

Pourquoi le frottement dans les assemblages vissés est-il déterminant pour la capabilité process

White Paper

Pourquoi le frottement dans les assemblages vissés est-il déterminant pour la capacité process

par **Martin Rüedy**

Équipe d'experts Bossard,
Bossard Central Europe

www.bossard.com

Tous droits réservés © 2023 Bossard

Les recommandations et notes mentionnées doivent être suffisamment vérifiées par le lecteur dans l'utilisation pratique et déclarées aptes à leur application. Sous réserve de modifications sans préavis.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

POURQUOI LE FROTTEMENT DANS LES ASSEMBLAGES VISSÉS EST-IL DETERMINANT POUR LA CAPABILITÉ PROCESS

Introduction

La « production allégée » s'inscrit dans la tendance et désigne des procédés plus légers et bien ciblés. Dans le monde entier, on recherche des solutions qui permettent d'obtenir une efficacité plus grande, une consommation plus faible et de plus grandes durées de vie. Lorsqu'on évalue des nouveaux matériaux ou de nouveaux procédés de traitement de surface ou d'ennoblissement, les propriétés tribologiques telles que le frottement, la lubrification et l'usure entrent en jeu presque toujours.

De plus, dans les produits industriels, les assemblages vissés démontables constituent une composante essentielle au regard des nouveaux modes de construction et des nouveaux matériaux. Concernant le rendement du matériau et la capacité process, des exigences de plus en plus élevées sont imposées aux processus de montage.

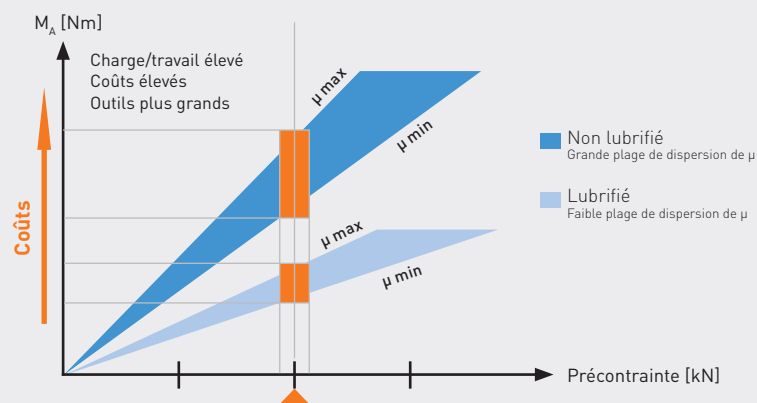


Figure 1 Bossard, propre illustration

Éléments de connaissance pour réussir les assemblages vissés

- Capacité process
- Sécurité du procédé dans le montage
- La tribologie vue comme un défi

Un défi dans les assemblages vissés

Le marché exige des produits fiables qui offrent une grande disponibilité et des cycles d'entretien toujours plus longs. Pour pouvoir répondre à ces exigences, en considérant la sécurité fonctionnelle des assemblages vissés, on demande des technologies de traitement de surface appropriées. L'appariement des matériaux et une protection anti-corrosion appropriée doivent satisfaire aux influences extérieures et aux sollicitations. Ils doivent garantir la sécurité des assemblages, même à des températures de service élevées, comme par ex. dans le cas de la fixation de la ligne d'échappement sur des moteurs à combustion interne.

Outre la fonction de protection dans les conditions d'utilisation, les surfaces techniques doivent satisfaire également à des exigences tribologiques en amont dans la ligne de montage. Le montage classique des vis s'effectue avec les effets de frottement donnés entre les surfaces en mouvement l'une par rapport à l'autre, en conséquence de quoi la précontrainte effective des vis est soumise à l'effet du couple de serrage appliqué au montage.

Un montage des vis réalisé par un procédé fiable exige d'avoir une dispersion faible et constante du coefficient de friction pour le filetage et la surface d'appui de la tête de vis. La lubrification des éléments d'assemblage est donc une condition indispensable à une qualité pérenne de l'assemblage.

