NORME INTERNATIONALE

ISO 12004-2

Deuxième édition
2021-02

Matériaux métalliques — Détermination des courbes limites de formage pour les tôles et bandes —

Partie 2: Détermination des courbes limites de formage en laboratoire

Metallic materials — Determination of forming-limit curves for sheet and strip —

Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory

Numéro de référence
ISO 12004-2:2021(F)

© ISO 2021



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

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 ..... **v**

Introduction ..... **vii**

1 Domaine d'application **1**

2 Références normatives **1**

3 Termes et définitions **1**

4 Symboles **1**

5 Principe **2**

6 Éprouvettes et équipement **3**
6.1 Éprouvettes 3
6.1.1 Épaisseur des éprouvettes 3
6.1.2 Géométrie des éprouvettes 4
6.1.3 Préparation de l'éprouvette dans la zone d'essai 4
6.1.4 Nombre de géométries différentes d'éprouvette 4
6.1.5 Nombre d'essais pour chaque géométrie 4
6.2 Application de la grille 5
6.2.1 Type de grille 5
6.2.2 Application de la grille 5
6.2.3 Exactitude de la grille non déformée 5
6.3 Équipement d'essai 5
6.3.1 Généralités 5
6.3.2 Mesurage des déformations 7
6.3.3 Essai Nakajima 8
6.3.4 Essai Marciniak 10

7 Analyse du profil de déformation et détermination des paires ε_1 - ε_2 ..... **11**
7.1 Généralités 11
7.2 Évaluation au moyen de sections (mesurage dépendant de la position) 12
7.2.1 Généralités 12
7.2.2 Position et exploitation des mesures 12
7.2.3 Extraction de la "courbe en cloche" et détermination des limites intérieures pour la courbe de meilleur fit à partir des points expérimentaux 14
7.2.4 Définition des limites extérieures pour les fenêtres de meilleur fit et évaluation de la parabole inverse de meilleur fit sur la "courbe en cloche" 15

8 Documentation **16**

9 Rapport d'essai **17**

Annexe A (normative) **Dérivée seconde et dérivée seconde "filtrée"** **18**

Annexe B (normative) **Calcul de la largeur de la fenêtre de fit** **20**

Annexe C (normative) **Évaluation de la parabole inverse de meilleur fit sur la "courbe en cloche"** **21**

Annexe D (normative) **Application/Mesure de la grille — Évaluation à la loupe ou au microscope** **23**

Annexe E (informative) **Tableaux de données expérimentales pour la validation du programme de calcul** **24**

Annexe F (normative) **Représentation et description mathématique de la CLF** **25**

Annexe G (informative) **Exemples de données relatives à des sections critiques** **26**

Annexe H (normative) **Logigramme relatif au passage de la distribution des déformations mesurées aux valeurs de la CLF** **28**

© ISO 2021 – Tous droits réservés

Bibliographie **30**

 © ISO 2021 – Tous droits réservés

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, de 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 164, *Essais mécaniques des métaux*, Sous-comité SC 2, *Essais de ductilité*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 459/SC 1, *Méthodes d'essai des aciers (autres que les analyses chimiques),* du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 12004-2:2008), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

1) Modification du titre pour comporter trois éléments.

2) Ajout des Articles 2 et 3 et renumérotation des paragraphes suivants en conséquence.

3) Dans l'Introduction, modification des cas où utiliser l'ISO 12004-1 ou l'ISO 12004-2 (le présent document).

4) Rédaction plus claire des autorisations et exigences en 6.1.3, 6.1.5, 6.2.2, 6.2.3, 6.3.2, 6.3.3.3, 6.3.4.3 et, 7.2.2 et 7.2.3.

5) En 6.3.1, la gamme de vitesse du poinçon a été étendue et l'autorisation, dans des cas exceptionnels, des alliages d'aluminium et de l'acier, a été ajoutée.

6) Ajout d'un éclaircissement sur la méthode Nakajima qui reste acceptable, bien qu'elle soit connue comme produisant des chemins de déformation non linéaire (6.3.3.1). Ajout en 6.3.3.3 d'un éclaircissement sur la raison pour laquelle il est exigé que la rupture soit proche du sommet du dôme. En 6.3.3.3, présentation de l'exigence de «validité de l'essai» pour l'essai Nakajima dans un

© ISO 2021 – Tous droits réservés

format similaire à celui utilisé pour l'essai Marciniak en 6.3.4.4. En 6.3.3.3 et 6.3.4.4, ajout d'une déclaration relative au rejet des éprouvettes non conformes aux exigences de validité de l'essai.

7) Suppression du paragraphe «Instrument de mesure» (4.3.5 dans l'édition précédente) car c'est une répétition du 6.3.2 mais avec une exigence de précision différente. La précision exigée est maintenant celle présentée en 6.3.2.

8) Rédaction plus claire des exigences relatives à l'intervalle de la dérivée seconde en 7.2.3(c) et modification des légendes des Figures 8 et 9 pour assurer la cohérence avec 7.2.3(c).

9) Rédaction plus claire de l'autorisation d'utiliser d'autres méthodes de mesure et déplacement de 7.2.1 à 7.1.

10) Suppression de l'énoncé relatif à «la méthode dépendant du temps» en 7.1, mais il est mentionné maintenant dans l'Article 5 l'autorisation d'utiliser d'autres méthodes qui incluent «la méthode dépendant du temps» et «les méthodes dépendant du temps et de la position».

