ICS: 77.040.10

norme belge enregistrée

NBN EN 10319-2

1e éd., mars 2007

Indice de classement: A 11

Matériaux métalliques - Essai de relaxation en traction - Partie 2: Mode opératoire pour modèles d'assemblages boulonnés

Metallieke materialen - Beproeven van spanningsvermindering - Deel 2: Procedure voor boutverbindingsmodellen

Metallic materials - Tensile stress relaxation testing - Part 2: Procedure for bolted joint models

Autorisation de publication: 19 décembre 2006

La présente norme européenne EN 10319-2:2006 a le statut d'une norme belge.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français).

Institut belge de normalisation (IBN), association sans but lucratif
avenue de la Brabançonne 29 - 1000 BRUXELLES - téléphone: 02 738 01 12 - fax: 02 733 42 64
e-mail: info@ibn.be - IBN Online: www.ibn.be - CCP. 000-0063310-66

© IBN 2007

Prix: groupe 16

ICS: 77.040.10

Geregistreerde Belgische norm

NBN EN 10319-2

1e uitg., maart 2007

Normklasse: A 11

Metallieke materialen - Beproeven van spanningsvermindering - Deel 2: Procedure voor boutverbindingsmodellen

Matériaux métalliques - Essai de relaxation en traction - Partie 2: Mode opératoire pour modèles d'assemblages boulonnés

Metallic materials - Tensile stress relaxation testing - Part 2: Procedure for bolted joint models

Toelating tot publicatie: 19 december 2006

Deze Europese norm EN 10319-2:2006 heeft de status van een Belgische norm.

Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans).

Belgisch instituut voor normalisatie (BIN), vereniging zonder winstoogmerk
Brabançonnelaan 29 - 1000 BRUSSEL - telefoon: 02 738 01 12 - fax: 02 733 42 64
e-mail: info@bin.be - BIN Online: www.bin.be - prk. 000-0063310-66

© BIN 2007

Prijsgroep: 16

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

EN 10319-2

Octobre 2006

ICS 77.040.10

Version Française

Matériaux métalliques - Essai de relaxation en traction - Partie 2: Mode opératoire pour modèles d'assemblages boulonnés

Metallische Werkstoffe - Relaxationsversuch unter Zugbeanspruchung - Teil 2: Prüfverfahren mit Schraubenverbindungsmodellen

Metallic materials - Tensile stress relaxation testing - Part 2: Procedure for bolted joint models

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 6 août 2006.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Centre de Gestion: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2006 CEN Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° EN 10319-2:2006 F

Sommaire

Page

Avant-propos 4

1 Domaine d'application 5

2 Références normatives 5

3 Termes et définitions....5

4 Symboles et désignations....6

5 Principe....7

6 Appareillage....7
6.1 Dispositif modèle d'assemblage boulonné 7
6.1.1 Généralités....7
6.1.2 Modèle A d'assemblage boulonné....8
6.1.3 Modèle B d'assemblage boulonné....8
6.2 Dispositif de mesure d'extension 8
6.2.1 Dispositif de mesure de la longueur hors tout....8
6.2.2 Dispositif de mesure de la déformation 8
6.3 Dispositif de chauffage 8
6.3.1 Objectif général 8
6.3.2 Écarts de température admissibles....9
6.3.3 Mesurage de la température 9
6.3.4 Étalonnage des couples thermoélectriques et système de mesure de la température....10

7 Forme, dimensions et préparation des modèles d'assemblage boulonné 10
7.1 Forme et dimensions....10
7.2 Préparation 11
7.3 Détermination de l'aire initiale de la section transversale....11

8 Mode opératoire d'essai....12
8.1 Généralités....12
8.2 Mise en tension du boulon....12
8.2.1 Généralités....12
8.2.2 Mise en tension pour le modèle A d'assemblage boulonné....12
8.2.3 Mise en tension du modèle B d'assemblage boulonné 12
8.3 Détermination de la contrainte initiale du boulon....12
8.4 Chauffage, maintien en température et refroidissement du modèle d'assemblage boulonné....13
8.5 Détermination de la déformation élastique résiduelle 13
8.5.1 Généralités....13
8.5.2 Relâchement du boulon 13
8.5.3 Déformation élastique résiduelle modèle A d'assemblage boulonné....14
8.5.4 Déformation élastique résiduelle avec un modèle B d'assemblage boulonné....14
8.5.5 Détermination de la contrainte résiduelle 14

9 Exactitude des résultats....14
9.1 Expression des résultats 14
9.2 Incertitude....14

10 Rapport d'essai 15

Annexe A (informative) Informations concernant différents types de couples thermoélectriques 23

Annexe B (informative) Informations concernant les méthodes d'étalonnage des couples thermoélectriques 24

Bibliographie 25

Avant-propos

Le présent document (EN 10319-2:2006) a été élaboré par le Comité Technique ECISS/TC 1 “Acier - Essais mécaniques”, dont le secrétariat est tenu par AFNOR.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en avril 2007, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en avril 2007.

La présente Norme européenne dont le titre général est « *Matériaux métalliques – Essai de relaxation en traction* », est constituée des parties suivantes :

— *Partie 1 : Mode opératoire pour machines d’essai*

— *Partie 2 : Mode opératoire pour modèles d’assemblages boulonnés*

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

1 Domaine d'application

La présente partie de l'EN 10319 spécifie la méthode d'essai pour la détermination de la relaxation de contrainte de boulons en traction dans des modèles d'assemblages boulonnés, soumis tout au long de l'essai à des conditions de déformation globalement constante et de température constante.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

Non applicable

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Norme européenne, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1
diamètre nominal (d)
diamètre du boulon dans la longueur calibrée, $L_{\mathbf{c}}$

3.2
diamètre du filetage (D)
diamètre des extrémités filetées du boulon

3.3
longueur calibrée (L_{c})
longueur de la section cylindrique réduite du boulon

3.4
longueur de référence (L_{r})
longueur de base du boulon utilisée pour le calcul de la déformation

3.5
longueur hors tout (L_{t})
longueur hors tout du boulon

3.6
aire initiale de la section transversale (S_{o})
aire de la section transversale de la longueur cylindrique du boulon, déterminée à température ambiante avant essai

$$S_{\mathrm{o}} = \pi d^2 / 4$$

3.7
extension
accroissement de la longueur hors tout, $L_{\mathbf{t}}$

Une distinction est faite entre :

3.7.1
extension pendant la mise en tension (ΔL_{o})
extension de la longueur hors tout, $L_{\mathbf{t}}$, du boulon pendant la mise en tension

3.7.2
extension de retour élastique au relâchement (ΔL_t)
retour d'extension de la longueur hors tout, L_t, du boulon pendant le relâchement à la fin de l'essai

3.8
déformation
extension divisée par la longueur de base de référence, L_r

Une distinction est faite entre :

3.8.1
déformation élastique initiale spécifiée (ε_{eo})
déformation élastique initiale du boulon au début de l'essai

NOTE La déformation élastique initiale spécifiée est calculée à partir de l'extension durant la mise en tension ΔL_o ($\varepsilon_{eo} = \Delta L_o / L_r$) ou est mesurée directement sur la longueur cylindrique du boulon au moyen de jauges de déformation.