Outre les obligations légales relatives à une manipulation des produits industriels respectueuse de l'environnement et satisfaisante en matière de santé, les aspects économiques font également l'objet de toutes les attentions. On utilise de façon croissante la lubrification liquide par des ajouts de lubrifiant dans les revêtements secs des éléments d'assemblage (TopCoats) et celle-ci est appliquée sur les revêtements de métal de base (basecoats). Pendant ce temps, de nouveaux systèmes de protection de surface présentant de bonnes propriétés d'anti-corrosion, équivalents ou même supérieurs aux revêtements de chromatisation à base de chrome hexavalent, se sont imposés. Toutefois, la normalisation de la technique de traitement de surface est en retard par rapport au développement de la technologie industrielle des revêtements. La normalisation pour des caractéristiques harmonisées de coefficient de friction et de protection anti-corrosion devient de plus en plus complexe du fait de la multiplicité des revêtements de surface exempts de Cr(VI), combinés avec les Top-Coats.

Conclusion

L'industrie automobile est un véritable moteur de progrès en ce qui concerne les directives pour la protection anti-corrosion et la plage de coefficient de friction, permettant un montage en usine en toute sécurité et couvrant toutes les exigences d'une exploitation sûre. Les entreprises, sous la pression, doivent trouver des solutions encore meilleures sur un plan international pour fournir des conditions de montage plus efficaces et obtenir des cycles de fonctionnement plus longs.

On a de plus en plus recours à des solutions globales avec un concept de revêtement pour des caractéristiques de performance ciblées. L'offre comprend notamment différentes couches de base avec des couches de finition (par ex. systèmes de revêtement de zinc lamellaire). Les revêtements dits anti-friction présentant des coefficients de frottement spécifiés sont judicieusement appliqués par le même enducteur.

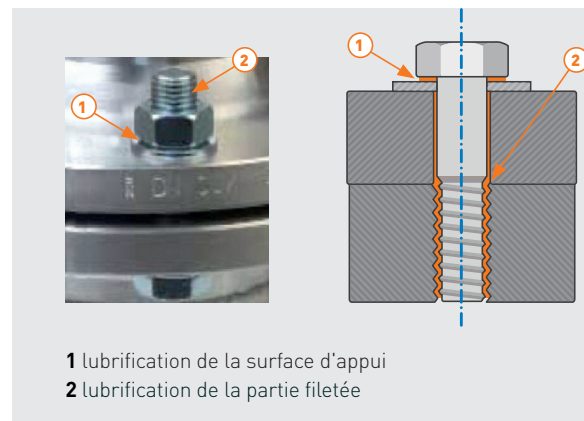


Figure 2 Raccords à brides présentant des exigences élevées en matière d'étanchéité et une pression superficielle aussi uniforme que possible en raison de la précontrainte des vis.

POURQUOI LE FROTTEMENT DANS LES ASSEMBLAGES VISSÉS EST-IL DETERMINANT POUR LA CAPABILITÉ PROCESS

Capabilité process

Pour des assemblages vissés affectant la sécurité, pour lesquels une force de précontrainte doit être garantie, un montage manuel sans procédé de serrage contrôlé ne convient pas. Le recensement de toutes les grandeurs d'influence pour la sécurité du procédé est nécessaire pour pouvoir évaluer notamment la dispersion du coefficient de friction, et sélectionner la visseuse adaptée.

Dans une approche rationnelle, on peut déduire une méthode efficace issue du secteur automobile en se basant sur l'analyse de risque dans le procédé de vissage. À cet effet, La norme VDI 2862 constitue une base possible pour la classification des assemblages vissés et un guide pour la sélection et l'utilisation des systèmes de vissage correspondants.

Cette directive répartit les assemblages vissés dans la fabrication automobile en trois classes de risque. Le montage en toute sécurité est donc lié entre autres à une utilisation appropriée des outils.

