

1

## VERBESSERUNG DER SCHWINGFESTIGKEIT LASERSTRAHLGESCHWEISSTER TORSIONS- BELASTETER BAUTEILE

### DIE AUFGABE

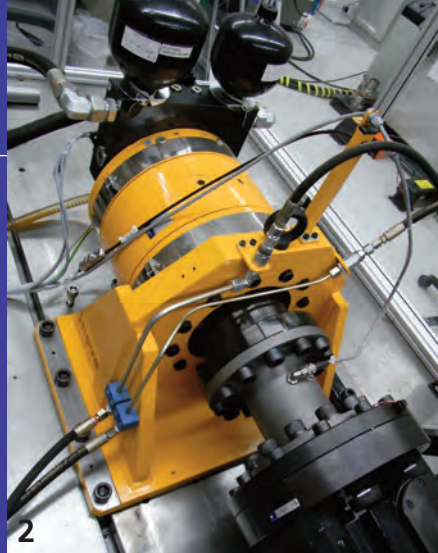
Die Umsetzung aktueller Leichtbaustrategien, insbesondere bei stoffschlüssigen Verbindungen im Antriebsstrang, erfordert genaue Kenntnisse über die Beanspruchbarkeit der gefügten Strukturen. Häufig handelt es sich dabei um Welle-Nabe-Verbindungen, bei denen Radial- oder Axial-Rundnähte mittels Laserstrahlschweißen hergestellt werden. Die Herausforderungen sowohl bei der konstruktiven Gestaltung als auch bei der Verfahrensentwicklung bestehen darin, einerseits prozesssichere Schweißtechnologien einzusetzen, mit denen die Festigkeits- und Zähigkeitsanforderungen an die Schweißnaht bestmöglich erfüllt werden, und andererseits über die Werkstoffauswahl sowie die Minimierung der Nahtlänge und der Einschweißtiefe einen möglichst geringen Materialeinsatz zu erreichen. Die derzeit maßgeblichen Regelwerke sehen bisher keinen rechnerischen Nachweis der Schwingfestigkeit für den Fall torsionsbelasteter Rundnähte vor, so dass die Bewertung ausschließlich auf der Basis von Schwingversuchen erfolgen kann. Zur Reduzierung des Kosten- und Zeitaufwands für Tests an kompletten Baugruppen, z. B. auf Getriebeprüfständen oder im Testbetrieb von Fahrzeugen, sind Versuche im Labormaßstab gefordert, bei denen ausschließlich die Schweißnaht auf Schwingfestigkeit geprüft wird. Damit wird in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium bereits eine Optimierung der Schweißtechnologie unter Berücksichtigung möglichst betriebslastennaher Beanspruchungssituationen erreicht.

### UNSERE LÖSUNG

Um die bestehende Lücke zwischen material- und kostenintensiven Baugruppenprüfungen und Laborversuchen an reinen Materialproben zu schließen, wurde am IWS ein

Torsions-Axial-Prüfsystem konzipiert und aufgebaut. Mit dieser Maschine können Drehmomente bis zu  $\pm 8$  kN m und Kräfte bis  $\pm 40$  kN mit Frequenzen bis zu 50 Hz aufgebracht werden, womit sich überlagerte Beanspruchungsfälle, wie sie häufig im Antriebsstrang auftreten, unter Laborbedingungen umsetzen lassen. Die aktuelle Forschungsarbeit ist darauf ausgerichtet, Strategien zur Bewertung der Schwingfestigkeit torsionsbelasteter Schweißverbindungen zu erarbeiten und damit eine zuverlässige Basis für die Bewertung der Ausfallsicherheit gefügter Strukturen zu schaffen. Da bei realen Bauteilen, z. B. Wellen mit aufgeschweißten Zahnrädern, eine direkte Lasteinleitung, wie sie im Betrieb auftritt, im Prüfsystem oft nur eingeschränkt möglich ist, empfiehlt es sich, bauteilähnliche Prüfkörper zu entwickeln (Abb. 1).

