

Données complémentaires pour une meilleure approche du chapitre

APPROCHE TECHNICO-ECONOMIQUE

Ch. 3 - Notions élémentaires de mécanique

Ch. 8 - Vocabulaire du métier de la fixation

CHOIX D'UN ASSEMBLAGE BOULONNÉ

Ch. 4.2 - Règles d'implantation

CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Ch. 5.57 - Essais de couple-tension

BIBLIOTHEQUE & OUTILS

Ch. 22 - Performance des modes d'entraînement des vis

Ch. 23 - Tableau de choix des numéros d'embouts et clés

Ch. 24 - Couples de serrage pour visserie en acier ou inox

ENVIRONNEMENT & LEGISLATION

Ch. 12 - Usages de la profession et préconisations générales

8

Serrage, auto-freinage, grippage

8.0 Principes mécaniques du serrage d'un assemblage vissé

Le serrage d'un assemblage vissé consiste à utiliser de façon optimum les propriétés élastiques de la vis, élément principal de l'assemblage.

Un assemblage vissé correctement se comporte comme un «ressort». Le serrage génère une précharge axiale de tension, égale et opposée à la compression qui s'exerce sur les pièces assemblées.

Selon les applications, le serrage doit :

- assurer la rigidité du montage et lui permettre de supporter les sollicitations de traction, compression, flexion et cisaillement,
- garantir une étanchéité,
- résister aux effets de desserrage spontané,
- éviter le cisaillement de la fixation,
- réduire les sollicitations de fatigue sur la fixation
- en veillant que les produits assemblés et la fixation restent en dessous de leur limite élastique.

Un serrage est optimum quand l'assemblage n'est trop, ni trop peu serré !

Modélisation d'une liaison par vis

Un assemblage vissé passant par un trou lisse peut être modélisé par la méthode des éléments finis (figure 8.0-1). La tension de serrage est simulée par un effort de traction pure appliqué sur la partie inférieure du corps de la vis.

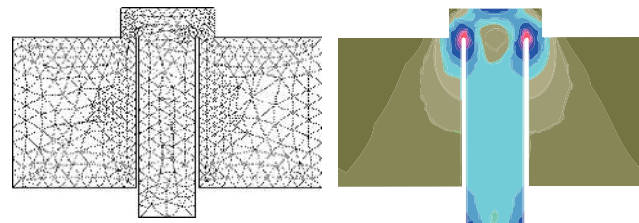
Cette modélisation met en évidence :

- la présence d'un cône de compression,
- une contrainte de pression maximale à l'interface tête de vis / support,
- une concentration de contrainte à la jonction tête et corps de la vis.

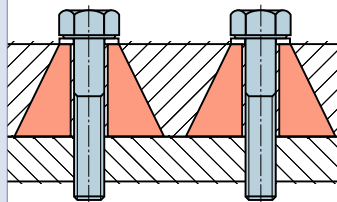
Cône de compression

Sous l'effet de l'effort de serrage et de la mise en tension de la vis, les pièces serrées sont comprimées. La zone sous contrainte est assimilée à un cône prenant naissance sous la tête de la vis (figure 8.0-2). Par conséquent le serrage est inefficace au-delà d'une distance à l'axe de la vis correspondant à la trace de ce cône sur le plan de jonction des pièces assemblées.

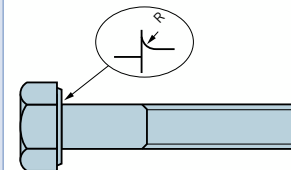
Le choix de la qualité de liaison souhaitée (liaison homogène ou localisée) impacte donc le nombre de vis utilisées et leur diamètre. Si la liaison est susceptible de devoir transmettre un effort tangentiel, il convient de maîtriser le coefficient de frottement des pièces assemblées et d'obtenir un recouvrement des zones de compression.



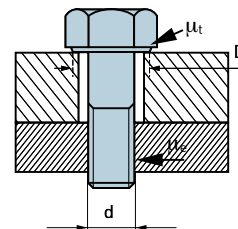
8.0-1 Modélisation d'une liaison par vis



8.0-2 Cône de compression



8.0-3 Concentration de contrainte



8.0-4 Relation entre couple de serrage et effort de tension

Contrainte de pression sous tête

La modélisation met en évidence le maximum de contrainte sous la tête de vis ou sous sa rondelle associée (figure 8.0-3). Il est donc nécessaire de valider la contrainte admissible par le matériau assemblé. Une rondelle d'appui interposée entre la tête de vis et le matériau permet de répartir la charge et de limiter la contrainte.

Concentration de contrainte

La concentration de contrainte à la jonction du corps de la vis et de sa tête peut conduire à des phénomènes de rupture sous tête. Le risque est limité par la présence d'un rayon de raccordement. Dans le cas de l'utilisation d'une rondelle d'appui, son diamètre interne doit être maîtrisé et suffisant pour éviter les interférences.

