



MilliNewton – Ajustement de la poutre version D

Ajustement grossier de l'offset de la poutre MilliNewton, version D

Offset-Grobabgleich des MilliNewton-Biegebalkens, Version D.

Thomas Maeder, 13.4.2006 (révisé 9.3.2017)

Projet: MilliNewton

Mots-clefs: MilliNewton, capteur de force.

Table des matières

1. INTRODUCTION	2
2. CARTE D'AJUSTEMENT ET CALCULS	3
3. PARAMETRES D'AJUSTEMENT.....	4
4. RESULTATS	4

Résumé

Ce document décrit l'ajustement grossier de l'offset de la poutre MilliNewton, version D, la nouvelle procédure optimisée de contrôle, et les résultats sur une série de 20 substrats (nominalement 4'200 poutres) d'épaisseur 0.4 mm, donnant des poutres de force nominale de 1 N.

La procédure d'ajustement + recuit fonctionne bien, donnant des offsets finaux suffisamment serrés pour permettre l'ajustement actif du capteur après montage. La procédure de contrôle a été considérablement améliorée, et permet de mesurer la résistance du pont, et de garantir que les poutres considérées comme bonnes le sont vraiment.

La qualité des poutres produites est contrastée, avec globalement un déchet de 16.8%, essentiellement dû à des problèmes avec les pistes en or fin ESL 8837.

La 2^e cause de déchet, assez minoritaire, est due à un appariement trop mauvais entre résistances supérieures et inférieures.

En revanche, la métallisation des trous et les contacts entre pistes et plages semblent désormais fiables – aucun de ces défauts n'ayant été constaté sur les mauvaises poutres observées en détail.

1. Introduction

La poutre (Figure 1, substrat en Figure 2) est l'élément actif du capteur MilliNewton, et se monte en surface sur l'embase par brasage. Elle est constituée d'une pièce de substrat en alumine, d'épaisseur 0.25 mm (force nominale 0.4 N), 0.40 mm (1.0 N), ou 0.635 mm (2.0 N), sérigraphiée en double face afin de réaliser un pont de Wheatstone entièrement actif.

Les métallisations des trous et les zones de brasages sont réalisées avec la composition Ag:Pd 3:1 ESL 9635B. En revanche, les pistes et terminaisons des résistances utilisent l'or fin ESL 8837, ce qui permet une grande finesse de sérigraphie, ainsi que des réactions moindres avec les résistances.

Deux compositions résistives sont utilisées : DuPont 2041 (10 kOhm) pour le pont de mesure (sur les deux faces), et 2031 (1 kOhm) pour les résistances d'ajustement grossier de l'offset, sur la face inférieure.

Seul l'offset grossier est ajusté sur la poutre, de manière un peu particulière : la fabrication est d'abord entièrement réalisée en "standard", avec une cuisson du verrage (ESL G-481) à 580°C, ce qui donne un état mat favorable à l'ajustement. Ensuite, l'ajustement est réalisé. Finalement, les substrats sont recuits à 620...630°C, pour densifier le verrage et stabiliser les coupes d'ajustement.

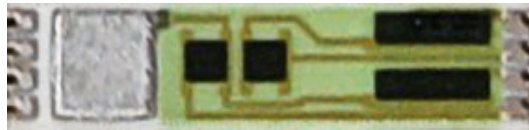


Figure 1. Poutre MilliNewton, version D, vue de dessous. A gauche, on distingue la plage principale (électrique + mécanique), et les 4 autres plages de contact.

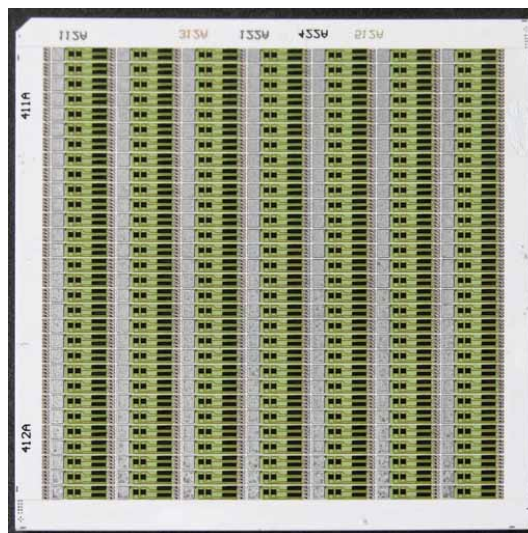


Figure 2. Substrat, comportant $7 \times 30 = 210$ poutres, vue de dessous.

