
Simulation numérique de soudage — Exécution et documentation

Numerical welding simulation — Execution and documentation

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7a7b2447-d62f-4582-9820-32807a43f7e/iso-ts-18166-2016>

PROOF / ÉPREUVE



TRAITEMENT PARALLÈLE ISO/CEN

Le présent projet final a été élaboré dans le cadre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et soumis selon le mode de collaboration **sous la direction de l'ISO**, tel que défini dans l'Accord de Vienne. Le projet final a été établi sur la base des observations reçues lors de l'enquête parallèle sur le projet.

Le projet final est par conséquent soumis aux comités membres de l'ISO et aux comités membres du CEN en parallèle à un vote d'approbation de deux mois au sein de l'ISO et à un vote formel au sein du CEN.

Les votes positifs ne doivent pas être accompagnés d'observations.

Les votes négatifs doivent être accompagnés des arguments techniques pertinents.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7a7b2447-d62f-4582-9820-32807a43f7e/iso-ts-18166-2016>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2015

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées 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 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire	Page
Avant-propos	5
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	2
3 Termes et définitions	2
4 Description du problème	4
4.1 Généralités	4
4.2 Objet de la simulation	4
4.3 Objectifs de la simulation	4
4.4 Modèle physique	5
4.5 Modèle mathématique et méthode de résolution	5
4.6 Mise en œuvre	6
5 Plan de travail	6
5.1 Généralités	6
5.2 Simplifications et hypothèses	6
5.3 Paramètres et description du procédé	7
5.4 Structure et géométries de soudure	8
5.5 Matériaux	8
5.6 Conditions de charge et conditions aux limites	8
5.7 Revue des résultats	9
5.8 Rapport	9
6 Validation et vérification	9
6.1 Généralités	9
6.2 Vérification du modèle de simulation	9
6.3 Ajustement des paramètres du modèle	9
6.4 Contrôle de la vraisemblance des résultats de simulation	9
6.5 Validation des résultats de simulation	10
7 Rapport/présentation des résultats	10
7.1 Généralités	10
7.2 Objet de la simulation	11
7.3 Propriétés des matériaux et données d'entrée	11
7.4 Paramètres du procédé	11
7.5 Maillage	11
7.6 Paramètres du modèle numérique	11
7.7 Analyse des résultats	12
Annexe A (informative) Modèle de document	13
Annexe B (informative) Modélisation du transfert thermique pendant le soudage	14
Annexe C (informative) Exigences du guide des bonnes pratiques des expériences de validation	16
Annexe D (informative) Modélisation des contraintes résiduelles	18
Annexe E (informative) Prédiction des distorsions	20
Bibliographie	22

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 appelée 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 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos - Informations supplémentaires](#).

Les comités chargés de l'élaboration du présent document sont l'ISO/TC 44, *Soudage et techniques connexes*, et le comité technique CEN/TC 121, *Soudage et techniques connexes*, en collaboration.

L'Article 4 de la présente Spécification technique fournit des informations détaillées sur la structure de simulation généralement valable et sur l'application correspondante. L'Article 5 regroupe les parties de la présente spécification (pré-norme) qui décrivent en termes concrets la structure des cas d'application correspondants et donnent des exemples.

L'Annexe A fournit un modèle de document destiné à favoriser la cohérence des résultats de simulation communiqués.

Simulation numérique de soudage — Exécution et documentation

1 Domaine d'application

La présente Spécification technique (TS) fournit une séquence d'exécution, de validation, de vérification et de documentation d'une simulation numérique de soudage dans le domaine de la mécanique du solide. À cet effet, la présente Spécification technique traite principalement de l'analyse thermique et mécanique, par la méthode des éléments finis, du soudage par fusion (voir ISO/TR 25901:2007, 2.165) d'assemblages métalliques.

La simulation numérique du soudage est une discipline en plein essor dans le domaine de l'ingénierie..

La présente Spécification technique couvre les aspects et résultats suivants de la simulation numérique du soudage, à l'exclusion de la simulation du procédé en lui-même :

- le flux thermique pendant l'analyse d'une ou de plusieurs passes ;
- la dilatation thermique qui résulte de la conduction thermique ;
- les contraintes d'origine thermiques ;
- le développement de déformations plastiques ;
- l'effet de la température sur les propriétés des matériaux ;
- la prédiction de la distribution des contraintes résiduelles ;
- la prédiction des déformations générées par le soudage.

