

Augmenter la résistance à l'usure par cryotraitement et revêtements sur l'acier

11 septembre 2020, 02:00

Les métaux tels que l'acier à outils peuvent bénéficier d'un traitement par le froid. Un nouveau projet va appliquer cette technique cryogénique à l'acier à outils trempé en combinaison avec des revêtements spéciaux, afin d'augmenter considérablement la durée de vie d'outil après le poinçonnage.

Tout le monde sait que la congélation des aliments est importante pour augmenter la durée de vie de ces produits, mais les métaux peuvent également bénéficier d'un traitement par le froid, notamment l'acier à outils. Les horlogers suisses le savaient déjà il y a un siècle, ce qui leur a permis de fabriquer des montres de qualité. Sirris veut appliquer cette technique à l'acier à outils trempé pour augmenter considérablement la durée de vie d'outil après le poinçonnage. En collaboration avec le Fraunhofer Institut, un deuxième projet Cornet de deux ans a été lancé pour appliquer ce procédé en combinaison avec des revêtements spéciaux sur les outils de poinçonnage.

DCT

La technique cryogénique nous vient des États-Unis. Le siècle dernier, l'acier trempé était exposé à de basses températures, à savoir -196°C , qui est le point d'ébullition de l'azote liquide. Lorsque les pièces en acier étaient revenues à température ambiante, on observait une augmentation de la résistance à l'usure après utilisation. Cette méthode fut baptisée Deep Cryogenic Treatment, abrégé en DCT. Aux débuts, l'amélioration observée de la résistance à l'usure n'était pas étayée scientifiquement. On savait cependant que ce traitement augmentait la conversion de l'austénite résiduelle en martensite dans l'acier trempé, entraînant une augmentation de la dureté. Par la suite, des études plus fondamentales ont été réalisées en métallurgie et il a pu être démontré que, outre la conversion de l'austénite résiduelle, d'autres phénomènes se produisaient également. La formation de 'carbures eta' spéciaux lors de la phase de revenu après refroidissement cryogénique a été initialement réfutée, mais confirmée par la suite. En outre, il se produit également une réduction des contraintes dans l'acier trempé, ce qui stabilise en quelque sorte la structure. Cela conduit également à des changements dimensionnels moindres, problème largement rencontré en traitement thermique.

Bien que la technique cryogénique soit efficace pour certains aciers et applications, on a également enregistré des cas sans effet bénéfique. La cause n'est pas encore claire, mais l'absence de procédure 'standardisée' pourrait l'expliquer. L'effet positif diminuera à mesure que le temps entre la trempe et le refroidissement cryogénique augmentera (cet effet sera également étudié dans le cadre du nouveau projet). En outre, le refroidissement cryogénique peut être appliqué avant ou après la trempe de l'acier. Sur le plan métallurgique, aucune conversion ne peut

avoir lieu après le revenu, à moins d'une détente de contraintes comme mentionné ci-dessus.

Projet Infiblack

Ces dix dernières années, la technique cryogénique a été étudiée dans le monde entier, mais elle n'a suscité que peu de réactions de la part de l'industrie jusqu'à présent. Toutefois, outre l'acier, il existe des applications avec la fonte (par exemple les disques de frein en Formule 1) et les métaux non ferreux (par exemple les cordes de guitare en cuivre), qui ont donné naissance à diverses entreprises de cryogénisation. En Belgique, la société Nitrotechnics de Tubize a démarré vers 2011, après une étude limitée avec Sirris. En 2013, un premier grand projet a été réalisé avec Nitrotechnics en collaboration avec le Fraunhofer Institut en Allemagne. CoolTech a été fondée en Autriche en 2014, avec une filiale aux Pays-Bas depuis 2019.

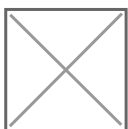
Le projet Infiblack (Increase of Lifetime for Fine Blanking tools) était axé sur la durée de vie d'outil des poinçons, composés de divers aciers à outils trempés pour le découpage de précision de tôles d'acier. Dans le cadre du projet, il est apparu que de nombreux paramètres pouvaient influencer la durée de vie des outils de poinçonnage et de découpage. À condition que certains facteurs (rugosité, jeu, etc.) restent constants, des résultats positifs ont été obtenus avec des pièces en acier qui avaient subi un refroidissement cryogénique (figure 1). Ces résultats prometteurs ont conduit à la poursuite de cette étude en 2019.



