
**Céramiques techniques — Propriétés
mécaniques des composites à matrice
céramiques à température ambiante
— Méthode de détermination des
propriétés en compression**

*Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) —
Mechanical properties of ceramic composites at room temperature —
Determination of compressive properties*

iTeh STA
(standards.iteh.ai)

ISO 20504:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f797671c-1fa7-4ead-86d4-97708f794948/iso-20504-2022>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 20504:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f797671c-1fa7-4ead-86d4-97708f794948/iso-20504-2022>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2022

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
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe	3
5 Appareillage	3
5.1 Machine d'essai	3
5.2 Système de mise en charge	3
5.3 Mesurage de la déformation	4
5.3.1 Généralités	4
5.3.2 Jauges de déformation	4
5.3.3 Extensométrie	4
5.4 Système d'enregistrement des données	5
5.5 Dispositifs de mesurage des dimensions	5
6 Éprouvettes	5
6.1 Généralités	5
6.2 Compression entre plateaux	5
6.3 Éprouvettes utilisées avec des mors	7
7 Préparation des éprouvettes	10
7.1 Usinage et préparation	10
7.2 Nombre d'éprouvettes	10
8 Mode opératoire d'essai	10
8.1 Mode et vitesse d'essai	10
8.2 Mesurage des dimensions des éprouvettes	10
8.3 Flambage	10
8.4 Technique de l'essai	11
8.4.1 Montage de l'éprouvette	11
8.4.2 Extensomètres	11
8.4.3 Mesurages	11
8.5 Validité de l'essai	11
9 Calcul des résultats	12
9.1 Origine de l'éprouvette	12
9.2 Résistance à la compression	12
9.3 Déformation à la force maximale de compression	12
9.4 Coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique, module élastique	12
10 Rapport d'essai	13
Annexe A (informative) Illustration du module élastique	15
Bibliographie	17

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 procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 206, *Céramiques techniques*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 184, *Céramiques techniques avancées*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 20504:2019), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- harmonisation et remplacement dans l'ensemble du document de la notation de [3.3](#) et [3.4](#);
- suppression du texte en double dans la définition [3.6](#);
- modifications rédactionnelles mineures.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Céramiques techniques — Propriétés mécaniques des composites à matrice céramiques à température ambiante — Méthode de détermination des propriétés en compression

1 Domaine d'application

Le présent document décrit des procédures permettant de déterminer les caractéristiques en compression des matériaux composites à matrice céramique avec renfort de fibres continues à température ambiante. Il s'applique à tous les composites à matrice céramique avec renfort de fibres continues, unidirectionnel (1D), bidirectionnel (2D) et tridirectionnel (x D, avec $2 < x < 3$), sollicités suivant un axe principal de renfort ou dans des conditions hors axe. Il peut également s'appliquer aux composites à matrice de carbone avec renfort de fibres de carbone (également connus en tant que carbone/carbone ou C/C). Deux cas de compression sont distingués: la compression entre plateaux et la compression entre mors.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

ISO 3611, *Spécifications géométriques des produits (GPS) — Équipement de mesure dimensionnel: Micromètres d'extérieur — Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques*/iso-

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

ISO 9513, *Matériaux métalliques — Étalonnage des chaînes extensométriques utilisées lors d'essais uniaxiaux*

ISO 14744, *Soudage — Essais de réception des machines de soudage par faisceau d'électrons*

ISO 17161, *Céramiques techniques — Céramiques composites — Détermination du degré de non-alignement lors des essais mécaniques uniaxiaux*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1

section de jauge

partie de l'éprouvette où la section transversale est la plus faible et est uniforme

3.2
longueur de jauge initiale

L_0
distance initiale entre les points de référence sur l'éprouvette dans la section de jauge avant le début de l'essai

3.3
aire initiale de la section

S_0
aire initiale de la section transversale de l'éprouvette dans la section de jauge

3.4
accourcissement

A
diminution de la longueur de jauge initiale sous une force de compression

Note 1 à l'article: L'accourcissement correspondant à la force maximale est désigné par $A_{c,m}$.