Relation entre couple de serrage et effort de tension dans la vis (figure 8.0-4)

En première approche, cette relation s'exprime par une équation simple de proportionnalité :

$$C_s = K \times F$$

Le coefficient **K** s'exprime par la formule de Kellerman et Klein :

$$K = \frac{p}{2\pi} + 0,583d\mu_f + \frac{D}{2}\mu_t$$

- p** : pas du filetage,
- d** : diamètre à flanc de filet,
- μ_f** : coefficient de frottement dans les filets,
- D** : diamètre moyen sous tête,
- μ_t** : coefficient de frottement sous tête.

Cette expression du coefficient **K** met en évidence le rapport direct entre le couple de serrage et les caractéristiques dimensionnelles de la vis d'une part et l'importance des coefficients de frottement.

Pour plus de détails concernant les règles de calcul, les normes de références sont la NF E 25030-1, la norme allemande VDE 2230, les normes d'essai ISO 16047, EN 14399-2 et EN 1090-2.

Le CETIM a développé un logiciel de calcul des assemblages vissés : COBRA®.

Relation couple / tension

Pour les assemblages vissés, la relation liant le couple de serrage appliqué et la tension qui en résulte dans la vis est tributaire des frottements. Ces frottements se localisent :

- entre les filets de la vis et de l'écrou ou du taraudage,
 - mais aussi entre la face d'appui et la fixation entraînée en rotation (vis, ou écrou).
- Les assemblages optimisés nécessitent une bonne maîtrise des frottements ainsi que l'emploi d'outils d'assemblage précis afin de respecter la plage de tension visée.

Les essais de couple/tension sont effectués:

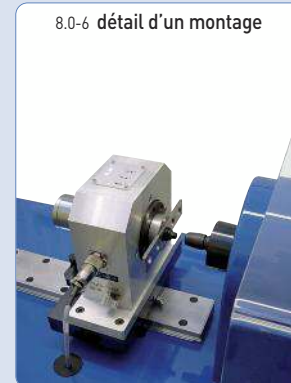
- soit pour déterminer les caractéristiques réelles d'assemblage (à condition de disposer des pièces et des fixations à assembler),
- soit pour vérifier les caractéristiques d'un élément de fixation dans **des conditions de référence normalisées** :
 - ISO 16047 + NF E 25-039 dans le cas général,
 - EN 14399-2 pour les boulons de construction métallique,
 - Normes internes des constructeurs Automobile, Aéronautique ...

Ces essais nécessitent l'utilisation d'un banc de serrage et d'algorithmes de calcul spécialisés.

Pour plus de détail sur ce type d'essai, se reporter au chapitre 5,57 page 204



8.0-5 Exemple de banc de serrage



8.0-6 détail d'un montage

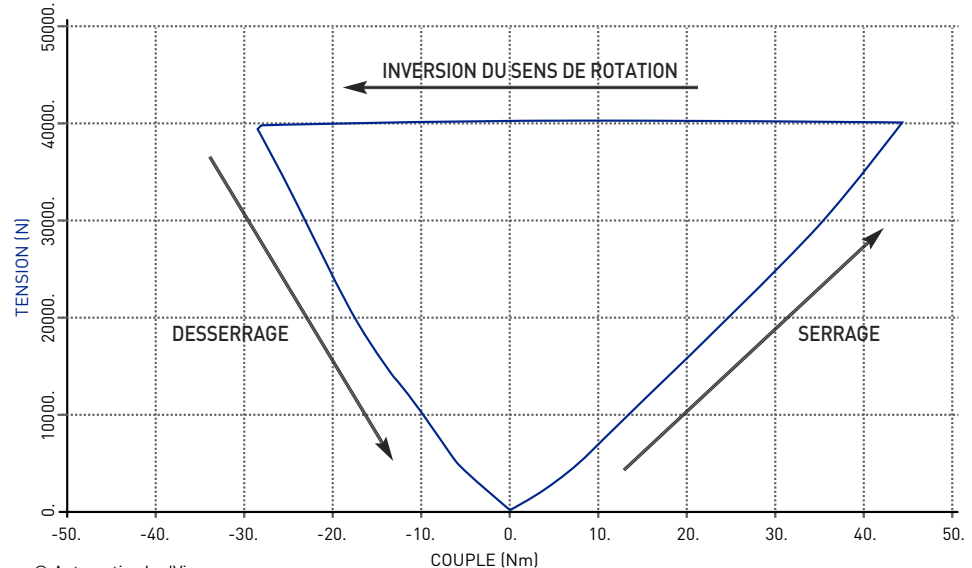
Le coefficient de frottement μ est généralement utilisé pour la construction mécanique, l'automobile, l'aéronautique, le ferroviaire ...). μ , nombre sans dimension calculé à partir de grandeurs physiques mesurées, dépend de la nature et de la géométrie des surfaces en contact. Dans le cas d'un filetage métrique ISO, la relation liant le couple de serrage et la tension dans l'assemblage s'écrit :

