

Einsatz der Schweißsimulation in der Produktentwicklung

Hintergrund

Die Simulation von Fügeverfahren gewinnt heutzutage immer mehr an Bedeutung. Ziel ist ein besseres Prozessverständnis und die daraus resultierende Fähigkeit, Fehlerquellen bereits in der Konstruktions- und Fertigungsplanungsphase zu erkennen. Mögliche Alternativen zu erarbeiten und sowohl den Fügevorgang als auch das Bauteil zu optimieren und somit zur Erhöhung der Qualität und Prozesssicherheit beizutragen.

Das Schweißen ist eine der wichtigsten nicht lösbaeren Verbindungen metallischer Werkstoffe. Die Mehrzahl aller Schmelzschweißverfahren verwendet eine konzentrierte Energiequelle (z. B. Laserstrahl, Lichtbogen usw.), die zum lokalen Aufschmelzen der Fugekanten über das Werkstück bewegt wird. Das sich dabei ausbildende instationäre Temperaturfeld führt aufgrund der auftretenden plastischen Verformungen zur Ausbildung von Deformationen und Eigenspannungen, die auch nach vollständiger Abkühlung teilweise erhalten bleiben. Zusätzlich kommt es bei bestimmten Werkstoffgruppen durch eine derartige Wärmebehandlung (kurzzeitiges Aufheizen und schnelles Abkühlen) im Naht- und nahtnahen Bereich, der sogenannten Wärmeeinflusszone (WEZ), zu einer Änderung des Werkstoffgefüges.

Im Hinblick auf das Einrichten von Schweißprozessen und deren Optimierung zur Herstellung von fehlerfreien und verzugsarmen Schweißverbindungen kann die numerische Simulation mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) aufwendige Versuche kostengünstig ersetzen. Als Hauptaufgabe ergibt sich die Berechnung der Schweißdeformation, der Gefügeausbildung und der Schweißspannungen

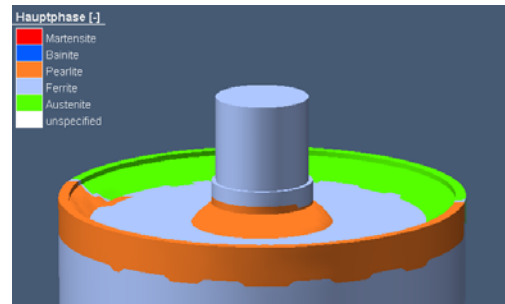


Bild 1: Gefügeausbildung während des Schweißprozesses

Die Schweißsimulation

Die numerische Schweißsimulation stellt die Verknüpfung einer theoretischen Durchdringung der komplexen Vorgänge, die beim Schweißprozess auftreten, und einer Approximation der gekoppelten Vorgänge beim Schweißprozess mithilfe von numerischen Methoden zur Bestimmung von Temperatur, Gefüge, Eigenspannung und Verzug dar. Gegenüber einer experimentellen Untersuchung liegt ein wesentlicher und bedeutender Vorteil in der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse.

Ziele der numerischen Schweißsimulation sind sehr breit ausgerichtet und bestehen darin, die Weiterentwicklung von Schweißverfahren, die Verbesserung von Konstruktionen, die Modifikation von Werkstoffen unabhängig von einem Anwendungsbereich zu unterstützen. Eine sinnvolle Strukturierung ergibt sich durch die Definition von drei Teilbereichen in der Schweißsimulation:

- Prozesssimulation,
- Struktursimulation,
- Werkstoffsimulation.

Eine Kopplung der Teilbereiche ist durch eine gegenseitige Abhängigkeit von verschiedenen Ein- und Ausgangsgrößen vorhanden. Die Prozesssimulation beschäftigt sich mit dem Schweißprozess und gestattet unter anderem Aussagen zu dessen Wirkungsgrad und Stabilität. Eine selbstkonsistente Modellierung des Prozesses ermöglicht beispielsweise eine realitätsnahe Bestimmung der Schmelzbadgeometrie und Schmelzbadströmung. Eigenspannungen in einer Konstruktion und der dazugehörige Verzug lassen sich in der Struktursimulation erfassen.

