



LASERVERFESTIGTE STAHLBLECHSTRUKTUREN – JETZT AUCH ZYKLISCH HOCH BELASTBAR!

DIE AUFGABE

Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben für die Automobilhersteller fordern eine drastische Limitierung der CO₂-Emissionen und forcieren damit die Entwicklung im Karosseriebau hinsichtlich effizienter Leichtbauweisen ohne Einschränkung der Fahrzeugsicherheit. Daraus ergeben sich immer höhere Anforderungen an die Beanspruchbarkeit bei immer komplexeren Strukturen. Mit konventionellen Konstruktionsprinzipien, die überwiegend auf der Verwendung homogener, hochfester Werkstoffe beruhen, sind diese Anforderungen künftig nicht mehr ausreichend umsetzbar.

Zur Verbesserung der Crasheigenschaften von Karosseriebauteilen aus Stahl wurde der innovative Ansatz der »Lokalen Laserfestigung« entwickelt. Durch eine gezielte Beeinflussung der lokalen Werkstofffestigkeit können damit Bauteileigenschaften präzise auf die wirkenden Belastungen abgestimmt werden. Eine deutliche Verbesserung der statischen sowie dynamischen (Crash-) Belastbarkeit von Stahlblechbauteilen wurde bereits nachgewiesen. Automobile Fahrwerks- aber auch Karosseriekomponenten unterliegen im Betrieb allerdings nicht nur statischen und stoßartigen sondern auch zyklischen mechanischen Beanspruchungen.

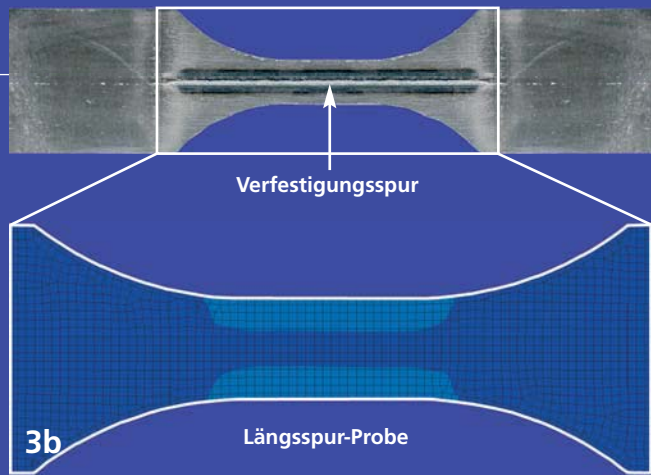
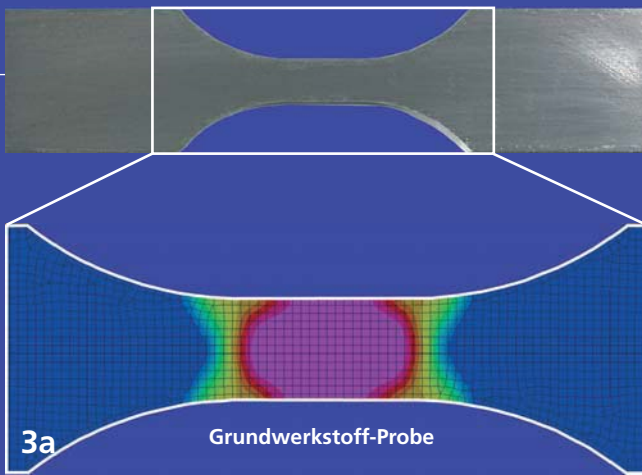
Die Aufgabe bestand daher in der Untersuchung des Einflusses von Laserfestigungsstrukturen auf das Schwingfestigkeitsverhalten fahrwerkstypischer Blechwerkstoffe. Dazu wurden qualitative Vergleiche zwischen laserfestigten Zuständen und dem reinen Grundwerkstoffzustand angestellt und so eine Basis zur Abschätzung des Effekts einer laserfestigten Struktur auf die Schwingfestigkeit und damit für die spätere Bauteilauslegung geschaffen.

UNSERE LÖSUNG

Das Verfahren der lokalen Laserfestigung zielt grundsätzlich auf den Einsatz kostengünstiger niedrigfester Stahlbleche mit minimierter Wandstärke ab, welche lediglich in hoch belasteten Bereichen lokal verfestigt werden. Zur Herstellung wird ein fokussierter Laserstrahl mit definierter Geschwindigkeit über die Blechoberfläche geführt. Infolge des konzentrierten Wärmeeintrags kommt es zu einer spurförmigen starken Erwärmung oder sogar zur Aufschmelzung mit anschließender Erstarrung (Abb. 2). Bei der anschließenden Abkühlung tritt für die überwiegend im Fahrzeugbau eingesetzten Stähle eine martensitische Härtung ein, welche gezielt als lokale Verfestigungsmethode genutzt wird. Damit kann die Zugfestigkeit in der Behandlungszone bis zu einem Faktor von 2,5 gegenüber der Grundwerkstofffestigkeit gesteigert werden.

