



VERFORMUNGSVERHALTEN VON STÄHLEN BEI DEHNRATENABHÄNGIGKEIT

DIE AUFGABE

Gegenwärtig ist ein stark zunehmender Simulationsbedarf zur Vorhersage des Verformungsverhaltens sowohl von fertigen Bauteilen im Einsatz (Crashverhalten) als auch bei der Fertigung von Halbzeugen (Blech- und Massivumformung) festzustellen. Viele dieser technischen Prozesse sind dadurch gekennzeichnet, dass die betreffenden Werkstoffe große plastische Verformungen erfahren und diese oftmals in kurzen Zeiten stattfinden.

In der zur Simulation des Bauteilverhaltens eingesetzten Software sind spezielle Werkstoffmodelle implementiert, die das elastische und plastische Verformungsverhalten des jeweiligen Werkstoffs numerisch in Abhängigkeit von Werkstoffdehnung, Temperatur und Dehnrates beschreiben. Dies geschieht in vielen Fällen durch Fließkurven der Form $\sigma = (\epsilon, T, \dot{\epsilon})$. Die Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse ist aber immer nur so gut wie die Qualität der Werkstoffmodelle und der benötigten Parameter.

Ein Verbundprojekt der Fraunhofer-Institute IWU Chemnitz, IWS Dresden und ICT Pfinztal widmet sich der Simulation des Umformverhaltens von Stahlrohren aus X39CrMo17-1 bei der Massivumformung mittels Innendruck. Zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens dient das Softwarepaket »simufact«, welches das empirische Werkstoffmodell von Hensel und Spittel benutzt. Aufgabe des IWS im Rahmen dieses Verbundprojekts ist die Bestimmung der Materialparameter für das Werkstoffmodell unter Berücksichtigung der Dehnratenabhängigkeit des Verformungsverhaltens.

UNSERE LÖSUNG

Aus Rundmaterial des Stahls X39CrMo17-1 wurden Flachzugproben erosiv herausgearbeitet. Dabei kam eine spezielle Probenform mit vergleichsweise kurzer paralleler Messlänge zur Anwendung.

Voraussetzung für eine zuverlässige Messdatenerfassung auch bei hohen Dehnraten ist ein Dehnungssensor für dynamische Versuche an einer servohydraulischen Prüfmaschine. Mit dieser Prüfeinrichtung erfolgte die Prüfung von zahlreichen Zugproben. Über die rechnergesteuerte Versuchsführung wurden Dehnraten im Bereich von $\dot{\epsilon} < 1 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ bis $\dot{\epsilon} > 5 \text{ s}^{-1}$ realisiert. Für jede Prüfgeschwindigkeit fanden mindestens drei Zugversuche statt, so dass eine ausreichende statistische Sicherheit bei den gewonnenen Messdaten erreicht werden konnte.

Bereits die aus den Zugversuchen resultierenden Zugfestigkeitskennwerte zeigten deutlich den Dehnrateneinfluss auf das Verformungsverhalten. Mit zunehmender Dehnrates wies die Zugfestigkeit R_m einen deutlichen Zuwachs auf, während die Gleichmaßdehnung A_g abnahm. Zur weiteren Auswertung der Messdaten erfolgte nun die Umrechnung der bei den einzelnen Zugversuchen erhaltenen technischen Spannungs-Dehnungs-Diagramme in wahre Spannungs-Dehnungs-Diagramme (Fließkurven). Daraus wurde für jede realisierte Dehnrates eine repräsentative Fließkurve ausgewählt und jeweils ein reduzierter Datensatz mit ca. 30 Wertepaaren pro Kurve generiert. Diese Datensätze dienten als Basisdaten für die eigentliche Anpassung der Parameter des Hensel-Spittel-Werkstoffmodells.



ERGEBNISSE

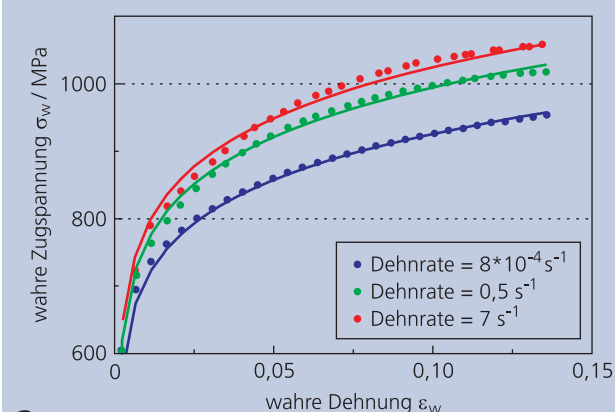
Im Hensel-Spittel-Werkstoffmodell wird der Zusammenhang zwischen Fließspannung σ_w und wahrer Dehnung ϵ_w durch die Gleichung:

$$\sigma_w = A \cdot \epsilon_w^{a_1} \cdot e^{a_4/\epsilon_w} \cdot \dot{\epsilon}^{a_2} \cdot e^{-a_3 \cdot T}$$

beschrieben. Neben den fünf Materialparametern (A , a_1 , a_2 , a_3 , a_4) und der Dehnung ϵ_w als unabhängige Variable, treten die Temperatur T und die Dehnrates $\dot{\epsilon}$ als zwei weitere unabhängige Variable auf.

Da die Zugversuche bei Raumtemperatur erfolgten, reduziert sich die Modellanpassung auf eine Kurvenanpassung mit zwei unabhängigen Variablen und vier zu bestimmende Parameter. Die Anpassung dieser Modellparameter erfolgte iterativ unter Nutzung von Analysesoftware. Das Ergebnis ist in Abbildung 3

Zusammenhang zwischen Fließspannung σ_w und Dehnung ϵ_w für verschiedene Dehnrates $\dot{\epsilon}$ (Vergleich des Hensel-Spittel-Modells (durchgezogene Kurven) mit den experimentellen Daten (Punktsymbole))



3

als Vergleich zwischen Messdatenpunkten und den Kurven des angepassten Modells dargestellt. Die gute Übereinstimmung der beiden Kurvenverläufe ist ein Beleg dafür, dass mit den ermittelten Parametern eine realitätsnahe Beschreibung des Verformungsverhaltens von X39CrMo17-1 gelingt. Mit den hier ermittelten Parametern kann im Fraunhofer IWU Chemnitz die mehrstufige Umformung dickwandiger Rohre simuliert und die Anzahl aufwendiger Umformexperimente zur Entwicklung einer Fertigungstechnologie für Ventilhülsen minimiert werden.

- 1 Servohydraulische Prüfmaschine zur Durchführung der Zugversuche mit hohen Dehnrates
- 2 Zugprobe mit schnellem Dehnungsaufnehmer

KONTAKT

Dr. Gunter Kirchhoff
 Telefon: +49 351 83391-3225
gunter.kirchhoff@iws.fraunhofer.de