3.5
déformation en compression

ε
diminution relative de la longueur de jauge définie comme le rapport A/L_0

Note 1 à l'article: La déformation en compression correspondant à la force maximale est désignée par $\varepsilon_{c,m}$.

3.6
force de compression

F_c
force uniaxiale supportée par l'éprouvette à tout moment pendant l'essai

3.7
force maximale de compression

$F_{c,m}$
force de compression uniaxiale la plus élevée appliquée à une éprouvette lors d'un essai de compression réalisé jusqu'à rupture

3.8
contrainte de compression

σ
force de compression supportée par l'éprouvette à tout moment au cours de l'essai, divisée par l'aire initiale de la section, telle que $\sigma = F_c/S_0$

3.9
résistance à la compression

$S_{c,m}$
contrainte de compression la plus élevée appliquée à une éprouvette lors d'un essai de compression réalisé jusqu'à rupture

3.10
coefficient de proportionnalité
module pseudo-élastique

E_p
pente de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation, si elle existe

Note 1 à l'article: L'examen des courbes contrainte-déformation des composites à matrice céramique conduit à définir les cas suivants:

— matériau présentant une zone linéaire dans la courbe contrainte-déformation.

Pour les matériaux composites à matrice céramique dont le comportement mécanique est caractérisé par une zone linéaire, le coefficient de proportionnalité E_p est défini par l'[Equation \(1\)](#):

$$E_p(\sigma_1, \sigma_2) = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (1)$$

où $(\varepsilon_1, \sigma_1)$ et $(\varepsilon_2, \sigma_2)$ caractérisent les points proches de la limite inférieure et de la limite supérieure de la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation (voir [Annexe A, Figures A.1 et A.2](#)):

— matériau présentant une courbe contrainte-déformation non linéaire. Dans ce cas, seuls des couples contrainte-déformation peuvent être déterminés à des contraintes spécifiées ou des déformations spécifiées.

3.11 module élastique

E

coefficient de proportionnalité ou module pseudo-élastique, dans le cas particulier où la linéarité est très proche de l'origine

Note 1 à l'article: Voir [Figure A.2](#).

4 Principe

Une éprouvette de dimensions spécifiées est soumise à une charge de compression. L'essai de compression est généralement réalisé à une vitesse constante de déplacement de la traverse de la machine d'essai ou à une vitesse constante de déformation.

Un essai à vitesse constante d'application de la force n'est autorisé que dans le cas où le comportement contrainte-déformation est linéaire jusqu'à la rupture.

Pour les essais où le chargement est piloté par le déplacement de la traverse, une vitesse constante est recommandée lorsque l'essai est mené jusqu'à la rupture.

La force et l'accourcissement sont mesurés et enregistrés simultanément.

5 Appareillage

5.1 Machine d'essai

La machine doit être équipée d'un système de mesure de la force appliquée à l'éprouvette qui doit être de classe 1 ou mieux, conformément à l'ISO 7500-1.

5.2 Système de mise en charge

Le système de mise en charge est composé de traverses mobile et fixe, de tiges de mise en charge et de mors ou de plateaux. Des raccords peuvent également être utilisés entre les mors ou les plateaux et les tiges de mise en charge.

Le système de mise en charge doit aligner l'axe de l'éprouvette avec la direction d'application de la force, sans provoquer des efforts de flexion ou de torsion dans l'éprouvette. Le défaut d'alignement de l'éprouvette doit être vérifié et documenté conformément au mode opératoire décrit dans l'ISO 17161. Le pourcentage de déformation en flexion (PDF) maximal ne doit pas dépasser 5 % pour une déformation axiale moyenne de 500×10^{-6} .