3.8.2
déformation élastique résiduelle (ε_{er})
déformation calculée à partir de l'extension de retour ΔL_t ($\varepsilon_{er} = \Delta L_t / L_r$) ou mesurée directement sur la longueur cylindrique du boulon au moyen de jauges de déformation, pendant le relâchement du boulon à la fin de l'essai

3.9
contrainte
à tout instant de l'essai, force divisée par l'aire initiale de la section transversale (S_o) du boulon

Une distinction est faite entre :

3.9.1
contrainte initiale (σ_o)
contrainte au début de l'essai, exprimée comme le produit du module élastique statique, E_T, à la température d'essai et de la déformation élastique initiale spécifiée, ε_{eo}

$$\sigma_o = E_T \times \varepsilon_{eo} \tag{1}$$

3.9.2
contrainte résiduelle (σ_{rt})
valeur de la contrainte du boulon atteinte par relaxation, au temps spécifié, t, après essai, exprimée comme le produit du module d'élasticité E_T ou E_{Td} et de la déformation élastique résiduelle

$$\sigma_{rt} = E_T \times \varepsilon_{er} \tag{2}$$

NOTE Il convient de considérer le module d'élasticité dynamique E_{Td}, si le module d'élasticité statique E_T à la température de l'essai n'est pas disponible.

4 Symboles et désignations

Les symboles et les désignations correspondantes sont donnés dans le Tableau 1.

Tableau 1 — Symboles et désignations

Symbole	Unité	Désignation
d	mm	Diamètre nominal de la section de la longueur cylindrique du boulon
L_c	mm	Longueur cylindrique du boulon
L_r	mm	Longueur de référence du boulon
L_t	mm	Longueur hors tout du boulon
S_o	mm^2	Aire initiale de la section transversale de la longueur cylindrique du boulon
ε_{eo}	-	Déformation élastique initiale spécifiée
ε_{er}	-	Déformation élastique résiduelle
E_T	GPa	Module d'élasticité statique à la température d'essai
E_{Td}	GPa	Module d'élasticité dynamique à la température d'essai
σ_o	MPa[a]	Contrainte initiale
σ_{rt}	MPa	Contrainte résiduelle au temps t
t	h	Durée d'essai
T	°C	Température spécifiée
T_i	°C	Température indiquée
[a] 1 MPa = 1 N/mm^2.		

5 Principe

L'essai consiste à mettre en traction une éprouvette se présentant sous la forme d'un boulon, dans un dispositif modèle d'assemblage boulonné jusqu'à une déformation élastique initiale spécifiée, à soumettre le boulon à cette déformation à une température et un temps spécifiques et à déterminer la contrainte résiduelle dans le boulon par relâchement à la fin de l'essai.

La déformation constante en traction et la contrainte résiduelle sont déduites d'un mesurage de l'extension se rapportant à la longueur hors tout du boulon (modèle A d'assemblage boulonné) ou de mesurages au moyen de jauges de déformation sur la longueur cylindrique du boulon (modèle B d'assemblage boulonné), tous les mesurages étant réalisés à température ambiante.

6 Appareillage

6.1 Dispositif modèle d'assemblage boulonné

6.1.1 Généralités

Dans le modèle d'assemblage boulonné, un boulon avec une longueur cylindrique et des extrémités filetées est mis en tension au moyen de deux écrous placés contre un manchon (Figure 1).

Les boulons, les manchons et les écrous doivent être du même matériau.

Le modèle d'assemblage boulonné doit appliquer une force selon l'axe du boulon de façon que toute flexion ou torsion du boulon, produite par inadvertance, soit réduite au minimum. Le manchon doit présenter une rigidité suffisante.

Le relâchement du boulon à la fin de l'essai doit être possible en détruisant le manchon ou un écrou.

6.1.2 Modèle A d'assemblage boulonné

Pour le modèle A d'assemblage boulonné (Figure 2), les extrémités du boulon permettent la mise en place d'un dispositif de mesure d'extension (Figure 4).

6.1.3 Modèle B d'assemblage boulonné

Pour le modèle B d'assemblage boulonné, le manchon permet un accès pour l'application de deux jauges de déformation opposées sur la longueur cylindrique du boulon (Figure 3).

6.2 Dispositif de mesure d'extension

6.2.1 Dispositif de mesure de la longueur hors tout

Avec le dispositif de mesure (Figure 4), l'extension du boulon du modèle A d'assemblage boulonné doit être mesurée à température ambiante avec et sans traction au début et à la fin de l'essai.

L'exactitude du mesurage avec un comparateur doit être ± 0,001 mm.

NOTE L'utilisation d'une barre de référence (Figure 4) facilite les mesurages d'extension.

6.2.2 Dispositif de mesure de la déformation

Avec le dispositif de mesure (Figure 5), la déformation de la longueur cylindrique du boulon du modèle B d'assemblage boulonné doit être mesurée à la température ambiante avec et sans traction au début et à la fin de l'essai.

Deux jauges de déformation actives sont disposées de manière diamétralement opposée, sur la longueur cylindrique du boulon. Elles sont reliées en série pour mesurer une flexion supplémentaire. Il convient que les jauges de déformation aient une longueur de base d'au moins 6 mm.

NOTE Pour éviter des produits de réaction non désirés qui peuvent être gazeux ou qui peuvent adhérer fermement à la surface du boulon, les jauges de déformation y compris la colle doivent être enlevées avant que le modèle soit chauffé jusqu'à la température d'essai.

Pour compenser les variations de déformation dues aux variations de température ambiante, deux jauges de déformation passives de compensation doivent être collées sur une pièce de référence constituée d'un matériau identique au matériau du modèle d'assemblage boulonné dans l'état initial et doivent également être reliées en série. Il convient que la configuration globale de toutes les jauges de déformation placées sur le modèle d'assemblage boulonné et sur la pièce de référence corresponde à un circuit en demi-pont.

L'exactitude du dispositif de mesure doit être $\pm 1.10^{-6}$ en déformation.

6.3 Dispositif de chauffage

6.3.1 Objectif général

Le dispositif de chauffage doit chauffer le modèle d'assemblage boulonné, le maintenir à la température spécifiée pendant un temps spécifié et le refroidir jusqu'à température ambiante.

Le dispositif de chauffage doit permettre l'application de vitesses de chauffage et de refroidissement limitées.

6.3.2 Écarts de température admissibles

Les écarts admissibles entre la température indiquée, T_i, du modèle d'assemblage boulonné et la température spécifiée, T, et le gradient de température maximal admissible doivent être tels que donnés dans le Tableau 2. Le gradient de température est la différence maximale entre les températures indiquées par les couples thermoélectriques de mesure fixés au modèle d'assemblage boulonné.

Tableau 2 — Écarts admissibles entre T_i et T et gradient de température maximal admissible

Température spécifiée, T °C	Écart admissible entre T_i et T °C	Gradient de température maximal admissible °C
$T \leq 600$	± 3	2
$600 < T \leq 800$	± 4	3
$800 < T \leq 1\,000$	± 5	3

Pour les températures spécifiées supérieures à 1 000 °C, les valeurs admissibles doivent être définies par accord entre les parties concernées.

