

Den Schweißverzug vorhersagen

Wenn der direkte Weg verbaut ist, bleibt nur der indirekte Weg, um ans Ziel zu kommen. In diesem Fall geht es darum, mit Hilfe der Simulation dem unweigerlich entstehenden Schweißverzug durch gezielte Vorverformung – das heißt einen „bergförmigen“ Konus – entgegenzuwirken, um die sehr enge Formtoleranz einzuhalten.

In manchen Fällen kann durch Änderungen im Schweißprozess wie etwa der Schweißreihenfolge, mit Vor- und Nachwärmern, mit Modifikationen bei der Schweißleistung und -geschwindigkeit, der Verzug minimiert werden. Wenn das nicht sinnvoll möglich ist, muss der Verzug hingenommen werden oder es sind andere Gegenmaßnahmen zu treffen. Eine Lösung liegt in der gezielten Vorverformung des Werkstücks. Dabei wird die Verformung, die der Schweißverzug hervorruft, mit umgekehrten Vorzeichen auf das Werkstück vorab aufgebracht, um nach dem Schweißen genau die gewünschte Form zu erhalten. Dafür müsste man allerdings Prophet sein, um den Schweißverzug vorhersagen zu können ... oder man simuliert mit dem Know-how von Cadfem.

Schoeller-Bleckmann Nitec (SBN) ist ein führender Hersteller von Hochdruck-Apparaten für die petrochemische Industrie. Die Anlagen werden zur Herstellung von Harnstoff – dem weltweit bedeutendsten Stickstoffdüngemittel (47 % N) genutzt, das massiven Einfluss auf die Ernährung der Weltbevölkerung hat. Harnstoff wird aus Erdgas, Luft und Wasser gewonnen, wobei die größten Anlagen rund 4000 Tonnen Harnstoff am Tag produzieren. Im Jahr 2012 wurden weltweit rund 184 Millionen Tonnen hergestellt.

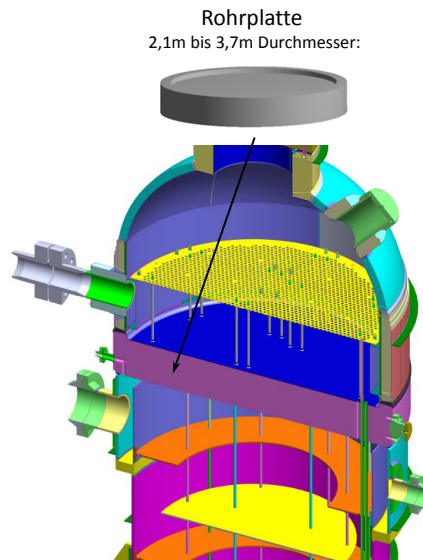


Bild 1
Die Wärmetauscher von SBN müssen hohe Anforderungen erfüllen.

Beeindruckend große Wärmetauscher

Der exotherm ablaufende Prozess der Harnstoffherstellung gibt Wärme ab, die in großen Wärmetauschern für die Weiterverwendung nutzbar gemacht

wird. Die Wärmetauscher sind unter anderem hochkorrosiven Ammoniaksalzen ausgesetzt und müssen Prozessdrücke bis über 100 bar standhalten. Bild 1 zeigt einen dieser Rohrbündel-Wärmetauscher, dessen Boden aus einer „Rohrplatte“ besteht. Aufgrund des