Classe de risque A

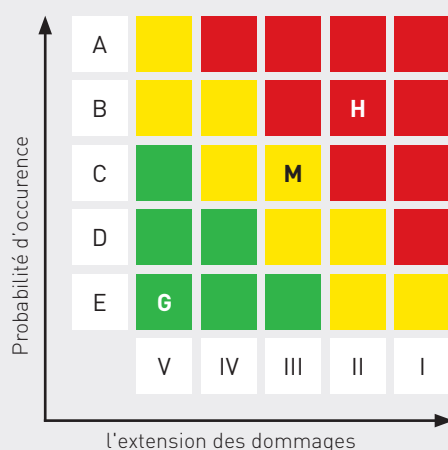
« Danger direct ou indirect pour la vie des personnes ou pouvant occasionner des blessures » : cette classe s'applique lorsqu'il y a des fortes probabilités qu'une défaillance du boulon considéré puisse provoquer un problème de sécurité et/ou la destruction de la machine/appareil/véhicule et mette ainsi en danger directement ou indirectement la vie des personnes ou occasionne des blessures.

Classe de risque B

« Perte de fonctionnement » : cette classe s'applique lorsqu'une défaillance du boulon considéré peut provoquer un mauvais fonctionnement du véhicule.

Classe de risque C

« Désagrément pour le client » : cette classe s'applique lorsqu'une défaillance du boulon considéré peut provoquer un désagrément pour les clients.



H = Mesures nécessaires urgentes

M = Vérifier les mesures, à améliorer ?

G = Mesures d'organisation ou de personnel

Figure 3 Bossard, propre illustration

Améliorations mesurables des processus à l'aide de chiffres clés

Les indices de capabilité C_p et C_{pk} sont des indices d'analyse statistique d'une caractéristique de procédé. Ils indiquent le degré de sûreté selon lequel la plage de tolérance ciblée est respectée conformément aux spécifications. On peut ainsi définir en tant que caractéristique de contrôle le coefficient de friction, le couple de serrage délivré ou la précontrainte à atteindre dans le composant.

L'indice C_{pk} est calculé de la manière suivante à partir de la valeur moyenne μ , de l'écarttype (ou dispersion) correspondant σ et de la limite supérieure (OSG) et inférieure (USG) de tolérance:

$$C_{pk} = \frac{\min(\mu - USG; OSG - \mu)}{3\sigma}$$

Plus la valeur de l'indice est élevée, plus il sera sûr que toute la série de mesures se trouve dans la fourchette de tolérance spécifiée.

L'indice C_p est défini comme suit:

$$C_p = \frac{OSG - USG}{6\sigma}$$

La valeur de l'indice C_p peut être calculée uniquement lorsqu'on a défini une limite supérieure et une limite inférieure de tolérance.

Alors que la valeur de l'indice C_p indique uniquement le rapport de la tolérance prescrite à la dispersion du procédé, l'indice C_{pk} donne aussi le rapport entre la valeur moyenne réelle et la valeur moyenne ciblée. Dans le meilleur des cas (la valeur moyenne du procédé se situe exactement au milieu de la plage de tolérance), $C_{pk} = C_p$; autrement $C_{pk} < C_p$.

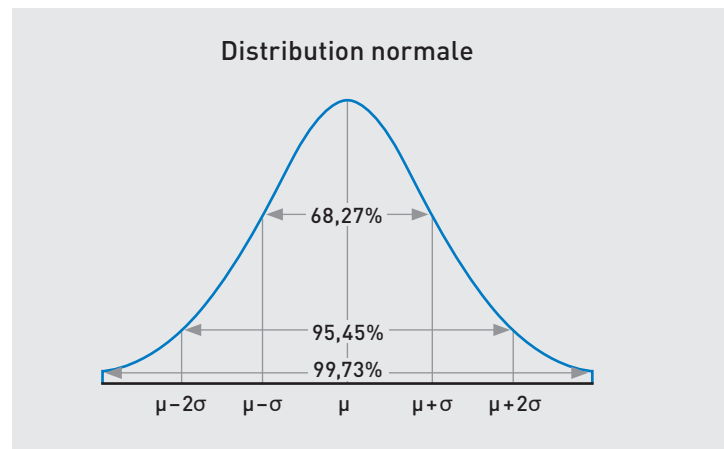


Figure 4 Distribution normale ou de Gauss (selon Carl Friederich Gauss)

Conclusion

La capabilité process du montage est donc une condition essentielle pour réduire le plus possible le temps d'exécution du montage. Des écarts entre les coefficients de frottement ou parfois même des ruptures de vis entraînent souvent dans la pratique du montage des arrêts non planifiés. Ce genre de situation doit être évité en restaurant des conditions cadre adaptées pour le vissage et des consignes de montage correspondantes. Une bonne capabilité process consiste donc à pouvoir mettre en œuvre une précontrainte adaptée et conforme aux attentes.

