

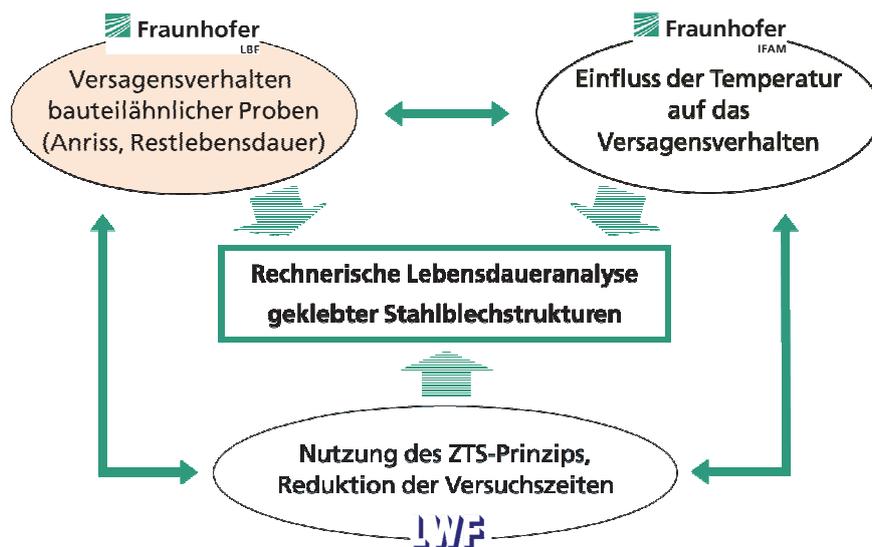
IGF-Vorhaben 428ZN

Laufzeit 01.05.2012 – 31.07.2015

Titel Auslegung von geklebten Stahlblechstrukturen im Automobilbau für schwingende Last bei wechselnden Temperaturen unter Berücksichtigung des Versagensverhaltens

Motivation

Zur Lebensdaueranalyse von Klebverbindungen werden in der Forschung aktuell verschiedene Methoden, wie z.B. das Strukturspannungskonzept, bruchmechanische Konzepte oder auch transiente Berechnungen auf Basis eines rheologischen Konzeptes, betrachtet. Die Methoden sind jeweils an/mit bestimmten Klebstoffsystemen kalibriert und die Übertragbarkeit auf geklebte Real-Strukturen und deren Versagensverhalten ist nicht uneingeschränkt gewährleistet. Ein weiterer Aspekt ist die Temperaturabhängigkeit der Klebstoffeigenschaften. Differenzierende Betrachtungen der Rissinitiierungs- und Rissfortschrittsphase bei unterschiedlichen Temperaturen mit anwendungsnahen Methoden zur rechnerischen Berücksichtigung wechselnder Temperaturen bei der Lebensdaueranalyse sind notwendig. Das Zeit-Temperatur-Superpositions-Prinzip (ZTS) findet bei Klebstoffen zu unterschiedlichen Zwecken Anwendung, z.B. zur Abschätzung von Steifigkeiten oder Festigkeitskennwerten für variierende Belastungszeiten. Eine systematische Anwendung zur Abschätzung von Klebverbindungseigenschaften unter schwingender Belastung für beliebige Temperaturen sowie verschiedene Probengeometrien wurde bisher nicht überprüft.



Das Forschungsvorhaben wurde an drei Instituten durchgeführt: Dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, Universität Paderborn sowie dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen.

Forschungsziel

Das Ziel dieses Vorhabens ist es, einen Beitrag zu einer zuverlässigeren Auslegung von geklebten Strukturen unter schwingender Belastung mit konstanten und variablen Amplituden sowie unter wechselnden Temperaturen auf Basis einer rechnergestützten Analyse der Lebensdauer unter Berücksichtigung des Versagensverhaltens zu leisten.

Ergebnisse

Im Projekt wurde das Versagensverhalten, d.h. die Lebensdauer bis zum technischen Anriss und die Restlebensdauer der Rissfortschritts-Phase, bei Raumtemperatur an verschiedenen Probekörpern (Detail-, Strukturproben sowie bauteilähnliche Proben) experimentell erfasst. Die Steifigkeit wurde als Führungsgröße identifiziert und mit den Rissgrößen korreliert. Die auf Basis experimenteller Untersuchungen ermittelten Korrelationen zwischen Riss- und Führungsgröße wurden rechnerisch mit numerischen Methoden (FEM) überprüft. Bei einer Bewertung der Schwingfestigkeit unter variablen Lastamplituden hat sich eine mittlere charakteristische Schadenssumme von $DC = 0.1$ ergeben. Diese wird für eine Schwingfestigkeitsbewertung von geklebten Strukturen zur Anwendung empfohlen. Die Lebensdauern der geklebten Strukturen bis zum technischen Anriss werden mit dem Strukturspannungskonzept und die Rissfortschrittsphasen auf Basis eines bruchmechanischen Konzeptes analysiert. Bei der Anwendung des Strukturspannungskonzeptes haben sich die Kennwerte aus einem abgeschlossenen Vorhaben bestätigt.