Deux modes d'application de la force sont possibles:

- 1) des plateaux de compression sont fixés sur la cellule de force et sur la traverse mobile. L'écart de parallélisme entre ces plateaux doit être inférieur ou égal à 0,01 mm dans la zone de mise en charge et les plateaux doivent être perpendiculaires à la direction d'application de la force;

L'utilisation de plateaux n'est pas recommandée pour les matériaux 1D et 2D de faible épaisseur à cause du flambage.

NOTE Pour les essais de matériaux qui ne sont pas macroscopiquement homogènes, il est possible d'utiliser une interface souple (composée uniquement de papier ou de carton) entre l'éprouvette et les plateaux pour assurer une pression de contact régulière.

Lorsque les dimensions de l'éprouvette sont telles que le flambage de l'éprouvette peut se produire, il est recommandé d'utiliser des dispositifs anti-flambage similaires à ceux décrits dans l'ISO 14126. Il convient que ces dispositifs n'introduisent pas de contraintes parasites pendant le chargement de l'éprouvette.

- 2) des mors sont utilisés pour fixer et mettre en charge l'éprouvette. Leur conception doit empêcher l'éprouvette de glisser et permettre l'alignement de l'axe de l'éprouvette avec la direction de la force appliquée.

5.3 Mesurage de la déformation

5.3.1 Généralités

Pour le mesurage en continu de l'accourcissement en fonction de la force appliquée, il est admis d'utiliser des jauges de déformation ou un extensomètre approprié. Utiliser un extensomètre qui satisfait au moins aux exigences de la classe 1 de l'ISO 9513. Il est recommandé de mesurer l'accourcissement sur une longueur aussi grande que possible dans la section de jauge de l'éprouvette.

5.3.2 Jauges de déformation

Des jauges de déformation sont utilisées pour la vérification de l'alignement de l'éprouvette. Elles peuvent également être utilisées pour mesurer l'accourcissement de l'éprouvette. Dans les deux cas, la longueur des jauges de déformation doit être telle que la lecture ne soit pas affectée par les caractéristiques locales à la surface de l'éprouvette, telles que des croisements de fibres. Il faut s'assurer que les résultats donnés par la jauge de déformation ne sont pas influencés par la préparation de la surface et l'adhésif employé.

5.3.3 Extensométrie

5.3.3.1 Généralités

La tolérance de linéarité de l'extensomètre doit être inférieure à 0,15 % de la plage d'utilisation de l'extensomètre. Les extensomètres doivent au moins satisfaire aux exigences de la classe 1 de l'ISO 9513.

Les types d'extensomètres couramment utilisés sont décrits en [5.3.3.2](#) et [5.3.3.3](#).

5.3.3.2 Extensomètre mécanique

Pour un extensomètre mécanique, la longueur de jauge correspond à la distance entre les deux points où l'extensomètre est fixé à l'éprouvette. Le montage de l'extensomètre sur l'éprouvette doit éviter le glissement de l'extensomètre au niveau des points de contact et ne doit pas entraîner de rupture sous les points de contact. Les forces de contact d'un extensomètre ne doivent pas entraîner de flexion supérieure à celle autorisée en [5.2](#).

5.3.3.3 Extensomètre électro-optique

Les mesurages électro-optiques de la déformation nécessitent des pions de référence sur l'éprouvette. À cet effet, des repères tels que des pions ou des cibles sont fixés à l'éprouvette perpendiculairement à son axe longitudinal. La longueur de jauge correspond à la distance entre les deux repères.

L'utilisation de pions intégrés dans la forme de l'éprouvette n'est pas recommandée du fait des concentrations de contrainte induites par ces singularités.

5.4 Système d'enregistrement des données

Un enregistreur étalonné peut être utilisé pour enregistrer les courbes force-accourcissement. Il est recommandé d'utiliser un système d'enregistrement numérique des données.

5.5 Dispositifs de mesurage des dimensions

Les dispositifs utilisés pour le mesurage des dimensions linéaires de l'éprouvette doivent être précis à $\pm 0,1$ mm. Les micromètres doivent être conformes à l'ISO 3611.