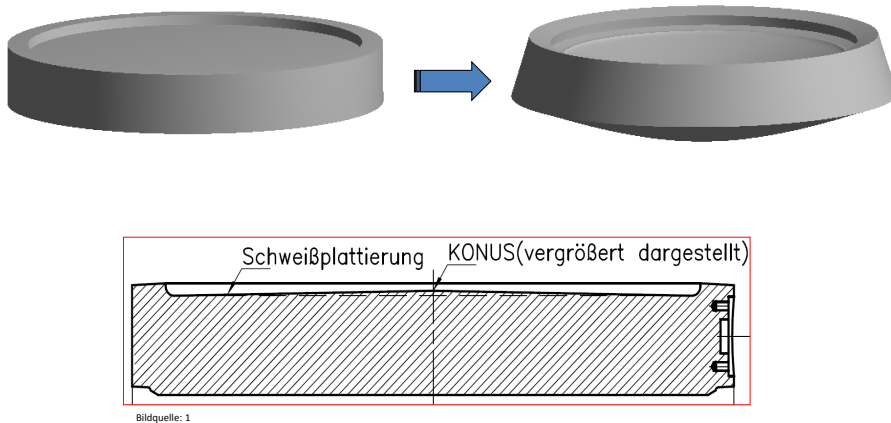


Bild 2
Aufschweißen (Plattieren) einer korrosionsbeständigen Stahlschicht

Autor

Dipl. Ing. Christoph Schlegel
Cadfem (Austria) GmbH

Kontakt:
Cadfem GmbH
Marktplatz 2
85567 Grafing bei München
Tel.: 0 80 92/70 05-0
E-Mail: info@cadfem.de
www.cadfem.de

**Bild 3**

Verformung einer ebenen Platte durch den Schweißverzug beim Plattieren

hohen Druckes muss die Rohrplatte mit Wandstärken bis 400 mm und mehr ausgeführt werden. Als Grundmaterial verwendet SBN Druckbehälterstahl. Um dessen Oberfläche vor Korrosion zu schützen, wird eine Schicht korrosionsbeständiger Stahl vollflächig aufgeschweißt (Bild 2). Auf das Grundmaterial werden zunächst eine Pufferschicht und dann eine Deckschicht aufgeschweißt (plattiert). Dabei lassen sich die Schweißprozessparameter nur in sehr geringem Maße sinnvoll verändern, denn die geforderte Schweißdicke und damit die Leistung und Vorschubgeschwindigkeit (Streckenleistung) sind gesetzt, was durch die Festigkeitsanforderungen auch für die Dimensionierung der Werkstück-Hauptabmessungen gilt. Durch das flächige Aufschweißen

kommt es zu Eigenspannungen und Schweißverzug, der eine zunächst ebene Platte schüsselförmig aufbiegt, wie in Bild 3 überhöht dargestellt ist.

Im nächsten Arbeitsschritt wird die auftragsgeschweißte Oberfläche weiterbearbeitet, um eine glatte und vor allem ebene Oberfläche zu erhalten. Wenn nun der Schweißverzug größer ist als die Schichtdicke der Schweißlage und das Bauteil plan gedreht wird, würde stellenweise die komplette Schweißlage wieder entfernt und der Korrosionsschutz wäre nicht mehr gegeben. Damit wäre das sehr teure Werkstück ruiniert und die meist engen Liefertermine wären nicht haltbar. Neben den hohen Material- und Herstellungskosten muss dann auch noch mit Konventionalstrafen für die Lieferverzögerungen gerechnet werden.

Um dem Problem entgegenzuwirken, gibt SBN seit längerem dem Rohling der Rohrplatte schon vor dem Schweißen eine leicht konische Form, die annähernd die negative Form des Schweißverzuges haben soll. Dadurch soll erreicht werden, dass nach dem Schweißen der Konus und der Schweißverzug sich ausgleichen und eine ebene Platte entsteht. Oberstes Ziel ist es also, nach dem Schweißen ein Werkstück zu erhalten, das plan gedreht werden kann, ohne die aufgeschweißte Schicht zu durchstoßen.

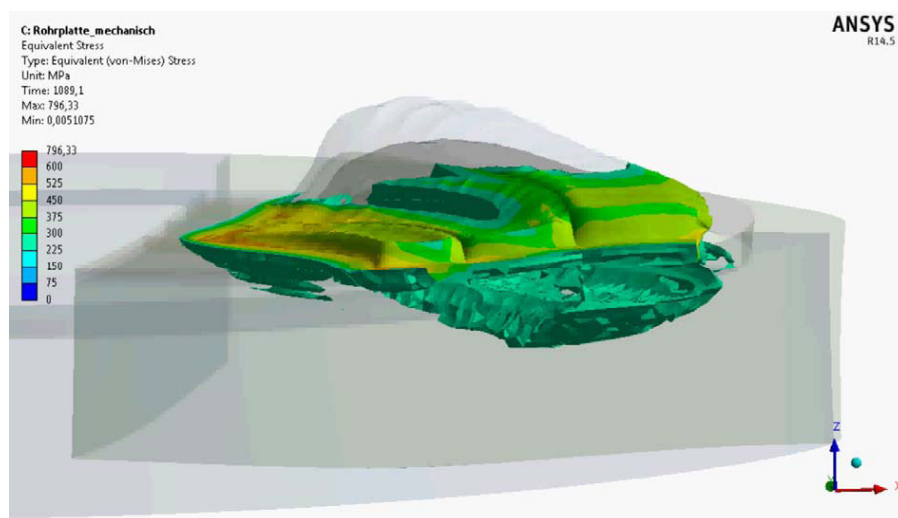
Und genau das ist die Kunst an der Sache, denn jede Rohrplatte hat andere Abmessungen und eventuell eine spezielle Plattierung, so dass der Schweißverzug bei jeder Platte anders ausfallen kann. Bisher hat SBN versucht, dies aufgrund der langjährigen Erfahrung abzuschätzen, aber es war immer auch ein Quäntchen Glück dabei, ob die gewählte Konusform auch genau den Schweißverzug ausgleicht oder eben nicht.