2. Carte d'ajustement et calculs

La carte à pointes a été légèrement modifiée, afin de pouvoir mesurer la résistance du pont de mesure, et aussi de faire la différence entre les très bonnes poutres ayant un offset très faible, et certaines mauvaises donnant aussi une valeur d'offset nulle.

Pour ce faire, trois résistances ont été introduites (Figure 3) : une petite résistance en série avec le pont de mesure ($R_{série} = 120 \text{ Ohm}$), et deux grandes résistances de décalage d'offset par défaut ($R_{décalage} = 5.6 \text{ MOhm}$), une tirant la sortie positive vers l'alimentation, et l'autre tirant la sortie négative vers la masse.

La résistance de pont R_{pont} et l'offset ratiométrique u_{offset} sont donnés par les approximations ci-dessous, avec $U_{alim} = 5.0 \text{ V}$ = tension d'alimentation, U_{sortie} = tension mesurée en sortie et $U_{série}$ = tension mesurée aux bornes de la résistance en série. Noter que la résistance de pont inclut celle des résistances d'ajustement.

$$\frac{1}{R_{pont}} \cong \frac{1}{R_{série}} \cdot \frac{U_{série}}{U_{alim} - U_{série}} - \frac{1}{2R_{décalage}}$$

$$u_{offset} \cong \frac{U_{sortie}}{U_{alim} - U_{série}} - \frac{R_{pont}}{2R_{décalage}} \cong \frac{U_{sortie}}{U_{alim}} \cdot \frac{R_{pont} + R_{série}}{R_{pont}} - \frac{R_{pont}}{2R_{décalage}}$$

Pour un pont de mesure fonctionnel, la résistance est de l'ordre de 5...20 kOhm, suivant le produit. La valeur de sortie est donc relativement peu faussée, de l'ordre de +1 mV/V, ce qui est très faible pour un ajustement grossier. En revanche, si une des sorties est en circuit ouvert, ces modifications la forcent vers l'alimentation ou la masse, ce qui entraîne un grand offset et ainsi la détection d'une erreur.

Si le contact d'alimentation ou les deux contacts de masse sont défectueux, on mesure un offset faible, mais on peut détecter l'erreur via la résistance du pont de mesure.

Ces modifications permettent donc de détecter sans ambiguïté toutes les mauvaises poutres. En revanche, les problèmes de contact avec les (trop petites) plages subsistent, mais devraient être résolus avec la version bumpée.

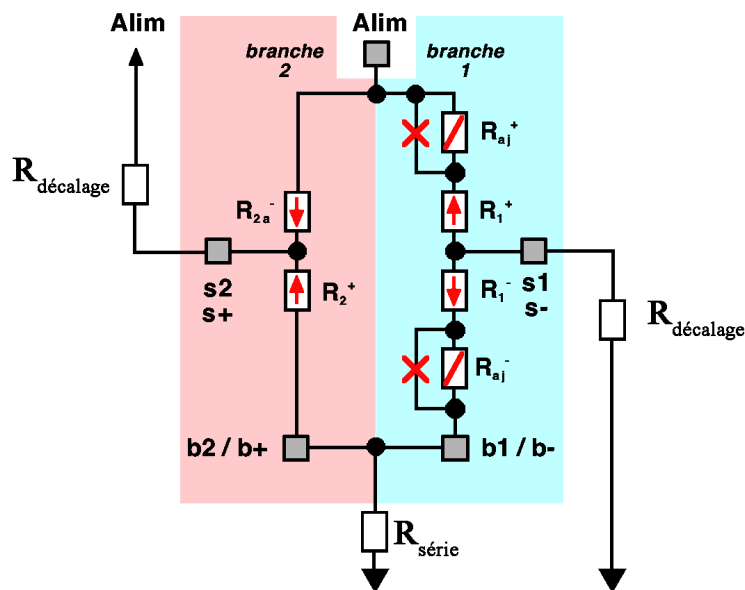


Figure 3. Schéma de la carte d'ajustement avec des résistances de décalage & de série pour une meilleure détection des défauts.

