

ICS 25.160.01

**Numerische Schweißsimulation –
Durchführung und Dokumentation –
Teil 3: Verzugssimulation beim MAG Schweißen eines 6 mm
dicken S355J2+N Baustahls**

Numerical welding simulation –
Execution and documentation –
Part 3: Simulation of distortion when MAG welding a 6 mm thick piece of S355J2+N
structural steel

Simulation numérique de soudage –
Exécution et documentation –
Partie 3: Simulation de distorsion lors du soudage MAG d'une pièce d'acier de
construction S355J2+N d'une épaisseur de 6 mm

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

Gesamtumfang 23 Seiten

Vorwort

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.

Dieses Dokument (DIN SPEC 32534-3) wurde vom Arbeitsausschuss NA 092-00-29 AA „Schweißsimulation (DVS AG I 2.1)“ im DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) erarbeitet.

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 Schweißen und verwandte Verfahren (NAS), Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Weitere Teile sind in DIN SPEC 32534-1 aufgelistet.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende DIN SPEC 32534-3 gilt als ein Beispiel zur Dokumentierung einer Simulation von Verzug und Eigenspannungen eines MAG (Metall-Aktiv-Gas) Schweißprozesses an einem Werkstück mit den Güteanforderungen eines Stahls S355J2+N.

Weitere Beispiele für verschiedene Dokumentationen, die auf der Grundlage dieser Vorlage erstellt wurden, werden in den Teilen der Reihe DIN SPEC 32534 gegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokumentes 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).

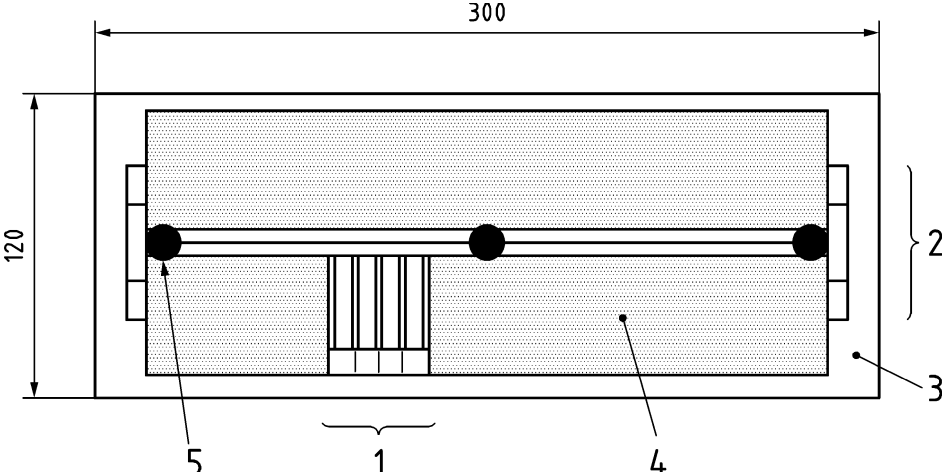
DIN SPEC 32534-1:2011, *Numerische Schweißsimulation — Durchführung und Dokumentation — Teil 1: Übersicht*

3 Anwendungshinweise

Das gezeigte Beispiel dient der Dokumentation einer ausgewählten möglichen Vorgehensweise. Alternative Methoden und Benennungen (Dateinamen, Variablennamen, etc.) sind ebenfalls, je nach Simulationsobjekt und Zielsetzung der Simulation, möglich und zulässig. Insbesondere die in den genannten Beispielen verwendeten Softwareprodukte stellen keine ausschließliche Empfehlung für das gezeigte sowie andere Simulationsobjekte dar. Im Hinblick auf die kontinuierliche Weiterentwicklung der Simulationsmethoden und Tools ist häufig der Einsatz alternativer Produkte möglich, hierbei liegt die Wahl eines spezifischen Softwareproduktes in der Verantwortung des Anwenders.

Das Modell dient als Grundlage für anschließende Variationsrechnungen.