Les températures indiquées, T_i, sont les températures mesurées à la surface de la longueur cylindrique de l'éprouvette, les erreurs de toutes origines étant prises en compte.

NOTE Au lieu de mesurer la température à la surface du modèle d'assemblage boulonné, il est permis de réaliser un mesurage indirect de la température de chaque zone de chauffage du four pour autant qu'il soit démontré que la tolérance définie ci-avant soit respectée.

La variation de la température ambiante pendant tous les mesurages d'extension ne doit pas dépasser ± 2 °C.

6.3.3 Mesurage de la température

6.3.3.1 Généralités

L'indicateur de température doit avoir une résolution (sensibilité) d'au moins 0,5 °C et l'équipement de mesure de la température doit avoir une exactitude de ± 1 °C.

6.3.3.2 Nombre de couples thermoélectriques

Il est recommandé qu'au moins un couple thermoélectrique soit utilisé pour chaque modèle d'assemblage boulonné et dans le cas où un seul couple thermoélectrique est utilisé, il convient qu'il soit placé dans la zone centrale du modèle d'assemblage boulonné.

Dans le cas d'un mesurage indirect de la température, des mesurages réguliers de contrôle sont requis pour déterminer les différences entres le(s) thermocouple(s) de chaque zone de chauffage et un nombre significatif de boulons modèles à l'intérieur d'une zone donnée. Les composantes non systématiques des différences de température ne doivent pas dépasser ± 2 °C jusqu'à 800 °C et ± 3 °C au-dessus de 800 °C. Le nombre maximal de couples thermoélectriques ne peut pas être réduit à moins de trois si des couples thermoélectriques placés en des endroits appropriés à l'intérieur du four montrent que la température respecte les écarts admissibles du Tableau 2.

6.3.3.3 Couples thermoélectriques

Dans tous les cas, la jonction du couple thermoélectrique doit établir un bon contact thermique avec la surface du modèle d'assemblage boulonné et doit être protégée du rayonnement direct de la source de chaleur. Les parties restantes des fils, à l'intérieur du four, doivent être protégées par un écran thermique et doivent être isolées électriquement.

NOTE Le présent paragraphe n'est pas applicable dans le cas d'une mesure indirecte de la température.

6.3.4 Étalonnage des couples thermoélectriques et système de mesure de la température

NOTE Des informations concernant différents types de couples thermoélectriques sont données dans l'Annexe A.

6.3.4.1 Étalonnage des couples thermoélectriques

Il convient d'étalonner les couples thermoélectriques utilisés pour des durées d'essai inférieures à un an, au moins tous les 12 mois. Il convient d'étalonner les couples thermoélectriques utilisés pour des durées d'essai supérieures à 12 mois, avant et après l'essai.

NOTE 1 Des changements dans les données de sortie d'un couple thermoélectrique après étalonnage peuvent être dus non seulement à des changements chimiques conduisant à une dérive, mais également à la conséquence d'un endommagement physique, par exemple ; il convient de consigner les informations sur de tels changements et de les mettre à disposition sur demande.

NOTE 2 S'il est démontré que la dérive du couple thermoélectrique n'affecte pas les écarts de température admissibles spécifiés en 6.3.2, la période entre deux étalonnages peut être plus longue.

NOTE 3 Si le lubrifiant appliqué aux surfaces du modèle d'assemblage boulonné génère des produits de réaction gazeux à hautes températures, il convient de raccourcir la période entre deux étalonnages.

NOTE 4 La dérive d'un couple thermoélectrique dépend du type de couple thermoélectrique utilisé et de la durée d'exposition en température.

NOTE 5 Si la dérive affecte les écarts de température admissibles, il convient d'effectuer des étalonnages plus fréquents ou une correction correspondant à la dérive peut être apportée à la température indiquée par le couple thermoélectrique.

NOTE 6 Des informations concernant les méthodes d'étalonnage des couples thermoélectriques sont données dans l'Annexe B.

S'il est à nouveau soudé, le couple thermoélectrique doit être réétalonné.

Il doit être démontré que l'erreur du couple thermoélectrique utilisé a été établie à la température d'essai ou est représentative pour un intervalle incluant la température d'essai.

6.3.4.2 Étalonnage de l'équipement de mesure de température

L'étalonnage de l'équipement de mesure de température (y compris le câble, le raccordement, la soudure froide, l'indicateur ou l'enregistreur, la chaîne de saisie de données...) doit être réalisé par une méthode raccordable à l'unité internationale (SI) de température.

Si cela est réalisable, il convient d'effectuer cet étalonnage annuellement sur toute la gamme de fonctionnement de l'équipement de mesure et les lectures doivent figurer dans le rapport d'étalonnage.

NOTE Le nombre de températures auxquelles l'étalonnage est effectué, dépend de l'étendue de la gamme.

7 Forme, dimensions et préparation des modèles d'assemblage boulonné

7.1 Forme et dimensions

Un exemple de modèle A d'assemblage boulonné pour mesure de l'extension sur la longueur hors tout est détaillé à la Figure 2, un exemple de modèle B d'assemblage boulonné pour mesure par jauges de déformation placées sur la longueur cylindrique est détaillé à la Figure 3.

Toutes les parties des modèles d'assemblage boulonné sont des parties cylindriques de section transversale circulaire. A titre d'exception, le manchon du modèle B d'assemblage boulonné est muni de deux lumières opposées pour la mise en place des jauges de déformation sur la longueur cylindrique du boulon.

La forme et les dimensions recommandées des parties individuelles sont illustrées aux Figures 2 et 3. L'aire de la section transversale du manchon doit être au moins dix fois l'aire de la section transversale du boulon (S_o).

NOTE La forme et les dimensions du boulon fileté aux Figures 2 et 3 sont choisies par référence à la DIN 2510-3 « *Assemblages par boulons à tige allégée ; goujons* ».

Si d'autres dimensions que celles recommandées aux Figures 2 et 3 sont choisies, la longueur cylindrique (L_c) doit se situer entre 3,5 d et 12 d, le rayon de raccordement, R, entre la longueur cylindrique et les extrémités filetées du boulon doit se situer entre 0,5 d et 1 d et le diamètre de filetage, D, doit se situer entre 1,2 d et 1,4 d.

Le type de modèle d'assemblage boulonné pour essai et les écarts par rapport aux dimensions recommandées doivent être mentionnés dans le rapport d'essai.

Le boulon, le manchon et les écrous doivent être constitués du même type de matériau. Dans tous les cas où cela est possible, il convient que tous les éléments proviennent du même lopin de matériau. Si cela n'est pas faisable, il convient qu'ils présentent au moins une composition chimique et des caractéristiques mécaniques similaires qui doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

7.2 Préparation

Toutes les parties du modèle d'assemblage boulonné doivent être usinées de façon telle à éviter toute déformation résiduelle ou tout défaut de surface.

Les tolérances de forme doivent être conformes au Tableau 3.

Tableau 3 — Tolérances de forme

Dimensions en millimètres

Diamètre nominal D	**Tolérances de forme** [a]
$6 < d \leq 10$	0,03
$10 < d \leq 18$	0,04
$18 < d \leq 30$	0,05

[a] Écart maximal entre les mesurages du diamètre du boulon, réalisés sur toute la longueur cylindrique du boulon (voir EN 20286-2).

