



**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 142-2  
Echantillon No: 2.2.1383

**CONFIDENTIEL**

## RAPPORT: Découpe de différentes pièces horlogères par Laser-MicroJet®

*Pour* Anonymous

*Par* Florent Bruckert, Sylvain Hirth, Synova SA

### 1. OBJECTIFS

La technologie du Laser-MicroJet® a été utilisée pour découper trois pièces horlogères dans des substrats de durnico, laiton et alliage de cuivre et beryllium (CuBe) d'une épaisseur de respectivement 0,12mm, 0,2mm et 0,15mm.

L'objectif était d'optimiser le profil de rugosité en fonction des stratégies de coupe et des paramètres laser sur un même tracé.

### 2. DESCRIPTION

Le tableau ci-dessous regroupe les différentes pièces réalisées.

Composant	Référence	Matière	Épaisseur [µm]	Quantité	Référence de l'échantillon
Planche de réserve de marche	P610_35126_091B_P01	Laiton	200	5	A
Planche de réserve de marche	P610_35126_091B_P01	CuBe	150	5	B
Planche du mobile de chaussée avec entraîneur	P690_31083_091A_P01	Durnico	120	5	C
Planche de mobile de rattrapante	P581_35051_191A_P01	Laiton	200	5	D
Planche de mobile de rattrapante	P581_35051_191A_P01	CuBe	150	5	E
Planche de réserve de marche <sup>1</sup>	P610_35126_091B_P01	CuBe	150	30	F

Tableau 1: Pièces produites et références

<sup>1</sup> Cette pièce a été produite selon le plan P610\_35126\_091B\_P01 mais en profil « denture » et trou intérieur (voir figures 2 et 22). Les ouvertures (voir éch. B) ne sont pas présentes dans le dxf d'origine

Revue de rapport	
Chef de projet	Responsable Application
Nom: F. Bruckert, S. Hirth	Nom: Dr. Benjamin Carron
Date: 25.02.2014	Date: 28.02.2014
Visa: FBR, SHI	Visa: BC



**Figure 1:** Vue macroscopique de la production (pièces en lots de 5 exemplaires)

La dernière pièce a été produite 30 fois pour permettre une étude de reproductibilité et capabilité du processus de découpe. Notons que les variables d'essais ont été gardées constantes (opérateur, buse, paramètres de coupe etc.)



**Figure 2:** Vue macroscopique de la pièce pour l'étude de reproductibilité (pièce en 30 exemplaires)



**Figure 3:** Vue macroscopique de la production pour l'étude de reproductibilité (pièce en 6 lots de 5 exemplaires)



### 3. PROCEDE: INSTRUMENT & PARAMETRES DE DECOUPE

La LCS 150, équipée d'un laser pulsé utilisant la seconde harmonique du Nd:YAG a été déterminée comme la machine disponible dans notre laboratoire la mieux adaptée pour la découpe de métaux fins tels que prévus par cette application.

Dans le tableau ci-dessous, vous trouverez l'ensemble des paramètres optimisés et utilisés pour l'intégralité des tests de découpe. Ceux-ci ont été gardés constants lors du développement.

<b>SYSTEME</b>	Machine	LCS150
	Fixation	Pincé
	<b>PARAMETRES DU MICROJET®</b>	Diamètre de buse $40 \mu m$ Distance de travail $10 mm$ Gaz d'assistance He Débit $0.8 L/min$
	<b>PARAMETRES LASER</b>	Laser $EO31G$ Longueur d'onde $515 nm$ Temps de pulse $8.5 ns$

Tableau 2: Paramètres de coupe constants lors du développement

Le développement s'est axé sur l'état de surface et le suivi de contour. **Notons que le temps de découpe est un critère clairement perfectible suivant les exigences.** Une faible vitesse de coupe a été choisie dans ce développement afin privilégier la qualité de coupe.

Pour se faire, un développement a été fait pour chaque matière afin de trouver les paramètres laser et de coupe optimaux. Ces paramètres sont détaillés dans le tableau 3.