Bei diesen werden die Schweißnaht und deren Umgebung hinsichtlich Geometrie, Steifigkeit und Wärmeableitungsbedingungen möglichst genau dem Realbauteil nachgebildet und die Einspannung in das Prüfsystem wird so realisiert, dass die Kraft- und Momenteinleitung in die Probe der realen Beanspruchungssituation im gefügten Bereich möglichst genau entspricht. Weiterhin wird festgelegt, wie der im Allgemeinen mehrachsige Spannungszustand in der Schweißnaht und der Wärmeeinflusszone durch ein Prüfprogramm optimal abgebildet werden kann. Mithilfe von Finite-Elemente-Analysen findet ein Abgleich der Beanspruchungssituation im Bauteil unter Einsatzbedingungen mit dem Prüfkörper unter der Belastung im Prüfstand statt. Das Prüfprogramm (z. B. wirkende Kräfte und Momente, Phasenlage, Spannungsverhältnisse) wird auf Grundlage dieser Rechnungen so gewählt, dass die lokalen Beanspruchungsmaxima im Prüfkörper den Werten an der am höchsten beanspruchten Stelle des Bauteils entsprechen. Die am IWS im Einsatz befind-



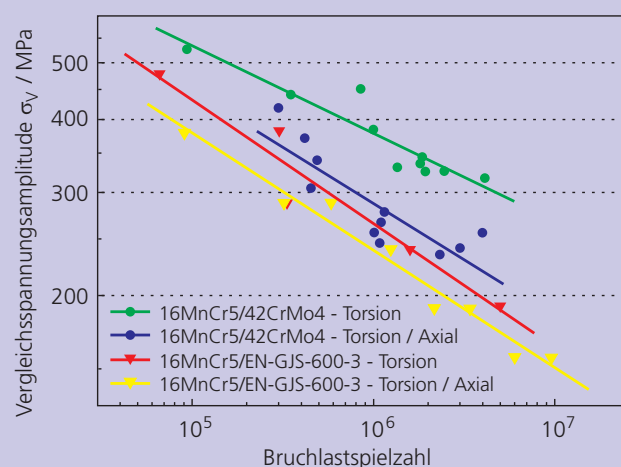
liche Anlage (Abb. 2) erlaubt die Durchführung von Betriebsfestigkeitsversuchen mittels gestufter Lastkollektive oder Einstufenversuchen bei überlagerten Zug- und Druck-Mittellasten. Als zeit- und kosteneffektive Variante für vergleichende Bewertungen der Schwingfestigkeit von Rund-Schweißnähten im Sinne einer Prozessparameter-Studie hat sich der Einsatz von Sonderverfahren (Treppenstufenverfahren oder Abgrenzungsverfahren) bewährt.

## ERGEBNISSE

In einer Serie von Torsionsversuchen mit speziellen Welle-Scheibe-Prüfkörpern (Abb. 1) wurde der Einfluss des Wellenwerkstoffs sowie die Wirkung einer zusätzlich zur Torsion wirkenden Axialkraft, die in der Schweißnaht eine Biegebeanspruchung bewirkt, auf die Schwingfestigkeit untersucht. Für zwei Werkstoffpaarungen – Vergütungsstahl/Einsatzstahl sowie Guss mit Kugelgraphit/Einsatzstahl – wurden mittels Laserstrahlschweißen Axial-Rundnähte gleicher Geometrie hergestellt, wobei jeweils ein Schweißzusatzwerkstoff Verwendung fand. Anhand der Wöhlerkurven im Zeitfestigkeitsbereich (Abb. 3) lässt sich erkennen, dass für die

schwer schweißbare Verbindung des Gusswerkstoffs EN-GJ-600-3 mit dem Einsatzstahl 16MnCr5 relativ hohe Schwingfestigkeiten erreicht werden, die nicht wesentlich unter denen für Schweißnähte mit dem Vergütungsstahl 42CrMo4 als Wellenwerkstoff liegen. Selbst mit einem zusätzlich wirkenden Biegeanteil auf die Schweißnaht konnte durch eine gezielte Optimierung der Schweißparameter eine Schwingfestigkeit erreicht werden, bei der die Gussvariante noch den Forderungen an die Betriebsfestigkeit entspricht. Durch die enge Verzahnung von Schweißprozessentwicklung und betriebslastennaher Prüfung können den Kunden werkstoff- und beanspruchungsgerechte Lösungen angeboten werden.

Abhängigkeit der Bruch-Schwingspielzahl von der Vergleichsspannungsamplitude (Wöhler-Kurve im Zeitfestigkeitsbereich) für Torsions- und Torsions-Axial-Versuche an Prüfkörpern mit Axial-Rundnähten aus 16MnCr5/42CrMo4 und 16MnCr5/EN-GJS-600-3



3

- 1 Prüfkörper mit Axial-Rundnaht
- 2 Torsions-Axial-Prüfmaschine (Detail)

## KONTAKT

Dr. Jörg Bretschneider

Tel.: +49 351 83391-3217

joerg.bretschneider@iws.fraunhofer.de

