

MODELLIERUNG DES INSTABILITÄTSVERHALTENS KOMPLEXER STRUKTUREN BEI CRASHBELASTUNG

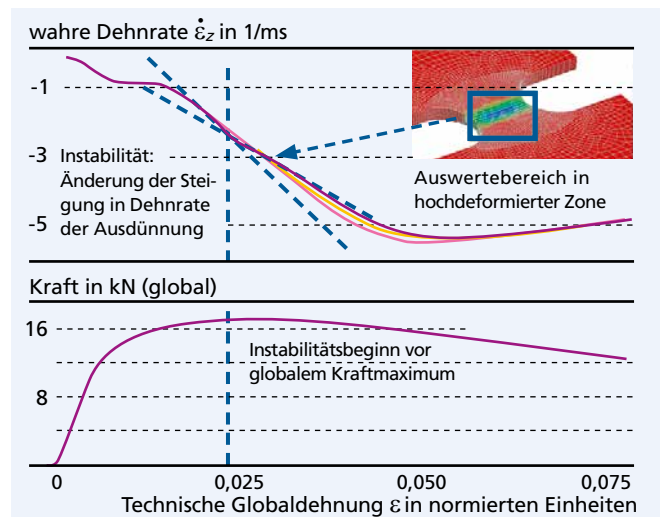
In den letzten Jahren konzentrierte sich die Verbesserung von Crashsimulationen auf spannungszustandsabhängige Versagensmodelle. Jedoch hängt das Materialversagen auch stark vom Instabilitätsverhalten (Dehnungslokalisation) ab. Zudem basiert – aufgrund der limitierten Diskretisierung – die Versagensmodellierung komplexer crashbelasteter Strukturen auf elementgrößenabhängigen Versagensparametern, die an das Instabilitätsverhalten gekoppelt sind. Somit sind detaillierte Untersuchungen zur Instabilitätsmodellierung ein logischer und konsequenter Schritt in der Weiterentwicklung genauerer Simulationsmethoden.

Instabilität und Versagen komplexer Strukturen

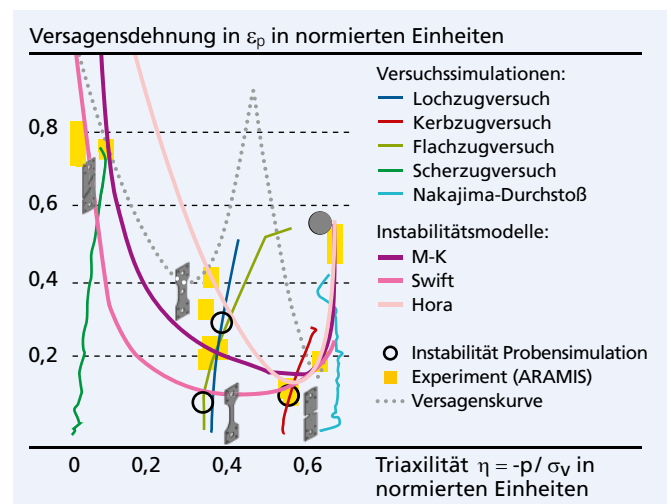
Die bei aufwendigen Simulationen aus Kosten- und Effizienzgründen vorgenommenen Vereinfachungen sollen das Modellgesamtvverhalten wenig beeinflussen. Hierfür wird in der Praxis fallweise vorgeschlagen, die Instabilitätskurve als Versagenslimit zu verwenden. Dabei handelt es sich zwar grundsätzlich um unterschiedliche werkstoffmechanische Phänomene, allerdings können die kritisch überlasteten Bereiche bei Überschreiten des Instabilitätslimits oft kaum mehr tragende Funktionen in der Gesamtstruktur übernehmen. Je nach Crashszenario und Materialien wird dadurch das Globalverhalten meist wenig beeinflusst, wobei Abweichungen in den lokalen Versagensmustern auftreten können (Abbildung 3).

Einflüsse und Ermittlung der Instabilität auf lokalem Niveau

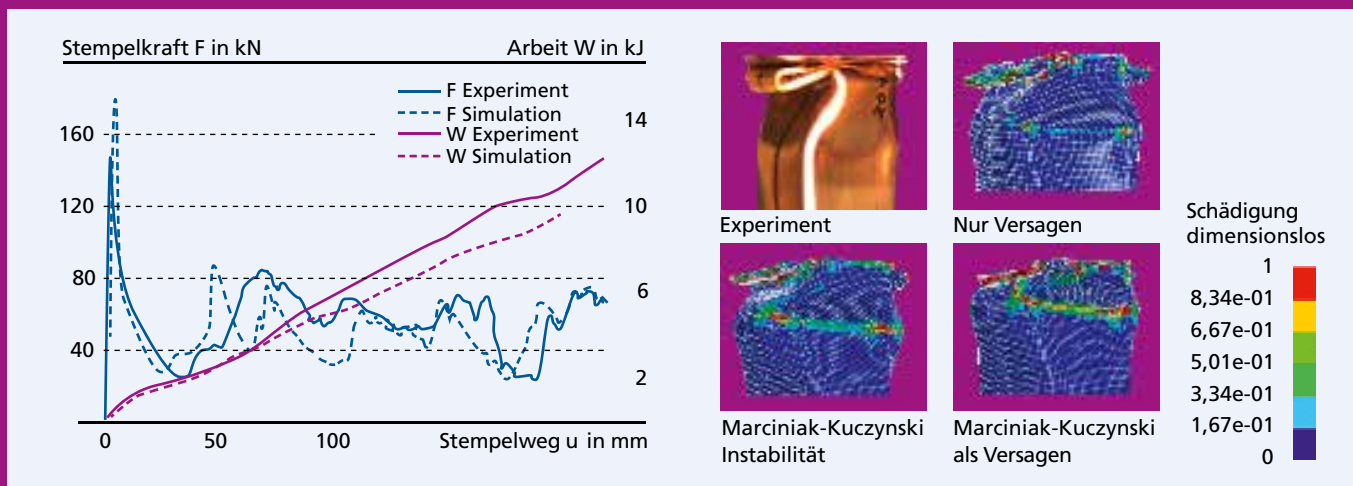
Die Instabilität beziehungsweise Schädigungsprozesse haben bei duktilen Werkstoffen auch einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung lokaler Spannungszustände. Bisher wurden Instabilitätsuntersuchungen primär in der Blechumformung unter geringeren Belastungsgeschwindigkeiten durchgeführt.



