
**Matériaux métalliques — Vérification
de l'alignement axial des machines
d'essai de fatigue**

*Metallic materials — Verification of the alignment of fatigue testing
machines*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 23788:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/261d1d17-fa79-4d55-856b-d0b41ce41eb0/iso-23788-2012>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 23788:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/261d1d17-fa79-4d55-856b-d0b41ce41eb0/iso-23788-2012>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2012

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles	3
5 Exigences relatives aux mesures	4
5.1 Machine d'essai	4
5.2 Cellule d'alignement	4
5.3 Conception et fabrication	5
5.3.1 Conception	5
5.3.2 Dimensions des cellules d'alignement des sections circulaires	5
5.3.3 Dimensions des cellules d'alignement des sections rectangulaires épaisses	6
5.3.4 Dimensions des cellules d'alignement des sections rectangulaires minces	6
5.4 Usinage	6
5.5 Inspection avant fixation des jauges de déformation	6
5.6 Instrumentation à l'aide de jauges de déformation	7
5.7 Vérification du système	7
6 Calculs des mesures d'alignement	8
6.1 Généralités	8
6.2 Cellule d'alignement cylindrique	8
6.3 Cellule d'alignement rectangulaire épaisse	9
6.4 Cellule d'alignement rectangulaire mince	10
6.5 Classification de l'alignement de la machine	10
7 Procédure de vérification de l'alignement de la machine	11
7.1 Objet et fréquence	11
7.2 Mode opératoire	11
8 Rapport	12
8.1 Informations de base	12
8.2 Informations spéciales	13
Annexe A (informative) Causes de flexion et de défaut d'alignement des éprouvettes dans les machines d'essai de fatigue	19
Annexe B (normative) Évaluation de l'incertitude dans les mesures d'alignement	21
Annexe C (informative) Méthode de mesure de la rigidité latérale de la machine	24
Annexe D (informative) Configuration à trois jauges de déformation	26
Annexe E (informative) Détermination de la contribution à la flexion due aux imperfections inhérentes à un dispositif de cellule d'alignement cylindrique	29
Annexe F (informative) Exemple numérique	31
Annexe G (normative) Jauge d'alignement — Méthode d'évaluation qualitative de l'alignement des systèmes d'essai pour éprouvettes cylindriques	32
Bibliographie	34

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 23788:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/261d1d17-fa79-4d55-856b-d0b41ce41eb0/iso-23788-2012>

Introduction

L'alignement de la machine dans le contexte de la présente Norme internationale signifie la coïncidence des axes géométriques (de chargement) des mors de serrage. Tout écart par rapport à cette situation idéale entraîne un décalage angulaire et/ou latéral (ou un défaut d'alignement) dans le système de mise en charge (voir [Annexe A](#)). Le défaut d'alignement se traduit par un champ de contrainte/déformation de flexion indésirable, existant dans l'éprouvette d'essai ou le dispositif de mesure d'alignement (ci-après «cellule d'alignement»). Le champ de contrainte/déformation de flexion se superpose au champ de contrainte/déformation appliqué, supposé uniforme. Lors de l'essai de torsion pure, tout défaut d'alignement entraîne un état de contrainte/déformation biaxial de torsion et flexion.

Il a été démontré que le défaut d'alignement dans le système de mise en charge des systèmes d'essai de fatigue axiale influence de manière significative les résultats d'essai de fatigue (voir Références [1], [2] et [3]).

Les principales causes de flexion dues à un défaut d'alignement sont invariablement une combinaison de

- mauvaise coïncidence des axes des mors de serrage, et
- d'imperfections inhérentes à l'éprouvette ou à la cellule d'alignement elle-même.

La contribution à la flexion due à la machine d'essai reste dans l'idéal la même pour chaque éprouvette d'essai ou cellule d'alignement. La contribution à la flexion due à l'éprouvette ou à la cellule d'alignement varie d'un dispositif à l'autre.

Des recherches récentes (voir Références [4] et [5]) ont montré que, quelles que soient les précautions prises lors de la fabrication d'une éprouvette ou d'un dispositif d'alignement, il existe toujours une erreur de flexion. Les imperfections (c'est-à-dire l'excentricité et l'angularité) résultent de l'asymétrie géométrique autour de l'axe central du dispositif et d'autres erreurs de mesure relatives au type, au positionnement et aux performances choisis pour les jauges de déformation. L'erreur de flexion inhérente au dispositif peut être significative et parfois même dépasser celle due au défaut d'alignement de la machine.

