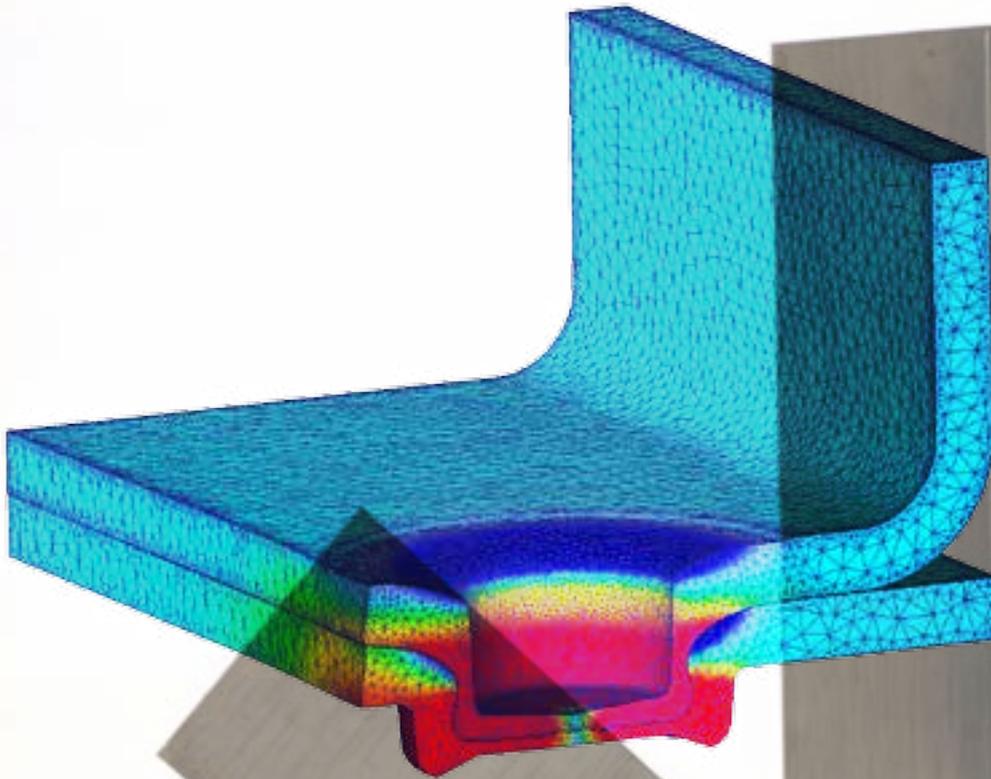
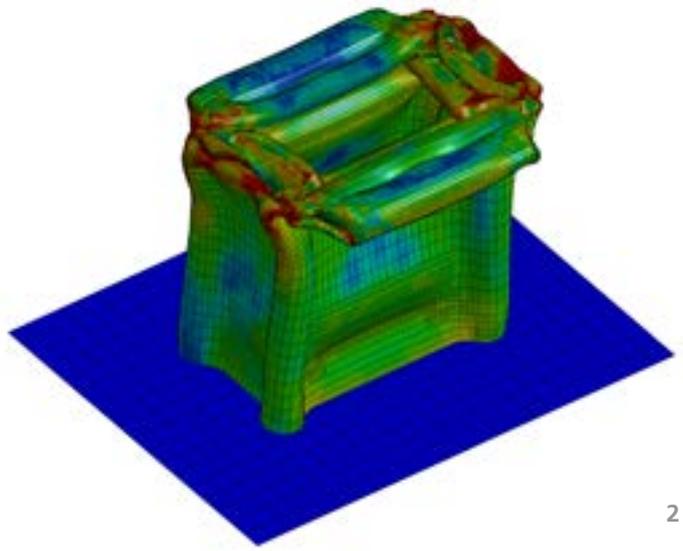


NUMERISCHE SIMULATION BEIM MECHANISCHEN FÜGEN





1



2

NUMERISCHE SIMULATION ... VOM FÜGEN BIS ZUM CRASH

ANALYSE UND AUSLEGUNG VON PROZESSEN, WERKZEUGEN UND STRUKTUREN

Das Multi-Material-Design stellt unterschiedlichste Anforderungen an die Eigenschaften von Fügeverbindungen und mechanischen Fügeverfahren. So ist zum Beispiel die Auslegung der Fügestellen oder die Entwicklung der passenden Fügeprozesse häufig sehr aufwendig. Die numerische Simulation ermöglicht mit Berechnungsmodellen und Analysen die Unterstützung dieser Planungsprozesse.