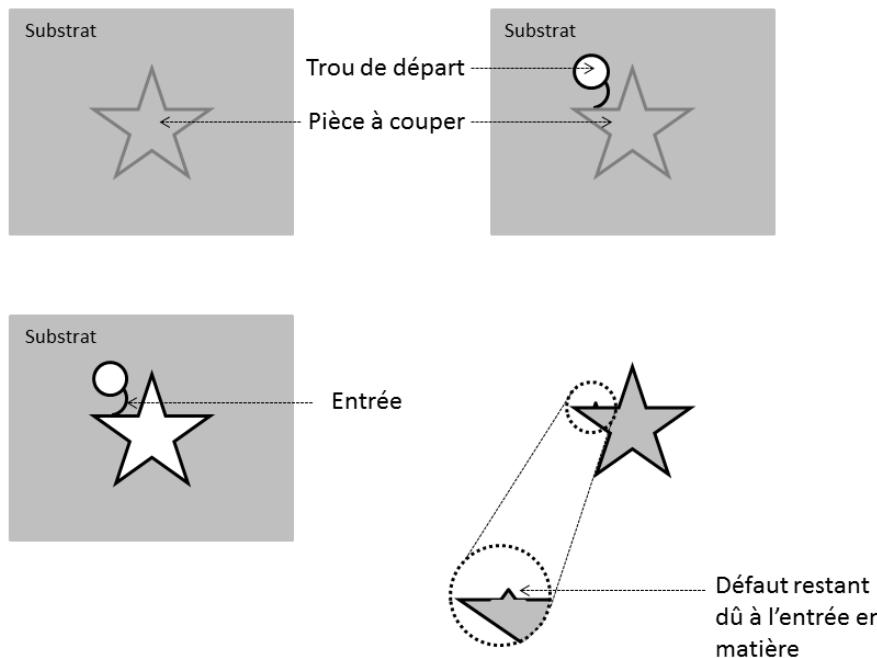
Echantillon	Fréquence [kHz]	Puissance (interne) [W]	Puissance (jet d'eau) [W]	Vitesse d'ébauche [mm/s]	Vitesse de finition [mm/s]	Temps de processus	Figures
A	120	19.5	7.41	0.3	0.3	4'54s	10,9,11
B	80	12.9	4.90	0.4	0.3	4'54s	12,13
C	80	12,9	4.90	1	0.3	3'55s	15,16
D	120	19,5	7.41	0.4	0.3	5'47s	18,19
E	80	12.9	4.90	0.4	0.3	5'47s	20,21
F	80	12.9	4.90	0.6	0.3	2'30s	23,24,25

Tableau 3: Paramètres optimaux utilisés pour la production



Dans cette application, une stratégie en mono-passe a été déterminée comme la plus satisfaisante en termes de qualité de coupe. Cette stratégie de coupe consiste à découper la pièce en un seul passage du laser.

Pour garantir la qualité de coupe, le laser nécessite d'être déjà traversant au début du contour de la pièce. Pour ce faire, nous coupons en multi-passe (le laser trace plusieurs fois le contour de coupe jusqu'à traverser la matière) un « start hole », à proximité de la pièce à usiner. Le laser traversant passe alors de ce trou au contour de la pièce par un « lead in », ou « entrée dans la matière ». Un petit appendice reste alors parfois présent sur le contour de la pièce, à l'endroit du « lead in » (cf Figure 4). Cet appendice peut être supprimé en adoptant une stratégie de coupe multi-passe.



**Figure 4 : Illustration découpe monopasse avec « lead in »**

Une passe de finition est une dernière passe du laser pour affiner la qualité de la découpe. La technique utilisée à Synova est de découper le contour de la pièce de manière traversante, puis, de déplacer de quelques microns le faisceau laser en direction de la pièce et de procéder à un dernier passage sur tout le contour. Ce dernier passage permet donc de lisser le profil de la pièce. Bien entendu, la passe de finition ne peut être appliquée qu'aux contours internes de la pièce.



