

ICS 25.160.01

**Numerische Schweißsimulation –
Durchführung und Dokumentation –
Teil 1: Übersicht;
Text Deutsch und Englisch**

Numerical welding simulation –
Execution and documentation –
Part 1: Overview;
Text in German and English

Simulation numérique de soudage –
Exécution et documentation –
Partie 1: Vue d'ensemble;
Text en allemand et anglais

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer Vornorm erstellt.

Gesamtumfang 17 Seiten

Vorwort

Dieses Dokument (DIN SPEC 32534-1:2011-03) wurde vom NAS-Arbeitsausschuss NA 092-00-29 AA, *Schweißsimulation* (DVS AG I 2.1) erarbeitet.

Eine DIN SPEC nach dem Vornorm-Verfahren ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Zur vorliegenden DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser DIN SPEC sind erbeten

— vorzugsweise als Datei per E-Mail an nas@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;

— oder in Papierform an den Normenausschuss Schweißtechnik (NAS), 10772 Berlin.

Struktur des Dokumentes und der zugehörigen Unterdokumente

Dieses Dokument gibt in Abschnitt 4 nähere Informationen zur allgemein gültigen Simulationsstruktur und der entsprechenden Anwendung. In Abschnitt 5 sind die Verweise auf entsprechende Teile dieser DIN SPEC (Vornorm), die die Struktur für die jeweiligen Anwendungsfälle konkretisieren und in Form von Beispielen wiedergeben.

Folgende weitere Teile der Reihe DIN SPEC 32534 *Numerische Schweißsimulation — Durchführung und Dokumentation* sind derzeit in Vorbereitung:

- *Teil 1: Übersicht*
- *Teil 2: Beispiel Dokumentationsvorlage*
- *Teil 3: Beispiel Verzugssimulation MAG-Schweißen*
- *Teil 4: Beispiel Prozesssimulation Lichtbogenschweißen*

Abschnitt 6 enthält zu jedem Dokument eine kurze Beschreibung des Inhaltes.

Da beabsichtigt ist, für die DIN SPEC relativ zeitnah bei ISO auch die Erstellung einer Internationalen Norm mit gleichem Inhalt zu beantragen, wird im zweiten Teil des Dokumentes eine englische Übersetzung abgedruckt, die die internationale Anwendung bereits ermöglichen soll.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende DIN SPEC befasst sich mit einer grundlegenden Vorgehensweise zur Durchführung und Dokumentation einer numerischen Schweißsimulation zur rechnerischen Abbildung des Schweißprozesses an sich sowie zu dessen Auswirkungen auf die Eigenschaften der geschweißten Konstruktion.

Hierzu wird eine allgemein gültige strukturierte Vorgehensweise vorgestellt, die unabhängig von der Lösungsmethode und der konkreten Software ist. Sie dient den Anwendern als Unterstützung bei der Auswahl der entsprechenden Methode in Abhängigkeit vom zu berechnenden Schweißverfahren laut DIN EN ISO 4063 und dem angestrebten Simulationsergebnis. Darüber hinaus stellt sie eine Grundlage für die Einarbeitung in die numerische Schweißsimulation in verschiedenen Industriebranchen dar, hierzu verweist sie auf entsprechende Beispiele in Unterdokumenten. Außerdem kann sie für die Erstellung von Lastenheften oder Angeboten verwendet werden und bietet Auftraggebern und Auftragnehmern Anhaltspunkte für die Festlegung des Leistungsumfangs.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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).

DIN EN ISO 4063, *Schweißen und verwandte Prozesse — Liste der Prozesse und Ordnungsnummern*

DIN 1910-3, *Schweißen; Schweißen von Kunststoffen, Verfahren*

DIN 1910-11, *Schweißen; Werkstoffbedingte Begriffe für Metallschweißen*

DIN 1910-100, *Schweißen und verwandte Prozesse — Begriffe — Teil 100: Metallschweißprozesse mit Ergänzungen zu DIN EN 14610:2005*

DIN EN 14610, *Schweißen und verwandte Prozesse — Begriffe für Metallschweißprozesse*

DIN-Fachbericht ISO/TR 25901, *Schweißen und verwandte Verfahren — Terminologie*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 1910-3, DIN 1910-11 und DIN 1910-100, DIN EN 14610, ISO/TR 25901 und die folgenden Begriffe.