1 Exemplarische Simulationsauswertungen zur Instabilitätsbestimmung am Kerbzugversuch unter quasistatischer Belastung des hochfesten Dualphasenstahls HCT980X.



2 Vergleich zwischen analytischen Instabilitätsmodellen mit 3D-Probensimulationen, experimentelle Auswertung und Versagenskurve für einen Dualphasenstahl.



3 Vergleich des lokalen Versagensverhaltens und globalen Kraftverlaufs bei Stauchung eines lasergeschweißten Hohlprofils; Simulationen ohne Vordeformationen in Kantenbereichen.

Für Crashanwendungen relevante Wechselwirkungen des Belastungszustands und der Dehnrates auf Instabilität und Schädigung sind kaum systematisch untersucht. Die Instabilitätsmittlung verschiedener Belastungszustände basiert auf der Analyse des gemessenen Dehnungsfeldes oder des Kraftmaximums. Das Schnittlinienverfahren zur experimentellen Instabilitätsbestimmung von Grenzformänderungskurven ist ausschließlich für statische Versuche erprobt und nicht immer eindeutig. Deshalb wurden alternative Auswertungen zur Instabilitätsmittlung auf Basis des Dehnratenfeldes verwendet, die für dynamische Crashbelastungen eher geeignet sind. Am Fraunhofer IWM wurden zeitbasierte Methoden auf Basis der Ausdünnungsrate zur experimentellen Ermittlung der Instabilitätskurve erfolgreich eingesetzt.

Instabilitätsmodellierung und virtuelle Probenversuche

Da das Instabilitätsverhalten experimentell relativ aufwendig zu ermitteln ist, sind effizientere, alternative Methoden zweckmäßig. Dazu können analytische Ansätze (nach Swift, Marciniak-Kuczynski, Hora oder andere) verwendet und mit entsprechenden Probensimulationen verifiziert werden (Abbildung 1), um dadurch das für die untersuchten Werkstoffe bestmögliche analytische Modell zu identifizieren (Abbildung 2). Hierfür sind ausschließlich Fließkurven nötig, weil die Instabilität im Wesentlichen durch das plastische Deformationsverhalten determiniert ist. Da die analytischen Modelle für Umformanwendungen bei entsprechend geringen Dehnraten entwickelt wurden, kann mit den ergänzenden Probensimulationen der Dehnrateneinfluss ebenfalls untersucht werden.

Ein Vergleich experimentell ermittelter Instabilitätsmessungen für Stahlsorten zeigt gute Übereinstimmung mit den Probensimulationen (Abbildung 2). Die ermittelten Instabilitätspunkte

aus den Probensimulationen dienen zur Identifikation des geeignetsten analytischen Instabilitätsmodells. Damit ist das Verhalten über den gesamten Mehrachsigen-, aber auch Dehnratenbereich beschreibbar. Auf Basis der entwickelten Methodik ist es ohne zusätzliche Versuche und mit adäquatem Simulationsaufwand möglich, entsprechende Instabilitätskurven zu berechnen, die auch zur Kalibrierung des Elementgrößeneinflusses verwendbar sind. Es konnte gezeigt werden, dass die Ermittlung des Instabilitätsverhaltens aus den lokalen transienten Entwicklungen der Dehnraten tendenziell besser geeignet ist als die bisher üblichen ortsbezogenen dehnungsbasierten Methoden. Zudem ist die verwendete zeitbasierte Methode der lokalen Dehnratenentwicklung für unterschiedlichste Probengeometrien sowie Belastungsgeschwindigkeiten einsetzbar und somit flexibel.

Instabilitätseinfluss bei komplexen Bauteilen

Die entwickelte Methodik wurde im Rahmen eines Industrie-Projekts erarbeitet, wobei auch der Instabilitätseinfluss auf Simulationsmodelle komplexer Bauteile (Stauchungsversuche lasergeschweißter Hohlprofile, Abbildung 3) untersucht wurde. Dabei zeigten sich bei Verwendung des Instabilitätslimits als Versagenskurve signifikante Auswirkungen auf die lokalen Bauteilfehlstellen, wobei die Einflüsse unterschiedlicher Instabilitätsmodelle bei gegebener Versagenskurve auf die örtliche Rissbildung moderat sind. Das Bauteilglobalverhalten wird kaum beeinflusst.

Dr. Andreas Trondl, Dr. Dong-Zhi Sun