La présente Spécification technique fait référence aux effets physiques suivants, mais elle ne les traite pas de manière approfondie :

- physique de la source de chaleur (par exemple, un laser ou un arc de soudage) ;
- physique du bain de fusion (et du key hole pour les soudures par faisceau d'électrons) ;
- création et rétention de phases solides en hors équilibre ;
- solution et précipitation de particules de seconde phase ;
- effet de la microstructure sur les propriétés des matériaux.

Les préconisations de la présente Spécification technique n'ont pas été élaborées pour être utilisées dans un secteur spécifique. La simulation numérique du soudage peut être bénéfique dans la conception et dimensionnement de nombreuses pièces. La présente Spécification technique comporte différents niveaux de mise en œuvre qui offrent à l'utilisateur une estimation du degré précision permettant aux sociétés ou aux organismes industriels de définir les niveaux exigés en simulation numérique du soudage pour leurs applications spécifiques.

La présente Spécification technique n'est pas dépendante du logiciel et de la mise en œuvre. Elle n'est dès lors pas exclusivement destinée à l'analyse par éléments finis ni à un secteur en particulier.

La présente Spécification technique offre un cadre cohérent pour les principaux aspects des méthodes et objectifs couramment adoptés pour la simulation numérique du soudage (y compris la validation et la vérification en vue de formuler un jugement objectif sur les résultats de simulation).

La présente Spécification technique propose également une introduction à la simulation numérique du soudage, avec la présentation et la description des critères minimum exigés d'une simulation numérique de soudage complète. (Des exemples qui peuvent aider les personnes souhaitant développer des compétences en simulation numérique du soudage sont donnés pour illustrer l'application de la présente Spécification technique.)

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de façon normative 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 de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO/TR 25901, *Soudage et techniques connexes — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO/TR 25901 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1 conditions aux limites
conditions imposées au niveau des limites spatiales d'un modèle de calcul numérique, décrivant l'interaction entre les domaines modélisés et non modélisés

Note 1 à l'article : Des conditions aux limites complètes offrent une solution unique au problème mathématique à résoudre.

3.2 modèle géométrique
description de l'ensemble des géométries analysées dans le cadre d'une simulation, dimensions de l'objet de la simulation comprise

3.3 modèle mathématique
modèle comprenant les équations mathématiques essentielles sous-jacentes, conditions initiales et conditions aux limites appropriées comprises

3.4 simulation numérique
simulation généralement réalisée sur ordinateur par le biais de méthodes mathématiques d'estimation

3.5 modèle physique
éventail complet du processus physique à simuler, conditions initiales et conditions aux limites pertinentes pour l'objet de la simulation, et simplifications et hypothèses adoptées

3.6 contrôle de vraisemblance
contrôle des résultats de calcul au regard de leur conformité aux principes physiques de base

3.7**modèle de simulation**

combinaison des modèles physiques, géométriques et mathématiques et de la méthode de résolution

3.8**discrétisation spatiale**

distribution et type des unités géométriques subdivisant le modèle géométrique

3.9**discrétisation temporelle**

pas et nombre d'unités de temps subdivisant la durée de la modélisation

3.10**validation**

processus consistant à déterminer le degré d'exactitude d'un modèle dans sa représentation du problème physique, par rapport à l'usage prévu de ce modèle

3.11**expérience de validation**

expérience spécifiquement conçue afin de valider les résultats de simulation en tenant compte de l'ensemble des données pertinentes et de leur incertitude

3.12**vérification**

démonstration de l'exactitude du modèle de simulation

3.13**ajustement**

processus consistant à ajuster (ou calibrer par anglicisme) les paramètres de modélisation dans le modèle de simulation afin d'améliorer la concordance avec des données expérimentales fiables

3.14**modèle**

représentation mathématique d'un système ou d'un processus physique

3.15**Méthode des éléments finis****MEF**

méthode de résolution numérique d'équations différentielles partielles, décrivant la réaction d'un système à la charge