3.1

geometrisches Modell

Beschreibung aller Geometrien und der Dimensionalität des Simulationsobjektes

3.2

Implementierung

Umsetzung eines konkreten Simulationsobjektes in ein mathematisches Modell bzw. eine Lösungsmethode

3.3

Kalibrierung

Ermittlung der variablen Parameter für das mathematische Modell im Rahmen der Implementierung, bezogen auf einen konkreten Anwendungsfall

3.4

Lastenheft

beschriebene Gesamtheit der Forderungen des Auftraggebers an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers

3.5

Lösungsmethode

Vorgehensweise zur Lösung des aufgestellten mathematischen Modells

3.6

mathematisches Modell

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

3.7

Modellkomplexität

Auswahl der vom Anwender festgelegten zu berücksichtigenden physikalischen Effekte für das physikalische Modell

3.8

numerische Simulation

Simulation, welche mittels mathematischer Methoden durchgeführt wird

3.9

physikalisches Modell

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

3.10

Plausibilitätsprüfung

Kontrolle vorliegender Berechnungsergebnisse hinsichtlich Übereinstimmung mit prinzipiellen physikalischen Grundsätzen nach dem aktuellen Stand der Technik

3.11

Randbedingungen

Restriktionen physikalischer oder mathematisch-numerischer Natur, die als gegebene Größen bei numerischen Simulationen berücksichtigt werden müssen

3.12

räumliche Diskretisierung

gibt Anzahl, Dichte und Typ der Geometrieeinheiten für die Unterteilung des geometrischen Modells wieder

3.13

Simulationsergebnis

abschließendes Ergebnis der durchgeführten Simulation im Hinblick auf die ausgewählten schweißbedingten Charakteristika

3.14 Simulationsmodell

Gesamtheit aus dem physikalischen Modell, dem mathematischen Modell und der Lösungsmethode als Ergebnis der Implementierung

3.15

Simulationsobjekt

beinhaltet das zu untersuchende Bauteil bzw. die gesamte Konstruktion sowie die verwendeten Grund- und Zusatzwerkstoffe, das Schweißverfahren und die zugehörigen Parameter und Bedingungen

3.16**Validierung**

vollständiger oder teilweiser Vergleich zwischen Berechnungsergebnissen und Daten aus Validierungsexperimenten, auch ein Nachweis des realitätskonformen Systemverhaltens des Simulationsmodells

3.17**Validierungsexperiment**

ein für die Validierung der Berechnungsergebnisse speziell geplantes Experiment mit möglichst vollständiger Erfassung aller relevanten Daten

3.18**Verifikation**

Überprüfung der Übereinstimmung zwischen dem physikalischen Modell, dem mathematischen Modell und der Lösungsmethode, wobei im Gegensatz zur Validierung keine experimentellen Daten hinzugezogen werden

3.19**zeitliche Diskretisierung**

Schrittweite und Anzahl der Zeiteinheiten für die Unterteilung der zeitlichen Abläufe des Simulationsobjektes

4 Allgemein gültige Simulationsstruktur

Die nachfolgenden Unterpunkte geben Informationen zu der allgemein gültigen Simulationsstruktur. Im Zuge der Durchführung der Simulation sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen.

4.1 Simulationsobjekt

Der erste Punkt beinhaltet die genaue Beschreibung des zu untersuchenden Bauteils bzw. der gesamten Konstruktion (z. B. Geometrie, Einsatzbedingungen), der verwendeten Grund- und Zusatzwerkstoffe, des Schweißverfahrens und der -parameter, der verwendeten Schweißfolge sowie der Einspannbedingungen. Optional kann eine ergänzende grafische Darstellung als Foto oder Zeichnung beigefügt werden.

4.2 Zielsetzung der Simulation

Hierbei wird das angestrebte Simulationsergebnis, welches sich aus der realen Aufgabenstellung ergibt, festgelegt. Dabei können auch mehrere Ergebnisse als Ziele definiert werden. Einige mögliche Beispiele hierzu sind u. a. Bewertung der Eigenschaften der Wärmeeinflusszone, Berechnung der Schweißverzüge, Berechnung der Schweißeigenstressungen oder Berechnung der Gasdiffusion. Ergänzend sollte ein übergeordnetes Ziel genannt werden, für welches die angestrebten Simulationsergebnisse weiterverwendet werden sollen, beispielsweise die Verringerung notwendiger Richtarbeiten oder die Optimierung der Schweißparameter.