Wir nutzen die numerische Simulation für die Bearbeitung folgender Aufgabenbereiche des mechanischen Fügens:

Fügeprozess

- Verfahrensentwicklung
- Prozessanalyse, Prozessoptimierung und Entwicklung robuster Fügeprozesse
- Optimierung von Fügewerkzeugen und Hilfsfügeteilen

Prozesskette

- Toleranzprognose in den Prozessketten Spannen, Fügen (z. B. Clinchen, Stanznieten, Widerstandspunktschweißen, Laserschweißen, Falzen), Ofenprozess und Montage
- Planung von Stellmaßnahmen an Fügeanlagen sowie Optimierung von Fügefolgen

Konstruktion

- Auslegung von Fügeverbindungen und Festigkeitsnachweis
- Beanspruchung der Fügestelle hinsichtlich Festigkeit und Nachgiebigkeit unter Betriebsbelastung (statisch, zyklisch, Crash)

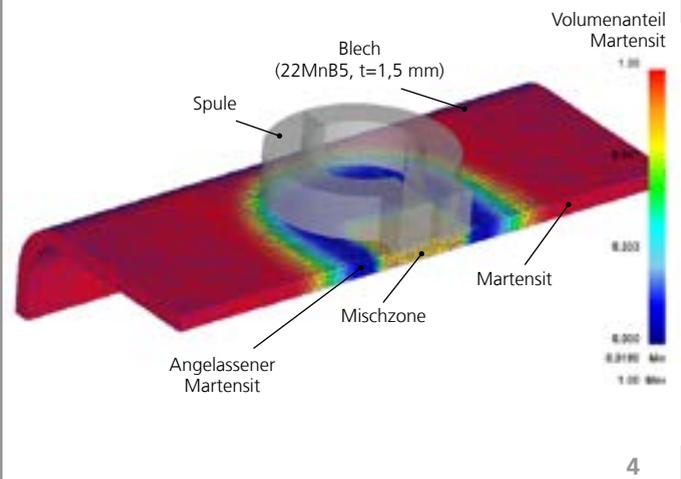
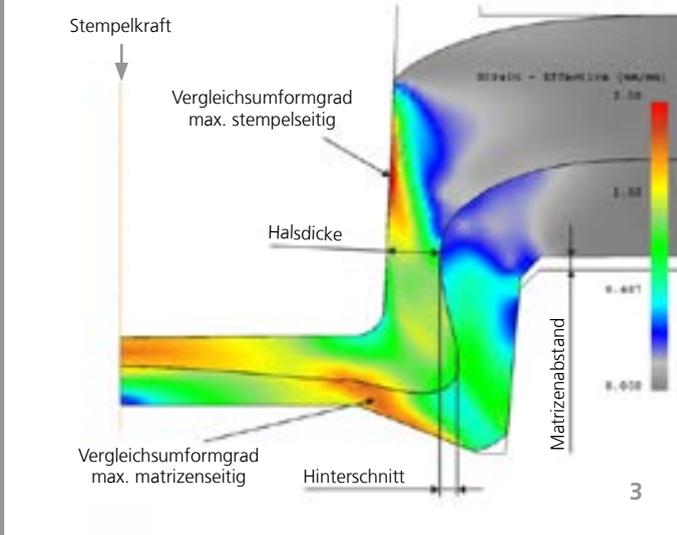
Unser Angebot

Die Simulationssoftware wird entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellung ausgewählt. Bei Bedarf werden sowohl die Berechnungssoftware angepasst als auch spezifische Modelle, insbesondere Ersatzmodelle für Fügestellen, entwickelt. Die Berechnungsergebnisse werden im Experiment verifiziert. Am Fraunhofer IWU stehen dafür seriennahe Anlagentechnik zum Fügen sowie umfangreiche Messtechnik für die Prüfung zur Verfügung.

1 *Halbhohlstanznieten einer Aluminium-CFK-Verbindung (links: Experiment, rechts: FE-Simulation)*

2 *Simulation Crashbox*

3 *Bewertung der Qualität eines Clinchpunktes in der FE-Simulation*



PROZESSSIMULATION ... FINDEN, WAS MACHBAR IST

FÜGEPROZESSE KOMPLEX ANALYSIEREN

Mit der numerischen Simulation wird die Prozessentwicklung unterstützt. Prozessvarianten mit sehr komplexen Wirkmechanismen, die experimentell nur aufwendig oder nicht erzeugt werden können, sind auf diese Weise analysier- und bewertbar. Dabei wird ein umfassendes Prozessverständnis erarbeitet und die Machbarkeit eingeschätzt. In der Regel ist nur eine stichprobenartige experimentelle Verifizierung der Berechnungsergebnisse notwendig.