3.16**flux thermique**

vitesse à laquelle l'énergie thermique est transférée par unité de surface

3.17**densité de puissance**

puissance thermique absorbée ou générée par unité de volume

3.18**prédiction**

estimation de la réaction d'un système physique à l'aide d'un modèle mathématique

3.19

simulation numérique du soudage

SNS

sous-ensemble de la simulation et de l'analyse numériques du soudage

4 Description du problème

4.1 Généralités

La simulation numérique thermomécanique du soudage est un sous-ensemble de la simulation et de l'analyse numériques du soudage qui est principalement fondé sur la méthode des éléments finis. Elle utilise des analyses thermiques et mécaniques non linéaires, qui peuvent être couplées de manière séquentielle ou intégrale, dans lesquelles on applique la puissance de soudage au modèle de calcul numérique d'une certaine manière et on combine les champs de température transitoire (et éventuellement de microstructure) qui en résultent avec les modèles/propriétés mécaniques des matériaux en considérant les conditions aux limites afin de prédire les contraintes et déformations intervenant dans le modèle. La présente description n'a pas vocation à être exhaustive ou restrictive mais est fournie afin d'établir l'usage généralement prévu auquel la présente Spécification technique peut s'appliquer.

La présente Spécification technique traite de la SNS en général, qui peut être définie comme un modèle tridimensionnel d'élément solide employant une source de chaleur mobile de densité de puissance avec calcul simultané de la température, de la microstructure et du déplacement, utilisant des modèles constitutifs élasto-viscoplastiques basés sur les propriétés des matériaux dans des températures partant de la température ambiante à la température de fusion.

Elle n'empêche pas l'emploi de méthodes simplifiées mais offre une méthode de simulation de référence pour juger les simplifications. La nécessité de simplifier est essentiellement due aux limites (taille et durée) des calculs et s'applique à de nombreux problèmes industriels, tels que les soudures de fortes épaisseurs dans l'industrie des enceintes sous pression ou de la construction navale. Le fait que toute simplification du modèle mathématique qui représente le système physique peut accroître le degré d'incertitude des résultats de simulation doit être contrebalancé par un effort accru de vérification et de validation du modèle. À noter que tous les modèles de calcul numérique nécessitent d'être vérifiés et validés, sujet qui est traité plus en détails à l'Article 6. La discussion précédente est formalisée et plus amplement développée dans les autres paragraphes.

4.2 Objet de la simulation

Le premier point comprend, respectivement, la description exacte de la pièce ou de l'ensemble de la structure à étudier (par exemple, géométrie, conditions de service), des matériaux de base et d'apport employés, du mode opératoire et des paramètres de soudage, de la séquence de soudage appliquée ainsi que des conditions de bridage. Une représentation graphique ou photographique complémentaire peut éventuellement être jointe.

4.3 Objectifs de la simulation

Ce point concerne la définition des résultats de simulation souhaités pour la tâche à accomplir. Il revêt une importance particulière dans la mesure où de nombreux problèmes réalistes nécessitent une simplification plus poussée pour pouvoir être analysés au prix d'efforts raisonnables.

Il peut s'agir, par exemple, du calcul des contraintes résiduelles et/ou des déformations générées par le soudage, ou de l'évaluation de la zone affectée thermiquement et de ses caractéristiques ou de l'apport de chaleur net du mode opératoire de soudage.

Il convient par ailleurs de définir l'objectif final de l'application pour définir les résultats de simulation souhaités, par exemple :

- évaluation de l'intégrité structurelle de l'objet dans des conditions de charge en service spécifiées, y compris, éventuellement, tout défaut de matériau supposé ou connu ;
- optimisation des traitements après soudage nécessaires à la réduction des déformations générées par le soudage et/ou des contraintes résiduelles ;
- optimisation des modes opératoires de soudage ;
- minimisation des déformations et contraintes générées par le soudage.