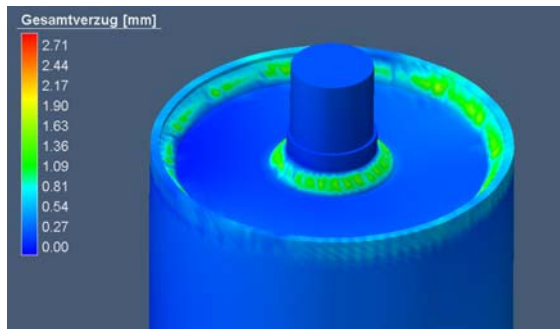


Bild 2: Darstellung des Gesamtverzuges nach Beendigung des Schweißvorganges

Daraus können die Festigkeit und Steifigkeit einer Konstruktion bestimmt werden, die sich nach einem Schweißprozess ergeben. Der Einfluss von Prozess und Werkstoff auf die Eigenspannungen sowie den Verzug ist vorhanden. Die Simulation des Werkstoffes ist wesentlich, um dessen Veränderungen infolge des Schweißprozesses zu beschreiben. Dazu zählt, insbesondere bei Stählen, die Modellierung der Gefügeumwandlung sowohl bei einlagigen als auch bei mehrlagigen Schweißnähten.

Für die numerische Schweißsimulation und insbesondere für die Berechnung von Eigenspannungen und Verzug werden die vorhandenen kommerziellen FE-Programme erweitert, um die Besonderheiten des Materials – beispielsweise Gefügeveränderungen, temperaturabhängige Werkstoffkennwerte und deren Auswirkung auf die untersuchten Größen – zu berücksichtigen.

In der wissenschaftlichen Literatur werden numerische Analysen unter Berücksichtigung der vielschichtigen Vorgänge beim Schweißen überwiegend an einfachen und kleinen Strukturen, z. B. Stumpf-, Kreuz- und T-Stoß, aufgeführt. Untersuchungen zu Einflüssen und Effekten, die sich aus einer komplexen Bauteilgeometrie ergeben, sind nur exemplarisch vorhanden.

Bei der Ausbildung des Eigenspannungszustandes sind die Umlagerungsvorgänge bei mehrlagigen Schweißnähten und Einflüsse aus der Spanntechnik von großer Bedeutung. Generell ist festzustellen, dass die Analyseergebnisse sehr stark von den verfügbaren Werkstoffkennwerten abhängen. Bei der mechanischen Simulation sind es der Wärmeausdehnungskoeffizient, der Elastizitätsmodul, die Querkontraktionszahl und die Festigkeitskennwerte, wie z. B. die Streckgrenze. Weiterhin ist das

Werkstoffgesetz, das den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung beschreibt, ein wesentlicher Einflussfaktor.

Die Übersicht zu dem verfügbaren Wissen zeigt auf, dass eine Analyse des Gefüge- und Spannungszustandes unter Berücksichtigung von Einflüssen, die beim Schweißprozess auftreten, möglich ist. Die numerischen Verfahren sind geeignet, auch Lösungen für komplexe und nichtlineare Vorgänge zu liefern. Für den Bereich der Schweißsimulation sind hier die Energieeinkopplung durch Lichtbogen oder Laserstrahl, die Temperaturverteilung und Strömungsvorgänge im Schmelzbad, die Temperaturverteilung im Werkstück, die Gefügeumwandlung beim Aufheiz- und Abkühlprozess, sowie die Entstehung von Eigenspannung und Verzug zu nennen. Eine wesentliche Voraussetzung ist die Kenntnis der Temperaturabhängigkeit der Werkstoffkennwerte – wie bereits vorher erwähnt. Dadurch werden sowohl das Temperaturfeld während des Schweißens als auch der Spannungszustand in einer Konstruktion nach dem Schweißprozess beeinflusst. Die nichtlineare Abhängigkeit der zu untersuchenden Größen – Eigenspannung, Verzug – von der Temperatur führt zur Anwendung von numerischen Methoden, um eine Lösung zu erhalten.