POURQUOI LE FROTTEMENT DANS LES ASSEMBLAGES VISSÉS EST-IL DETERMINANT POUR LA CAPABILITÉ PROCESS

Sécurité du procédé au montage

La sécurité du montage est déterminée de façon décisive par la précontrainte. Le montage s'effectue en se basant sur les spécifications de montage et les conditions tribologiques aux limites. La force de précontrainte est fortement influencée au cours du montage par l'effet de frottement de la paire de filetages et des surfaces d'appui (élément d'assemblage composant). Le rendement lors du montage des vis ne dépasse pas 10 à 20 % ! (voir aussi l'illustration 8)

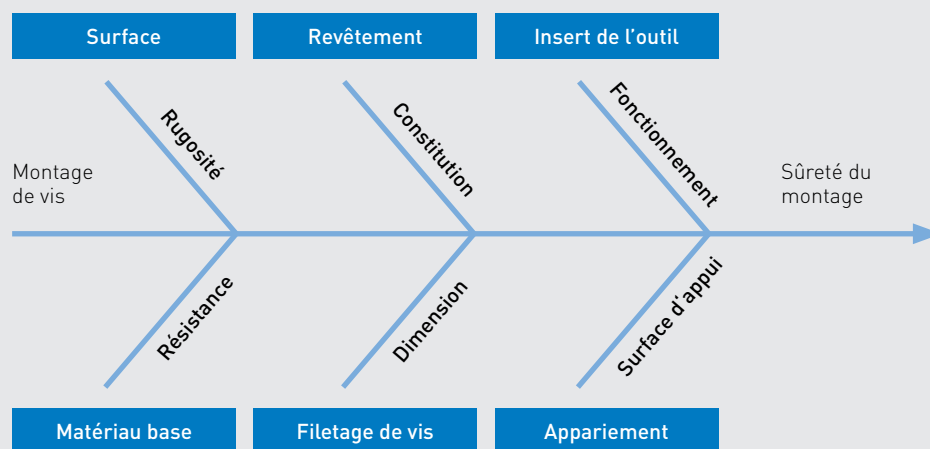


Figure 5 Bossard, propre illustration

Conditions tribologiques aux limites dans l'assemblage vissé

Il apparaît ainsi clairement que la précontrainte à obtenir selon le calcul de conception peut être atteinte uniquement avec des conditions tribologiques aux limites qui soient clairement définies. Un montage fiable nécessite en plus une faible dispersion du frottement. Pour des assemblages affectant la sécurité, la pratique exige donc d'avoir une lubrification définie.

Tout à fait dans l'esprit d'une « production allégée », avec des temps de passage raccourcis et une réduction des coûts, le flux de toutes les activités, de la demande d'achat jusqu'au contrôle du produit, doit être conçu de façon optimale. Des activités dans la production telles que des opérations de préparation (par ex. apprêt, nettoyage, graissage d'appoint) ne créent pas de valeur véritable et sont donc à éviter.

Le revêtement à sec tribologique directement sur les éléments d'assemblage améliore la sécurité de montage exigée avec des plages de coefficient de friction définies pour la force de précontrainte à atteindre. Pour que la sûreté de montage demeure garantie même pour le remontage d'éléments à remplacer, il convient de prévoir des éléments de vissage dotés de revêtements nouveaux qui comportent une lubrification intégrée.

Conclusion

Un montage économique repose sur la simplicité des processus de montage, avec des dispositifs de montage adaptés. Les éléments de vissage eux-mêmes, avec leurs propriétés tribologiques, sont également déterminants pour obtenir la précontrainte de montage exigée. Les assemblages affectant la sécurité doivent donc toujours être pourvus avec des éléments de vissage à l'état neuf et documentés éventuellement avec une affectation d'étiquette (lot de fabrication).

