

DIN 35223



ICS 25.160.01; 35.240.50

Einsprüche bis 2016-08-03

Entwurf

**Numerische Schweißsimulation –
Ausführung und Dokumentation (ISO/TS 18166:2016);
Deutsche Fassung CEN ISO/TS 18166:2016**

Numerical welding simulation –
Execution and documentation (ISO/TS 18166:2016);
German version CEN ISO/TS 18166:2016

Simulation numérique de soudage –
Exécution et documentation (ISO/TS 18166:2016);
Version allemande CEN ISO/TS 18166:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-06-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nas@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 24 Seiten

DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Problembeschreibung	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Simulationsobjekt	8
4.3 Zielsetzung der Simulation	8
4.4 Physikalisches Modell	9
4.5 Mathematisches Modell und Lösungsmethode	9
4.6 Implementierung	10
5 Vorgehensweise	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Vereinfachungen und Annahmen	10
5.2.1 Allgemeines	10
5.2.2 Werkstoffeigenschaften	10
5.2.3 Modellumfang und Modellanwendung	11
5.2.4 Kopplung von Analysen	11
5.3 Prozessbeschreibung und Prozessparameter	11
5.4 Struktur und Schweißgeometrien	11
5.5 Werkstoffe	12
5.5.1 Allgemeines	12
5.5.2 Thermophysikalische Eigenschaften des Werkstoffes	12
5.5.3 Thermomechanische Eigenschaften des Werkstoffes	12
5.6 Beanspruchungen und Randbedingungen	12
5.6.1 Allgemeines	12
5.6.2 Thermisch	12
5.6.3 Mechanisch	12
5.7 Überprüfung der Ergebnisse	12
5.8 Angabe der Ergebnisse	12
6 Validierung und Verifizierung	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Verifizierung des Simulationsmodells	13
6.3 Kalibrierung der Modellparameter	13
6.4 Plausibilitätsprüfung der Simulationsergebnisse	13
6.5 Validierung der Simulationsergebnisse	13
6.5.1 Allgemeines	13
6.5.2 Richtlinien für Validierungsexperimente	14
7 Dokumentation/Angabe der Ergebnisse	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Simulationsobjekt	14
7.3 Werkstoffeigenschaften und Eingabedaten	14
7.4 Prozessparameter	15
7.5 Vernetzung	15
7.6 Numerische Modellparameter	15

7.7	Auswertung der Ergebnisse.....	15
	Anhang A (informativ) Dokumentationsvorlage.....	16
	Anhang B (informativ) Modellierung der Wärmeübertragung beim Schweißen.....	17
B.1	Allgemeines	17
B.2	Analytische Modelle zur Vorhersage von Temperaturfeldern.....	17
B.3	Kalibrierung von thermischen Modellen der Wärmequelle	18
B.3.1	Allgemeines	18
B.3.2	Modell mit vorgegebener Temperatur (en: prescribed temperature model, PTM)	18
B.3.3	Modellierung mit vorgegebenem Wärmeeintrag	18
	Anhang C (informativ) Richtlinien für Validierungsexperimente.....	19
	Anhang D (informativ) Modellierung von Eigenspannungen	21
D.1	Allgemeines	21
D.2	Werkstoffmodellierung.....	21
	Anhang E (informativ) Vorhersage des Schweißverzuges	22
E.1	Allgemeines	22
E.2	Vereinfachte Methoden.....	23
	Literaturhinweise.....	24

Vorwort

Dieses Dokument (CEN ISO/TS 18166:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Auf nationaler Normungsebene wird der CEN ISO/TS 18166:2016 als Norm-Entwurf DIN 35223 vorgelegt.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 092-00-29 AA „Schweißsimulation (DVS AG I 2.1)“ im DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) verantwortlich.

1 Anwendungsbereich

Diese Technische Spezifikation (TS) befasst sich mit der Vorgehensweise zur Durchführung, Validierung, Verifizierung und Dokumentation einer numerischen Schweißsimulation zur rechnerischen Abbildung des Schweißprozesses (en: computational welding mechanics, CWM). Hierzu bezieht sich diese Technische Spezifikation vorrangig auf die thermische und mechanische Finite-Elemente-Methode (FEM) (en: finite element analysis, FEA) beim Schmelzschweißen (siehe ISO/TR 25901:2007, 2.165) von metallischen Bauteilen und Konstruktionen.

Die numerische Schweißsimulation zur rechnerischen Abbildung des Schweißprozesses (CWM) ist ein breites und wachsendes Einsatzgebiet der technischen Analyse.

