

Modellierung von hochfesten und hochduktilen Blechwerkstoffen aus TWIP-Stahl

In den vergangenen Jahren wächst das Interesse an Stahlblechwerkstoffen mit hohen und höchsten Festigkeitsniveaus in der Autoindustrie. Um den hohen Anforderungen gerecht zu werden, gleichzeitig aber auch eine ausreichende Formgebung zu ermöglichen, hat die Stahlindustrie eine neue Klasse von hoch- und höchstfesten Stählen entwickelt: die auf einem Fe-Mn-Legierungssystem basierenden TWIP-Stähle (Twinning Induced Plasticity). Das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM entwickelt in einem laufenden Projekt mit fünf weiteren Partnern ein Werkstoffmodell, das die speziellen Eigenschaften dieser Werkstoffklasse berücksichtigt. Es soll eine genauere Auslegung von Blechumformprozessen und Bauteilbewertungen als bisher ermöglichen.

Diese Stahlklasse kombiniert die geforderten Festigkeiten mit hoher Duktilität. Zum Beispiel kann bei einer Zugfestigkeit von ungefähr 1000 MPa eine Bruchdehnung 40 bis 50 Prozent erreicht werden: eine Eigenschaftskombination, die bei konventionellen Stählen unerreichbar ist. Daher sind TWIP-Stähle unter anderem für die Automobilindustrie sehr interessant: Durch den Einsatz eines TWIP-Stahls kann das Energieaufnahmevermögen von Bauteilen erheblich verbessert und die Fahrzeuge somit sicherer gestaltet werden. Aufgrund der hohen Festigkeit dieser Werkstoffe kann durch die Reduktion der Blechdicke eines Bauteils auch ein Beitrag zur Ressourceneffizienz geleistet werden.

Verformungsverhalten von TWIP-Stählen

Im Gegensatz zu konventionellen Stählen, bei denen die plastische Verformung durch die Wanderung von Versetzungen erfolgt, ist bei TWIP-Stählen mit der sogenannten Zwillingsbildung ein zusätzlicher Deformationsmechanismus aktiv. Dabei ändert sich innerhalb eines Kornes die Orientierung des Kristallgitters in 10 bis 30 nm breiten, lamellenförmigen Bereichen. Diese Bereiche werden als Zwillinge bezeichnet. Durch bereits gebildete Zwillinge wird die Bewegung von Versetzungen behindert. Dies führt zu einer dynamischen Mikrostrukturverfeinerung, die für die hohe Festigung von TWIP-Stählen verantwortlich ist. In Bild 1 ist dieser Effekt schematisch dargestellt.

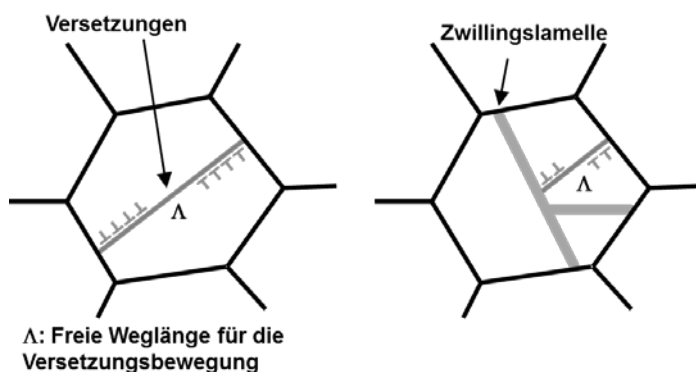


Bild 1: Illustration des dynamischen Hall-Petch-Effekts. Durch die Bildung von Zwillingen wird die Bewegung von Versetzungen behindert.

Für den industriellen Einsatz von TWIP-Stählen sind für die simulative Prozessauslegung und Bauteilbewertung Materialmodelle erforderlich, welche die speziellen Eigenschaften dieser Werkstoffklasse berücksichtigen, um möglichst präzise Aussagen hinsichtlich des Umformverhaltens zu ermöglichen. Die Entwicklung eines solchen Werkstoffmodells ist das Ziel des von der EU geförderten Projektes »TWIP4EU«. Neben dem Fraunhofer IWM als Projektkoordinator sind fünf weitere Projektpartner beteiligt: DYNAmore GmbH, ESI GmbH, Faurecia Autositze GmbH, Swerea KIMAB AB und Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH. Die Arbeiten sind in die Teile Werkstoffcharakterisierung, Werkstoffmodellierung und Implementierung sowie in die Validierung des Modells gegliedert.

Werkstoffmodellierung

Aufgrund des TWIP-Effekts sind Unterschiede im makroskopischen Verhalten im Vergleich zu konventionellen Blechwerkstoffen feststellbar. Beispielsweise ist die Kaltverfestigung bei TWIP-Stählen abhängig vom Belastungszustand. Versuche haben beispielsweise gezeigt, dass die Verfestigung unter Scherbelastung kleiner ist, als unter einaxialer Zugbelastung. Als Ursache für diesen Effekt wird die je nach Belastungszustand unterschiedliche Zwillingsbildungsrate vermutet.

