est dû à des variations de l'épaisseur de la brasure qui a été déposée manuellement et pas sérigraphiée.

## IV. Interprétation des résultats

- Les valeurs pour chaque type de billes sont assez homogènes. Les seuls écarts peuvent être attribués à des aléas expérimentaux puisque, par exemple, la couche de brasure a été déposée manuellement au lieu d'être sérigraphiée, d'où une variation de l'épaisseur de brasure en fonction de chaque poutre.
- Si les billes recouvertes par de l'Optalloy constituent notre référence, on peut noter que:
  - les sphères « brutes », c'est-à-dire sans revêtement, ne sont pas acceptables étant donné la mauvaise mouillabilité de la brasure sur ces dernières.
    - En effet, les billes en acier « normal » sont uniquement maintenues grâce au décapant contenu dans la brasure, c'est pourquoi aucun résultats n'a été retenu.
    - Les billes inox, quant à elles, adhèrent mais la brasure ne forme pas de ménisque autour de la sphère, c'est pourquoi la bille se décolle de la brasure.

Ces observations montrent clairement la nécessité de réaliser un dépôt métallique à la surface de ces billes.

- Les billes avec un dépôt de cuivre donnent les résultats les plus prometteurs. De plus, le fait que la brasure cède prouve qu'une épaisseur de cuivre de 10  $\mu\text{m}$  est suffisante (sinon, il y aurait rupture au niveau du dépôt de cuivre).
  - Pour les billes en acier « normal », les résultats sont les meilleurs et sont caractérisés par une excellente mouillabilité de la brasure sur les parois de la sphère, et par une bonne compatibilité entre le revêtement en cuivre et la brasure, puisque, pour ce type de sphères, la bille et la brasure sont arrachées.

Néanmoins, les résultats pour les billes en « acier normal » et celles en inox diffèrent peu. De plus, aucune différence n'est apparue lors de l'observation, au binoculaire, de l'état de surface des billes arrachées.

## **V. Conclusions et perspectives**

### V.1. Conclusions

Les résultats avec le dépôt de cuivre sont très prometteurs. Ils s'avèrent d'ailleurs être meilleurs que ceux obtenus avec l'Optalloy.

Ils se caractérisent par une excellente mouillabilité de la brasure sur les parois de la bille, ce qui lui confère une bonne adhérence.

De plus, une épaisseur de 10  $\mu\text{m}$  de cuivre est suffisante.

**Par conséquent, nous opterons pour des billes d'un diamètre de 1 mm en acier « normal » (non inox)(5401, ISO 3090) recouvertes par un dépôt de cuivre de 10  $\mu\text{m}$ .**

### V.2. Perspectives

- Les essais étant concluants, le lot complet de 1000 billes peut alors être cuivré. Nous procéderons ensuite à la fabrication des poutres pour poursuivre notre étude.
- Notons, qu'il est impératif de stocker les billes cuivrées en milieu sec et sous azote pour éviter leur oxydation.
- Ce phénomène sera à prendre en compte si nous nous orientons vers une fabrication en masse. Dans ce cas, il sera nécessaire d'utiliser un autre type de dépôt moins sensible à l'oxydation, tel que l'étain ou le laiton.
- En outre, étant donné ce problème d'oxydation, il serait judicieux de réaliser des essais en atmosphère humide afin de contrôler si l'adhérence de la bille est modifiée par l'oxydation du cuivre.