Dans la présente Norme internationale, les erreurs dues aux imperfections inhérentes à la cellule d'alignement elle-même sont éliminées. Ce résultat est obtenu en pivotant le dispositif d'alignement de 180° autour de son axe longitudinal et en soustrayant sa contribution de la déformation de flexion totale déterminée par la mesure. Différents dispositifs fabriqués avec le même matériau et les mêmes dimensions nominales produisent donc raisonnablement les mêmes résultats de mesure d'alignement (voir un exemple dans la Référence [2], Figure 10).

Matériaux métalliques — Vérification de l'alignement axial des machines d'essai de fatigue

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit une méthode de vérification de l'alignement d'une machine d'essai à l'aide d'un dispositif de mesure à jauge de déformation. Elle s'applique aux machines d'essais dynamiques de traction/compression uniaxiale, aux machines d'essai de fatigue pour les matériaux métalliques de torsion pure et de traction/compression plus torsion combinée.

La méthodologie décrite dans la présente Norme internationale est générique et peut être appliquée aux machines d'essais statiques et aux essais de matériaux non métalliques.

2 Références normatives

Les documents suivants, en totalité ou en partie, font office de références normatives dans le présent document et sont indispensables à son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 7500-1, *Matériaux métalliques — Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Vérification et étalonnage du système de mesure de force*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent:

3.1

alignement

coïncidence des axes de chargement des éléments du système de mise en charge, y compris l'éprouvette d'essai

NOTE Tout écart par rapport à cette coïncidence peut entraîner des moments de flexion dans l'éprouvette.

3.2

cellule d'alignement

dispositif de mesure soigneusement usiné, équipé de jauges de déformation pour vérifier l'alignement d'une machine d'essai

3.3

jauge d'alignement

dispositif mécanique soigneusement usiné, composé de deux tenons et d'une bague, qui est utilisé pour vérifier le bon alignement des mors de serrage (échec/réussite)

3.4

déformation axiale moyenne

ε_0
déformation axiale longitudinale moyenne mesurée à la surface de la cellule d'alignement au moyen d'un ensemble de jauges de déformation situées sur le même plan de section transversale

NOTE La déformation axiale moyenne représente la déformation au niveau du centre géométrique de la section transversale.

3.5 système de mise en charge

tous les composants figurant entre la traverse et le vérin inclus

NOTE Le système de mise en charge comprend l'éprouvette.

3.6 déformation de flexion

ε_b
différence entre la déformation locale mesurée par une jauge de déformation et la déformation axiale moyenne

NOTE La déformation de flexion est un vecteur caractérisé par une amplitude, une direction et un point d'application. En général, elle varie d'un point à l'autre de la surface de la cellule d'alignement.

3.7 alignement de la machine

coïncidence des axes des mors de serrage, qui est caractérisée par l'élément de déformation de flexion maximale $\varepsilon_{b,max,mc}$

NOTE Un défaut d'alignement de la machine se manifeste par l'existence d'un décalage latéral et/ou d'un décalage angulaire entre les axes de chargement des mors de serrage supérieurs et inférieurs.

3.8 aspect de la machine

référence à l'avant, à l'arrière et aux côtés gauche et droit de la machine d'essai

3.9 déformation de flexion maximale (standards.iteh.ai)

$\varepsilon_{b,max}$
grandeur vectorielle ayant l'amplitude de déformation de flexion la plus importante dans un plan de section transversale donné

NOTE Le vecteur de déformation de flexion maximale est caractérisé par une amplitude, une direction et un point d'application.

3.10 pourcentage de flexion

β
déformation de flexion maximale multipliée par 100 et divisée par la déformation axiale moyenne

3.11 plan de mesure

plan de section transversale d'une cellule d'alignement sur lequel sont positionnés les axes transversaux d'un ensemble de jauges de déformation

3.12 orientations des mesures

position de la cellule d'alignement (0°, 90°, 180° et 270°), autour de son axe longitudinal, qui définit l'emplacement de la jauge 1 ou un repère permanent à la surface de la cellule d'alignement, par rapport à l'avant de la machine

NOTE L'avant de la machine correspond à la direction R.

3.13 longueur calibrée

L_c
longueur de la section réduite calibrée de la cellule d'alignement

3.14**limite de proportionnalité**

déformation la plus importante qu'un matériau est capable de supporter en élasticité sans écart de proportionnalité entre la contrainte et la déformation

3.15**direction R**

direction de référence déterminée par rapport au bâti de la machine d'essai

NOTE En règle générale, il s'agit de la direction du centre vers l'avant de la machine.