7.3 Détermination de l'aire initiale de la section transversale

L'aire initiale de la section transversale (S_o) doit être calculée à partir des diamètres mesurés de la longueur cylindrique. Chaque diamètre approprié doit être mesuré avec une exactitude égale à la plus grande valeur entre ± 0,1 % et ± 0,01 mm. La variation de la température ambiante durant ces mesurages ne doit pas dépasser ± 2 °C.

8 Mode opératoire d'essai

8.1 Généralités

Le temps d'essai spécifié, t, dépend de l'objectif des essais de relaxation.

NOTE Des temps d'essai typiques pour la conception des assemblages boulonnés résistant à la chaleur de turbines à vapeur sont par exemple 1 000, 3 000, 10 000 et 30 000 heures [9].

8.2 Mise en tension du boulon

8.2.1 Généralités

Le boulon est tendu lentement dans le modèle d'assemblage boulonné à température ambiante jusqu'à la déformation élastique initiale spécifiée (ε_{eo}) en serrant l'un des écrous sans torsion du boulon. Un dispositif approprié doit être utilisé à cet effet (Figure 6). Il faut prendre soin de positionner le boulon avec précision suivant l'axe central du manchon (Figures 2 et 3).

Avant mise en tension finale, il convient que le boulon soit soumis environ trois fois à la déformation élastique initiale spécifiée. Il convient d'éviter toute déformation excessive ; pour cette raison, l'augmentation continue de l'extension du boulon doit être surveillée pendant la mise en tension. A l'extrémité du boulon où l'écrou est serré pour assurer la mise en tension, le filetage doit être revêtu d'une pâte lubrifiante pour haute température. Pour limiter le risque de modifications chimiques des couples thermoélectriques dans le dispositif de chauffage, la plus petite quantité possible de pâte lubrifiante doit être appliquée. La déformation élastique initiale doit être spécifiée de façon à éviter la déformation plastique du boulon ou du manchon.

8.2.2 Mise en tension pour le modèle A d'assemblage boulonné

L'extension ΔL_o pendant la mise en tension du boulon modèle A d'assemblage boulonné doit être mesurée par le dispositif illustré à la Figure 4 de façon à obtenir la déformation élastique initiale spécifiée $\varepsilon_{eo} = \Delta L_o / L_r$.

La longueur de référence, L_r, doit être déterminée par une mesure comparative au moyen d'un dispositif de mesure à jauges de déformation, semblable à celui de la Figure 5 ou par un calcul conformément à la Figure 7.

NOTE 1 Pour la mise en tension du modèle A d'assemblage boulonné, un dispositif qui combine le dispositif de mesure (Figure 4) et le dispositif de serrage (Figure 6) est recommandé.

NOTE 2 Pour un modèle A d'assemblage boulonné avec les dimensions de la Figure 2, une mesure comparative par jauges de déformation donne L_r = 153,3 mm. Pour les boulons d'un modèle conforme ou non conforme à celui illustré à la Figure 2, la longueur de référence, L_r, est calculée, de manière alternative, au moyen de la méthode simplifiée de la Figure 7 en supposant une longueur du boulon consistant en la longueur cylindrique, les longueurs de raccordement aux deux extrémités et des longueurs de parties filetées aux deux extrémités correspondant à 1,5 filets avec un diamètre de filetage équivalent au diamètre du noyau plus 0,424 fois le pas.

NOTE 3 Pour le calcul de la longueur de référence, n = 1 est proposé parce que les valeurs de déformation applicables sont élastiques.

8.2.3 Mise en tension du modèle B d'assemblage boulonné

L'extension du boulon est mesurée au moyen du dispositif à jauges de déformation de la Figure 5, voir 6.2.2.

8.3 Détermination de la contrainte initiale du boulon

La contrainte initiale, σ_o, est déterminée en supposant une déformation complètement élastique du boulon jusqu'à la déformation initiale spécifiée, ε_{eo}, et en considérant le modèle d'élasticité statique à la température d'essai, E_T : $\sigma_o = E_T \times \varepsilon_{eo}$.

8.4 Chauffage, maintien en température et refroidissement du modèle d'assemblage boulonné

Après mise en tension, le modèle d'assemblage boulonné est placé dans un four non chauffé. Le four avec le modèle d'assemblage boulonné est alors chauffé jusqu'à la température spécifiée, T, avec une vitesse de chauffage maximale de 100 K/h.

La période d'essai spécifiée, t, commence lorsque la température spécifiée est atteinte et se termine lorsque le refroidissement commence.

Un nombre suffisant d'enregistrements de température doivent être réalisés, tout au long de l'essai pour démontrer que les conditions de température respectent les prescriptions du 6.3.2

A la fin de la période d'essai, le modèle d'assemblage boulonné doit être refroidi jusqu'à température ambiante avec une vitesse de refroidissement ne dépassant pas 100 K/h.

Les gradients de température entre les différentes parties du modèle d'assemblage boulonné pendant le chauffage et le refroidissement doivent être empêchés pour éviter des contraintes de traction supplémentaires parasites dans le boulon. Par conséquent, il convient de contrôler avec soin les vitesses de chauffage et de refroidissement.

NOTE Si un grand four est utilisé pour des essais à long terme avec un grand nombre de modèles d'assemblage boulonné avec des temps d'essai différents à la même température, un plus petit four avec des vitesses de température contrôlées peut être utilisé pour le chauffage et le refroidissement des modèles individuels d'assemblage boulonné qui sont rapidement transférés vers le grand four ou en provenance de celui-ci.

8.5 Détermination de la déformation élastique résiduelle

8.5.1 Généralités

Pour déterminer la déformation élastique résiduelle, ε_{er}, après le temps d'essai spécifié, t, la traction du boulon doit être relâchée à la température ambiante.

Les dispositifs de mesure et le modèle d'assemblage boulonné doivent être stockés pour chaque mesurage pendant au moins 3 h dans le laboratoire de mesure pour assurer un équilibrage de la température. La variation de température ambiante de ce laboratoire pendant le préconditionnement et le mesurage ne doit pas dépasser ± 1 °C.

8.5.2 Relâchement du boulon

Différentes méthodes pour détruire le manchon ou l'écrou peuvent être utilisées :

— érosion de l'écrou ou du cylindre ;

— ouverture de l'écrou ou du cylindre par sciage ;

— ouverture du cylindre par fraisage ;

— expansion de l'écrou ;

— fraisage de deux rainures sur des faces opposées de l'écrou.

Un relâchement conventionnel par desserrage de l'un des écrous peut influencer les résultats des essais et doit être évité.

NOTE Pendant cette opération, il convient de prendre soin d'éviter un chauffage excessif du modèle. Lorsque le manchon est fraisé, il convient de ne pas exercer de pression car toute pression produirait une déformation supplémentaire du boulon. Fréquemment, l'écrou ne peut pas être desserré de manière conventionnelle du fait d'une oxydation importante. Un desserrage conventionnel pourrait également fausser les résultats d'essai.