6 Éprouvettes

6.1 Généralités

Le choix de la géométrie de l'éprouvette dépend de plusieurs paramètres:

- la nature du matériau et la structure du renfort;
- le type d'application de la charge;
- l'orientation du renfort par rapport à la direction de mise en charge.

Le rapport entre la longueur et l'épaisseur de l'éprouvette, en plus de la rigidité du matériau, aura une influence sur la résistance au flambage de l'éprouvette.

Si le flambage se produit, il peut être nécessaire de modifier les dimensions de l'éprouvette ou, en variante, d'utiliser un dispositif anti-flambage (par exemple des guides latéraux fixes placés contre l'éprouvette de manière à permettre un mouvement longitudinal libre tout en supprimant simultanément le mouvement transversal).

Le volume dans la longueur de jauge doit être représentatif du matériau. Un volume d'un minimum de cinq volumes élémentaires représentatifs du matériau est recommandé.

Dans le cas de conditions de mise en charge hors axe, les résultats peuvent dépendre de l'aire de la section des éprouvettes dû à un effet d'échelle. Deux types d'éprouvettes peuvent être distinguées:

- a) les éprouvettes dont seules la longueur et la largeur ont été usinées aux dimensions voulues. Dans ce cas, les deux faces de l'éprouvette peuvent présenter des surfaces irrégulières;
- b) les éprouvettes usinées, dont la longueur, la largeur et les deux faces ont été obtenues par usinage et qui présentent des surfaces usinées régulières.

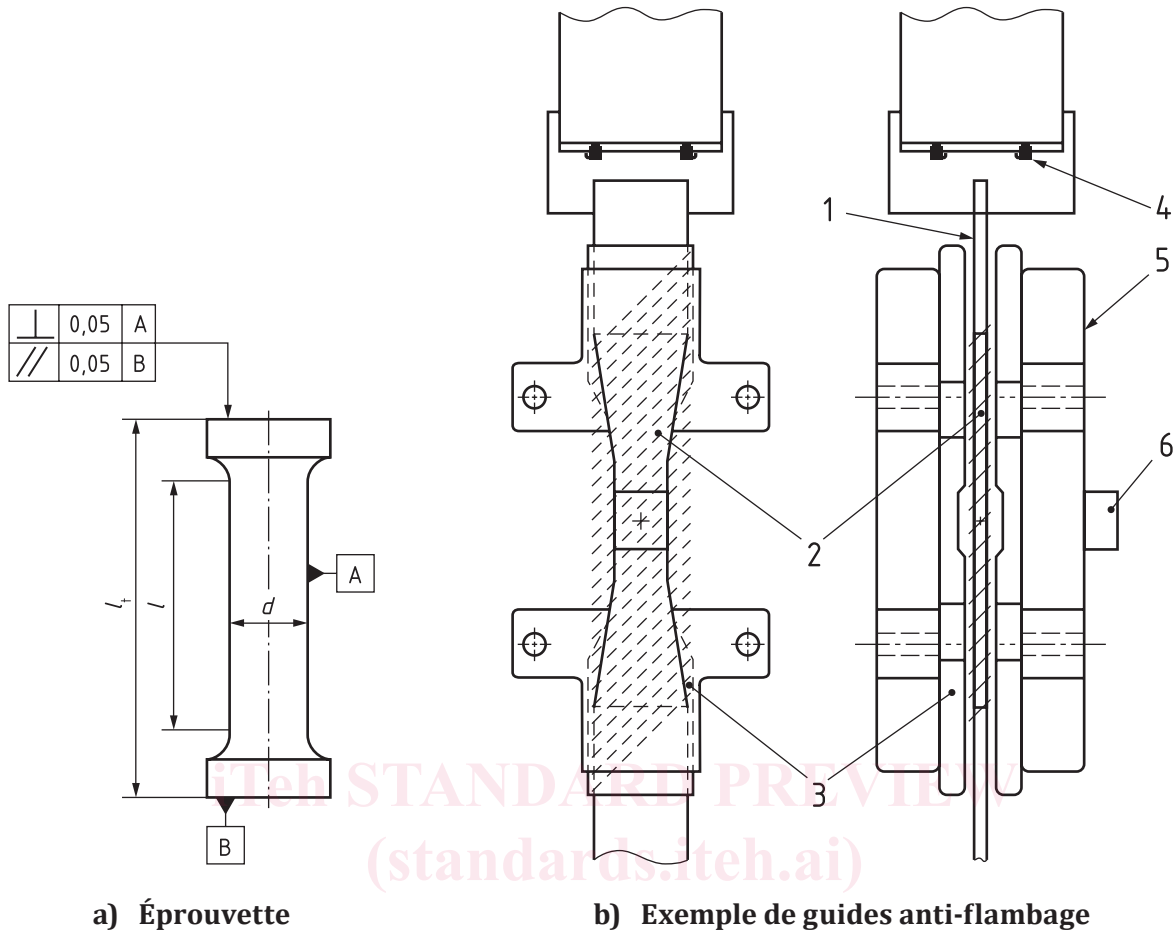
La tolérance sur l'épaisseur concerne uniquement les secondes éprouvettes usinées. Pour les premières éprouvettes, il convient que la différence d'épaisseur entre trois mesurages (au centre et à chaque extrémité de la longueur de la section de jauge) ne dépasse pas 5 % de la moyenne des trois mesurages.