Diese Technische Spezifikation behandelt folgende Aspekte und Ergebnisse der CWM, mit Ausnahme der Simulation des Verfahrens an sich:

- Wärmestrom während der Analyse einer oder mehrerer Lagen;
- durch den Wärmestrom bedingte Wärmeausdehnung ;
- thermische Spannungen;
- Entstehung unelastischer Dehnungen;
- Auswirkung der Temperatur auf Werkstoffeigenschaften;
- Vorhersage der Eigenspannungsverteilungen;
- Vorhersage des Schweißverzuges.

Diese Technische Spezifikation bezieht sich auf folgende physikalische Effekte, die jedoch nicht ausführlich behandelt werden:

- Physik der Wärmequelle (z. B. Laser oder Lichtbogen);
- Physik des Schweißbads (und Keyhole für Hochleistungsstrahlschweißungen);
- Ausbildung und Retention von festen Phasen im Nichtgleichgewichtszustand;
- Lösung und Ausscheidung von Sekundärphasenpartikeln;
- Auswirkung des Mikrogefüges auf Werkstoffeigenschaften.

Diese Technische Spezifikation wurde nicht für die Anwendung in einer spezifischen Industriebranche erstellt. CWM kann bei der Gestaltung und Bewertung einer Vielzahl von Bauteilen nützlich sein. Die Technische Spezifikation enthält ein System zur Gewichtung, das dem Anwender eine geschätzte Genauigkeit bietet. Dieses System soll Industrieorganisationen oder Firmen ermöglichen, erforderliche Niveaus der CWM für spezifische Anwendungen festzulegen.

Diese Technische Spezifikation ist unabhängig von der Software und der Durchführung und somit nicht auf die FEM oder eine bestimmte Industriebranche beschränkt.

Sie schafft einheitliche Rahmenbedingungen für die wesentlichen Aspekte der üblicherweise angewendeten Methoden und die Zielsetzung der CWM (einschließlich Validierung und Verifizierung für die objektive Beurteilung von Simulationsergebnissen).

Außerdem bietet sie durch Darstellung und Beschreibung der für eine vollständige numerische Schweißsimulation mindestens erforderlichen Aspekte eine Einleitung in die rechnerische Abbildung des Schweißprozesses (CWM). (Die angegebenen Beispiele sollen die Anwendung dieser Technischen Spezifikation verdeutlichen; diese Beispiele können für Personen, die ihre CWM-Kompetenz erweitern wollen, hilfreich sein.)

Der Abschnitt 4 dieser Technischen Spezifikation enthält nähere Informationen zum allgemeinen Simulationsaufbau und vergleichbarer Anwendungen. Abschnitt 5 bezieht sich auf die entsprechenden Teile dieser Technischen Spezifikation, in denen die Struktur der jeweiligen Anwendungsfälle konkret beschrieben und mit Beispielen belegt werden. Im Anhang A ist eine Dokumentationsvorlage für die Darstellung der Simulationsergebnisse enthalten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO/TR 25901, *Welding and related processes — Vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in ISO/TR 25901 angegebenen und die folgenden Begriffe.

3.1

Randbedingungen

Bedingungen, die entlang der räumlichen Begrenzung eines Rechenmodells zu erfüllen sind, die die Beziehung zwischen den berechneten und nicht berechneten Modellbereichen (Domains) beschreiben

Anmerkung 1 zum Begriff: Vollständige Randbedingungen liefern eine eindeutige Lösung des spezifischen zu lösenden mathematischen Problems

3.2

geometrisches Modell

Beschreibung aller Geometrien, die in einer Simulation analysiert wurden, einschließlich Dimensionalität des Simulationsobjekts

3.3

mathematisches Modell

Modell, das die wesentlichen zugrundeliegenden mathematischen Gleichungen inklusive zugehöriger Anfangs- und Randbedingungen umfasst

3.4

numerische Simulation

Simulation, die mittels mathematischer Methoden im Allgemeinen mit einem Computer durchgeführt wird

3.5

physikalisches Modell

Gesamtheit der für das vorliegende Simulationsobjekt relevanten zu simulierenden physikalischen Effekte und Anfangs- und Randbedingungen sowie getroffene Vereinfachungen und Annahmen

3.6

Plausibilitätsprüfung

Kontrolle vorliegender Berechnungsergebnisse hinsichtlich Übereinstimmung mit prinzipiellen physikalischen Grundsätzen

3.7

Simulationsmodell

Gesamtheit aus dem physikalischen Modell, dem geometrischen Modell und dem mathematischen Modell sowie der Lösungsmethode

3.8

räumliche Diskretisierung

Verteilung und Typ der Geometrieeinheiten für die Unterteilung des geometrischen Modells

3.9

zeitliche Diskretisierung

Schrittweite und Anzahl der Zeiteinheiten für die Unterteilung der zu modellierenden zeitlichen Abläufe

3.10

Validierung

Verfahren zur Bestimmung des Grads, mit dem ein Modell das physikalische Problem aus Sicht des vorgesehenen Verwendungszwecks des Modells genau darstellt