3.16**écartement axial des jauges de déformation** L_g

distance axiale entre les plans de mesure supérieur et inférieur sur la cellule d'alignement

3.17**écartement transversal des jauges de déformation** W_g

distance transversale sur la face large d'une cellule d'alignement rectangulaire mince entre les centres des jauges de déformation

4 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles suivants s'appliquent.

Symbole	Description
$A_1 - A_4$	ensemble supérieur de jauges de déformation
$B_1 - B_4$	ensemble inférieur de jauges de déformation
d	diamètre minimal de la cellule d'alignement cylindrique; diamètre intérieur de la bague de la jauge d'alignement
D	diamètre à la tête d'amarrage de la cellule d'alignement cylindrique
e	excentricité ou décalage latéral
L_p	longueur calibrée
L_g	écartement axial des jauges de déformation
L_z	longueur hors tout de la cellule d'alignement, de la jauge d'alignement ou de l'éprouvette d'essai
r	rayon du congé entre la longueur calibrée et la tête d'amarrage de la cellule d'alignement ou de l'éprouvette d'essai
t	épaisseur de la section réduite de la cellule d'alignement rectangulaire
w	largeur de la section réduite de la cellule d'alignement rectangulaire
W	largeur au niveau de la tête d'amarrage de la cellule d'alignement rectangulaire
w_g	écartement transversal des jauges de déformation
B	pourcentage de flexion
β_{ac}	pourcentage de flexion due aux imperfections inhérentes à la cellule d'alignement

β_{mc}	pourcentage de flexion due à un défaut d'alignement de la machine
ε_o	déformation axiale moyenne
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \text{ etc.}$	relevé des jauges de déformation individuelles (déformation locale)
ε_b	déformation de flexion (valeur combinée)
$\varepsilon_{b,ac}$	composante de déformation de flexion due aux imperfections inhérentes à la cellule d'alignement
$\varepsilon_{b,mc}$	composante de déformation de flexion due à un défaut d'alignement de la machine
$\varepsilon_{b,max}$	déformation de flexion maximale (valeur combinée)
$\varepsilon_{b,max,ac}$	composante de déformation de flexion maximale due aux imperfections inhérentes à la cellule d'alignement
$\varepsilon_{b,max,mc}$	composante de déformation de flexion maximale due à un défaut d'alignement de la machine
γ	décalage angulaire
θ_{ac}	angle (dans le sens horaire vu de dessus) de l'emplacement de $\varepsilon_{b,max,ac}$ par rapport à la jauge 1 (ou un repère permanent à la surface de la cellule d'alignement)
θ_{mc}	angle (dans le sens horaire vu de dessus) de l'emplacement de $\varepsilon_{b,max,mc}$ par rapport à l'avant de la machine (direction R)

5 Exigences relatives aux mesures

5.1 Machine d'essai

Le système d'essai doit comporter un système de mesure de force comprenant un capteur de force (cellule de charge), des unités de conditionnement et des modules d'affichage. Ce système doit être conforme aux exigences de la norme ISO 7500-1.

NOTE 1 La classe 1 requiert que les erreurs de force indiquées ne dépassent pas ± 1 % de la valeur relevée sur la plage de vérification.

Il est essentiel que les mors de serrage permettent à la cellule d'alignement une rotation de 180° autour de son axe longitudinal. La cellule d'alignement doit pouvoir également être repositionnée et amarrée à plusieurs reprises avec une variation minimale de défaut d'alignement (voir [Annexe B](#)).

Il est recommandé, mais non obligatoire, que la machine soit équipée de moyens permettant de régler les décalages latéraux et angulaires d'une partie du système de mise en charge. Il est également recommandé de:

- a) minimiser le nombre de composants dont ces dispositifs de serrage sont composés afin de réduire le nombre d'interfaces mécaniques, et
- b) maximiser la rigidité latérale de la machine d'essai de fatigue afin de réduire les effets de toute flexion dite alternée sur les résultats d'essai de fatigue lorsque ces essais impliquent une charge de compression-traction alternée (voir Référence [1]).

NOTE 2 Voir [Annexe C](#) pour savoir comment mesurer la rigidité latérale de la machine.

5.2 Cellule d'alignement

La mesure de l'alignement peut être légèrement affectée par la rigidité de la cellule d'alignement utilisée dans la mesure (voir Figure 13 dans la Référence [2]); plus la rigidité du dispositif est faible, plus sa

sensibilité à la mesure de l'alignement de la machine est élevée. Il convient également qu'une bonne cellule d'alignement soit suffisamment robuste pour durer et permettre des utilisations successives sur une longue période (c'est-à-dire des années). Il convient de veiller à ce que ces deux exigences soient respectées correctement.