4.3 Physikalisches Modell

In Abhängigkeit der unter 4.2 definierten Ziele werden in diesem Abschnitt die jeweils zugehörigen zu simulierenden physikalischen Effekte, Randbedingungen und getroffene Vereinfachungen und Annahmen zusammengetragen.

In Abhängigkeit der gewünschten Modellkomplexität können beispielsweise folgende physikalische Effekte und Einflussgrößen relevant sein: Wärmetransport über Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung; Massentransport durch Diffusion und Konvektion; Werkstoffveränderungen wie Gefügeumwandlungen, Ausscheidungen, Korngrößenwachstum und Härte; mechanisches Verhalten wie Elastizität, Plastizität, Kriechen, Wärmedehnung, Umwandlungsplastizität, Umwandlungsdehnungen, Dehnraten. Hierzu ist eine Beschreibung mit Worten, Grafiken, Tabellen oder auch Formeln möglich.

Die zweckmäßige Beschreibung der real vorliegenden Randbedingungen, insbesondere Anfangstemperaturen, Umgebungstemperatur, Einspannbedingungen ist erforderlich.

Die im Zuge der Zielsetzung der Simulation notwendig gewordenen und hier gewählten Vereinfachungen und Annahmen müssen beschrieben werden.

4.4 Mathematisches Modell und Lösungsmethode

Aufbauend auf den Angaben aus 4.3 muss hier ein entsprechend geeignetes mathematisches Modell spezifiziert werden. Hierzu müssen die wesentlichen zugrundeliegenden Differentialgleichungen genannt werden bzw. auf diese verwiesen werden. Dieses beinhaltet beispielsweise das geometrische Modell (1D, 2D, 3D), ergänzt mit der mathematischen Beschreibung der Wärmequelle und des Wärmetransportes sowie der Anfangs- und Randbedingungen. Weiterhin ist die Angabe der beabsichtigten Lösungsmethode, z. B. analytisch, numerisch (FEM, FDM, FVM, BEM usw.), stochastisch (Monte-Carlo usw.) vorzunehmen.

4.5 Implementierung

Die Beschreibung der Implementierung enthält konkrete, auf das Simulationsobjekt aus 4.1 bezogene Angaben über die räumliche Diskretisierung (z. B. FE-Vernetzung inklusive Festlegung der Elementtypen), die zeitliche Diskretisierung, die Werkstoffkennwerte und die Anfangs- und Randbedingungen. Weiterhin sind Angaben zum Ablaufplan (schematisch oder grafisch) und zur Kopplung verschiedener Vorgehensweisen zu machen. Das Ergebnis der Implementierung ist das Simulationsmodell.

4.6 Auswertung und Ergebnisdarstellung

Bei der Auswertung und Ergebnisdarstellung ist auf eine nach 4.2 abgestimmte Präsentationsform zu achten. Hierbei sind, auch im Hinblick auf die Absicherung der Simulationsergebnisse in 4.7, grafische sowie tabellarische Darstellungen mit kurzer textlicher Beschreibung zu bevorzugen. Weiterhin ist die Vorgehensweise bei der Auswertung darzustellen, z. B. Angaben zu verwendeten statistischen Verfahren.

Insbesondere folgende Aspekte werden hierbei dringend empfohlen:

- Legende in Grafiken;
- Achsenbeschriftung in Diagrammen;
- Benennung der Einheiten;
- Einheitliche Skalierung zu vergleichender Diagramme;
- Tabellarische Angabe wichtiger Einzeldaten oder abgeleiteter Größen.

Zur Vereinfachung der späteren Dokumentation nach 4.8 ist eine Speicherung der Daten in digitaler Form sinnvoll.

4.7 Empfohlene Maßnahmen zur Absicherung der Simulationsergebnisse

4.7.1 Allgemeines

Zur Absicherung der Qualität der Simulationsergebnisse stehen dem Anwender, je nach Anwendungsfall und Zielsetzung der Simulation, folgende empfohlene wesentliche Maßnahmen zur Verfügung.