3.11

Validierungsexperiment

für die Validierung der Simulationsergebnisse speziell geplantes Experiment mit möglichst vollständiger Erfassung aller relevanten Daten und deren Unsicherheit

3.12

Verifizierung

Nachweis der Richtigkeit des Simulationsmodells

3.13

Kalibrierung

Verfahren zur Anpassung der Modellparameterwerte im Simulationsmodell zur Verbesserung der Übereinstimmung mit zuverlässigen experimentellen Daten

3.14

Modell

mathematische Darstellung eines physikalischen Systems oder Prozesses

3.15

Finite-Elemente-Methode

FEM

(en: finite element analysis, FEA)

numerische Methode zur Lösung partieller Differenzgleichungen, die das Ansprechverhalten eines Systems auf Beanspruchung beschreibt

3.16

Wärmestrom

Wärmeenergiemenge, die durch eine Flächeneinheit übertragen wird

3.17

Leistungsdichte

je Volumeneinheit absorbierte oder erzeugte Wärmeleistungsmenge

3.18

Vorhersage

Schätzung des Ansprechverhaltens eines physikalischen Systems mittels eines mathematischen Modells

3.19

rechnerische Abbildung des Schweißprozesses

CWM

(en: computational welding mechanics)

Bestandteil der numerischen Schweißsimulation und -analyse

4 Problembeschreibung

4.1 Allgemeines

Die rechnerische Abbildung des Schweißprozesses ist ein Bestandteil der numerischen Schweißsimulation und -analyse, die hauptsächlich mittels Finite-Elemente-Methode erreicht wird. Es werden nichtlineare thermische und mechanische Analysen durchgeführt, die teilweise oder vollständig gekoppelt sein können, wobei die Schweißleistung in irgendeiner Weise auf das Rechenmodell angewendet wird und die resultierenden transienten Temperaturfelder (und mögliche Mikrostrukturbereiche) anschließend mit den mechanischen Werkstoffeigenschaften/Modellen und Randbedingungen kombiniert werden, um die Spannung und Dehnung im Modell und dessen Verzug vorherzusagen. Diese Beschreibung soll weder allumfassend noch restriktiv sein, sondern dient dazu, die übliche erwartete Anwendung festzulegen, für die diese Technische Spezifikation gelten könnte.

Diese Spezifikation befasst sich mit dem generellen CWM-Problem, das als ein dreidimensionales Volumenmodell definiert werden kann, das sich mit der Leistungsdichte einer beweglichen Wärmequelle mit gleichzeitiger Berechnung von Temperatur, Mikrostruktur und Verformung unter Verwendung von elasto-viskoplastischen Werkstoffmodellen auf Grundlage der Werkstoffeigenschaften im Bereich von Raumtemperatur bis oberhalb der Schmelztemperatur beschäftigt.

Das schließt die Verwendung von vereinfachten Methoden nicht aus, sondern bietet eher eine Orientierung für die Beurteilung von Vereinfachungen der Simulationsmethode. Vereinfachungen werden in erster Linie aufgrund rechnerbedingter Einschränkungen (Größe und Geschwindigkeit) notwendig und gelten für viele industrielle Problemstellungen, z. B. dickwandige Schweißungen in der Druckbehälter- oder Schiffbauindustrie. Da jede Vereinfachung des mathematischen Modells, das das physikalische System darstellt, die Unsicherheit der Simulationsergebnisse erhöhen kann, muss das durch zusätzlichen Aufwand bei der Verifizierung und Validierung des Modells ausgeglichen werden. Alle Rechenmodelle erfordern Verifizierung und Validierung; dieses Thema wird in Abschnitt 6 näher behandelt. Die vorherige Diskussion wird in den übrigen Unterabschnitten formalisiert und fortgeführt.

4.2 Simulationsobjekt

Der erste Punkt umfasst die genaue Beschreibung des zu untersuchenden Bauteils bzw. der gesamten Konstruktion (z. B. Geometrie, Einsatzbedingungen), der verwendeten Grund- und Zusatzwerkstoffe, des Schweißverfahrens und der Schweißparameter, der verwendeten Schweißfolge sowie der Einspannbedingungen. Wahlweise darf eine ergänzende grafische Darstellung oder ein Foto beigelegt werden.

4.3 Zielsetzung der Simulation

Hierbei werden die angestrebten Simulationsergebnisse, welche sich aus der realen Aufgabenstellung ergeben, festgelegt. Das ist besonders wichtig, weil viele realistische Probleme dennoch eine Vereinfachung erfordern, um mit vertretbarem Aufwand analysiert werden zu können.

Einige mögliche Beispiele hierzu sind die Berechnung von Schweißeigenspannungen und/oder Schweißverzügen, die Bewertung der Eigenschaften der Wärmeeinflusszone oder des Wärmeeintrags des Schweißprozesses.