Dans l'idéal, il convient qu'un matériau de cellule d'alignement comporte:

- a) une étendue élastique linéaire suffisamment élevée;
- b) un degré important de stabilité métallurgique;
- c) une absence de contrainte résiduelle appréciable pour assurer la stabilité dimensionnelle;
- d) une bonne résistance à l'oxydation.

Les aciers entièrement trempés, par exemple les aciers alliés avec une limite d'élasticité de 0,2 % de l'ordre de 1 000 MPa, sont des matériaux candidats idéaux pour les cellules d'alignement (voir Références [3] et [4]). Les alliages d'aluminium à haute résistance, tels que 7075-T6, figurent parmi les autres solutions possibles.

5.3 Conception et fabrication

5.3.1 Conception

La cellule d'alignement doit avoir la même longueur hors tout (mais pas nécessairement la même longueur calibrée et la même section transversale) que l'éprouvette d'essai de fatigue. Elle doit s'intégrer dans les mors de serrage de la même manière que l'éprouvette d'essai de fatigue afin d'éviter l'utilisation d'adaptateurs spéciaux. Pour les dispositifs cylindriques, le diamètre, d , ne doit pas être supérieur à 10 mm ou au diamètre de l'éprouvette d'essai de fatigue, selon la valeur la plus élevée. Les diamètres standard recommandés sont 5 mm, 7,5 mm et 10 mm.

Les Tableaux 1, 2 et 3 présentent les proportions standard recommandées. Des dimensions de section transversale plus petites que celles indiquées dans les tableaux peuvent être utilisées sous réserve de la disponibilité de jauges de déformation appropriées. Les Figures 1 et 2 présentent les exigences relatives à la concentricité, à la rectitude et au parallélisme (c'est-à-dire les tolérances d'usinage des surfaces qui ont une incidence sur l'alignement) pour les formes des cellules d'alignement de base.

D'autres géométries et profils sont admissibles, à condition que les principales exigences de la présente Norme internationale soient respectées. Des variations importantes des dimensions peuvent toutefois exclure une comparaison significative avec les mesures effectuées à partir des cellules standard recommandées. Pour les recommandations relatives aux autres géométries et à la conception des têtes d'amarrage, voir Référence [4].

5.3.2 Dimensions des cellules d'alignement des sections circulaires

Voir Tableau 1 et Figure 1.

Tableau 1 — Dimensions nominales des cellules d'alignement des sections circulaires

Dimension en mm	Recommandée
d	5, 7,5 et 10
L_p	$2,5d$
r	$\geq 2d$
D	D (éprouvette d'essai)
L_z	L_z (éprouvette d'essai)
Rugosité de surface de section réduite: 0,8 μm à 1,6 μm .	

5.3.3 Dimensions des cellules d'alignement des sections rectangulaires épaisses

Voir [Tableau 2](#) et [Figure 2](#).

Tableau 2 — Dimensions nominales des cellules d'alignement des sections rectangulaires épaisses

Dimension en mm	Recommandée
t	5, 7,5 et 10
w	$\geq t$
L_p	$\geq 2,5t$
r	$2t$ à $8t$
W	W (éprouvette d'essai)
L_z	L_z (éprouvette d'essai)
Rugosité de surface de section réduite: 0,8 μm à 1,6 μm .	

5.3.4 Dimensions des cellules d'alignement des sections rectangulaires minces

Voir [Tableau 3](#) et [Figure 2](#).

Tableau 3 — Dimensions nominales des cellules d'alignement des sections rectangulaires minces

Dimension en mm	Recommandée
t	2, 3, 4
w	$\geq 5t$
L_p	$\geq 2,5t$
r	$2t$ à $8t$
W	W (éprouvette d'essai)
L_z	L_z (éprouvette d'essai)
Rugosité de surface de section réduite: 0,8 μm à 1,6 μm .	

5.4 Usinage

Des passes petites et décroissantes avec un apport suffisant de liquide de refroidissement doivent être utilisées pour la finition de sorte que la structure et les propriétés métallurgiques ne soient pas affectées et que des contraintes résiduelles indues ne soient pas induites dans le matériau de la cellule. Pour l'adhérence effective des jauges de déformation, la finition de surface optimale de la cellule d'alignement doit être comprise entre 0,8 μm et 1,6 μm (voir Référence [4]).