8.5.3 Déformation élastique résiduelle modèle A d'assemblage boulonné

Avant et après relâchement du boulon, la longueur hors tout, L_t, du modèle d'assemblage boulonné est mesurée avec le dispositif de la Figure 4 de façon à déterminer l'extension de retour pendant le relâchement, ΔL_t, et de là en déduire la déformation élastique résiduelle restante, $\varepsilon_{er} = \Delta L_t / L_r$.

8.5.4 Déformation élastique résiduelle avec un modèle B d'assemblage boulonné

Avant relâchement du modèle d'assemblage boulonné, deux jauges de déformation sont introduites par les lumières latérales du manchon et montées à nouveau sur deux faces opposées du boulon.

La déformation élastique résiduelle, ε_{er}, du boulon pendant le relâchement du boulon pour le modèle B d'assemblage boulonné est mesurée au moyen du dispositif à jauges de déformation de la Figure 5.

8.5.5 Détermination de la contrainte résiduelle

Grâce à la déformation élastique résiduelle, ε_{er}, déterminée selon 8.5.3 ou 8.5.4, la contrainte résiduelle est déterminée : $\sigma_{rt} = E_T \times \varepsilon_{er}$. Le module d'élasticité statique, E_T, à la température d'essai doit être utilisé s'il est disponible, sinon utiliser le module d'élasticité dynamique E_{Td}.

Le type de module d'élasticité utilisé doit être indiqué dans le rapport d'essai.

NOTE Après relâchement, un boulon ne peut plus être utilisé pour poursuivre l'essai. Un chargement répété jusqu'à la valeur de déformation élastique restante qui vient d'être mesurée, produira des effets d'adaptation répétés dans les filetages du boulon et des écrous et dans les zones portantes intermédiaires, ce qui peut conduire à une relaxation plus élevée.

9 Exactitude des résultats

9.1 Expression des résultats

Pour l'expression des résultats, les valeurs doivent être exprimées en tenant compte des prescriptions suivantes relatives aux règles d'arrondi :

— température spécifiée : à 1 °C ;

— déformation élastique initiale spécifiée : 3 chiffres significatifs ;

— diamètre d : à 0,01 mm ;

— rapport L_c/d : au dixième ;

— contrainte initiale et contrainte résiduelle : 3 chiffres significatifs ;

— temps spécifié : 3 chiffres significatifs.

9.2 Incertitude

Etant donné que l'incertitude des résultats dépend de la nature du matériau soumis à l'essai et des conditions d'essai, il n'est pas possible de donner des valeurs précises pour l'incertitude.

10 Rapport d'essai

10.1 Lorsque le matériau soumis à l'essai est couvert par une spécification de produit, le rapport doit alors contenir les informations exigées par cette spécification, plus les éléments définis en 10.2. Pour les matériaux qui ne sont pas couverts par une spécification de produit, le rapport doit être conforme au 10.2. A la demande du client, au moment de la commande, le rapport d'essai doit contenir les éléments spécifiés en 10.2 et ceux des éléments du 10.3 qui sont demandés par le client.

10.2 Les informations à indiquer dans le rapport d'essai doivent inclure, le cas échéant :

— la référence à la présente Norme européenne ;

— le matériau et l'identification du modèle d'assemblage boulonné ;

— la température spécifiée et la température indiquée si elle dépasse les limites admissibles ;

— la déformation élastique initiale spécifiée ;

— le type et la température pour le module d'élasticité qui est utilisé ;

— le modèle d'assemblage boulonné utilisé, type A ou B ;

— toutes dimensions changées par rapport à celles des Figures 2 ou 3, le cas échéant ;

— la méthode de détermination de la longueur de référence ;

— la méthode de relâchement du boulon ;

— tout événement qui peut affecter les résultats, par exemple des écarts par rapport aux tolérances spécifiées ou aux performances de l'équipement ;

— les résultats d'essai ;

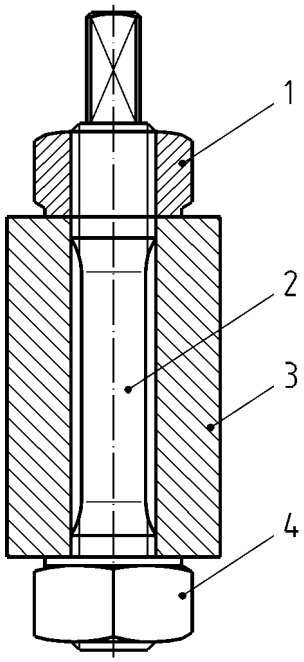
— les dates des essais ou du rapport d'essai.

10.3 Les informations à mettre à disposition, sur demande présentée au moment de la commande, doivent inclure, le cas échéant :

— la durée d'application de la force ;

— le temps de chauffage et la durée de la stabilisation ;

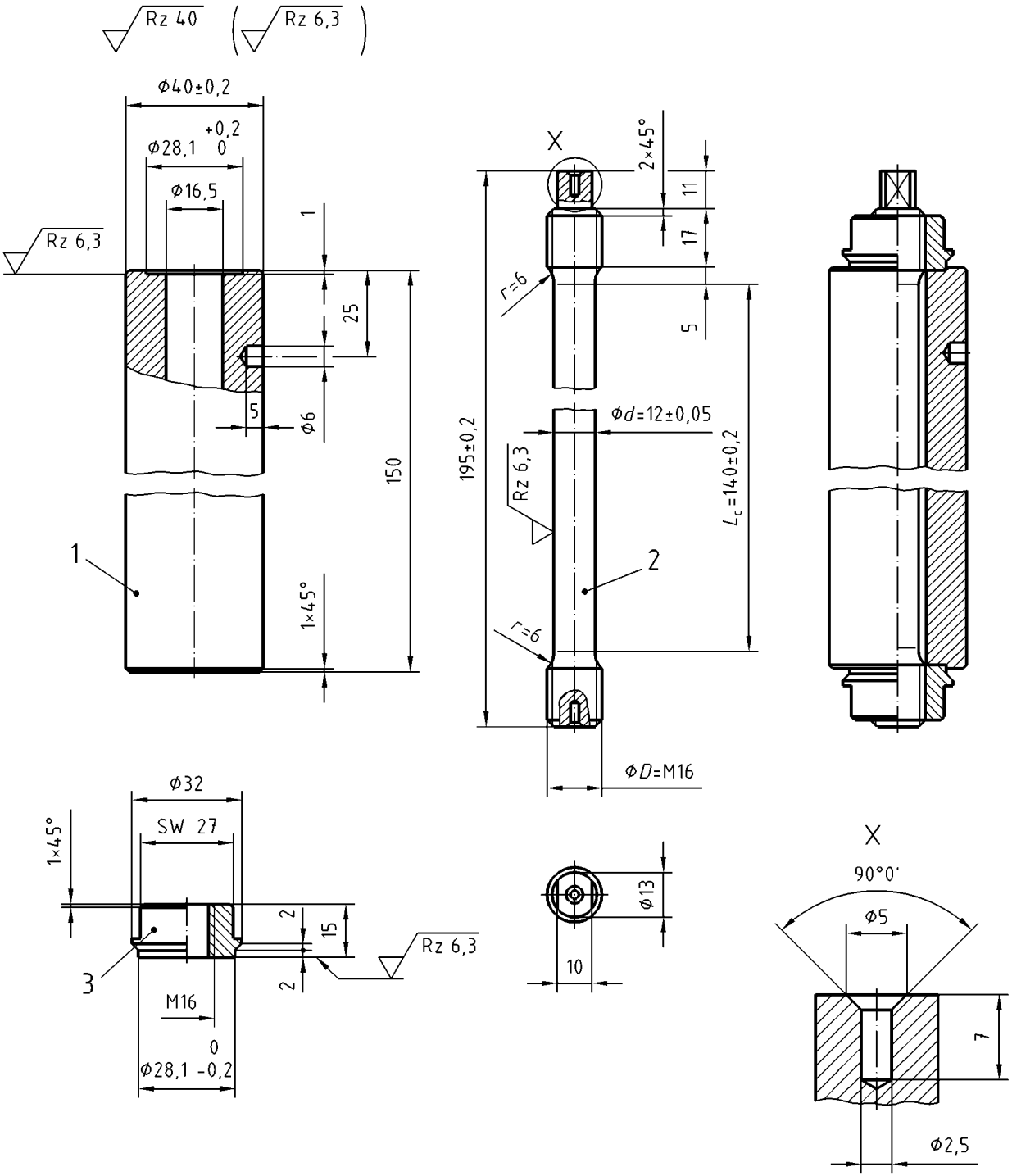
— des informations concernant les valeurs enregistrées de tout dépassement des limites de température admissibles définies en 6.3.2, pour la température indiquée.