Firmenname: <i>Musterfirma</i> Abteilung: Schweißtechnische Fertigungsverfahren	Dokumentation der Schweißsimulation nach DIN SPEC 32534-3:2015-08	Bearbeiter: Max Mustermann Version: 1.0: Datum: 2015-08-01 Seite 1 von 20
Deckblatt mit Kurzbeschreibungen		
<u>Simulationsobjekt:</u> MAG-Impulslichtbogenschweißen einer Stumpfstoßverbindung aus S355J2+N mit einer Dicke von 6 mm, V-Nahtvorbereitung, Öffnungswinkel 2x15°		
<u>Zielsetzung der Simulation:</u> Ziel ist die Validierung eines thermomechanischen Modells zur Simulation von Verzug- und Eigenspannungen für das MAG-Schweißen von einem Stahl S355J2+N.		
<u>Physikalisches und mathematisches Modell:</u> schwach (d.h. in eine Richtung) gekoppeltes thermomechanisches Modell [3] Temperaturfeld: - Wärmeleitmodell mit volumetrischen Wärmequellen (Goldak, Gauss) Gefügemodell: - diffusionsgesteuertes Umwandlungsmodell (Ferrit, Perlit, Bainit) nach Leblond - diffusionslose Umwandlung (Martensit) – Modell nach Koistinen und Marburger Mechanik: - elastisch-plastisches Modell mit isotroper Verfestigung, dehnratenunabhängig		
<u>Lösungsmethode und verwendete Softwareprodukte:</u> Thermisch-mechanische Simulation, SYSWELD 2012		
<u>Zusammenfassung der Ergebnisse:</u> Das Simulationsmodell zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zum experimentell bestimmten Temperaturfeld, welches durch Makroschliffe sowie Temperaturzyklen beschrieben wird. Die simulierten Quer- und Längseigenspannungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den entsprechenden röntgenografischen Messungen. Der berechnete Verzug zeigt eine qualitative Übereinstimmung mit der optischen Vermessung.		
<u>Zusammenfassung der Maßnahmen zur Absicherung der Simulationsergebnisse</u>		
	Anmerkungen / Begründungen	
Verifiziert Nein	☒ Ja ☐ Nein	Bereits verifiziertes Modell
Kalibriert Nein	☒ Ja ☐ Nein	Energieeintrag des Lichtbogens sowie Verteilungsparameter der volumetrischen Energiedichte-Verteilung
Validiert Nein	☒ Ja ☐ Nein	Vergleich von Temperaturzyklen sowie Soliduslinie im Querschliff, zusätzlich röntgenografische Eigenspannungsmessungen.
<u>Bemerkungen (optional):</u> Bearbeiter: Max Mustermann, Berta Beispielfrau		

Firmenname: <i>Musterfirma</i> Abteilung: <i>Schweißtechnische Fertigungsverfahren</i>	Dokumentation der Schweißsimulation nach DIN SPEC 32534-3:2015-08	Bearbeiter: Max Mustermann Version: 1.0: Datum: 2015-08-01 Seite 2 von 20
Beschreibung der Schweißsimulation		
1 Simulationsobjekt [siehe DIN SPEC 32534-1:2011, Punkt 4.1] Blechdimension: 300 mm x 120 mm x 6 mm Grundwerkstoff: S355J2+N (DIN EN 10025-2:2004) Zusatzwerkstoff: G3Si1(DIN EN ISO 544:2011) Schutzgas: M21 (DIN EN ISO 14175:2008) Schutzgasmenge: 25 l/min Verfahren: teilmechanisiertes MAG-Schweißen, 135, DIN EN 14610:2004 Stromquelle: Inverter Gleichstromschweißgerät PHOENIX 521 (EWM) Lichtbogenart: Impulslichtbogen Mittlere eingetragene Leistung: 6783,34 W Schweißgeschwindigkeit: 9,167 mm/s Streckenenergie (<i>gemessen</i>): ca. 0,74 kJ/mm Drahtdurchmesser: 1,2 mm Kontaktrohrabstand: 13 mm Brenneranstellwinkel: 0° Nahtöffnungswinkel: 30° (2x15°) Nahtform, Heftung: V-Naht, 0 mm, 150 mm, 300 mm Vorwärmtemperatur: 20 °C Schweißvorgang: Strichraupe Einspannung: statisch bestimmt gelagert, keine Einschränkung der Bewegung		
Angaben in Millimeter  Legende 1 Thermoelemente 2 Keramikbadstütze (Unterseite) 3 Montagetisch 4 stochastisches Muster für Verzugsmessung 5 Heftpunkte Bild 1 — Versuchsblech mit applizierten Thermoelementen vom Typ K, Ø 0,25 mm sowie stochastischem Muster für optische Verzugsmessung		

Firmenname: <i>Musterfirma</i> Abteilung: <i>Schweißtechnische Fertigungsverfahren</i>	Dokumentation der Schweißsimulation nach DIN SPEC 32534-3:2015-08	Bearbeiter: Max Mustermann Version: 1.0: Datum: 2015-08-01 Seite 3 von 20
--	---	--

2 Zielsetzung der Simulation [siehe DIN SPEC 32534-1:2011-03, 4.2]

Aufbau eines Schweißsimulationsmodells unter Beachtung des Zeit-Temperatur-Umwandlungsverhaltens des vorliegenden Versuchswerkstoffes

- Analyse des Schweißverzuges und der Eigenspannungen;
- Validierung mit entsprechenden Experimenten.