#### 4. RESULTATS

L'ensemble des résultats obtenus sont résumés dans cette section.

Pour toutes les pièces produites, quelques points importants sont à noter :

- Une stratégie en monopasse avec passe de finition en contour intern a été appliquée;
- Nous donnons une représentation des programmes utilisés pour les tracés du faisceau laser correspondant aux pièces A,B,C,D,E et F. Dans ces images, seul le « lead-in » est représenté, le « start hole » n'y figure pas. Ceci permet de situer où l'on risque de trouver un défaut du contour ;

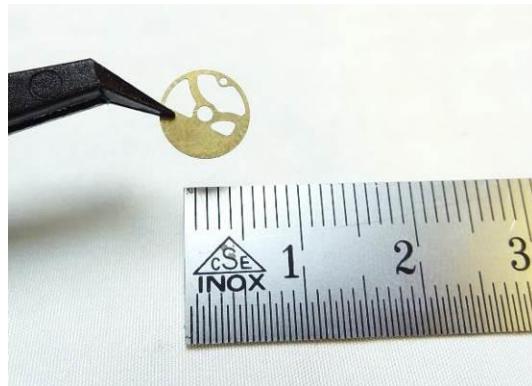
Les pièces découpées sont montrées en vue macroscopique ci-dessous.



**Figure 5:** Vue macroscopique de l'échantillon A  
(laiton)



**Figure 6:** Vue macroscopique de l'échantillon C  
(durnico)

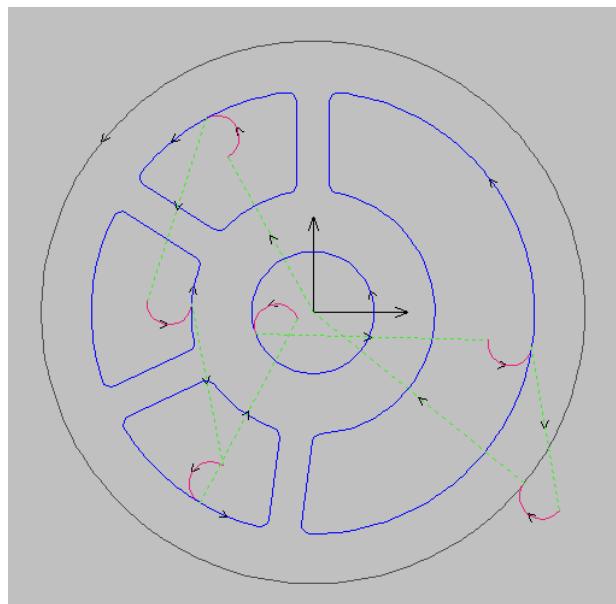


**Figure 7:** Vue macroscopique de l'échantillon E  
(CuBe)



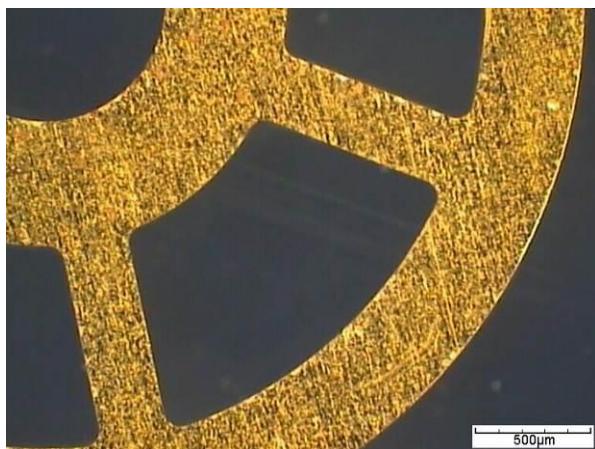
#### 4.1 ECHANTILLON A, LAITON, 200 MICRONS

La figure 8 donne une représentation du programme utilisé pour la découpe. Les « lead-in » sont représentés en violet.