11) En 7.2.2, clarification de la méthode de sélection de l'emplacement des sections selon la position des fissures. Ajout de l'autorisation à utiliser l'emplacement de déformation maximale, tant que les exigences de validité de l'essai sont respectées.

12) En 7.2.3, l'utilisation du mode opératoire lors de l'extraction de la «courbe en cloche» pour l'évaluation des sections au moyen de la méthode dépendant de la position, est devenue une exigence et non plus une simple recommandation. Cela semble cohérent avec l'intention d'origine.

13) Dans l'Annexe A, la méthode est devenue une exigence et non plus une proposition. Éclaircissement apporté au texte de l'Annexe C pour montrer que le mode opératoire est devenu une exigence. Ajout d'une précision dans le texte de l'Annexe D et autorisation formelle de son utilisation. A l'Annexe F, ajout de l'autorisation formelle à utiliser une régression au moyen de fonctions développées en interne. Ajout de l'exigence de consigner la fonction dans le rapport d'essai.

14) Des modifications rédactionnelles et des clarifications ont été apportées tout au long du document.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 12004 se trouve sur le site web de l'ISO.

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.

© ISO 2021 – Tous droits réservés

Introduction

Un diagramme limite de formage (DLF) est un diagramme contenant les points de mesure pour les déformations majeure/mineure sur une pièce formée.

Un DLF permet de faire la distinction entre points bons et points en striction ou correspondant à une rupture. La frontière entre points bons et points correspondant à une rupture est définie par la courbe limite de formage (CLF).

Pour déterminer la limite de formage de matériaux, deux voies différentes sont possibles:

1) Une analyse des déformations d'éléments emboutis en atelier et rompus pour déterminer des CLF dépendant de l'élément et du processus.

   Dans les ateliers d'emboutissage, les chemins de déformation pour obtenir ces points ne sont généralement pas connus. Une telle CLF dépend du matériau, de l'élément et des conditions de formage choisies. Cette méthode est décrite dans l'ISO 12004-1, et n'est pas destinée à déterminer une CLF unique pour chaque matériau.

2) Détermination des CLF dans des conditions de laboratoire bien définies.

   Pour évaluer la formabilité, une CLF unique pour chaque matériau dans plusieurs états de déformation peut être mesurée. La détermination de la CLF doit être spécifique et utilise des chemins de déformation linéaires multiples. Le présent document est prévu pour ce type de caractérisation du matériau.

Pour le présent document (concernant la détermination des courbes limites de formage en laboratoire), les conditions suivantes sont également notables.

— Les courbes limites de formage (CLF) sont déterminées pour des matériaux spécifiques afin de définir le niveau auquel ils peuvent être déformés par emboutissage, par rétreint ou par expansion ou toute combinaison d'emboutissage et de rétreint ou d'expansion. Cette capacité est limitée lorsqu'une striction localisée et/ou une rupture se produit. De nombreuses méthodes existent pour déterminer la limite de formage d'un matériau, mais les résultats obtenus au moyen de différentes méthodes ne peuvent pas être utilisés à des fins de comparaison.

— La CLF caractérise la limite de déformation d'un matériau dans l'état obtenu après un traitement thermo-mécanique donné et pour l'épaisseur analysée. Pour porter un jugement sur sa formabilité, une connaissance supplémentaire des caractéristiques mécaniques et de l'histoire du matériau avant l'essai de CLF est importante.

Pour comparer la formabilité de différents matériaux, il est important non seulement de porter un jugement sur la CLF mais également sur les paramètres suivants:

a) caractéristiques mécaniques au moins dans la direction principale;

b) allongement proportionnel en pourcent à la force maximale, conformément à l'ISO 6892-1;

c) coefficient *r* pour une gamme donnée de déformations, conformément à l'ISO 10113;

d) coefficient *n* pour une gamme donnée de déformations, conformément à l'ISO 10275.

© ISO 2021 – Tous droits réservés

Matériaux métalliques — Détermination des courbes limites de formage pour les tôles et bandes —

Partie 2: Détermination des courbes limites de formage en laboratoire

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des conditions d'essai à utiliser pour la construction d'une courbe limite de formage (CLF) à la température ambiante et au moyen de chemins linéaires de déformation. Le matériau considéré est plat, métallique et d'épaisseur comprise entre 0,3 mm et 4 mm.

NOTE La limitation en épaisseur à 4 mm est proposée, donnant un rapport maximal admissible épaisseur/diamètre du poinçon.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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 http://www.electropedia.org/

4 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles donnés dans le Tableau 1 s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles

Symbole	Anglais	Français	Allemand	Unité
e	Engineering strain	Déformation conventionnelle	Technische Dehnung	%
ε	True strain (logarithmic strain)	Déformation vraie (déformation logarithmique)	Wahre Dehnung (Umformgrad, Formänderung)	—
ε_1	Major true strain	Déformation majeure vraie	Grössere Formänderung	—
ε_2	Minor true strain	Déformation mineure vraie	Kleinere Formänderung	—
ε_3	True thickness strain	Déformation vraie en épaisseur	Dickenformänderung	—
σ	Standard deviation	Écart-type	Standardabweichung	—
D	Punch diameter	Diamètre du poinçon	Stempeldurchmesser	mm
D_{bh}	Carrier blank hole diameter	Diamètre du trou du contre-flan	Lochdurchmesser des Trägerblechs	mm

© ISO 2021 – Tous droits réservés