$$C = F \times (0,16 \times P + \mu \times (0,577 \times d_2 + R_m))$$

où C est le couple de serrage,
 F la tension dans l'assemblage,
 P le pas,
 d_2 le diamètre à flanc de filet,
 R_m le rayon moyen d'appui sous la partie tournante (tête ou écrou),
 et μ le coefficient de frottement.

Remarque : si les caractéristiques de l'équipement d'essais le permettent, il sera possible de répartir le frottement dissipé dans le filetage et sous la partie tournante de l'assemblage (tête ou écrou).

Le coefficient de frottement, extrait de la formule précédente, permet de résumer la relation couple/tension simplement et indépendamment des caractéristiques géométriques de l'assemblage.



© Automatica LedView

8.0-7 Visualisation d'une courbe d'essai couple/tension

La construction métallique pour les boulons précontraints (HR, HRC, HV) préfère utiliser le coefficient de rendement du couple K. Ce nombre sans dimension est calculé à partir du couple et de la tension mesurés par la relation suivante :

$$C = K \times d \times F$$

où C est le couple de serrage mesuré,
K le coefficient de rendement du couple,
d le diamètre de la fixation,
et F la tension mesurée dans l'assemblage.

Remarque : en sus du coefficient K, des critères liés à la rotation ou à l'allongement sont souvent vérifiés, mais nécessitent un équipement d'essais adapté.

Lors de la fabrication des fixations, la maîtrise des valeurs et de la dispersion de μ ou de K est réalisée à l'aide de lubrifiants, qui peuvent être intégrés dans le cas de revêtements anti-corrosion.

8.1 Méthodes, outils et limites des types de serrage

Serrage au couple

Le serrage au couple est la méthode la plus répandue de serrage. L'assemblage est serré à l'aide d'une clé dynamométrique avec une plage de serrage appropriée à l'assemblage concerné. Ces clés peuvent être manuelles ou automatiques pour les grandes séries (figure 8.1-4 et 8.1-5).

La méthode comprend les deux phases suivantes :

- une première phase avec une clé réglée à 75% du couple de référence. L'ensemble des éléments de fixation doit être serré ainsi avant de passer à la seconde phase. Une clé à chocs peut être éventuellement utilisée pour cette phase ;
- une deuxième phase ou la clé de serrage doit être réglée sur une valeur de couple à 110%.

Le couple de serrage doit être appliqué sans à-coups et de façon continue.

Nota : dans le cas de boulons à serrage contrôlé (norme EN 14399), se référer aux valeurs fondées sur la classe k déclarée par le fabricant

Limite du serrage au couple

Imprécision de l'effort de serrage

Le résultat du serrage dépend étroitement des coefficients de frottement au niveau des filets (μ_f) et sous tête (μ_s) mais dans la pratique ces paramètres sont très difficilement maîtrisables. De ce fait, pour un même couple de référence, la dispersion dans la tension finale pourra se situer entre $\pm 20\%$ au mieux, voire $\pm 60\%$... selon le moyen de serrage utilisé.

Cette grande dispersion est due à la combinaison de trois phénomènes :

- l'imprécision sur le couple de serrage appliqué,
- les défauts géométriques et les états de surface des pièces assemblées et de la fixation,
- la lubrification des surfaces en contact.

8.1-1

| Moyen de serrage | Précision sur la précharge | Coefficient d'incertitude de serrage |
|---|----------------------------|--------------------------------------|
| Clé dynamométrique. Visseuse rotative avec étalonnage périodique sur le montage (par mesure d'allongement de la vis ou mesure à la clé dynamométrique du couple de serrage). | $\pm 20\%$ | 1,5 |
| Clé à chocs avec adaptation de rigidité et étalonnage périodique sur le montage (au moins aux mesures à la clé dynamométrique du couple de serrage par lot). | $\pm 40\%$ | 2,5 |
| Clé à main. Clé à chocs sans étalonnage | $\pm 60\%$ | 4 |

Selon les classes de qualité des éléments de l'assemblage, les coefficients de frottement, la classe de précision de serrage désirée, il convient de se reporter à la norme NF E 25030 (figure 8.1-6).

Le phénomène de contraintes parasites de torsion

La méthode de serrage au couple provoque dans la fixation, en sus de la contrainte axiale voulue, une contrainte de torsion parasite dont le niveau peut atteindre 30% de la contrainte de traction. La contrainte résultante dans la fixation est fortement augmentée et peut dépasser la limite élastique du matériau, même si la contrainte de traction est dans les limites acceptables. De plus cette contrainte résiduelle en torsion peut faciliter le desserrage en fonctionnement (figure 8.1-2).