3. Paramètres d'ajustement

Ce chapitre donne les paramètres d'ajustement grossier de la poutre. Il n'y a qu'un genre d'ajustement, où on coupe l'une ou l'autre des deux résistances d'ajustement, pour augmenter ou diminuer l'offset.

- **Laser.** La puissance est fixée à 70% et la fréquence à 5 kHz.
- **Vitesse / galvo.** Les deux vitesses sont 5 mm/s (vitesse rapide) et 0.5 mm/s (vitesse réduite), avec réduction proportionnelle de la fréquence laser en mode lent.
- **Recuit.** Comme dans les versions précédentes, les substrats ajustés sont recuits avec le profil de cuisson "brillant" du verrage, 625°C 10 min.
- **Géométrie.** Etant donné l'aspect des résistances, seule une coupe simple est réalisée.
- **Alimentation.** Les poutres sont alimentées sous 5 V.
- **Mesure.** Ajustement sur le bus IEC ; temps de mesure pendant la coupe : 0.2 ms ; gamme : 20 V.
- **Compérateurs.** Réduction RP à 75% du chemin pour aller à 0 mV ; arrêt PS à 98%.

4. Résultats

Les valeurs après ajustement et recuit ont été mesurées sur tous les 20 substrats produits dans cette série : 06-800...819. Les statistiques sont données ci-dessous au Tableau 1. La plage d'offset tolérée est environ ± 6 mV/V, non compensée pour les résistances sur la carte d'ajustement.

Grandeur	Unité	Statistiques
Résistance de pont	[Ohm]	Moyenne = 7'974 ; écart-type = 382 Min = 5'993 ; max = 10'628
Offset	[mV/V]	Moyenne = -0.7 ; écart-type = 1.3 Min = -6.7 ; max = +3.6
Nombre de poutres		Total = 4'200 Bonnes = 3'493 Déchet = 16.8 % Déchet (circuits ouverts) = 16.1%

Tableau 1. Valeurs initiales des différentes résistances, en écarts par rapport à leur valeur nominale.

Le taux de déchet est inacceptable pour un produit "mûr"... On constate que la cause principale est la présence d'un circuit ouvert, car le déchet dû à un mauvais appariement des résistances, qui n'aurait pu être compensé par ajustement, n'est que d'environ 0.7% (différence entre déchet total et déchet dû aux circuits ouverts, résistance de pont normale, mais offset simplement trop grand).

La valeur de résistance du pont fluctue aussi passablement, mais de manière tout à fait acceptable pour ce produit. Finalement, on constate que le recuit ne semble que peu décaler les valeurs d'offset, vu qu'on conserve un centrage proche de 0 mV/V et un faible écart-type.

Quelques mauvaises poutres ont été analysées plus en détail (binoculaire ; multimètre) :

- Aucun problème de métallisation des trous n'a pu être mis en évidence : la mise en service de la nouvelle table de sérigraphie, munie d'une pompe plus puissante, semble avoir essentiellement résolu ce problème.

- La connexion entre sérigraphie de l'or fin et de l'argent ne pose pas problème. On constate une légère distension du masque d'or, mais le décalage résultant est faible, estimé à environ 50 μm sur tout un substrat.
- Aucun court-circuit n'a été constaté.
- Seule une minorité des poutres examinées présentaient de très longues coupes d'ajustement (offset n'ayant pu être compensé).
- En revanche, une interruption de piste a été constatée dans la majorité des cas, sur l'or fin, sans que ce soit systématiquement au même endroit. De plus, l'or a l'air très fin même sur les "bonnes" poutres.