POURQUOI LE FROTTEMENT DANS LES ASSEMBLAGES VISSÉS EST-IL DETERMINANT POUR LA CAPABILITÉ PROCESS

La tribologie vue comme un défi

Déjà, autour de 1880 avant J.C., les Égyptiens avaient rendu possible le transport du colosse d'albâtre en instaurant des mesures pour réduire le frottement. On peut déduire des dessins ancestraux un véritable concept de lubrification avec des compétences claires pour maîtriser les conditions tribologiques.

Selon la norme DIN 51834-2, la tribologie est définie comme suit : « la tribologie est la science et la technique des surfaces en contact l'une avec l'autre et animées de mouvements relatifs ». Elle recouvre tous les domaines du frottement, de l'usure, de la lubrification ainsi que celui des phénomènes d'interface entre les solides et aussi entre les solides, les liquides et les gaz.

Le frottement est une interaction entre deux surfaces de corps se trouvant en contact qui s'oppose à leur mouvement relatif. Il induit une perte d'énergie mécanique en maintenant le mouvement ou en terminant un mouvement relatif entre des surfaces en contact. Le frottement peut aussi être désigné comme un processus thermodynamique irréversible.

La norme VDI 2230 permet une affectation des classes de coefficient de friction avec des valeurs indicatives pour différents matériaux / surfaces et des états de lubrification pour des assemblages vissés.

Toutefois, les données publiées sont valables uniquement dans des conditions de laboratoire à une température ambiante et doivent donc être réévaluées pour une application correspondante et des conditions d'utilisation spécifiques. Les coefficients de frottement μ_{tot} , μ_{th} , μ_b présentent des dispersions, car ils sont fonction de plusieurs facteurs, comme par ex. l'appariement des matériaux, l'état de surface (rugosité), le traitement de surface (blanc, galvanisé, revêtu de zinc lamellaire, vitrifié, etc.) et le type de lubrification (sans/avec huile, disulfure de molybdène, pâte de graphite, agent anti-friction PTFE, etc.).

Des conditions de frottement définies sont pour la surface d'appui de la tête de vis ainsi que pour le filetage une condition essentielle à la fiabilité du dimensionnement et à la sûreté du montage.