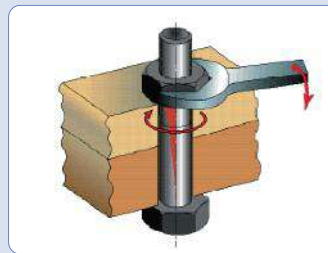
Enfin, le couple étant appliqué généralement de façon asymétrique, il existe une contrainte de flexion. Son faible niveau permet en général de la négliger mais elle peut aussi intervenir dans les cas limites.

Détérioration des états de surface

Le frottement des pièces sous des efforts importants provoque des détériorations des surfaces en contact. Lors d'un serrage ultérieur, cela entraînera des forces de frottement qui engendreront une plus grande imprécision sur la tension de serrage. Par ailleurs cette détérioration peut avoir des conséquences sur la tenue en corrosion des pièces assemblées au droit des points d'assemblage (figure 8.1-3).

Difficultés de desserrage

La détérioration des états de surface, éventuellement augmentée par la corrosion, demande l'application d'un couple de desserrage très élevé qui peut atteindre



8.1-2 Contrainte de torsion résultant d'un serrage au couple
Le serrage "au couple" soumet le boulon à une contrainte de torsion "parasite"



8.1-3 Le serrage au couple entraîne une détérioration des surfaces des éléments de l'assemblage. Les montages et démontages successifs accentuent ce phénomène

la limite élastique du matériau de l'assemblage et provoquer sa ruine.

Limites dans le cas de boulons de grandes dimensions

Au delà d'un couple de référence de 1000 Nm, il est nécessaire de recourir à des clés à chocs mais la précision sur la précharge diminue. Une clé hydraulique de bonne qualité peut être une solution à envisager.

Difficulté de serrages simultanés

Avec la méthode du serrage au couple, il est rarement possible de procéder au serrage simultané de la totalité des fixations d'un assemblage

Serrage à l'angle

Le serrage à l'angle s'effectue en deux phases :

- mise en contact par application d'un couple d'accostage servant de seuil pour la mesure angulaire. Cette opération a pour but le positionnement des pièces et l'élimination des défauts de surface. Le couple d'accostage doit être aussi faible que possible (figure 8.1-7).
- vissage avec un angle déterminé.

Cette méthode permet des résultats plus précis que le serrage au couple car la précharge obtenue est quasiment proportionnelle à l'angle de serrage et les coefficients de frottement n'interviennent que modérément. Un contrôle final de couple permet de détecter une éventuelle anomalie.

Limites du serrage à l'angle

La mise en œuvre de cette méthode est donc simple mais l'approche théorique fait intervenir un nombre important de paramètres dont certains difficiles à maîtriser. La détermination de la consigne angulaire nécessite une mise au point préalable et des essais de vérifications. Elle ne peut économiquement se mettre en œuvre que pour des grandes séries sur chaîne de fabrication.

La fiabilité de la précharge atteinte est améliorée par la rigidité des pièces et la constance des caractéristiques des pièces. Un serrage à l'angle est par exemple à proscrire avec des assemblages comportant des joints.

L'imprécision du serrage dépend surtout de l'imprécision sur le couple d'accostage. Le rapport entre le couple d'accostage et le couple final dépend de la rigidité des pièces (de 30% pour des pièces très rigides à 50% si des pièces sont facilement déformables).

La contrainte de torsion parasite peut être sensiblement supérieure à celle obtenue par la méthode du serrage au couple.

Méthode combinée

Comme dans les méthodes précédentes, le serrage s'effectue en deux phases :

- une première phase avec une clé réglée à 75% du couple de référence. L'ensemble des éléments de fixation doit être serré ainsi avant de passer à la seconde phase ;
- une seconde phase dans laquelle une rotation spécifiée est appliquée à

la partie de l'assemblage qui tourne. La position de l'écrou par rapport aux filets de la vis doit être repérée (à la peinture par exemple) dès la fin de la première phase pour déterminer la rotation finale de l'écrou par rapport aux filets en fin de deuxième phase. Sauf spécification contraire, l'angle de rotation doit être conforme aux valeurs du tableau 8.1-4 (pour des vis de classe de qualité 8.8 ou 10.9) :

8.1-4

| Épaisseur nominale totale «t» des pièces à assembler (y compris toutes fourrures et rondelles) / d : diamètre de la vis | Rotation supplémentaire à appliquer (seconde phase de serrage) | |
|---|--|------------------|
| | Degrés | Fraction de tour |
| $t < 2d$ | 60 | 1/6 |
| $2d \leq t < 6d$ | 90 | 1/4 |
| $6d \leq t \leq 10d$ | 120 | 1/3 |

Nota. Lorsque la surface sous tête de vis (en tenant compte des rondelles biaisées, le cas échéant) n'est pas perpendiculaire à l'axe de la vis, il convient de déterminer par des essais l'angle de rotation requis.