6.2 Compression entre plateaux

La géométrie de l'éprouvette et/ou les interfaces souples peuvent être adaptées de manière à éviter tout flambage ou dommage au niveau des bords en raison des forces de contact.

Le type 1 est couramment utilisé et représenté à la [Figure 1](#). Les guides [n° de légende 3 à la [Figure 1](#)] permettent un support latéral de l'éprouvette tout en réduisant le plus possible la surface de contact. Les éléments de fixation (n° de légende 5) sont boulonnés ensemble pour assurer le maintien de l'éprouvette (n° de légende 2). L'éprouvette et les éléments de fixation sont positionnés entre deux plateaux de compression (n° de légende 4). Les dimensions recommandées sont données dans le [Tableau 1](#).

NOTE D'autres systèmes sont disponibles.



Légende

- 1 enclume de mise en charge
- 2 éprouvette
- 3 support latéral
- 4 joint torique
- 5 cadre
- 6 longueur non supportée
- l section de jauge
- l_t longueur totale
- d diamètre du cylindre ou longueur du côté

Figure 1 — Éprouvette de compression (type 1) utilisée entre des plateaux et guides anti-flambage

Tableau 1 — Dimensions de l'éprouvette de compression (type 1) utilisée entre des plateaux

Dimensions en millimètres

Paramètre	1D, 2D, xD	Tolérance
l , section de jauge	≥ 15	$\pm 0,5$
l_t , longueur totale	$\geq 1,5 \times l$ mm	$\pm 0,5$
d , diamètre du cylindre ou longueur du côté	≥ 8	$\pm 0,2$
Écart de parallélisme des parties usinées	0,05	s.o.
Écart de perpendicularité des parties usinées	0,05	s.o.
Écarts de concentricité des parties usinées	0,05	s.o.
Rayon de l'épaulement	> 10	> 2

Le type 2 est de forme cylindrique et n'est pas utilisé aussi fréquemment que le type 1. Il est représenté à la [Figure 2](#) et les dimensions recommandées sont données dans le [Tableau 2](#).