*Exemple d'augmentation de la durée de vie d'une matrice de poinçonnage
(Source : rapport du projet Infiblack 2013-2015)*

Projet DCT4Cut

Outre les nombreux essais de poinçonnage à l'échelle du laboratoire, des résultats positifs ont pu être obtenus pour certaines applications industrielles en Belgique et en Allemagne (voir figure 1). Le projet actuel DCT4-Cut permettra d'étudier plus avant cette tendance ainsi que l'influence du procédé de cryogénisation et des revêtements spéciaux obtenus par des technologies telles que le PVD et le DLC sur l'usure (voir figure 3). D'autres matériaux sont également examinés après concertation avec certains utilisateurs industriels (voir tableau). Les techniques classiques de poinçonnage sont complétées par une nouvelle technique, la découpe dite 'adiabatique' (figure 2). Cette méthode HSIC (High Speed Impact Cutting) est une forme de poinçonnage à grande vitesse de plus de 10 m/s, où les outils de coupe peuvent traiter des matériaux très résistants sans lubrification, mais avec une usure accrue en conséquence. Avec les techniques de poinçonnage classiques, la vitesse est inférieure à 1 m/s et l'usure est beaucoup plus faible.



*Comparaison de trois méthodes de poinçonnage
(Source : document interne Fraunhofer IWS 2018)*

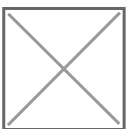
Le Fraunhofer Institut IWS dispose d'une installation pilote sur son site de Chemnitz pour le poinçonnage classique, le poinçonnage de précision et le poinçonnage à grande vitesse. Au cours du projet, ils effectueront des essais sur chaque installation et examineront l'usure des outils auxquels un refroidissement cryogénique et un revêtement ont été appliqués. Par usure, il faut comprendre tous les phénomènes qui entraînent une réduction de la durée de vie d'outil, notamment l'effritement, la soudure, etc. À un stade ultérieur, des essais industriels seront également réalisés sur des pièces réelles en matériaux de haute qualité, tels que l'acier haute résistance et les plastiques renforcés de fibres. Plusieurs entreprises de Flandre et d'Allemagne testeront ensuite leurs outils selon les traitements issus de ce projet.



*Variation de la méthode de cryogénisation lors de la trempe
(Source : document de demande projet Cornet DCT4Cut)*

Résultats préliminaires

Dans le cadre du projet Infiblack, six aciers de travail à froid ont été comparés. Les aciers PM Vanadis 4E et 23 se sont avérés être des aciers optimaux en combinaison avec un refroidissement cryogénique. Les autres aciers ont également donné de bons résultats, mais pas dans tous les domaines d'usure. Le projet actuel concerne deux autres aciers, qui ont été sélectionnés après concertation avec les partenaires industriels : l'acier 1.2379 (équivalent au K110), utilisé comme référence, car cet acier est largement utilisé, et l'acier Vanadis 4E, pour ses excellentes performances dans le projet précédent. Le K110 est un acier fabriqué de manière conventionnelle, tout comme le Caldie, mais ce n'est pas un acier issu de la métallurgie des poudres comme les deux autres aciers. L'avantage de l'acier PM réside principalement dans ses propriétés de haute qualité lors de son utilisation. L'inconvénient est le coût plus élevé par rapport à l'acier conventionnel.



Matériaux considérés pour les essais comparatifs de poinçonnage

Le traitement thermique a été réalisé de telle manière que la dureté obtenue après refroidissement cryogénique est d'environ 60 +/- 1 HRC pour tous les aciers. Une dureté inférieure augmentera l'usure, tandis qu'une dureté supérieure peut entraîner un risque de rupture plus élevé. La ténacité à la rupture après refroidissement cryogénique ne change pas pour tous les aciers, contrairement à la trempe conventionnelle sans refroidissement cryogénique. Le revêtement n'affecte pas non plus l'adhésion, mais bien la dureté. Afin d'obtenir une bonne adhésion des revêtements, le Fraunhofer Institut a opté pour la nitruration ionique.

Les premiers essais en laboratoire avec l'acier K390 ont déjà donné de très bons résultats avec des poinçons ronds (voir matrice de poinçonnage sur la figure 4 ci-dessous). Les autres aciers du tableau font encore l'objet de tests supplémentaires. Lors d'une prochaine phase, des poinçons industriels seront utilisés pour étudier l'usure avec le refroidissement cryogénique et les revêtements considérés.



*Matrice de poinçonnage pour le contrôle des poinçons en acier de travail à froid
(Source : document interne Fraunhofer IWS 2020)*

On tentera d'achever toutes les combinaisons de matériaux et de traitements d'ici la fin de l'année et les essais industriels d'ici la mi-2021.

Veerle Fincken (VOM) est la coordinatrice du projet.

Ce projet est financé par VLAIO et CORNET (projet DCT4Cut).

Auteurs