Serrage à la limite élastique

Cette méthode consiste à serrer les vis jusqu'à l'atteinte de leur limite élastique apparente. Elle impose de mesurer en permanence et simultanément le couple et l'angle de serrage et de stopper l'opération dès qu'il y a perte de proportionnalité directe entre ces deux paramètres. Les erreurs sont dues uniquement à la dispersion des contraintes de torsion liée à la variation du coefficient de frottement. Cette dispersion est faible, une variation de coefficient de frottement de 25% n'entraînant qu'une erreur de 7%.

Il est utilisé une visseuse équipée d'un capteur de couple et d'un capteur d'angle, renvoyant leurs paramètres à un module électronique qui déclenche l'arrêt de la broche de vissage dès qu'il n'y a plus proportionnalité.

Chaque vis est serrée à sa limite élastique propre, c'est-à-dire au maximum de possibilités, indépendamment de toute programmation, ce qui évite les risques de casse de vis non conforme au montage.

La précontrainte est obtenue avec une précision de $\pm 8\%$.

Limites du serrage à la limite élastique

L'utilisation d'une rondelle est à proscrire car elle peut fausser la mesure : un déplacement éventuel déclenche l'arrêt du vissage.

Si des efforts en fonctionnement entraînent des allongements supplémentaires des vis, il est possible de dépasser la limite élastique, provoquant une perte de précharge, un changement de performance de l'assemblage, voire sa ruine.

Les démontages et remontages d'une même vis sont à proscrire car la déformation de la vis sera cumulative jusqu'à la rupture. Le remplacement doit être systématique.

Serrage par tendeur hydraulique

Cette méthode consiste à appliquer sur la vis un effort de traction par l'intermédiaire d'un vérin annulaire. Une fois mise en tension, l'écrou est accosté manuellement ou avec un léger couple de serrage. Le vérin est ensuite relâché et l'effort hydraulique en grande partie transféré sur l'assemblage. Afin d'augmenter la précision un double accostage est recommandé : la première opération permet la compensation des jeux et défauts de surface et établit l'équilibre des efforts au sein de l'assemblage. La deuxième opération permet l'obtention de la précision souhaitée dans la mise en tension de l'assemblage (photo 8.1-6).

Les contraintes de torsion dans la vis sont inexistantes, et les coefficients de frottement n'interviennent pas dans le serrage.

Cette méthode est particulièrement adaptée pour le serrage simultané de plusieurs vis (photo 8.1-7).

Limites du serrage par tendeur hydraulique

L'encombrement de l'appareil impose un écartement entre deux vis plus important qu'avec les autres outils de serrage. Le serrage est obligatoirement opéré coté écrou. Une hauteur de vis suffisante pour l'accrochage du vérin doit être prévue. On ne peut installer comme précharge qu'une partie de l'effort axial maximal admissible par la vis.

La principale difficulté est la connaissance de la précharge installée dans la vis, dépendant du rendement de l'opération. Ce rendement dépend de la raideur des éléments de l'assemblage et varie entre 50 et 90% selon la géométrie de celui-ci.

Moyens de contrôle du couple de serrage

Contrôle à la clé dynamométrique

C'est le contrôle le plus aisé à mettre en œuvre. Il demeure néanmoins une incertitude importante sur la tension finale de serrage de l'assemblage.

Contrôle d'élongation par ultrasons

La méthode consiste à mesurer le temps de trajet d'une onde ultrasonore le long de l'axe de la vis. La mise en œuvre nécessite un personnel qualifié. Elle est notamment performante pour la visserie de petit diamètre (inférieur à 20 mm).

Contrôle d'élongation par jauge de contrainte

C'est une méthode de laboratoire inutilisable en application industrielle. Des

Les produits présentés sont extraits des catalogues BETA et SKF. Vous pouvez trouver ces produits dans nos agences de Bordeaux et Toulouse pour les produits BETA, ou dans le réseau national de MICHAUD-CHAILLY pour les produits BETA et SKF.

jauges de contrainte sont collées sur le corps de la vis et connectées à un pont de Weston. La variation du signal obtenu correspond à la variation d'élongation du boulon préalablement étalonné.