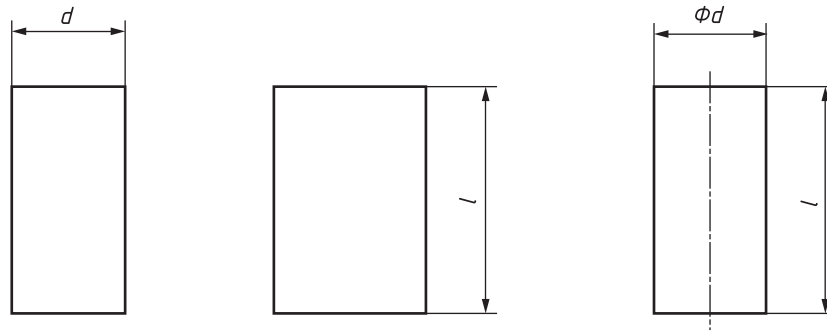


Figure 2 — Éprouvette de compression (type 2) utilisée entre des plateaux

Tableau 2 — Dimensions de l'éprouvette de compression (type 2) utilisée entre des plateaux

Dimensions en millimètres

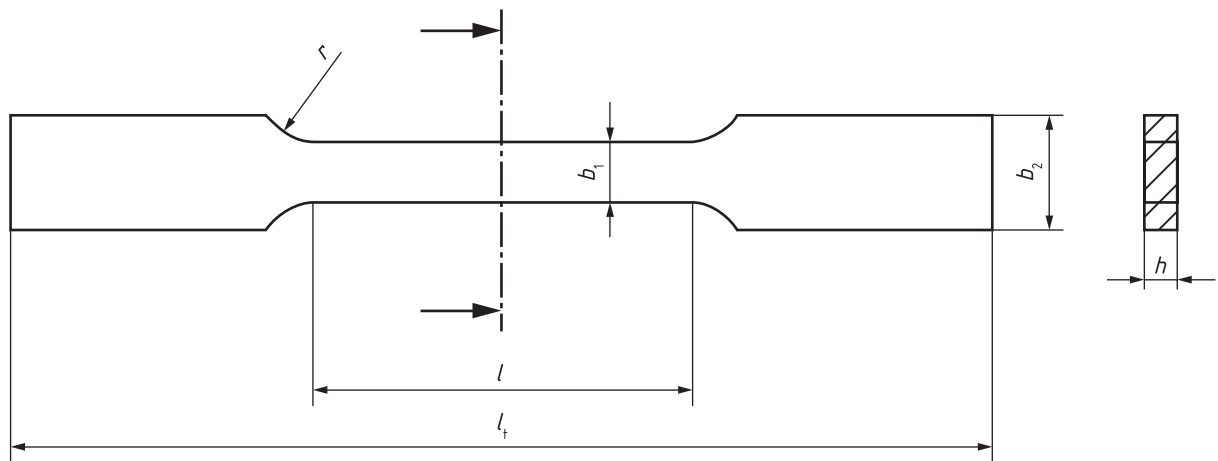
Paramètre	1D, 2D, xD	Tolérance
l , section de jauge	≥ 10	$\pm 0,5$
d , diamètre du cylindre ou longueur du côté	≥ 10	$\pm 0,2$
Écart de parallélisme des parties usinées	0,05	s.o.
Écart de perpendicularité des parties usinées	0,05	s.o.

NOTE Ce type d'éprouvette est principalement utilisé quand l'épaisseur de la pièce n'est pas suffisante pour permettre l'usinage d'une éprouvette de type 1.

6.3 Éprouvettes utilisées avec des mors

Pour ces types d'éprouvettes, la longueur totale l_t dépend du système de prise en mors. Ces types d'éprouvettes permettent de réaliser l'essai sur des éprouvettes minces sans dispositif anti-flambage. Il est cependant nécessaire de vérifier que le rapport l/h choisi ne provoque pas de flambage.

Le type 3 est représenté à la [Figure 3](#) et les dimensions recommandées sont données dans le [Tableau 3](#).



Légende

- l_t longueur totale de l'éprouvette
- h épaisseur
- b_1 largeur dans la longueur de section de jauge
- b_2 largeur
- r rayon de l'épaulement

Figure 3 — Éprouvette de compression (type 3) destinée à être utilisée avec des mors