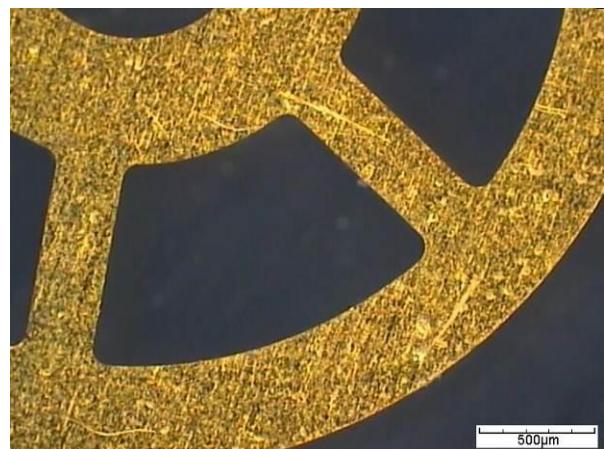


**Figure 8:** Contour programmé pour le passage du laser

Les figures 9, 10 et 11 montrent une vue microscopique de l'échantillon A (planche de réserve de marche, P610\_35126\_091B\_P01, laiton)



**Figure 10:** échantillon A, face arrière<sup>2</sup> (laiton)



**Figure 9:** échantillon A, face avant (laiton)

<sup>2</sup> Les faces arrière et avant font référence à la face d'attaque (face avant) et de sortie (face arrière) du jet

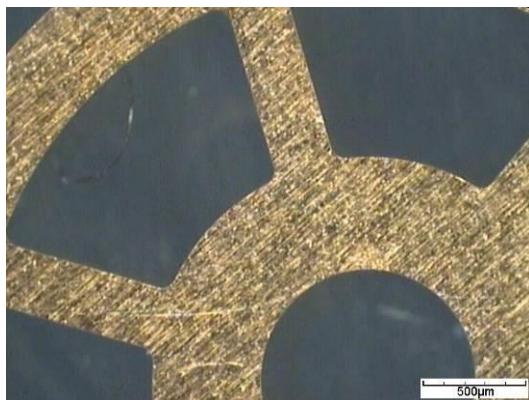


**Figure 11:** échantillon A, flanc de coupe (laiton)

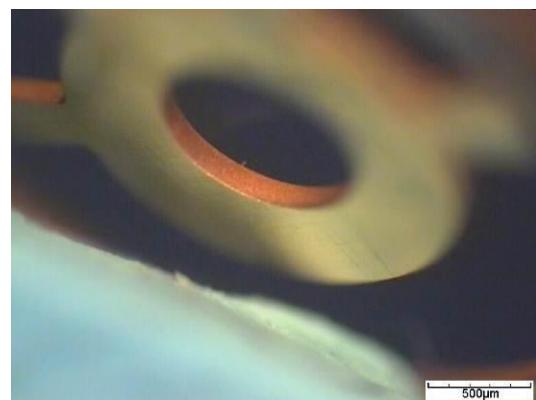
#### **4.2 ECHANTILLON B, CUBE, 150 MICRONS**

La figure 8 donne une représentation du programme utilisé pour la découpe. Les « lead-in » sont représentés en violet.

Les figures 12 et 13 montrent une vue microscopique de l'échantillon B (planche de réserve de marche, P610\_35126\_091B\_P01, CuBe)