La principale cause de déchet est donc due à la sérigraphie trop fine de l'or sur certains substrats, comme l'atteste la très forte variabilité du taux de déchet entre les substrats (Figure 4) – ESL 8837 semble très sensible...

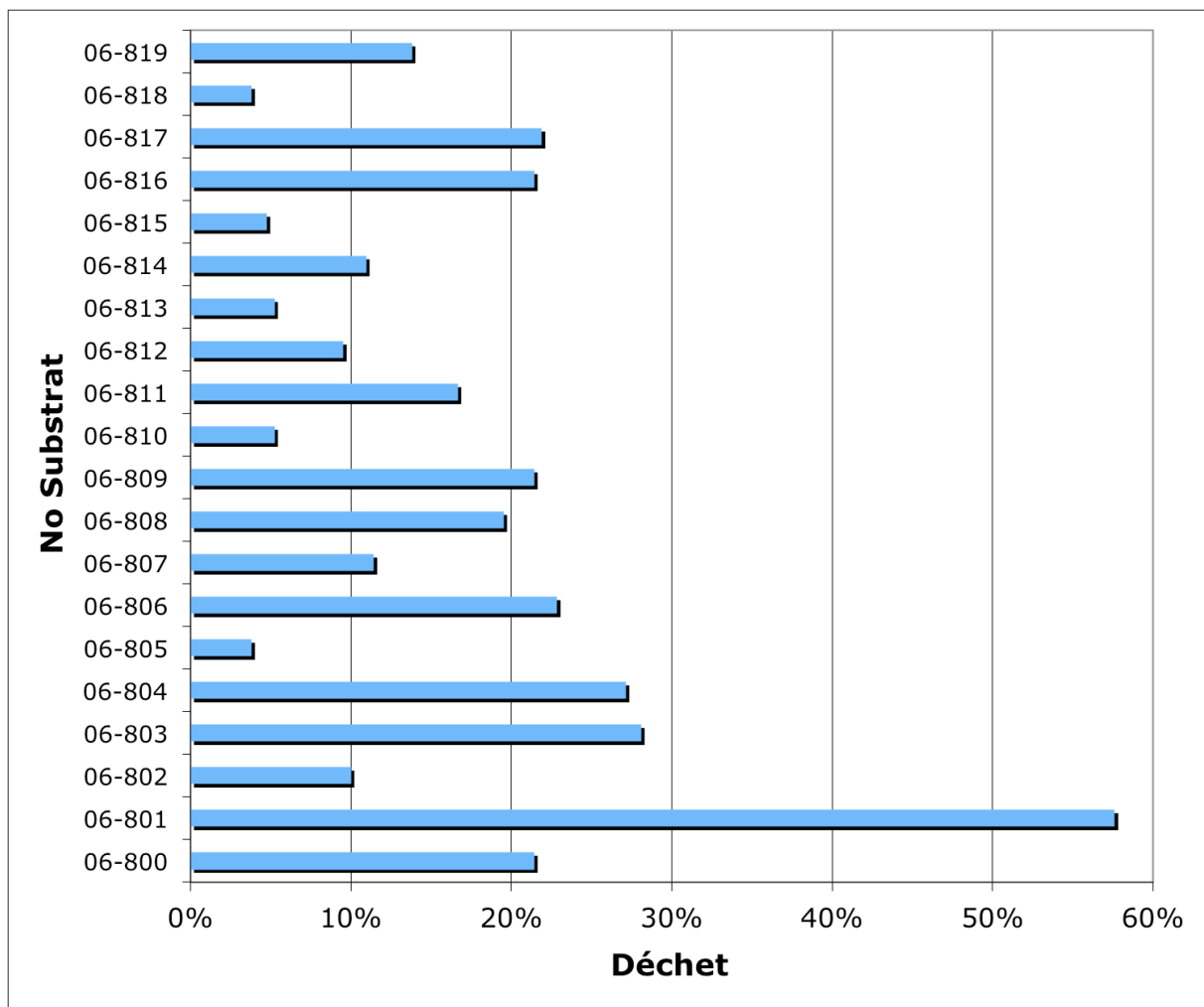


Figure 4. Taux de déchet par substrat.