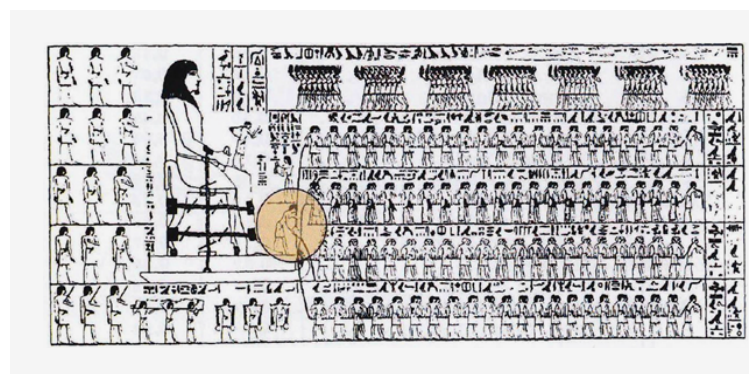


Figure 6 Transport d'un colosse en albâtre en Égypte

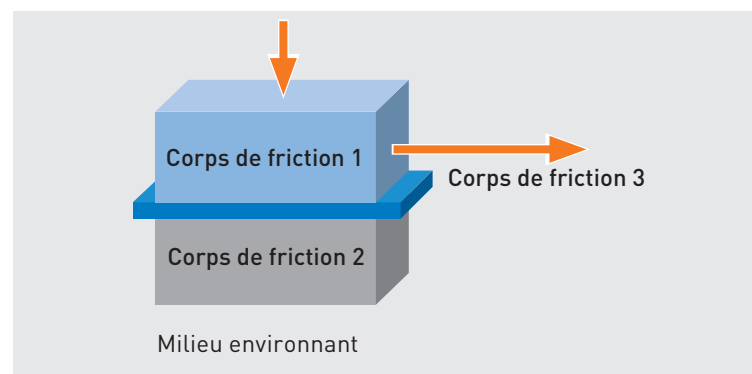
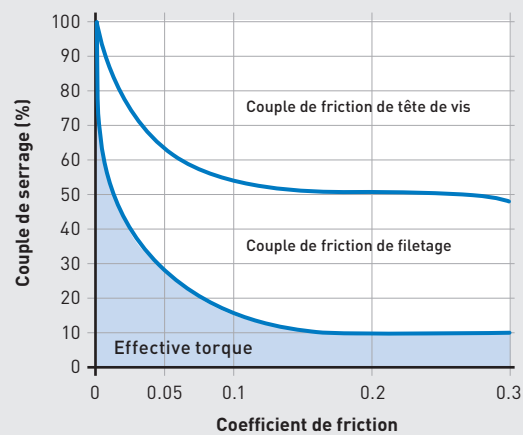


Figure 7 Le frottement dans l'assemblage vissé et les joints de séparation et ses grandeurs d'influence.



$$M_A = F_M \left[\frac{d_2}{2} \tan(\rho + \rho_s) + \frac{D_{km}}{2} \tan \rho_k \right]$$

Figure 8 Le coefficient de friction μ est fonction de l'appariement des matériaux, de l'état de surface, du traitement de surface et de la lubrification.

L'usure désigne la perte de matériau sur les couches superficielles d'un solide par des causes mécaniques, c'est-à-dire par le contact et le mouvement relatif d'un corps opposé solide, liquide ou gazeux. Elle se traduit par le détachement de petites particules (particules d'usure) ainsi que par des variations de forme et des pertes de matière de la surface chargée tribologiquement.

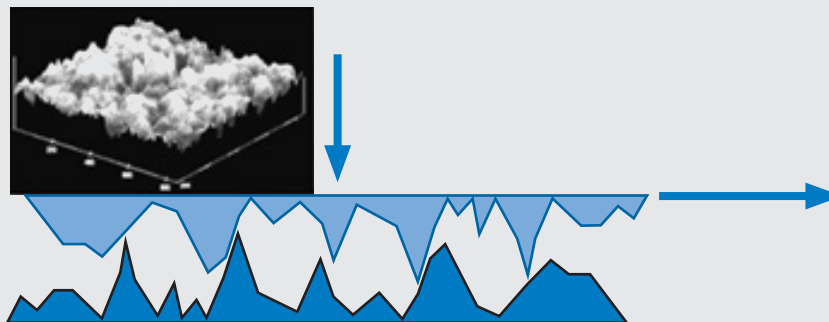


Illustration 9 L'usure

Conclusion

La tribologie représente une réelle spécialité interdisciplinaire qui a pour objet d'optimiser les technologies mécaniques en réduisant les pertes d'énergie et de matière dues au frottement et à l'usure. Etant donné que les revêtements de surface sont soumis dans les conditions d'utilisation à une dégradation fonctionnelle, la coloration, l'état de surface et, selon le matériau de vis utilisé, le risque résiduel d'une défaillance constituent une raison de remplacement. Pour des assemblages vissés affectant la sécurité, il est recommandé d'effectuer une observation programmée et un contrôle périodique (évaluation).

Objectif des mesures tribologiques pour optimiser les systèmes mécaniques	Fréquence des mentions ciblées par les utilisateurs (100 % = 978 mentions)
1. Extension de la durée de vie	32
2. Absence d'entretien	22
3. Augmentation de contrainte / régime	9
4. Amélioration de la production	8
5. Réduction de la perte électrique	7
6. Diminution des fuites, étanchéité	6
7. Réduction du bruit	5
8. Application à haute température	4
9. Réduction des vibrations	4
10. Diminution du poids	2
11. Divers	1

Figure 11 Tâches et objectifs caractéristiques en tribologie



N'hésitez pas à nous contacter pour toute question concernant le frottement dans les assemblages vissés. Nous serions ravis de vous aider. Vous trouverez nos coordonnées sur : www.bossard.com.