Um die mechanischen Eigenschaften von TWIP-Stählen möglichst genau zu beschreiben, wurde am Fraunhofer IWM ein geeignetes Werkstoffmodell weiterentwickelt. Wesentliches Merkmal des Modells ist die physikalisch motivierte Beschreibung von mikrostrukturellen Größen, insbesondere die Entwicklung des Zwillingsvolumenanteils in Abhängigkeit von der Verformung und des Spannungszustandes. Die Entwicklung dieser mikrostrukturellen Größen wird bei der Berechnung des makroskopischen Materialverhaltens direkt berücksichtigt.

In Bild 2 sind am Beispiel eines Zugversuchs die mechanische Spannung und die Entwicklung des Zwillingsvolumenanteils als Funktion der logarithmischen Dehnungen dargestellt. Der Vergleich mit den experimentellen Daten zeigt, dass das Modell sowohl das makroskopische Verhalten im einachsigen Zugversuch als auch die entsprechenden mikrostrukturellen Größen sehr gut beschreiben kann.

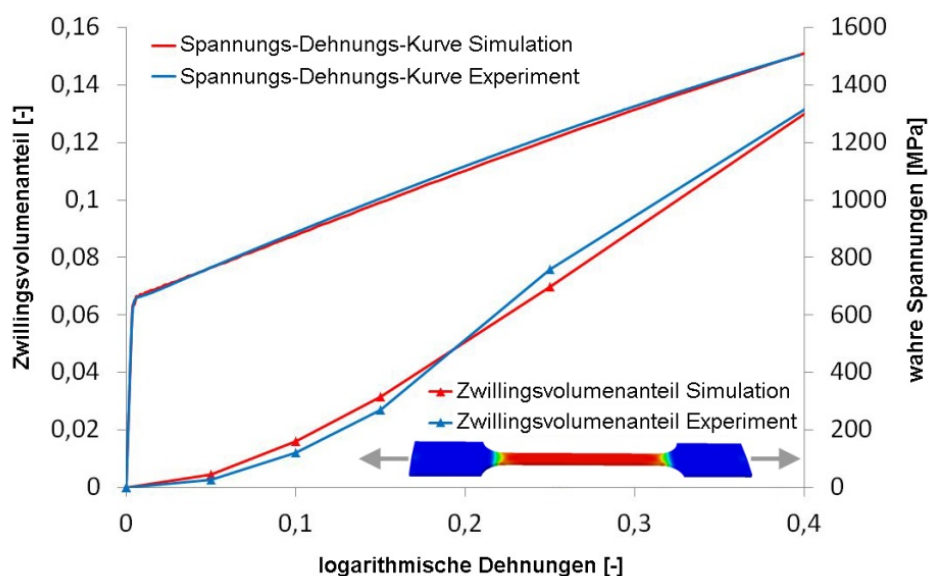


Bild 2: Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Kurve und der Entwicklung des Zwillingsvolumenanteils zwischen den experimentellen Daten und dem Simulationsmodell.

Im Rahmen des Projekts wird das in Abbildung 3 dargestellte Demonstratorbauteil untersucht. Dieses besitzt einerseits eine komplexe Geometrie, die einen Werkstoff mit ausreichend hohem Umformvermögen erfordert. Andererseits handelt es sich hierbei um ein crashrelevantes Bauteil, das eine hohe Bauteilfestigkeit besitzen muss. Erste Umformversuche des Bauteils mit TWIP-Stahl wurden bereits erfolgreich durchgeführt, wie in Abbildung 3 dargestellt ist. Das im Projekt entwickelte Materialmodell kann im nächsten Schritt für eine Optimierung des bestehenden Designs unter Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften von TWIP-Stahl eingesetzt werden.

Mit dem Abschluss des Forschungsprojekts soll ein Werkstoffmodell in kommerziellen Softwarepaketen wie LS-Dyna oder PAM-Stamp verfügbar sein. Es soll in der Lage sein, die speziellen Werkstoffeigenschaften von TWIP-Stählen zu beschreiben und kann genutzt werden, um Umformsimulationen von Blechwerkstoffen aus TWIP-Stahl mit der industriell erforderlichen Genauigkeit durchzuführen.



Bild 3: Als Demonstratorbauteil wird ein Seitenteil der Sitzlehne betrachtet (links). Aus TWIP-Stahl hergestelltes Demonstratorbauteil (rechts) © Faurecia Autositze GmbH (beide Abbildungen).

Autoren:

Dr. Alexander Butz, Dr. Maksim Zapara, Dr. Dirk Helm

(Dr. Alexander Butz, Dr. Maksim Zapara
Wissenschaftliche Mitarbeiter Gruppe Umformprozesse
Dr. Dirk Helm
Gruppenleiter Umformprozesse)

Kontakt:

Dr. Alexander Butz
Geschäftsfeld Fertigungsprozesse
Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg
Tel.: 0761 5142-369
E-Mail: alexander.butz@iwm.fraunhofer.de
www.iwm.fraunhofer.de