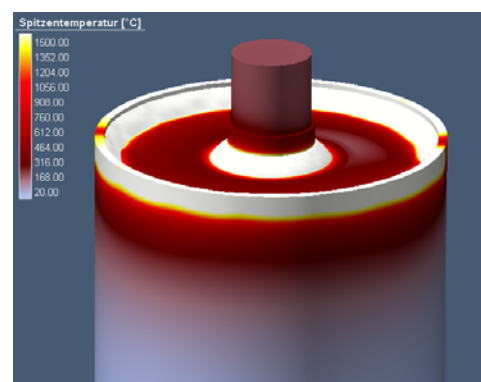


Bild 3: Temperaturverteilung während des Schweißvorganges

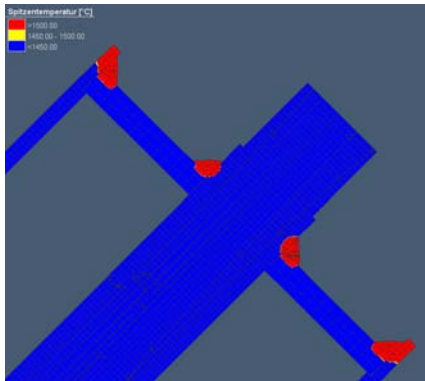


Bild 4: Schweißseinbrand und Temperatur im Schnittbild

Auch beim Einsatz modernster Hard- und Software sowie Strategien zur Modellbildung entsteht im Allgemeinen ein hoher Aufwand an Rechenzeit und Speicherplatz pro Modell. Hierbei sind Rechenzeiten über mehrere Tage und eine Speicherplatzbelegung im zwei- bis dreistelligen Gigabytebereich keine Ausnahme.

Prof. Dr. Franz Magerl
B.Eng. Reinhold Hartwich
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

Trotz der Vielzahl von Untersuchungen zur Simulation, die die Aktualität und die Bedeutung der Problematik verdeutlichen, ergeben sich insbesondere bei der Anwendung der numerischen Simulation an neuen Werkstoffen und bei neuen Füge-technologien Fragestellungen, die für eine Weiterentwicklung sowohl in der numerischen Analyse als auch im praktischen Einsatz zu beantworten sind. Dies liegt nicht zuletzt an der Vielfalt der möglichen Kombinationen aus Werkstoffen – Stahl, Aluminium, Magnesium – und Schweißverfahren – MAG, WIG, Laser – und dem hinsichtlich der numerischen Simulation vorhandenen Kenntnisstand.

Ergebnis

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aus industrieller Sicht die Berechnung der Temperatur als unproblematisch angesehen wird. Das Hauptproblemfeld stellt vielmehr die Berechnung von Eigenspannungen und des Verzuges von komplexen Schweißkonstruktionen dar.

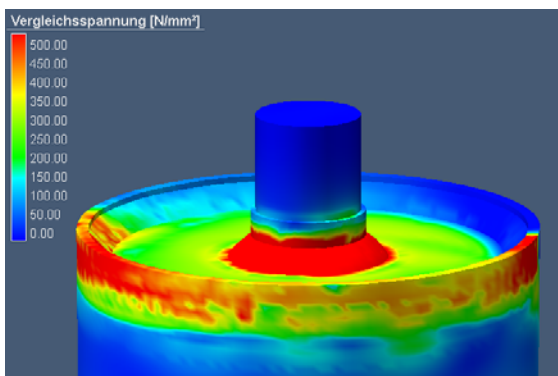


Bild 5: Darstellung der Vergleichsspannungen nach dem Schweißvorgang