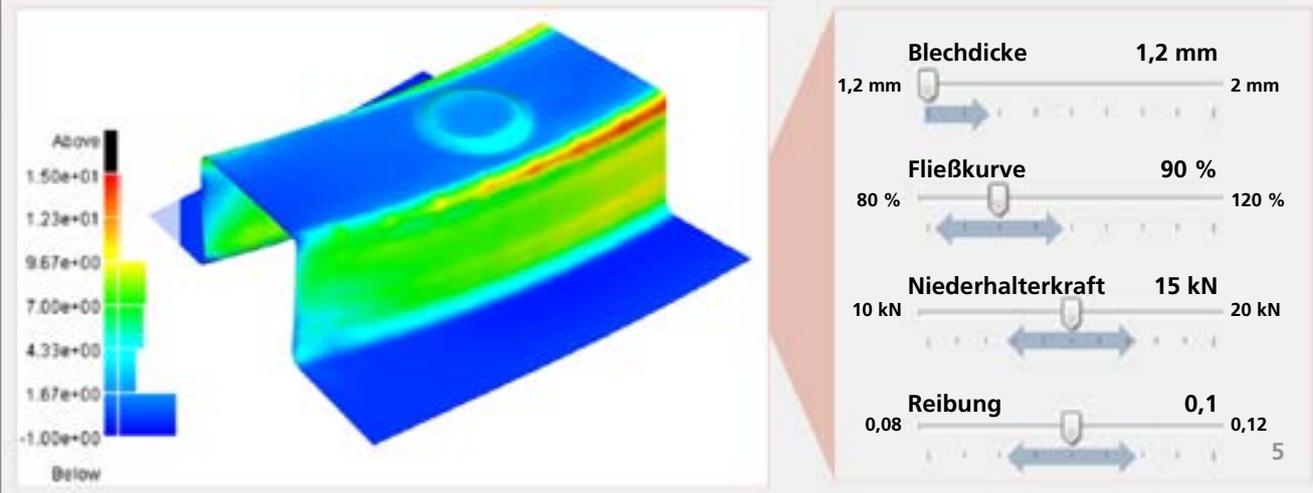
Die FE-Simulation eines mechanischen Fügeprozesses ist vergleichbar mit der Simulation eines Massivumformprozesses, jedoch bestehen besondere Herausforderungen hinsichtlich des Auftretens mehrerer elastisch-plastischer Objekte im Modell, großer Umformgrade bis hin zur Werkstofftrennung, der Darstellung von Werkstofftrennungen, hoher Umformgeschwindigkeiten bei Hochgeschwindigkeitsprozessen, lokaler Temperierungen oder der Verwendung von Klebstoff zwischen den Fügepartnern.

4 *FE-Simulation der lokalen thermischen Konditionierung einer Fügestelle für das mechanische Fügen*

5 *Interaktive Darstellung der Wirkung von Prozesseinflussgrößen auf Zielgrößen auf Basis von mehrdimensionalen Metamodellen*

Unser Angebot

- Entwicklung neuer Fügeverfahren, z. B. Clinchen mit ebenem Gegenwerkzeug oder Stechnieten
- Untersuchung von Spannungs- und Deformationszuständen in den Fügeanteilen sowie der Geometriebildung an der Fügestelle bei Verfahrensentwicklungen
- Optimierung von Fügewerkzeugen und Prozessparametern für gegebene Materialpaarungen hinsichtlich Prozesssicherheit und Qualität der Verbindung (Festigkeit, Steifigkeit)
- Reduzierung der Anzahl von Werkzeugsätzen für das mechanische Fügen durch Kompromissauslegung
- 3D-Analysen von lokalen Bauteildeformationen an der Fügestelle, z. B. Fügestellen am Bauteilrand, bei Werkzeugsymmetrien und -kipplehnen
- Entwicklung thermisch unterstützter Verfahren für hoch- und höchstfeste Werkstoffe, z. B. Presshartstahl, hochfestes Aluminium oder Magnesium
- Analyse von Schädigungen an der Fügestelle oder an den Verbindern