Contrôle par rondelle de mesure

Cette méthode a l'avantage de mesurer directement l'effort de serrage. La rondelle de mesure est une rondelle instrumentée placée sous l'écrou de serrage qui agit comme un capteur de force. Il est recommandé de placer une rondelle «classique» entre écrou et rondelle de mesure pour éviter une détérioration de cette dernière. Cette méthode permet de mesurer et enregistrer l'effort de tension dans le boulon au cours de la vie de l'assemblage, aussi bien au repos qu'en service (photo 8.1-8).



Serrage par tendeur hydraulique



Contrôle par rondelle de mesure



Serrage simultané par tendeurs individuels avec alimentation centralisée



8.1-5 Clé dynamométrique



8.1-6 Multiplicateur de couple



8.1-7 Contrôleur de couple électronique digital avec transducteur



8.1-8 Clé de serrage angulaire électronique

8.2 Serrage : cas particulier des fixations en acier inoxydable

Comportement au montage

Les éléments de fixation en acier inoxydable présentent deux problèmes principaux lors du vissage :

- un important risque de grippage,
- une dispersion importante du coefficient de frottement.

Ces deux phénomènes entraînent un risque majeur de non-fonctionnalité de l'assemblage par l'installation d'un niveau de tension incontrôlé. Etant donné que la précontrainte installée doit être maîtrisée lors d'un serrage au couple, il est impératif d'anticiper les problèmes en mettant en place des mesures préventives : la mise en place d'éléments de fixation en acier inoxydable doit s'accompagner d'une lubrification maîtrisée.

Essai de caractérisation couple/tension (NF EN ISO 16047) Application aux éléments de fixation en acier inoxydable

La norme NF EN 16047 spécifie les essais couple/tension réalisés sur des éléments de fixation filetés ou pièces similaires. Elle s'applique principalement aux vis, goujons et écrous en acier au carbone ou acier allié, de filetage M3 à M39 et de caractéristiques mécaniques conformes à la norme ISO 898-1 et 6. Elle s'applique aussi à d'autres éléments de fixation à filetage intérieur ou extérieur, à filets triangulaires ISO conformes à la norme ISO 68-1. Par similarité elle est applicable aux éléments de fixation en acier inoxydable. Il y a cependant lieu de tenir compte des mises en garde suivantes.

Mises en garde.

- Pour les essais réalisés dans les conditions normalisées pour les fixations en acier (avec des plaques d'appui/rondelles et écrous ou vis de référence), les pièces de référence sont dégraissées. Pour la visserie en acier inoxydable, le risque de grippage sur la surface d'appui (acier brut dégraissé) et dans les filets (non lubrifiés) est alors très grand.
- Pour les fixations en acier inoxydable et pour être représentatif des conditions de frottement d'un assemblage, il convient d'utiliser des écrous ou vis de référence dégraissés et des plaques d'appui/rondelles de références reproduisant la même surface d'appui sous l'élément entraîné.
- Dans la mesure du possible, il est préférable de déterminer la relation couple/tension d'un assemblage en se rapprochant le plus possible des conditions réelles de l'assemblage (élément support, sous tête de vis ou écrou, moyens de montage...). Voir la norme NF EN ISO 16047, paragraphe «conditions spécifiques».

8.3 Grippage des fixations en acier inoxydable

Définition du grippage

Le seuil de grippage d'un couple de matériaux est défini par la valeur de la pression de contact à laquelle se produit un transfert de matière d'une surface à l'autre. Il existe un seuil de grippage pour chaque couple de matériaux métalliques. Outre l'état de surface, ce seuil dépend de la nature chimique et métallurgique de chacun des deux alliages en présence.

La norme ASTM G-08 décrit une méthode de caractérisation du seuil de grippage de deux matériaux métalliques. Ce test consiste à frotter un pion métallique (mode de contact : plan/plan ; diamètre de pion 12,7 mm) à l'extrémité plane sur une surface plane d'un bloc.

Le tableau 8.3-1 récapitule les essais menés sur plusieurs alliages, réalisés dans le cadre d'une étude du CETIM «*frottement des aciers inoxydables pour applications agro-alimentaires*» de janvier 2002.

8.3-1

| Matériau mobile | Dureté Brinell | 410 | 416 | 430 | 440C | 304 | 316 | 17-4PH (630) |
|-----------------|----------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|--------------|
| 410 | 352 | 21 | 28 | 21 | 21 | 14 | 14 | 21 |
| 416 | 342 | 28 | 90 | 21 | 145 | 165 | 290 | 14 |
| 430 | 159 | 21 | 21 | 14 | 14 | 14 | 14 | 21 |
| 440C | 560 | 21 | 145 | 14 | 75 | 21 | 255 | 21 |
| 304 | 140 | 14 | 165 | 14 | 21 | 14 | 14 | 14 |
| 316 | 150 | 14 | 290 | 14 | 250 | 14 | 14 | 14 |
| 17-4PH | 415 | 21 | 14 | 21 | 21 | 14 | 14 | 14 |

Bien que ces essais ne soient pas représentatifs des conditions de frottement entre deux éléments de fixation filetés lors du serrage (surface plane sous tête et surface hélicoïdale dans les filets), il apparaît clairement que les aciers inoxydables présentent un comportement médiocre au grippage.

Cas des assemblages vissés en acier inoxydable

Pour les assemblages vissés, le grippage des éléments de fixation en acier inoxydable peut se produire en deux étapes lors d'un vissage.

Micro-grippage

Tandis que le couple augmente, la tension n'augmente plus de façon linéaire mais par paliers. Il s'agit de microsoudures provoquées puis rompues par le couple appliqué au fur et à mesure de leur occurrence (phénomène de «stick-slip»). Une rotation relative demeure possible entre les deux éléments mais le serrage est perturbé.

Le phénomène peut-être localisé :

- entre la vis et l'écrou, au niveau des filets,
- entre l'élément entraîné et la pièce d'appui, c'est-à-dire sous la tête de vis ou l'écrou.

Grippage total

Tandis que le couple augmente, la tension n'augmente plus du tout : toute rotation est alors bloquée.

Ces deux étapes sont facilement identifiables lors d'un essai couple/tension. Par exemple, un test effectué sur une vis M20x1,5 en A4-80 non lubrifié montre une apparition du micro-grippage à partir de 800 N.m qui s'accroît jusqu'au grippage total vers 1600 N.m.

8.4 Lubrification des fixations en acier inoxydable

Pour la visserie en acier inoxydable, une lubrification contrôlée produira deux effets :

- réduction du risque de grippage avec amélioration de la montabilité,
- abaissement du coefficient de frottement et de sa dispersion et donc meilleur contrôle de la tension installée au serrage.

Lors d'un serrage au couple, l'installation d'une précontrainte contrôlée requiert un couple et un coefficient de frottement maîtrisé. La valeur du couple appliqué dépend des moyens de serrage. Le coefficient de frottement dépend des caractéristiques de l'assemblage (matériaux de la fixation et des pièces serrées) et du lubrifiant / revêtement utilisé.

Au regard de la relation couple/tension de l'assemblage, pour une précision identique du couple de serrage, l'abaissement du coefficient de frottement et de sa dispersion entraîne une réduction de la dispersion de la tension de serrage et une réduction du couple nominal nécessaire.

Élément lubrifié

Il convient de lubrifier l'élément de fixation par lequel est serré l'assemblage (élément tournant). De cette manière, l'utilisateur sera amené à lubrifier ou revêtir la vis/le goujon ou l'écrou dans le cas du boulonnage, et à lubrifier et/ou revêtir la vis ou le goujon dans le cas d'un vissage dans une pièce taraudée.

Il est possible de lubrifier et/ou revêtir les deux éléments de fixation. Pour une utilisation occasionnelle ou des assemblages non sécuritaires, l'application d'un lubrifiant liquide ou pâteux avant montage permettra d'anticiper le risque de grippage. Une caractérisation couple/tension de l'assemblage sera suffisante pour déterminer le couple de serrage adapté. Il est préférable d'intégrer la lubrification au procédé de fabrication au moyen d'un traitement de surface pour obtenir des caractéristiques tribologiques satisfaisantes.

Le sur-serrage induit un risque de rupture au vissage, le sous-serrage un risque de rupture en service.

Élément de choix d'une lubrification

Le choix d'un revêtement sera lié :

- aux matériaux de la fixation et des pièces serrées. Selon les nuances des métaux, il sera préférable de déposer un top-coat ou un traitement de surface ;
- à l'environnement de service des pièces d'assemblage : il conviendra d'appliquer un traitement de surface satisfaisant les paramètres température, ambiance acide ou basique, alimentaire, conductibilité électrique...
- à d'autres types de critères éventuels : nombre de montage / démontage, longueur vissée, protection contre la corrosion galvanique...

Valeur indicative de coefficients de frottement

À l'état brut dégraissé, la visserie en acier inoxydable présente généralement un coefficient de frottement élevé et très dispersif dans la fourchette de 0,2 - 0,4.

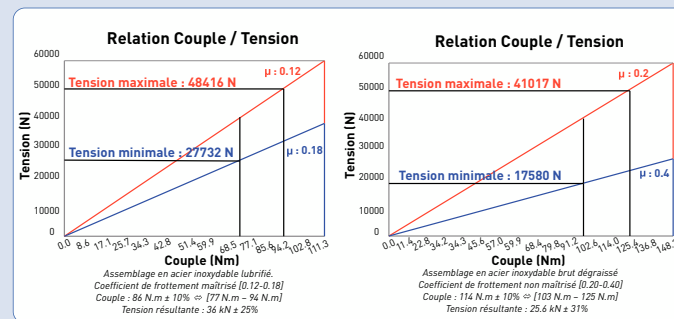
Avec un revêtement lubrifiant, il est possible d'obtenir des plages de coefficients de frottement standard de 0,12 à 0,18 ou 0,08 à 0,14. La réduction du coefficient de frottement permet ainsi de gagner en précision lors du serrage au couple et l'abaissement de la valeur moyenne du coefficient de frottement permet de réduire le couple de serrage nécessaire pour atteindre un niveau de tension donné.