3 Physikalisches Modell [siehe DIN SPEC 32534-3:2015-08, 4.3]

- schwache Kopplung (d. h. in eine Richtung) zwischen Temperaturfeld-, Gefüge- und mechanischem Modell;
- Vernachlässigung der durch mechanische Verformung freigesetzten Wärme bei der Berechnung der Eigenspannungen und des Verzuges;
- Rückwirkung des Spannungsfeldes auf die Gefügeumwandlung bzw. auf das Temperaturfeld unberücksichtigt;
- Werkstoffkennwerte werden als ideal homogen und isotrop für das gesamte Bauteil betrachtet;
- Bauteile sind als eigenspannungsfrei und frei von Vorverfestigungen anzunehmen;
- Geometrie der zu schweißenden Bauteile wird dreidimensional erzeugt und schweißgerecht vernetzt;
- eine Toleranz in den Bauteilabmessungen wird nicht beachtet;
- bei der vorliegenden Versuchsreihe werden Vollmodelle simuliert. Die Anwendung kann auch für Halbmodelle verwendet werden;
- schweißgerechte Vernetzung beinhaltet die Berücksichtigung der hohen Gradienten, die in Temperatur, Spannung, Dehnungen und Gefügezusammensetzung auftreten können (feine Vernetzung der Schweißnaht und der WEZ);
- Anwendung eines Wärmeleitungsmodells: reale Schweißwärmequelle wird durch die Verwendung einer volumetrischen Energiedichteverteilung approximiert;
- eingebrachte Wärme wird mittels Strahlung und Konvektion über die freien Bauteilaußenflächen an die Umgebung abgegeben;
- konvektive Teil des gesamten Wärmeübergangs wird als konstant angenommen und zur Größe der Strahlung addiert;
- Einfluss von Spann- und Messtechnik (Thermoelemente, mechanische Verzugsmessung etc.) auf die thermische Modellierung wird vernachlässigt;
- Elemente, die den Zusatzwerkstoff darstellen, befinden sich bereits vor dem Schweißprozess im vernetzten 3D-Modell und werden einer so genannten „not yet existing“-Phase zugeordnet;
- diese Phase besitzt bis auf das reduzierte E-Modul die gleichen Werkstoffkennwerte wie die Phase Ferrit;
- während des Aufheizprozesses wandelt eine Phase um, die anschließend als Zusatzwerkstoff fungiert;

Firmenname: <i>Musterfirma</i> Abteilung: <i>Schweißtechnische Fertigungsverfahren</i>	Dokumentation der Schweißsimulation nach DIN SPEC 32534-3:2015-08	Bearbeiter: Max Mustermann Version: 1.0: Datum: 2015-08-01 Seite 4 von 20
— die mechanische Lagerung der Bauteile wird vereinfacht, indem Reib- und Normalkräfte nicht modelliert werden; — Knoten im Bereich der Lagerung werden fixiert um die Bewegung der Bauteile zu verhindern; — Fixierungen mit einer definierten Federsteifigkeit, so genannte „elastic constraints“, werden verwendet; — Werkstoffmodell beinhaltet elastisch-plastisches Verhalten mit isotroper Verfestigung; — die Gefügeanteile werden auf Basis numerisch aufbereiteter Umwandlungsdiagramme berechnet; — die Werkstoffeigenschaften des Mischgefüges werden mithilfe von Mischungsregeln abgebildet; — temperaturabhängige und/oder phasenabhängige sowie dehnratenunabhängige Werkstoffkennwerte sind aus der Datenbank der FE-Software SYSWELD Version 2012 entnommen; — die Umwandlungsplastizitätskonstante wird basierend auf Messungen direkt vorgeben; — es wird ein linearer Zusammenhang zwischen umwandlungsplastischer Dehnung und aufgeprägter Spannung angenommen. 4 Mathematisches Modell und Lösungsmethode [siehe DIN SPEC 32534-1:2011-03, 4.4] 4.1 Temperaturfeld Ansätze sind analog zu DIN SPEC 32534-5:2012-08, 4 zu verwenden. Zusätzlich zur doppel-ellipsoiden Energiedichteverteilung wird eine konische auf einer Gaußverteilung basierende Energiedichteverteilung verwendet. $q(x, y, z) = Q_0 \exp\left(M \frac{x^2 + y^2}{r^2(z)}\right) \quad (1)$ $\text{mit } r(z) = r_e + \frac{r_i - r_e}{z_i - z_e}(z - z_e) \quad (2)$		