**Figure 12:** échantillon B, face avant (CuBe)

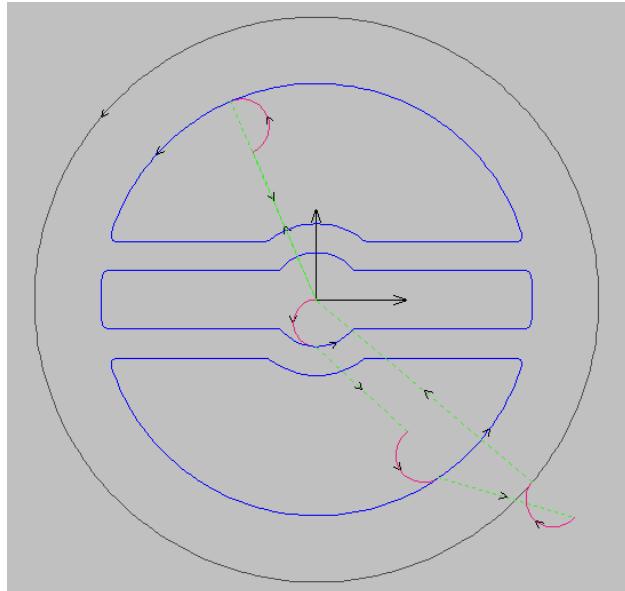


**Figure 13:** échantillon B, flanc de coupe (CuBe)



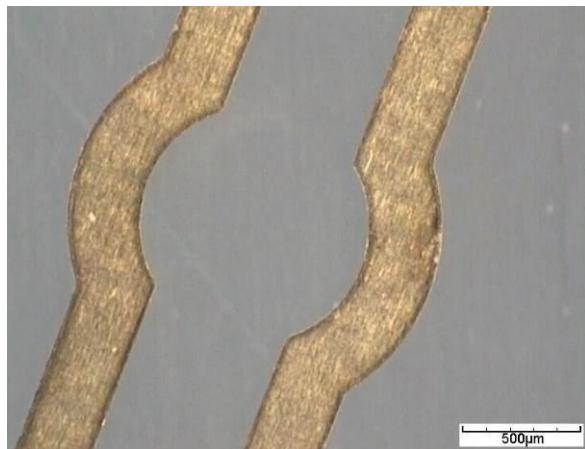
#### 4.3. ECHANTILLON C, DURNICO, 120 MICRONS

La figure 14 donne une représentation du programme utilisé pour la découpe. Les « lead-in » sont représentés en violet.

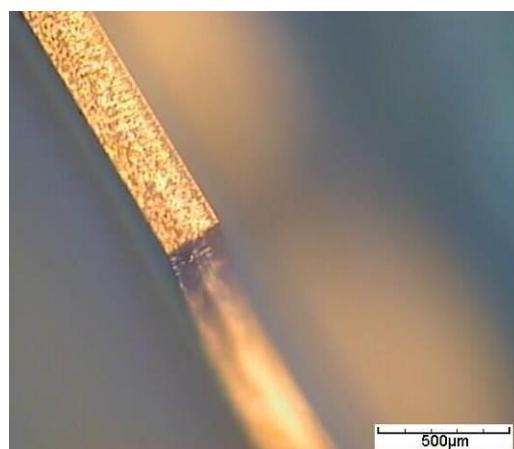


**Figure 14:** Contour programmé pour le passage du laser

Les figures 15 et 16 montrent une vue microscopique de l'échantillon C (planche du mobile de chaussée avec entraîneur, P690\_31083\_091A\_P01, durnico)



**Figure 15:** échantillon C, face arrière (durnico)

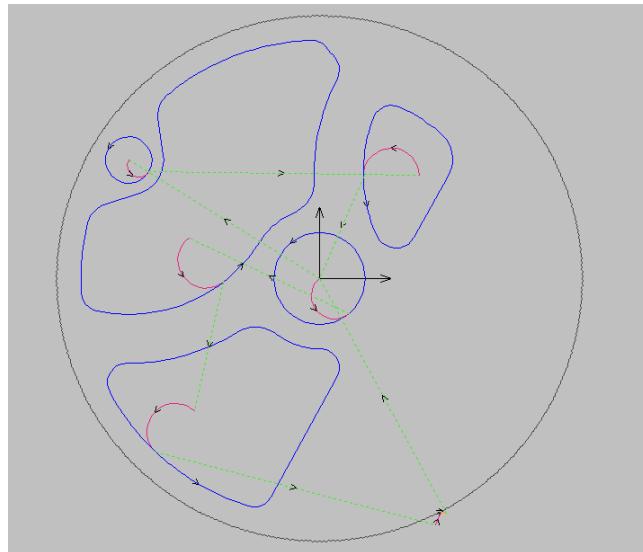


**Figure 16:** échantillon C, flanc de coupe (durnico)



#### 4.4. ECHANTILLON D, LAITON, 200 MICRONS

La figure 17 donne une représentation du programme utilisé pour la découpe. Les « lead-in » sont représentés en violet.