Die Lösung liegt in der Simulation

Die zuverlässige Prognose des Schweißverzugs ist mit entscheidend für eine effiziente Herstellung dieser teuren Bauteile. Mit den Software-Lösungen und dem Know-how von Cadfem lässt sich der Schweißvorgang inklusive der Temperaturverteilung, der thermischen Dehnung, der Gefügekinetik und der Umwandlungsplastifizierung zu jedem Zeitpunkt simulieren und damit der Eigenspannungszustand und die Verformung des Bauteils nach dem Schweißen vorhersagen (Bild 4).

Um in dieses Simulationsthema einzusteigen, hat Schoeller-Bleckmann Nittec eine Bachelorarbeit vergeben. Der Student sollte zunächst die Simulation für eine Rohrplatte durchführen, die bereits produziert war und deren Schweißverzug sehr genau vermessen wurde. Damit ließen sich die Modellierung und die verwendeten Materialparameter validieren und es konnte sichergestellt werden, dass die Simulation die Realität korrekt wiedergibt. Anschließend wurden etliche weitere Varianten der Rohrplatte simuliert und grundlegende Designregeln abgeleitet.

Die Cadfem (Austria) GmbH hat dafür ein vollständig parametrisches Modell in „Ansys Workbench“ erstellt. In dem Modell können sowohl alle geo-

**Bild 4**

Spannungsverteilung in der Rohrplatte während des Schweißens mit stark überhöht dargestellten Verformungen

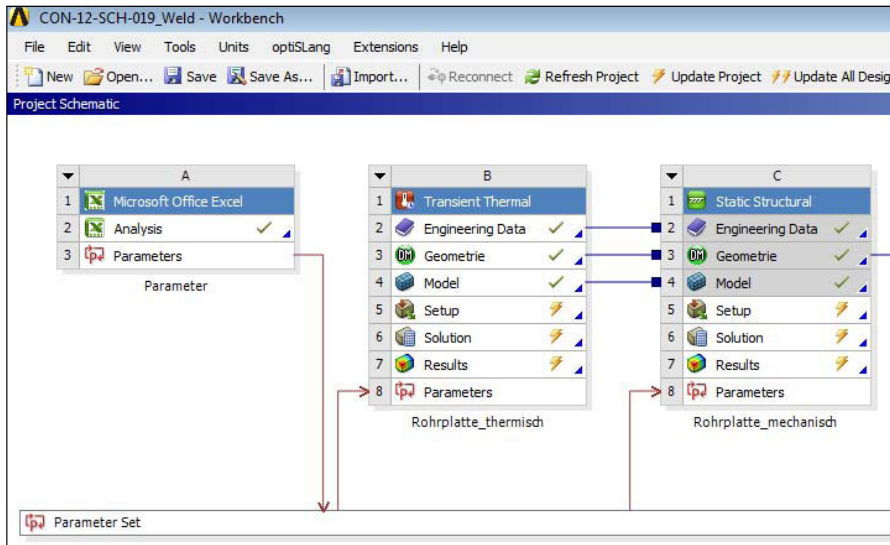


Bild 5
Die Parameterübergabe erfolgt durch die Einbindung der Excel-Datei in die Ansys-Umgebung.

metrischen Abmessungen der Platte als auch die Schweißprozessparameter einfach variiert werden, um das Modell dann ohne großen Änderungsaufwand neu zu berechnen. Dafür wurde das in der „Cadmec ihf Toolbox“ verfügbare Programmpaket „VWS“ (Virtual Weld Shop) verwendet, das verschiedenste Werkzeuge zur Schweißsimulation enthält. Dazu gehören unter anderem Makros für Wärmequellenverteilungen für alle gängigen Schweißverfahren und für die genaue Beschreibung des komplexen Materialverhaltens.

