

Résumé

La plupart des montres mécaniques sont composées d'un échappement à ancre Suisse. Cet organe se situe à la fin du rouage et sert à entretenir et à compter les oscillations du balancier-spiral. Par l'intermédiaire de l'interface ancre / roue d'échappement, il est soumis à des sollicitations parfois extrêmes induisant un rendement faible, d'environ 35%. En outre, le maintien du lubrifiant au contact est délicat et les frottements occasionnés peuvent provoquer une usure prématurée des éléments du système. La première partie de ce travail a consisté au développement d'une démarche d'investigation et de compréhension du fonctionnement du contact entre l'ancre et la roue d'échappement par l'intermédiaire des concepts du triplet et du circuit tribologique. Une visualisation en temps réel du contact, par caméra rapide, a ainsi permis d'obtenir l'évolution de la vitesse réelle des corps en contact. Parallèlement, l'analyse des composants à différents instants de fonctionnement ont conduit à la détermination des débits de 1er et 3ème corps. Par ailleurs, afin de mieux comprendre le comportement tribologique local du contact, un modèle dynamique par éléments finis de l'échappement à ancre Suisse a été développé. A la suite de cette étude, un scénario relatif à la vie du contact a été proposé afin de décrire les différentes phases de fonctionnement de l'échappement. Malgré le rôle clé de la couche de 3ème corps formée pendant le vieillissement par l'activation du débit source, elle génère un débit d'usure qui peut être néfaste pour le mécanisme de montre. Ce résultat amène, par conséquent, à la nécessité de formuler et de réaliser un troisième corps « optimisé ». Dans une seconde partie, une optimisation du comportement de ce 3ème corps a donc été recherchée afin d'atteindre (à terme) une fiabilité à 10 ans et une usure contrôlée. Pour ce faire, deux technologies de lubrification du contact, i.e. fluide et solide, ont été utilisées. La lubrification fluide a été améliorée par texturation des surfaces. La puissance et le nombre de tirs laser ont ainsi été fixés afin de respecter les formes et dimensions des textures imaginées pour le triplet tribologique étudié. Afin de s'affranchir de l'assèchement en lubrifiant fluide du contact au cours du temps, une lubrification solide a été introduite par imprégnation de solides lamellaires et dépôt d'un revêtement « dur » sur la roue d'échappement. Grâce au circuit tribologique et par l'intermédiaire de la création d'un débit source initial et d'un débit d'usure faible, une première optimisation de la couche de 3ème corps formée a été intuitée. Une meilleure compréhension du contact entre l'ancre et la roue d'échappement a été apportée. Cette compréhension a permis de passer d'une démarche essais / erreurs existante à une démarche scientifique de proposition de solutions pour l'optimisation du triple

- **Titre traduit**

The tribological circuit: An optimization tool for the 3rd body

-

Résumé

Most of mechanical watches are composed of a Swiss lever escapement. This mechanism is located at the end of the gear train and consist in counting and maintaining the oscillations of the balance wheel. It is subject to extreme solicitations, mostly located at the interface anchor / escapement wheel, inducing a low yield of about 35%. Besides, the difficulty of keeping lubricant within the contact can create wear and induce harmful consequences for the system. The first part of this work involved developing an investigation and understanding approach of the contact between the anchor and the escapement wheel through the concepts of Tribological triplet and circuit. A real-time visualization of the contact, through high-speed camera, succeeded in obtaining the evolution of the real speed of contact bodies. At the same time, components' observations at different operating times resulted in the evaluation of 1st and 3rd bodies' flows. Furthermore, in order to understand the local tribological behavior of the contact, a dynamic finite element model of the Swiss lever escapement was developed. Following this study, a scenario of the contact life was proposed in order to outline the different phases of the functioning of the escapement. Despite the key role of the 3rd body layer formed during aging by activating the source flow, it generates a wear rate that can be harmful to the watch mechanism. Therefore, it is necessary to formulate and realize an "optimized" third body. In a second part, an optimization of this 3rd body's behavior was sought in order to reach a 10-years' reliability and a stabilized wear. To do this, two lubrication technologies of the contact, i.e. fluid and solid, were used. Fluid lubrication has been improved by surface texturing. The power and the number of laser pulses were determined in order to respect the shapes and dimensions of the textures designed for the studied tribological triplet. To overcome the drying up of lubricant along time, the solid lubrication was investigated by impregnation of lamellar solids and deposition of a "hard" coating on the escapement wheel. Thanks to the Tribological circuit and through the creation of an initial source flow and a low wear flow, a first optimization of the 3rd body's layer formed has been assumed. A better understanding of the contact between the anchor and the escapement wheel has been provide. This understanding made it possible to go from an existing trial / error approach to a scientific approach for the optimization of the Tribological triplet. A stabilization of the wear and an optimized's third body were obtained by impregnating a MoS2 solid lubricant on the escapement wheel.t. Une stabilisation de l'usure et un troisième corps « optimisé » ont ainsi été obtenus.