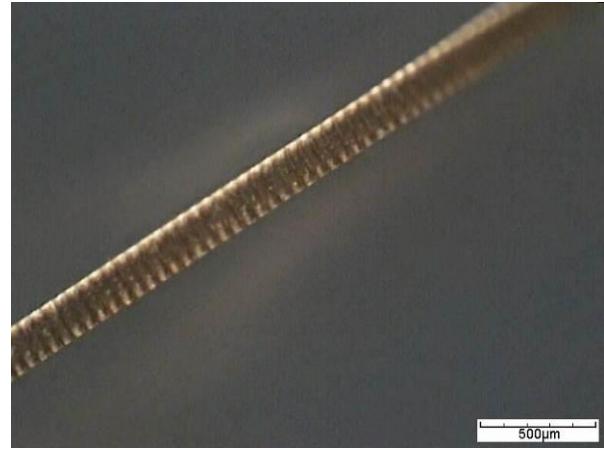


**Figure 17:** Contour programmé pour le passage du laser

Les figures 18 et 19 montrent une vue microscopique de l'échantillon D (planche de mobile de ratrapante, P581\_35051\_191A\_P01, laiton)



**Figure 18:** échantillon D, flanc de coupe (laiton, zoom x2,5)



**Figure 19:** échantillon D, flanc de coupe (laiton, zoom x5)



#### 4.5. ECHANTILLON E, CUBE, 150 MICRONS

La figure 17 donne une représentation du programme utilisé pour la découpe. Les « lead-in » sont représentés en violet.

Les figures 20 et 21 montrent une vue microscopique de l'échantillon E (planche de mobile de ratrapante, P581\_35051\_191A\_P01, CuBe)

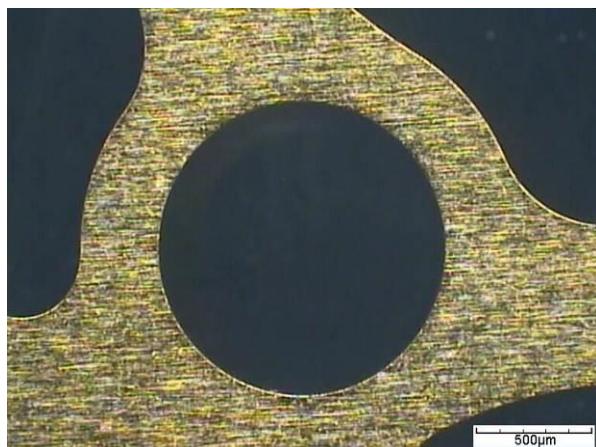


Figure 20: échantillon E, face arrière (CuBe)



Figure 21: échantillon E, flanc de coupe (CuBe)

#### 4.5. ECHANTILLON F, CUBE, 150 MICRONS

La figure 22 donne une représentation du programme utilisé pour la découpe. Les « lead-in » sont représentés en violet.