Durch diese Vorarbeiten musste der Student sich nicht in die Handhabung von Ansys und die Nutzung von VWS einarbeiten, sondern konnte sich ganz auf die Ermittlung aller Prozess- und Materialparameter sowie auf die Aus- und Bewertung der Analysen konzentrieren. Sämtliche Eingangsparameter wurden in einer Excel-Tabelle übersichtlich zusammengefasst und mit erklärenden Kommentaren versehen. Die Parameter wurden direkt aus der Excel-Datei ausgelesen und auf der Ansys-Projektseite mit dem Berechnungsmodell verknüpft (Bild 5), um dieses zu steuern.

Eine wesentliche Grundlage für die Schweißsimulation ist die Kenntnis des genauen Materialverhaltens bei den hohen Temperaturen. Gemessen und dargestellt wird dieses Verhalten in sogenannten Dilatogrammen (Bild 6). Der Verlauf der thermischen Dehnung macht bei der Gefügeumwandlung von α (Ferrit) zu γ (Austenit) einen Knick und beim raschen Abkühlen bei der Rückumwandlung zu α (Ferrit, Bainit, Martensit) ebenfalls. Letzteres allerdings je nach Abkühlgeschwindigkeit etwas versetzt, womit die Dehnung eine Hysterese zeigt. Wenn das Material unter Eigenspannung steht, kommt es bei der Phasenumwandlung zu einer Plastifizierung – der Umwandlungsplastizität (transformation induced plasticity, TRIP). All diese Effekte werden im Modell berücksichtigt. Im vorliegenden Projekt standen gemessene Dilatogramme leider nicht zur Verfügung. Daher wurden diese anhand der Legierungszusammensetzung mit der Software „JMatPro“ näherungsweise virtuell bestimmt.

Basierend auf der hier beschriebenen Vorgehensweise steht ein Berech-

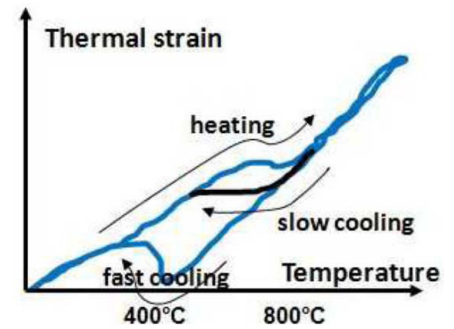


Bild 6
Dilatogramm (aus www.cae-wiki.com)

nungsmodell zur Verfügung, mit dem mit minimalem Änderungsaufwand der Verzug für verschiedenste Plattenabmessungen, Materialkombinationen und Prozessparameter vorausbestimmt werden kann. Der Abgleich mit den Messdaten zeigte eine gute Übereinstimmung.

Konkreter Nutzen

Durch die Berechnung des Schweißverzugs für die jeweiligen Abmessungen und Materialien kann das Bauteil korrekt gefertigt werden. Der Schweißverzug selbst lässt sich zwar nicht verhindern, aber wenn die Simulationen diesen im Voraus richtig „prophezeien“, dann kann der Schmiederohling der Rohrplatte mit genau dem richtigen „Berg“ (Konus-höhe) vorgeformt werden, um so den Schweißverzug auszugleichen.

Damit wird die Gefahr einer falschen Konushöhe eliminiert, so dass hohe Kosten für Nachbearbeitungen und Verzögerungen beim Liefertermin der Vergangenheit angehören. Zusätzlich haben die Ingenieure von Schoeller-Bleckmann Nitec ihr Know-how bezüglich der großflächigen Auftrags-schweißung weiter ausgebaut. Folglich können sie die entscheidenden Parameter für das Prozessverhalten gezielter definieren und anpassen.