4.4 Modèle physique

Suivant les objectifs définis en 4.3, ce point concerne l'association des conditions aux limites, des effets physiques appropriés respectifs, des simplifications adoptées et des hypothèses à simuler. Suivant la complexité du modèle souhaité, les exemples de variables influentes et d'effets physiques suivants peuvent s'avérer pertinents :

- transport de chaleur par conduction thermique à l'intérieur du solide ;
- convection et radiation en surface ;
- contrainte en fonction de la déformation ;
- changements de matériaux tels que les transformations de la microstructure ;
- dissolution ou précipitation ;
- comportement mécanique tel que l'élasticité ;
- plasticité instantanée ou dépendant du temps ;
- écrouissage et effet de restauration ;
- dilatation thermique ;
- plasticité induite par la transformation.

Ces facteurs peuvent être décrits par des textes, des graphiques, des tableaux ou des formules. Les conditions aux limites réelles et, plus particulièrement, la température initiale à l'intérieur du solide, la température ambiante et les conditions de serrage doivent être décrites en détails.

Les simplifications qui se sont avérées nécessaires lors de la définition des objectifs de la simulation et qui sont adoptées pour exécuter la simulation doivent être décrites. Les hypothèses subséquentes doivent être justifiées par le biais des procédures de vérification et de validation détaillées à l'Article 6.

4.5 Modèle mathématique et méthode de résolution

Sur la base des facteurs décrits en 4.4, il faut définir un modèle mathématique proportionnellement adapté. Pour ce faire, il faut présenter ou mentionner les équations différentielles essentielles sous-jacentes. Cette définition concerne le modèle géométrique (2D, 3D), complété par la description mathématique de la source de chaleur ainsi que des conditions initiales et des conditions aux limites. En présence d'un logiciel commercial généraliste d'analyse mécanique, il convient de synthétiser les options sélectionnées pour la résolution mathématique.

Bien que la méthode de résolution généralement envisagée soit la méthode des éléments finis, il convient de toujours décrire la méthode de résolution, par exemple, méthode analytique, méthode numérique différente ou complémentaire ou approche stochastique.

4.6 Mise en œuvre

La description de la mise en œuvre comprend des détails spécifiques liés à l'objet de la simulation selon 4.2 et concernant la discrétisation spatiale, par exemple :

- maillage des éléments finis, spécification des types d'éléments comprise ;
- discrétisation temporelle ;
- caractéristiques des matériaux ;
- conditions initiales et conditions aux limites.

Le résultat de la mise en œuvre est le modèle de simulation.

5 Plan de travail

5.1 Généralités

La modélisation numérique (choix des éléments finis, discrétisation, résolveur, etc.) fait partie des compétences du spécialiste en mécanique numérique des solides et n'entre pas dans le domaine d'application de la présente Spécification technique.

Il est conseillé au lecteur de se référer à l'ASME V&V, qui donne un cadre détaillé pour la vérification et la validation (ou « la validation et la vérification ») en mécanique numérique du solide, ainsi qu'à la règle R6, qui donne une technique de SNS normalisée.

Suite à la description du plan de travail, la méthodologie recommandée pour vérifier et valider (ou « valider et vérifier ») est donnée au paragraphe suivant.

5.2 Simplifications et hypothèses

5.2.1 Généralités

Les simplifications et les hypothèses font partie de tout modèle de simulation, à différents degrés. Le présent paragraphe vise à traiter des données d'entrée essentielles à l'analyse, c'est-à-dire celles qui sont fondamentales pour l'analyse ou celles auxquelles l'analyse est particulièrement sensible.

5.2.2 Propriétés des matériaux

L'exactitude des prédictions de la SNS dépend en partie de celle des propriétés thermo-physiques et thermomécaniques utilisées par les modèles. L'incertitude des propriétés des matériaux peut être sérieusement réduite par des essais sophistiqués ; même dans ce cas, il n'est toutefois pas possible de déterminer ces propriétés sur toute la plage de températures du problème de soudage. C'est la raison pour laquelle les hypothèses sont inhérentes à la sélection des propriétés des matériaux et doivent être documentées de manière approfondie. Il est de coutume de traiter cette incertitude en soumettant à une analyse de sensibilité toutes les propriétés estimées ou toutes les propriétés présentant une incertitude importante.

NOTE L'utilisation d'une température de coupure est une approche courante pour réduire de manière significative l'impact de l'incertitude liée aux températures élevées.