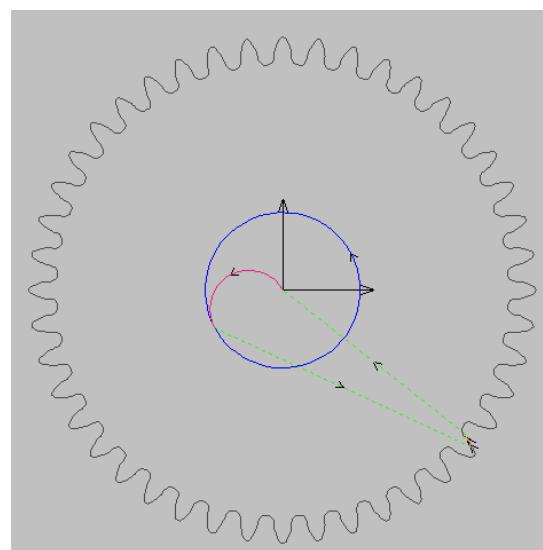


Figure 22: Contour programmé pour le passage du laser



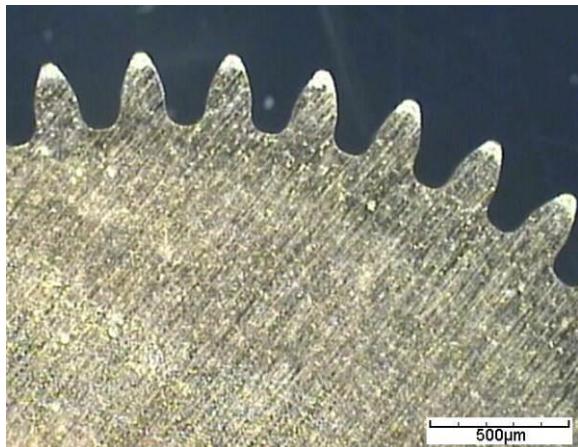
**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 142-2  
Echantillon No: 2.2.1383

**CONFIDENTIEL**

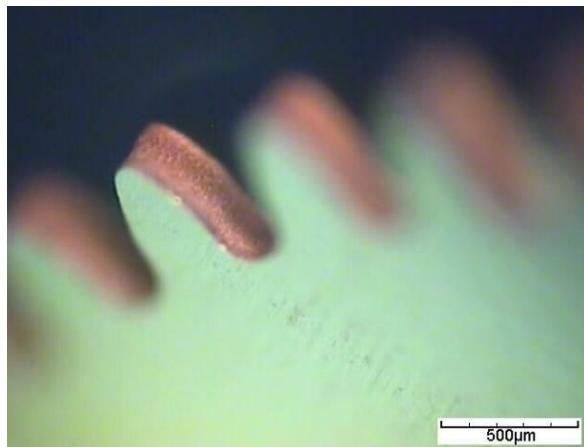
Les figures 23,24 et 25 montrent une vue microscopique de l'échantillon F (planche de réserve de marche, P610\_35126\_091B\_P01, CuBe)



**Figure 23:** échantillon F, face arrière (CuBe)



**Figure 24:** échantillon F, face avant (CuBe)



**Figure 25:** échantillon F, flanc de coupe (CuBe)



**SYNOVA**  
Ch. Dent-d'Oche  
CH-1024 Ecublens  
Suisse  
www.synova.ch

# RAPPORT D'APPLICATION

Rapport No: 142-2  
Echantillon No: 2.2.1383

**CONFIDENTIEL**

## 5. CONCLUSION

Les découpes de pièces ont été réalisées sur une machine SYNOVA LCS 150. Cette machine utilise la technologie du Laser MicroJet® et combine les avantages du laser pulsé à haute énergie avec les propriétés de guide d'ondes et de refroidissement apporté par un jet d'eau de moins de 40 µm de diamètre. Le laser est utilisé pour l'ablation du matériau. Le jet d'eau guide le faisceau laser, refroidit le bord de découpe et évacue les particules sublimées.

Nous sommes ouverts à l'amélioration concernant vos besoins en termes de :

- L'homogénéité de la rugosité sur le flanc ;
- La vitesse moyenne de découpe ;
- L'amélioration du trajet du laser ;
- Le nettoyage et le conditionnement ;
- La stratégie de coupe ;
- La précision de mesures et de tolérances.

Nous vous remercions pour l'intérêt que vous portez en notre technologie et espérons que nos résultats sont en accord avec vos exigences.

Nous vous contacterons très prochainement afin d'obtenir un retour sur ces essais pour partager nos résultats d'analyses et ainsi discuter avec vous des prochaines étapes.