Zur Untersuchung des Einflusses der Verfestigungsspuren auf die Schwingfestigkeit wurde gemeinsam mit der Abteilung Werkstoffcharakterisierung und -prüfung des IWS für einen fahrwerkstypischen Werkstoff (S355 J2+N) ein spezielles Prüfprogramm entwickelt. Darin wurde der Einfluss von Gestalt (Spurorientierung) und Oberflächenzustand im Zeit- sowie Dauerfestigkeitsbereich analysiert.

Die Versuchsmatrix umfasst die in Abbildung 4 dargestellten Varianten. Im überschlifften Zustand wurden die Schweißnahtkerben entfernt und für die gesamte Probenoberfläche eine mittlere Rauheit von $R_z \approx 6 \mu\text{m}$ eingestellt. Zusätzlich wurden FE-Simulationen (statisch nichtlinear) durchgeführt, um den Anteil der plastischen Dehnung infolge definierter Belastungsamplituden für verschiedene Spurorientierungen zu ermitteln.



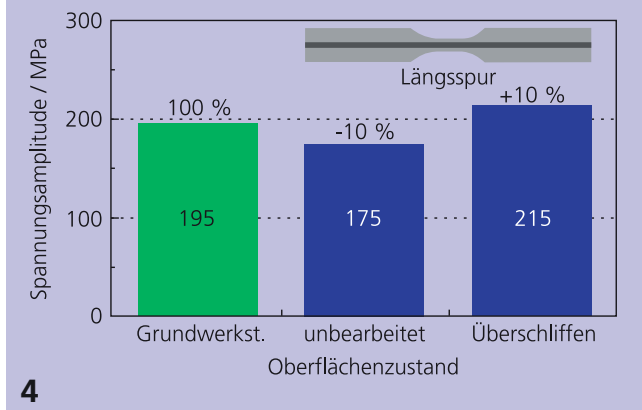
ERGEBNISSE

In der FE-Simulation wurden die Schwingproben mit einer definierten statischen Zugbelastung beaufschlagt und anschließend wieder entlastet (1 Zyklus). Bei der reinen Grundwerkstoffprobe stellt sich im Prüfbereich eine homogen verteilte bleibende plastische Dehnung ein (Abb. 3a). Bei gleicher Belastungsamplitude verbleibt bei einer Längsspurorientierung eine vernachlässigbar geringe plastische Dehnung im Bereich des Grundwerkstoffs (Abb. 3b). Als Ursache hierfür ist das deutlich höhere Fließspannungsniveau der Verfestigungsspur zu sehen. Dieses längsorientierte »Zugband« reduziert die bleibende Verformung, was auch eine wirksame Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit erwarten lässt.

Im überschlifften Zustand konnte mittels Längsspuranordnung sogar eine tendenzielle Verbesserung der Dauerfestigkeit erzielt werden (Abb. 4, blau überschlifft). Trotz eines relativ geringen Stichprobenumfangs für die hier vorgestellten Versuch, zeigten sich die grundsätzlichen Niveauunterschiede im Dauerfestigkeitsbereich auch für den Zeitfestigkeitsbereich.

Es konnte nachgewiesen werden, dass Verfestigungsspuren nicht nur für statisch und stoßartig beanspruchte Strukturen eingesetzt werden können, sondern unter Beachtung bestimmter Randbedingungen auch auf zyklisch beanspruchte Bauteile anwendbar sind. Während die Belastbarkeit insbesondere von Fahrwerkskomponenten für stoßartige Missbrauchslastfälle maßgeblich erhöht wird, konnten erfolgreich Strategien zur Beibehaltung der Schwingfestigkeit des Grundwerkstoffs identifiziert werden. Eine tendenzielle Verbesserung kann bei einer weiteren Prozessoptimierung erwartet werden, wodurch beispielsweise auf ein zusätzliches Überschleifen der Proben verzichtet werden könnte.

Ergebnisse der Dauerschwingfestigkeit für eine Grenzlastspielzahl von $N = 2 \cdot 10^6$



Bei einer Spuranordnung längs zur Belastungsrichtung tritt im unbearbeiteten Zustand die Rissinitiierung an der Randkerbe der Verfestigungsspur auf. Die Stützwirkung der Spur bewirkt bei gleicher Belastungsamplitude insgesamt eine geringere Dehnungsamplitude und kann damit den festigkeitsreduzierenden Effekt der geometrischen Kerbe nahezu ausgleichen. Die Dauerfestigkeit wird im Vergleich zum Grundwerkstoffniveau nur leicht reduziert (Abb. 4, blau unbearbeitet).

- 1 Automobile Fahrwerksbaugruppe mit einem Stahlblech-Querlenker
- 2 Laserverfestigte Stahlblechstruktur
- 3 Vergleich der plastischen Dehnung an unbehandelten (a) und laserverfestigten (b) Schwingproben (gleiche Skalierung)

KONTAKT

Dipl.-Ing. Markus Wagner

+49 351 83391-3536

markus.wagner@iws.fraunhofer.de