Die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauern der Anriss- und Rissfortschrittsphasen wurden mit verschiedenen Probekörpern (Substanz-, Schrägzug- und Scherzugproben für die Anriss-Phase sowie TDCB-Proben für die Rissfortschritts-Phase) untersucht. Auf Basis des Strukturspannungskonzeptes wurde die Lebensdauer bis zum technischen Anriss bei Temperaturen zwischen $T = -35\text{ °C}$ und $T = 80\text{ °C}$ abgeschätzt. Dabei ergab sich für Proben mit einer weitgehend homogenen Spannungsverteilung in der Klebfuge eine relativ gute Abschätzung der Lebensdauer auf Grundlage des Strukturspannungskonzeptes.

Parameter, die in diesem Zusammenhang experimentell ermittelt wurden (z.B. Wöhlerlinien-Parameter oder Rissfortschrittsgeschwindigkeiten), zeigen beim untersuchten Klebstoff eine gute $1/T$ -Abhängigkeit. Das bietet die Möglichkeit diese Parameter, die das temperaturabhängige Schädigungsverhalten beschreiben, durch Interpolation zu ermitteln, was aufwändige Versuche einspart und am Beispiel der Rissfortschrittsgeschwindigkeit dargestellt wird.

Bei den Untersuchungen mit kombinierten Last- und Temperaturwechseln konnte gezeigt werden, dass eine merklich höhere Schädigung in die untersuchten Fügeverbindungen eingebracht wurde als bei Lastwechseln unter konstanten Temperaturrandbedingungen.

Die Anwendung des ZTS-Prinzips zur experimentellen Abschätzung der Verbindungseigenschaften bei relevanten Temperaturen zeigte nahezu identische Shiftfaktoren für die betrachteten Versuche an runden Kopfzug- und dicken Zugscherproben unter quasistatisch-zügiger Belastung. Die versuchsübergreifende Ermittlung von Werkstoffkenngrößen wie Schubmodul, Fließgrenze sowie maximale Spannung und ein anschließendes Übertragen der temperaturabhängigen Shiftfaktoren von der dicken Zugscherprobe auf die runde Kopfzugprobe konnte während des Projektes belegt werden.

Weiterhin konnten Verschiebungsfaktoren, welche unter quasistatisch-zügiger Belastung ermittelt wurden, auf Kennwerte der Schwingfestigkeitsprüfung für einen eingeschränkten Bereich von -20 °C bis 60 °C übertragen werden. Für diesen Temperaturbereich galt eine gute

Übereinstimmung der Shiffaktoren untereinander. Durch das Anwenden des im Rahmen des Projektes abgesicherten ZTS-Prinzips ergibt sich die Möglichkeit einer beschleunigten und damit wirtschaftlichen Prüfung von Klebverbindungen bei langen Belastungszeiten.

Zusätzlich können die experimentell ermittelten Verschiebungsfaktoren mithilfe einer Arrhenius-Funktion beschrieben werden. Dadurch ist es möglich Shiffaktoren für Temperaturen zu bestimmen, die aufgrund aufwendiger Versuche oder fehlender Versuchsanlagen nicht betrachtet werden können.

Während an runden Kopfzug-/ dicken Scherzugproben annähernd homogene Spannungsverteilungen in der Klebschicht auftreten, spielt bei den T-Stößen der Bauteileinfluss eine große Rolle. Aus der Bauteilgeometrie sowie aus der Bauteilverformung resultieren lokale Spannungsüberhöhungen, die das Versagen der Klebverbindung stark beeinflussen. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der vorliegenden unterschiedlichen Spannungsverteilungen die an Laborproben (runde Kopfzug-/ dicke Zugscherproben) ermittelten Shiffaktoren nicht, wie geplant, auf die T-Stöße sowie einfach überlappte Zugscherproben übertragen werden können.

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 428 ZN der Forschungsvereinigungen Automobiltechnik (FAT) e.V. des VDA und Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Für diese Förderung sei gedankt.

Ebenfalls gedankt sei für die Unterstützung durch die Forschungsvereinigung Automobiltechnik FAT. Gleichfalls danken wir den im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Unternehmen für ihre fachliche Unterstützung.

Kontakt: Dr. Jörg Baumgartner, Tel.: +49 6151 705-474; joerg.baumgartner@lbf.fraunhofer.de