

Teil 1: Numerische Simulation in der Verbindungstechnik – Kleben

Der Stoff, der alles zusammenhält

Das Fügeverfahren Kleben wird in den unterschiedlichsten Branchen angewendet. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Auslegung von geklebten Fügestellen bietet die Simulation wertvolle Hinweise für deren Gestaltung und Bewertung und leistet so einen wichtigen Beitrag zur Sicherung einer hohen Produktqualität.

Zentrale Aussagen über Klebeverbindungen – unabhängig davon, ob es sich um verklebte Tragstrukturen im Fahrzeugbau, Implantate in der Medizintechnik, Glaselemente oder Holzlaminatträger im Baubereich, Magnete und Schleifringe in Elektromotoren oder Bauelemente in der Elektronik handelt – betreffen deren Festigkeit, um die übertragbaren Lasten zu quantifizieren. Aber auch der Einfluss der Klebeverbindung auf die Produkteigenschaften der Baugruppe, z.B. den Verzug durch Schrumpfung des Klebstoffs, wird untersucht, um die Produktqualität zu sichern. Zur Simulation von Klebeverbindungen werden zwei Modellierungsansätze genutzt, und zwar Materialmodelle oder Interface-Elemente.

Nutzung von Materialmodellen

Bei Materialmodellen wird die Klebeschicht geometrisch aufgelöst, entsprechend fein vernetzt und mit einem Materialverhalten versehen, das den gewünschten Effekt widerspiegeln kann. Typische Eigenschaften, die in ANSYS berücksichtigt werden:

- **Viskoelastizität**, dabei tritt neben einer instantanen Deformation der Klebeschicht eine zeitlich etwas verzögerte Verformung auf.
- **Kriechen**, hier führen kontinuierlich angreifende Lasten über lange Zeiträume



Klebe-, Schweiß- und Schraubverbindungen numerisch simulieren

Verbindende Elemente

Hohe Qualitätsanforderungen an Produkteigenschaften, Produktsicherheit und Kosteneffizienz erfordern die Absicherung von Bauteileigenschaften bereits in frühen Entwicklungsphasen. Die numerische Simulation basierend auf der FEM (Finite-Elemente-Methode) ist ein etabliertes Verfahren, das Entwicklungsingenieuren in verschiedensten Branchen nutzen, z.B. im Fahrzeugbau, in der Luftfahrt oder im Maschinenbau, um das Verhalten ihrer Produkte zu verstehen und zu verbessern. Der weitreichende Einsatz von Verbindungstechniken (auch Füge-techniken genannt) wie **Schweißen**, **Kleben** oder **Schrauben** erfordert, dass auch diese in der Produktsimulation mit abgebildet und nach dem Stand der Technik bewertet werden.

Die drei folgenden Artikel geben einen Einblick in die jeweiligen technischen Einsatzmöglichkeiten.

zu einer ansteigenden Deformation, die bis zum Bruch führen kann.

- **Thermische Dehnung**, bei der durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten und/oder Temperaturen der an der Klebeverbindung beteiligten Bauteile thermische Spannungen und Verzug entstehen.

Aufgrund der Offenheit von ANSYS konnte CADFEM für Kunden mittels Programmierung entsprechende Erweiterungen realisieren und damit erweiterte Anforderungen erfüllen. So lässt sich auch das Ermüden berücksichtigen. In diesem Fall führen zyklische Lasten, z.B. durch mechanische oder thermische Zyklen, zu einer Schädigung des Materials. Ebenso kann das Aushärten simuliert werden. Ab dem Übergang vom flüssigen in den festen Zustand – dem sogenannten Gelpunkt – werden die Klebeschichtelemente mechanisch aktiv. Sie sind zunächst spannungsfrei, mit fortschreitender Aushärtung können jedoch Eigenspannungen auftreten.

Einsatz von Interface-Elementen

Indem beim Einsatz von Interface-Elementen statt eines Materialmodells die Energie zum Aufreißen einer Klebeverbindung als beschreibende Größe genutzt wird, können nahezu beliebige Klebpaarungen simuliert werden, ohne die Klebeschicht selbst im Detail abzubilden. Die

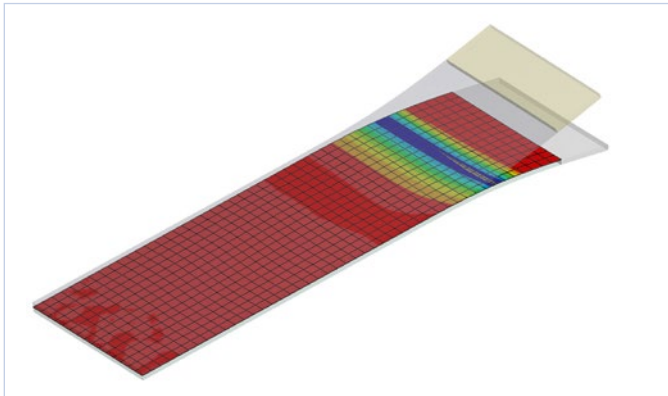


Bild 1: Aufreißende Klebeschicht, die mit Interface-Elementen in ANSYS abgebildet wird.