NOTE La rugosité de surface des éprouvettes d'essai de fatigue se situe généralement entre 0,2 μm et 0,4 μm .

5.5 Inspection avant fixation des jauges de déformation

La cellule d'alignement doit être inspectée avec soin (à l'aide d'instruments tels qu'un projecteur de profil ou un comparateur) et toutes les dimensions critiques et les tolérances géométriques associées doivent être confirmées avant la fixation des jauges de déformation, afin d'assurer que toutes les exigences géométriques sont satisfaites. Une fois les jauges de déformation fixées, il n'est plus possible d'inspecter la cellule d'alignement à l'aide de ces méthodes.

5.6 Instrumentation à l'aide de jauges de déformation

Un ensemble de huit jauges de déformation (disposées en deux séries de quatre) doit être numéroté et positionné comme indiqué à la [Figure 3](#) (voir Références [4] et [5]). Pour les cellules d'alignement cylindriques [voir [Figure 3 a](#))], les jauges de déformation doivent être espacées à intervalles égaux de 90°, autour de la circonférence de la cellule d'alignement. La configuration représentée à la [Figure 3 b](#)) est appropriée pour les cellules d'alignement rectangulaires avec un rapport largeur/épaisseur $w:t < 3$. Pour des valeurs $w:t$ supérieures, les jauges peuvent être placées par paires dos à dos et équidistants par rapport à l'axe de la cellule d'alignement, comme illustré à la [Figure 3 c](#)). Les jauges de déformation doivent toutes correspondre, c'est-à-dire qu'elles doivent provenir du même lot de fabrication. Leur longueur active recommandée doit être d'environ $0,1 L_c$ ou moins.

Les paramètres de mesure d'alignement de la présente Norme internationale sont déterminés à partir des rapports des déformations mesurées et, par conséquent, il convient qu'ils ne soient généralement pas affectés par les variations de température. Il est recommandé d'utiliser des jauges de déformation à compensation thermique automatique adaptées au matériau de la cellule d'alignement, en particulier si une détermination précise de la déformation axiale moyenne absolue, comme dans la mesure du module, est également nécessaire.

En référence à la [Figure 3](#), le [Tableau 4](#) indique les emplacements pour positionner les jauges de déformation à la surface de la cellule d'alignement.

Tableau 4 — Emplacements des jauges de déformation

Dimension	Exigence
L_g	$= 0,75 L_c$
w_g	$= 0,75 w$

NOTE La distance $L_g = 0,75 L_c$ représente l'écartement maximal réalisable pour minimiser les effets dus à la concentration de contrainte associée au changement de section aux extrémités de la longueur calibrée de la cellule d'alignement.

Il convient de prendre soin de choisir les jauges de déformation conformément aux recommandations du fabricant. Il est également important de s'assurer que les jauges sont collées selon le mode opératoire recommandé par le fabricant. Les jauges de déformation doivent être situées aux emplacements spécifiés à 0,10 mm ou 0,01 fois près le diamètre ou la largeur de la cellule d'alignement, selon la valeur la plus élevée. Leurs axes de mesure doivent être alignés à 2° près par rapport à l'axe longitudinal de la cellule d'alignement. Après l'installation, l'alignement des jauges doit être vérifié et confirmé à l'aide d'un instrument approprié tel qu'un projecteur optique à mesure angulaire ou un réticule circulaire dans un microscope de faible puissance avant d'appliquer tout revêtement protecteur.

Le système de mesure et d'acquisition de données de déformation (à l'exclusion de la cellule d'alignement) doit être étalonné, le cas échéant. Les résistances de mesure et/ou tout autre moyen utilisé pour étalonner les systèmes de mesure et d'acquisition de données de déformation doivent être traçables conformément aux Normes nationales pertinentes. Le système de mesure et d'acquisition de données de déformation (y compris la cellule d'alignement) doit présenter une incertitude de mesure de déformation dans les limites de $\pm 5 \mu\text{déf}$ ou $\pm 1,0 \%$ de la valeur indiquée, selon la valeur la plus élevée.

Pour une configuration à trois jauges de déformation (ci-après «configuration à trois jauges»), voir [Annexe D](#).

5.7 Vérification du système

5.7.1 Afin d'assurer le bon fonctionnement du système de mesure d'alignement, les vérifications suivantes doivent être effectuées:

5.7.2 La vérification suivante doit être effectuée au moins une fois dans le cadre de la procédure de mise en service de la cellule d'alignement. Raccorder la cellule d'alignement à la machine d'essai,