SENSITIVITÄTSANALYSE UND OPTIMIERUNG

... SIMULATION EFFIZIENT EINSETZEN

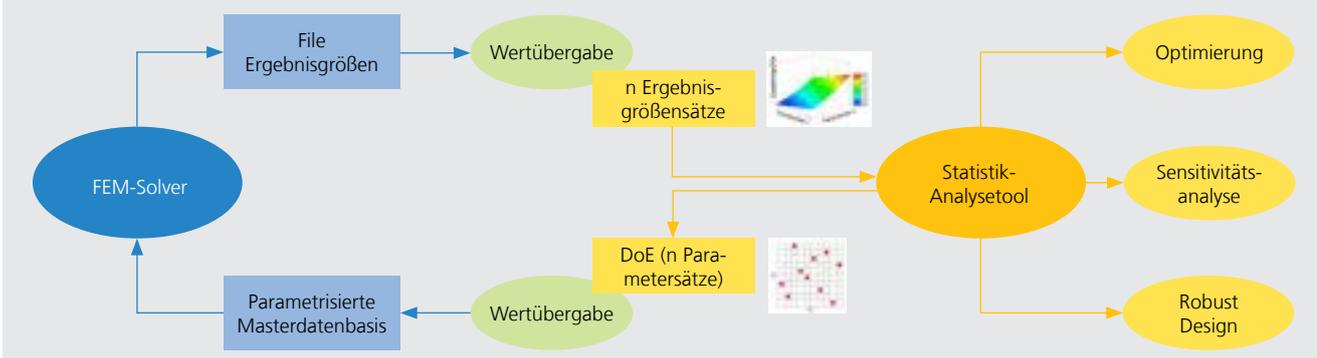
KOPPLUNG VON SIMULATION UND STATISTISCHEN METHODEN

Die Analyse einer Vielzahl von Variantenrechnungen der FE-Simulation mit statistischen Methoden gestattet das Erkennen und Darstellen komplexer Zusammenhänge von Einflussgrößen mit Ergebnisgrößen für verschiedenste Aufgabenstellungen. Für die Berechnung von Problemvarianten werden parametrisierte FE-Modelle automatisch dem FE-Solver zugeführt und nach der Berechnung die Ergebnisgrößen ausgewertet. Die Berechnungsergebnisse werden anschließend, abhängig von der Aufgabenstellung, mit angekoppelten statistischen Methoden ausgewertet und in Metamodellen zusammengefasst.

Für diese effiziente Analyseverfahren sind beim mechanischen Fügen z. B. folgende Anwendungsszenarien möglich:

- Sensitivitätsanalysen zur Identifikation qualitätsrelevanter Prozessparameter
- Optimierung von Fügwerkzeugen und Fügeanlagen oder von Fügeprozessen und Prozessketten
- Gestaltung robuster Fertigungsprozesse mit dem Ziel der Erhöhung der Prozesssicherheit

Prinzip der Kopplung von FE-Berechnung und statistischen Methoden für Sensitivitätsanalysen, Optimierungsrechnungen und Robustheitsbewertungen





KALIBRIERUNG UND VERIFIZIERUNG

... DAMIT ALLES PASST

KENNWERTERMITTLUNG

Die numerische Simulation erzeugt stets nur ein Abbild von realen Strukturen und Zusammenhängen auf der Basis von Annahmen und mathematischen Modellen. Neben der Auswahl geeigneter Modelle hat die exakte Identifikation der Modellparameter eine grundlegende Bedeutung für die Qualität der Berechnungsergebnisse. Zu diesen Modellparametern gehören Kennwerte für:

- Materialmodelle (Beschreibung von elastischem, plastischem oder viskosem Materialverhalten, z. B. Fließ- und Fließortkurven, Verfestigungsregeln, thermische Kennwerte, Gefügeentwicklung)
- Reibmodelle
- Schädigungsmodelle (Darstellung von Materialtrennung, Prozessfehlern, Strukturversagen)
- Ersatzmodelle für Fügstellen (Steifigkeit, Festigkeit, Deformation)

Diese Kennwerte werden in hinreichender Genauigkeit für die Arbeitsbereiche der Modelle auf der Basis von Experimenten ermittelt. Sie werden sowohl nach geltenden Normen und Richtlinien identifiziert als auch mit Methoden ermittelt, die am Fraunhofer IWU für die spezifischen Anforderungen an die Modellierung des mechanischen Fügens ertüchtigt oder neu entwickelt werden. Im Fokus stehen hier die Bestimmung von Fließkurven für sehr große Umformgrade und Schädigungskennwerte für die Darstellung der Materialtrennung in FE-Modellen und die Bewertung von Schädigungen in den Fügeteilen.

In komplexen Simulationsmodellen für Strukturberechnungen können Fügstellen durch Ersatzmodelle substituiert werden. Für diese Ersatzmodelle wird das Last-Deformations-Verhalten von Fügstellen mit der Methode der Relativverschiebungsmessung charakterisiert. Bei Toleranzprognosen für den Zusammenbau von Blechbaugruppen wird in Ersatzmodellen für die Fügstellen die Beschreibung lokaler Deformationen benötigt. Deren Messung erfolgt an speziellen Kalibriermodellen, vorzugsweise mit optischer Messtechnik.

Unser Angebot

Wir bieten die Ermittlung von Modellparametern im Rahmen von Forschungsprojekten oder als eigenständige Dienstleistung an.

6 Prüfvorrichtung zur Messung der Relativverschiebung zwischen gefügten Bauteilen zur Ermittlung von Last-Deformations-Verläufen an der Fügestelle

7 Messung der Reibkräfte an der Mantelfläche eines Halbhohlstanzen

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0
Fax +49 371 5397-1404
info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

Abteilung Mechanisches Fügen

Dipl.-Ing. (FH) Christian Kraus
Telefon +49 351 4772-2420
Fax +49 351 4772-6-2420
christian.kraus@iwu.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik IWU 2021