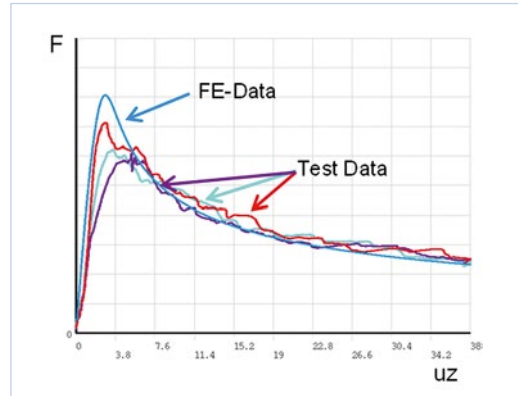


Bild 2: Der Abgleich von realem und simuliertem Klebstoffversuch.

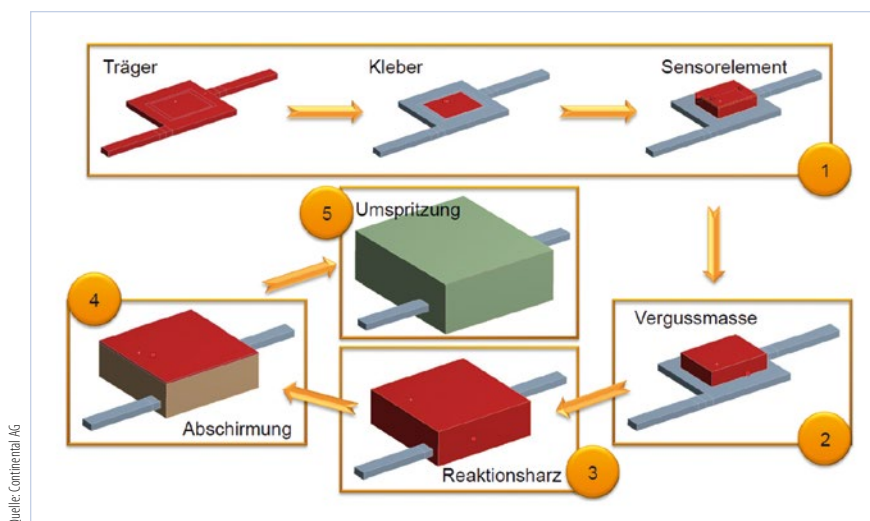


Bild 3: Fertigungs- und Simulationsprozess für das Verkleben und Umspritzen von Sensorelementen.

Parameter für diese Rissfortschrittsenergie rate lassen sich direkt an den Kontakten hinterlegen, die die Klebeschicht ersetzen und dadurch die Klebeeigenschaft abbilden. Dieser phänomenologische Ansatz kann genutzt werden, um das Strukturverhalten vom ersten Versagen bis zum kompletten Abreißen der Klebung zu simulieren. Zyklische Lasten und ein Schließen der Klebeverbindung sind damit jedoch nicht abbildbar (Bild 1).

Messdaten sind unabdingbar

Für beide Modellierungsansätze sind Messdaten unabdingbar, die die Materialeigenschaften entsprechend den späteren Fertigungs- und Einsatzbedingungen (wie Temperatur und Feuchte) erfassen können. Durch den Abgleich von realem und simuliertem Klebstoffversuch lassen sich die erforderlichen Materialparameter ermitteln, um belastbare Aussagen in der eigentlichen Produktsimulation zu erzielen (Bild 2).

Die parametrische Durchgängigkeit von ANSYS Workbench lässt sich für den

Abgleich von Berechnungsergebnissen mit Testergebnissen ideal durch die Software optiSLang zur Sensitivitätsanalyse und Optimierung ergänzen. Das Finden der Materialparameter kann als Optimierungsaufgabe verstanden werden, bei der das Abweichen der Simulationsergebnisse von einer Referenz – das Ergebnis aus dem realen Test – minimiert wird. Dieser Abgleich von Simulationsmodellen mit Versuchsdaten durch Änderung der Modellparameter wird oft als Parameteridentifikation, model update oder reverse engineering bezeichnet und durch die systematische Vorgehensweise mit optiSLang gegenüber einer manuellen Variation deutlich beschleunigt.

Anwendungsfall bei Continental

Die Simulation des Verhaltens von Klebeverbindungen kann Teil eines umfangreicheren Workflows sein. So untersucht beispielsweise Continental den Einfluss des Verklebens und anschließenden Umspritz-

zens eines Sensors auf dessen mechanische Belastung und nutzt dafür einen gemeinsam mit CADFEM erarbeiteten Simulationsprozess (Bild 3).

Dabei wird Verzug und Schrumpfung durch das Abarbeiten der einzelnen Fertigungsschritte und des damit einhergehenden Aufheizens und Abkühlens erfasst, auch unter Berücksichtigung der Faserorientierung der kurzfaserverstärkten Ummantelung sowie der Erstarrungstemperatur des Klebstoffs. Ziel dieser Analysen sind „Vorhersagen über die Performance und Robustheit von Sensorelementen unter Berücksichtigung der Einflüsse des Fertigungsprozesses“, so Jasmin Lohman von der Continental AG.

InfoAutor

Christof Gebhardt, CADFEM GmbH

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Christof Gebhardt
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-65
cgebhardt@cadfem.de

InfoVerwendete Software

ANSYS Workbench, optiSLang for ANSYS