Légende

1 Écrou
2 Boulon
3 Manchon
4 Écrou

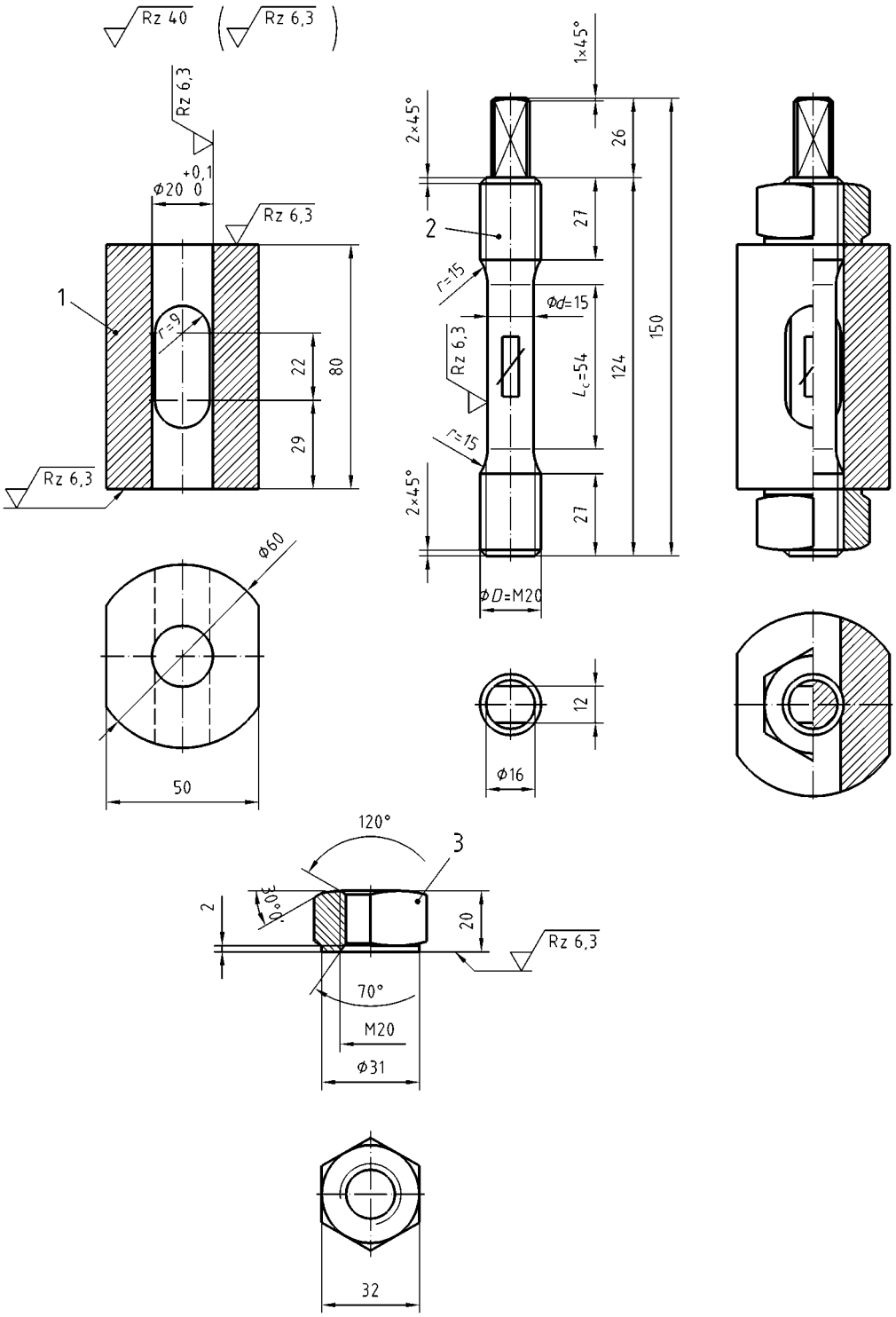
Figure 1 — Modèle d’assemblage boulonné



Légende

1 Manchon
2 Boulon
3 Écrou
x Agrandissement

Figure 2 — Exemple de modèle A d'assemblage boulonné



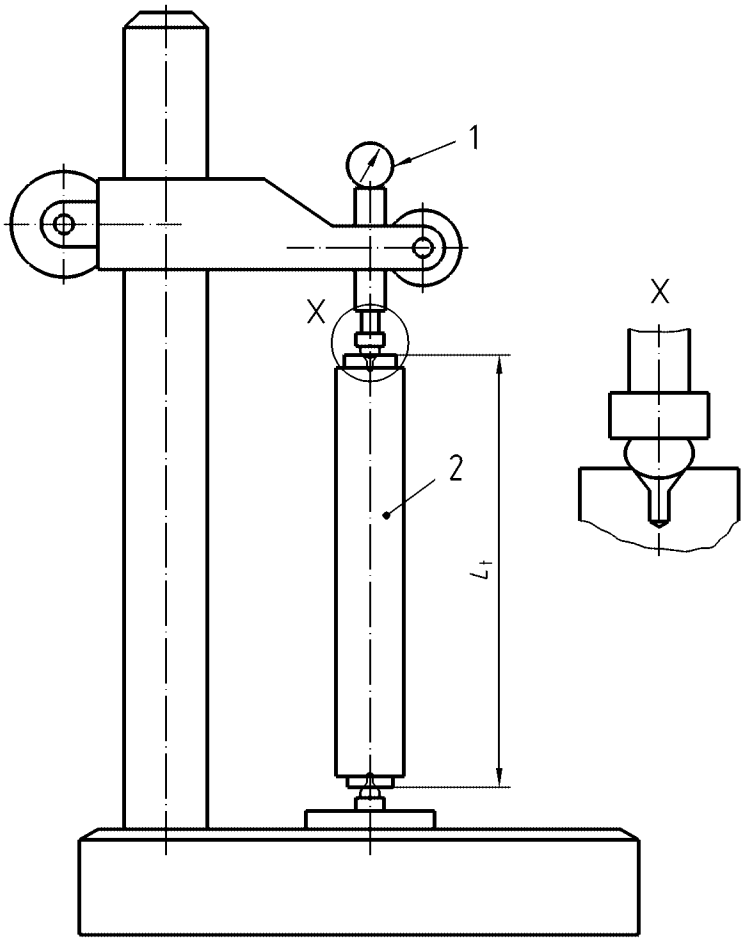
Légende

1 Manchon

2 Boulon

3 Écrou

Figure 3 — Exemple de modèle B d'assemblage boulonné



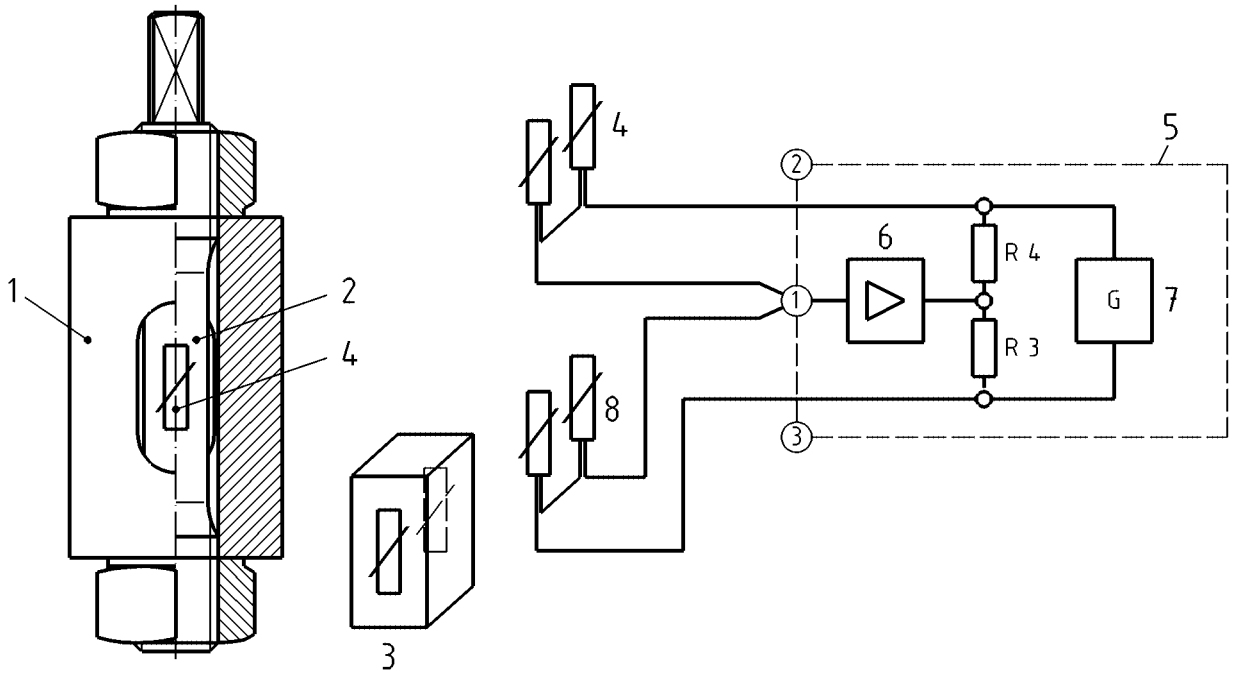
Légende

1 Comparateur

2 Modèle de boulon ou barre de référence

x Agrandissement

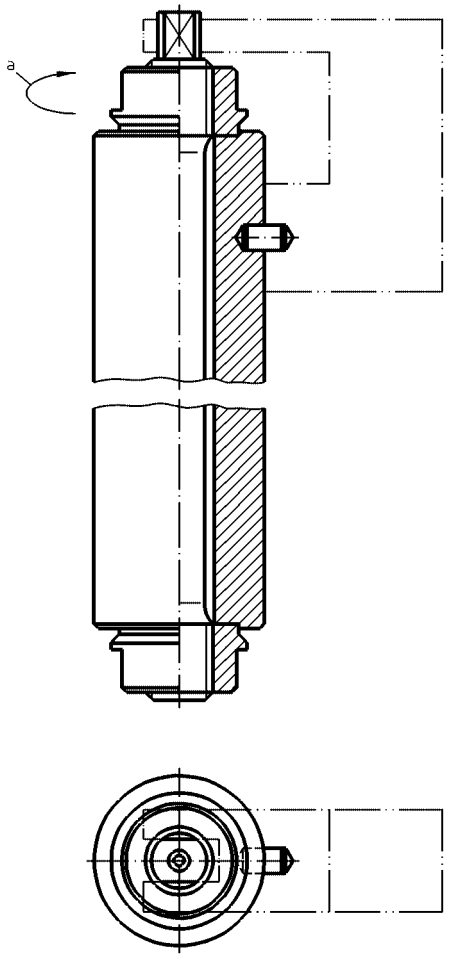
Figure 4 — Dispositif de mesure de la longueur hors tout du boulon d'un modèle A d'assemblage boulonné



Légende

1 Boulon modèle B
2 Boulon
3 Pièce de référence
4 Jauges de déformation (actives)
5 Circuit en pont
6 Amplificateur
7 Générateur de tension constante
8 Jauges de déformation passives

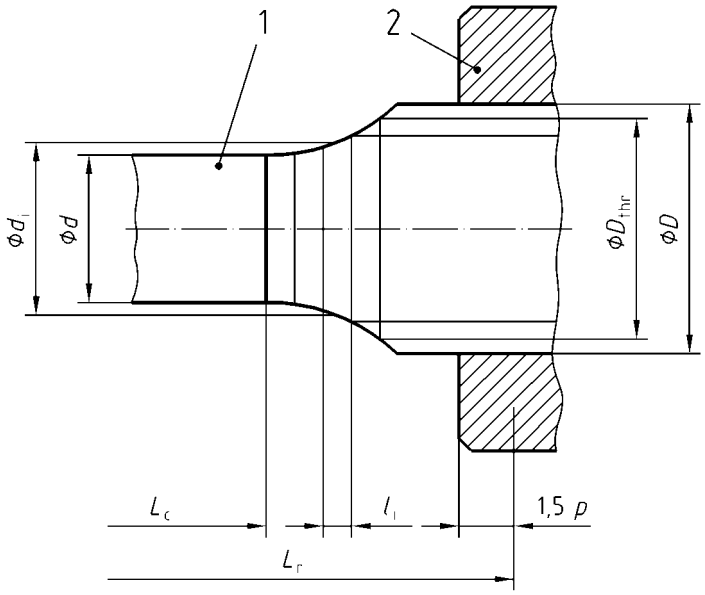
Figure 5 — Dispositif de mesure à jauges de déformation pour la déformation du boulon d'un modèle B d'assemblage boulonné



Légende

a Mise en tension par serrage de l'écrou

Figure 6 — Dispositif de serrage de l'écrou sans torsion du boulon lorsque le modèle d'assemblage boulonné est tendu



$$L_r = L_c + 2\left[\sum_i (d/d_i)^{2n} \cdot l_i + (d/D_{thr})^{2n} \cdot 1{,}5\ p\right]$$ avec un exposant de contrainte n = 1

Légende

1 Boulon

2 Écrou

D_{thr} = 0,8 D + 0,24 p

p = Pas

D_{thr} = Diamètre de filetage

D = Diamètre extérieur du filetage

Figure 7 — Exemple de calcul simplifié de la longueur de référence, L_r, du boulon pour le modèle A d'assemblage boulonné

Annexe A
(informative)

Informations concernant différents types de couples thermoélectriques

Des informations concernant différents types de couples thermoélectriques sont données dans l'EN 60584-1 [1] et l'EN 60584-2 [2].