Démontage

Un assemblage fileté précontraint demeure démontable tant qu'aucun grippage n'a lieu entre les éléments de fixation après serrage. Appliqué à la fixation en acier inoxydable, ce critère impose le respect des règles et la mise en place des précautions suivantes :

- éviter tout grippage ou micro-grippage lors du serrage initial ; mettre en place une lubrification adaptée,
- éviter toute corrosion pendant le service ; bien choisir la nuance des éléments de fixation et/ou mettre en place une protection galvanique adaptée,
- assurer le maintien d'un coefficient de frottement correct pendant la vie de l'assemblage ; mettre en place une lubrification adaptée.

8.4-1 Illustration de l'effet d'une lubrification avec coefficient de frottement maîtrisé



8.5 Systèmes de freinage et étanchéité par dépôt sur filet (pré-application)

Sur les filets d'un pas de vis, il est possible de déposer un «frein-filet» qui répond à plusieurs fonctions :

- freinage/blocage avec ou sans démontabilité,
- étanchéité.

Le choix doit faire l'objet d'un cahier des charges spécifique correspondant à l'application envisagée.

Il existe sur le marché plusieurs formulateurs. Les solutions présentées dans le tableau 8.5-1 ne sont donc pas exhaustives mais proposées à titre d'exemples.

8.5-1

| Fixation / Blocage | Etanchéité | Fixation (repositionnable et réutilisable) |
|--|--|--|
| Loctite Dri-Loc® 2020 (faible) | Loctite Vibra-Seal® 503 (petit diamètre) | Loctite Dri-Loc Plastic® |
| Loctite Dri-Loc® 2040 (fort) | Loctite Vibra-Seal® 516 (jeu important) | PFS Vibra-Stop® (Micro-vis) |
| Loctite Dri-Loc® 2045 (moyen / homologué automobile) | Loctite Dri-Seal® 5061 (alimentaire) | |
| | PFS Ano-Seal® (étanchéité sous tête) | |

Loctite Dri-Loc® (base eau)

- Conforme à la norme DIN 267.27
- Blocage permanent des assemblages filetés.
- Joints pour liquide et gaz.
- Résistance à la température de -55°C à 200°C.
- Couple de serrage faible.
- Couleur facilement repérable.
- Durée de vie sur pièce avant montage de 4 ans.
- Produit recyclable à base d'eau.
- Film de pré-appliqué contenant de la résine et un activateur micro encapsulé.
- Sec au toucher, reste un revêtement inerte jusqu'à l'assemblage.
- En cours d'assemblage les microcapsules sont écrasées et l'activateur est libéré.
- Le Dri-Loc® polymérise en adhérant sur les 2 parties de l'assemblage fileté.



Loctite Dri-Seal® (base eau)

- Produit de scellement instantané du filetage.
- Joints souples et gaz.
- Résistance à la température de -55°C à 200°C.
- Couple de serrage faible.
- Repositionnable de quelques degrés.
- Couleur facile à identifier.
- Durée de vie sur pièce avant montage de 2 ans.
- Produit recyclable à base d'eau.
- Film de produit pré-appliqué solide et non réactif.
- Pendant le montage, le Dri-Seal® remplit l'espace entre le filetage mâle et femelle.
- Scelle le joint immédiatement.



Loctite Dri-Loc Plastic®

Conforme à la norme DIN 267.28)

- Torsion de serrage immédiate et efficace.
- Réglable et réutilisable.
- Performances égales sur tous substrats.
- Résistance à la température de -55°C à 120°C.
- Graissage spécifique et possibilité de lubrifier.
- Couleur facile à identifier.
- Durée de vie sur pièce avant montage de 20 ans.



PFS Ano-Seal® (étanchéité sous tête)

- Produit élastomère d'étanchéité (liquide et gaz).
- Elimine les composants : rondelles / joints toriques.
- Répond aux pertes de dévissage.
- Empêche la vibration et le bruit.
- Gain de temps au montage.
- Supprime la corrosion entre métaux.
- Sec au toucher, reste un revêtement inerte.
- Conserve ses performances après plusieurs démontages.
- Produit résistant à la pression > 150 bar.
- Température d'opération de -45 °C à +200 °C.
- Résistances : eau et intermittentes aux solvants.
- Durée de vie de 4 ans.