L'utilisation de couples thermoélectriques en métal rare, de préférence de type S ou R, est recommandée pour des températures égales ou supérieures à 400 °C.

Il convient d'utiliser des couples thermoélectriques en métal ordinaire de type K, seulement à des températures inférieures à 400 °C ou pour des durées inférieures à 1 000 h à des températures plus élevées, et il convient de ne pas les réutiliser.

Il est possible d'utiliser des couples thermoélectriques en métal ordinaire de type N à des températures inférieures à 600 °C ou pour des durées inférieures à 3 000 h à des températures plus élevées, et il convient de ne pas les réutiliser.

Il convient que la dérive des couples thermoélectriques ne dépasse pas les valeurs suivantes, durant la période d'étalonnage :

— ± 1 °C pour $T \leq 600$ °C ;

— ± 1,5 °C pour 600 °C < $T \leq 800$ °C ;

— ± 2 °C pour 800 °C < $T \leq 1\,100$ °C.

Pour les couples thermoélectriques en métal rare, ces prescriptions sont satisfaites, en général, pour les périodes d'étalonnage suivantes :

— 4 ans pour $T \leq 600$ °C ;

— 2 ans pour 600 °C < $T \leq 800$ °C ;

— 1 an pour 800 °C < $T \leq 1\,100$ °C.

Annexe B
(informative)

Informations concernant les méthodes d'étalonnage des couples thermoélectriques

NOTE Voir [3], [4], [5].

Pour l'étalonnage des couples thermoélectriques, deux stratégies peuvent être recommandées. Elles ont toutes deux pour objectif de s'assurer que la force électromotrice (emf) indiquée par le couple thermoélectrique à la température d'étalonnage (corrigée, s'il y a lieu, pour toutes les erreurs systématiques) est aussi proche que possible de l'emf définie par la table de référence appropriée de l'EN 60584-1 [1] pour cette température. Les deux stratégies ont recours à l'utilisation de couples thermoélectriques de référence, qui peuvent être directement raccordés à un étalon national. Une condition préalable est que la tolérance d'étalonnage du nouveau couple thermoélectrique soit conforme à la classe 1 de l'EN 60584-2:1995 [2], ou à une norme équivalente. L'étalonnage de l'équipement de mesure de température peut être effectué pendant l'étalonnage du couple thermoélectrique ou de façon indépendante.

La stratégie 1 est fondée sur un étalonnage in situ du couple thermoélectrique, c'est-à-dire un étalonnage du couple thermoélectrique soit dans le four d'essai soit dans un four d'étalonnage ayant la même profondeur d'immersion et le même gradient de température le long des fils du couple thermoélectrique. L'erreur déterminée durant l'étalonnage in situ est utilisée pour corriger la température spécifiée du couple thermoélectrique. Si cette erreur dépasse la limite associée à l'incertitude liée à la profondeur d'immersion, le couple thermoélectrique est mis hors service. Il convient de surveiller et de minimiser la dérive du couple thermoélectrique de référence due à une profondeur d'immersion variable en services actif et passif.

La stratégie 2 implique un étalonnage du couple thermoélectrique dans un four d'étalonnage dont la profondeur d'immersion est semblable à celle du four d'essai. Si, lors de l'étalonnage, la tolérance des laboratoires qui doit inclure l'effet dû à la profondeur d'immersion est dépassée, le couple thermoélectrique est coupé et ressoudé à la jonction chaude et/ou recuit, et l'étalonnage est répété. Si, après ce nouvel étalonnage, la tolérance d'étalonnage des laboratoires est encore dépassée, le couple thermoélectrique est mis hors service.

Bibliographie

Normes

[1] EN 60584-1, *Couples thermoélectriques — Partie 1 : Tables de référence*.

[2] EN 60584-2, *Couples thermoélectriques — Partie 2 : Tolérances*.

[3] DIN 2510-3, *Assemblages par boulons à tige allégée — Boulons filetés*.

[4] EN 20286-2, *Système ISO de tolérances et d'ajustements — Partie 2 : Tables des degrés de tolérance normalisés et des écarts limites des alésages et des arbres.*

Documents concernant les couples thermoélectriques et les mesurages de température

[5] M.P.E. DESVAUX “The practical realisation of temperature measurement standards in high temperature mechanical testing" - Chapter 7 in Measurement of high temperature mechanical properties of materials. Editors M.S. LOVEDAY, M.F. DAY and B.F. DYSON. HMSO LONDON, 1982.

[6] C. BROOKES, T.R.D CHANDLER and B. CHU "Nicrosil-nisil: a new high stability thermocouple for industrial user", Measurement & Control, Vol 18, 245-248, Sept 1985.

[7] R.L. RUSBY, D.F. CARTER and A. BESWICK. "An evaluation of sheathed Nicrosil/Nisil thermocouples up to 1 300 °C". Materials at High Temperatures, Vol 10 N° 3, 193-300, August 1992.

[8] G.COGGIOLA, L. CROVINI and A.MANGANO “Behaviour of KP, KN, Nicrosil and Nisil thermoelectric wires between 0 °C and 750 °C”, High Temperatures – High Pressures Vol 20, 419-432, 1988.

Documents concernant les essais de relaxation

[9] A. Erker and K.H. Mayer: "Relaxations- und Sprödbruchverhalten von warmfesten Schraubenverbindungen". VGB Kraftwerkstechnik, Heft 2, Februar 1973, S. 123-131.

[10] Mc CARTHY P.R., ROBERTSON D.G., ORR J and STRANG A, “Recent Developments in Stress Relaxation Methodologies within Europe”, Proceedings of the 8th International Conference on Creep and Fatigue of Engineering Materials and Structures, 1-5 November 1999, Tsukuba, Japan ISBN 0-87849-842-7, pp 9-16.

[11] K. H. Mayer and H. König: Creep, relaxation toughness properties of the bolt and blade steel X19CrMoVNbN11-1, The International Conference on Advances in Material Technology for Fossil Power Plants, 1.-3. September 1987, Chicago, IL, USA.

[12] SEP 1260, Relaxation Test at Elevated temperatures on Bolted Joint Models, 1. Ausgabe, Mai 1996, STAHL-EISEN-Prüfblätter (SEP) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute.