

Reliable Design of Chassis Safety Components Made of AFP Steel

Chassis parts made of AFP steel that are heat-treated directly from the forging heat have advantages over heat treatable steel because of shorter production process and clear process energy savings from lower manufacturing costs. On the other hand, there are lower ductility and slightly lower specific stability values. These and possible additional differences in the failure behaviour in contrast to conventional steel are the focal points of a research project about the reliable design of chassis safety components.

Betriebssichere Auslegung von Fahrwerkssicherheitsbauteilen aus AFP-Stahl

Dipl.-Ing. Andreas Herbert und
Dipl.-Ing. Steffen Schönborn, Darmstadt

Fahrwerksteile aus einem direkt aus der Schmiedehitze vergüteten AFP-Stahl haben gegenüber Vergütungsstählen durch den kürzeren Fertigungsprozess und die deutliche Einsparung von Prozessenergie Vorteile durch geringere Fertigungskosten. Dem gegenüber stehen eine geringere Duktilität und etwas geringere Festigkeitskennwerte. Diese und mögliche weitere Unterschiede im Versagensverhalten gegenüber konventionellen Stählen bildeten die Schwerpunkte eines Forschungsprojekts zur betriebssicheren Auslegung von Fahrwerkssicherheitsbauteilen.

Ziele

Das Projekt sollte aufzeigen, wie sich die Schwingfestigkeitseigenschaften der AFP-Stähle von denen der etablierten Vergütungsstähle nicht nur unter Einstufenbelastungen, sondern besonders auch unter fahrbetriebsähnlichen Beanspruchungskollektiven unterscheiden und wie dies bei der Bemessung gegebenenfalls zu berücksichtigen ist. Bemessungskriterien, welche eine absolute Bewertung von AFP-Bauteilen erlauben, wurden für die im Projekt beispielhaft untersuchten Fahrwerksbauteile erarbeitet und zur Anwendung gebracht.

Das Verhalten von Bauteilen aus AFP-Stahl unter schlagartiger Beanspruchung gilt als etwas weniger robust als jenes von Vergütungsstählen: AFP-Stähle stehen im Ruf, ein sprödebruchartiges Bruchverhalten zu besitzen. Anhand umfangreicher Versuchsreihen sollte daher hinterfragt und vor allem quantifiziert werden, ob diese Annahme überhaupt zutreffend ist. Es sollte weiterhin erarbeitet werden, ob die ausgewählten Fahrwerkskomponenten als AFP-Bauteile die im Betrieb zu erwartenden schlagartigen Belastungen versagensfrei ertragen.

Vorgehensweise

Als Untersuchungsobjekt wurden zwei Sicherheitsbauteile aus dem Fahrwerk ausgewählt, ein Nutzfahrzeug-Achsschenkel und ein Nutzfahrzeug-Lenkhebel. Diese waren jeweils aus den AFP-Werkstoffen 30MnVS6+Ti und 18MnVS5 sowie (stichprobenartig) aus Vergütungsstahl 38MnB5 gefertigt und wurden in Versuchen vergleichend auf ihre Schwingfestigkeit, Betriebsfestigkeit und ihr Verhalten unter einer schlagartigen Belastung untersucht.



Bild 1: Versuchsbauteile Nutzfahrzeug-Achsschenkel und Nutzfahrzeug-Lenkhebel.

Die Ergebnisse wurden sowohl an Proben als auch an einer Vielzahl von realen Bauteilen gewonnen und untereinander verglichen. Die aus diesen Ergebnissen ableitbare Übertragung der Werkstoffkennwerte auf das Bauteilverhalten unter den zu erwartenden Betriebsbelastungen stellt den Kern des Bemessungskonzepts dar. Hierfür wird der Einfluss der Kerbschärfe und der Oberflächenbeschaffenheit auf das Versagensverhalten ebenso einbezogen wie die zu ermittelnde rechnerische Schadenssumme zur Durchführung von Schadensakkumulationsrechnungen beziehungsweise rechnerischen Lebensdauerabschätzungen. Die Übertragung der ermittelten bruchmechanischen Kennwerte auf den Rissfortschritt im Bauteil stellt eine weitere Linie bei der Bestimmung der Übertragbarkeit der Ergebnisse von der Probe zum Bauteil dar. Das

Rissfortschrittsverhalten realer Bauteile wird hierbei unter konstanten und variablen Amplituden ermittelt und mit bruchmechanischen Rissfortschrittsrechnungen verglichen. Das Bemessungskonzept umfasst somit die Definition der Betriebslasten für die gewählten Bauteile, die Übertragungsparameter zwischen Werkstoffprobe und Bauteil sowie eine abschließende statistische Absicherung der Ergebnisse im Hinblick auf die Ausfallwahrscheinlichkeit. Dieses Bemessungskonzept kann unter Kenntnis der geänderten Betriebslasten und einer experimentellen oder numerischen Spannungsanalyse auf weitere Bauteile aus AFP-Stählen angewendet werden.

Schwingversuche an Bauteilen

An beiden Komponenten wurden Biegeversuche sowohl unter Einstufenbelastung

(Bild 2, linker Bereich: 2 Geraden mit $k = 7,2$) als auch unter variablen Lastamplituden (betriebsähnlich, Bild 2, rechter oberer Bereich mit $k = 9,8$) durchgeführt. Hierbei weist der 30MnVS6+Ti eine höhere Lebensdauer auf als der 18MnVS5, während die Festigkeitskennwerte des Vergütungsstahls oberhalb beider AFP-Stähle liegen. Es konnte gezeigt werden, dass bei einwandfreier Gefügeausbildung ein gutmütiges Risswachstumsverhalten vorliegt. Dieses Ergebnis entkräftet frühere gegenteilige Erkenntnisse, die der Verbreitung dieser Stähle bisher häufig entgegenstanden. Vermutlich resultierten solche Erkenntnisse aus Bauteilen mit abweichenden, nicht anforderungsgerechten Abkühlbedingungen und daraus folgenden unerwünschten Gefügeausbildungen (zum Beispiel Bainitanhäufungen). Ergebnisse der Dehnungsmessungen in den kritischen Bereichen der Bauteile konnten mit denen der Probenversuche und den FE-Rechnungen in Relation gebracht werden.

Schwingversuche an Proben

Die folgenden bauteilgebundenen Werkstoffeigenschaften konnten anhand von aus den Bauteilen entnommenen Materialproben mit verschiedenen Kerbgeometrien ermittelt werden:

- statische Werkstoffkennwerte und E-Modul,
- Wöhler- und Gaßnerlinien an gekerbten und ungekerbten Proben,
- Bruchzähigkeit,
- statische bruchmechanische Kennwerte,
- bruchmechanische Kennwerte bei zyklischer Belastung.

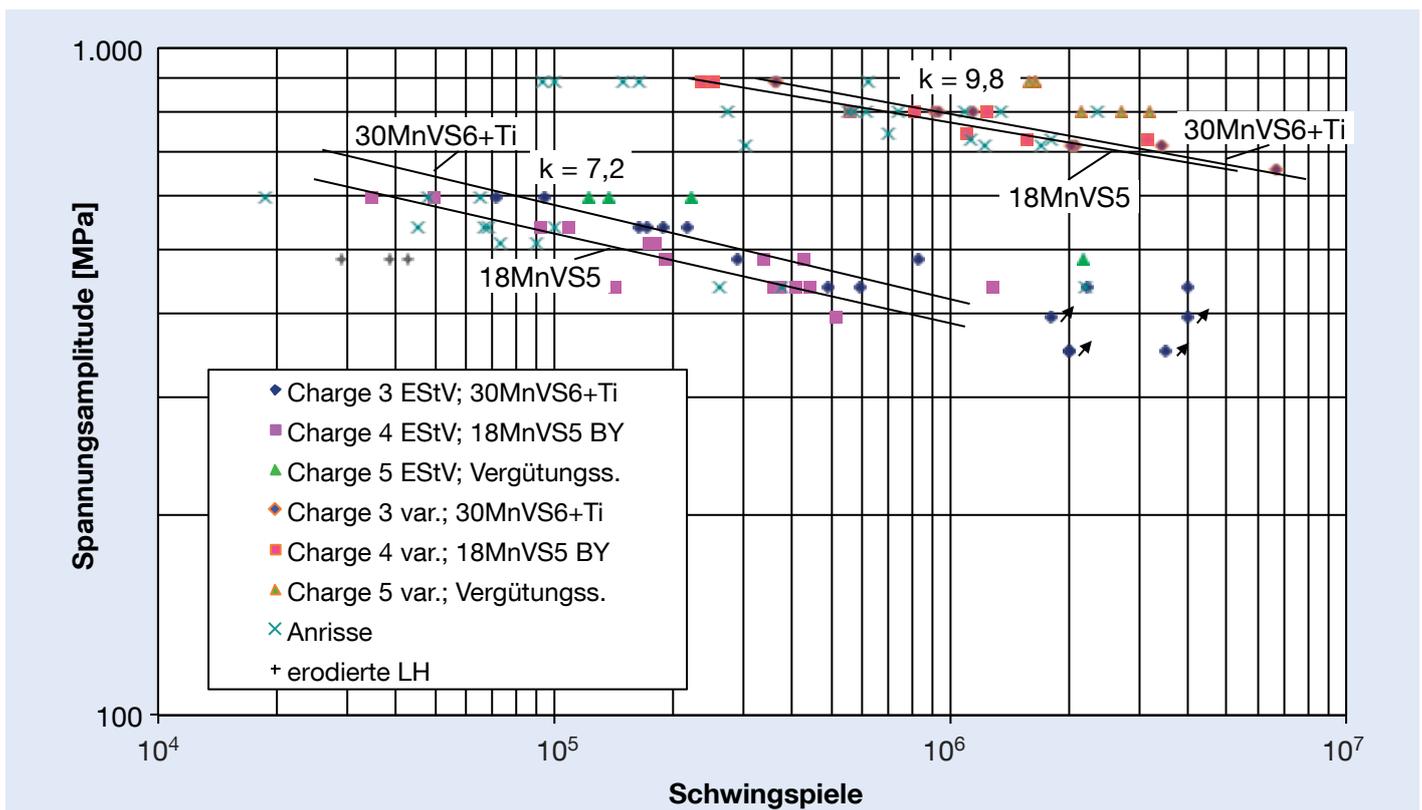


Bild 2: Diagramm aller Versuchsergebnisse der Lenkhebel.

Diese Untersuchungen schlossen ebenfalls Versuche zur Ermittlung der Mittelspannungsempfindlichkeiten und der unter betriebsähnlichen Belastungen erzielbaren Schadenssummen mit ein. Ferner wurden die Kennwerte für das Übertragbarkeitskonzept anhand des hochbeanspruchten Werkstoffvolumens ermittelt. Diese bilden die Grundlage für eine Anwendung der an Proben ermittelten Werkstoffkennwerte bei der betriebsfesten Bauteilauslegung gegen zyklische Belastungen. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Schwingfestigkeitseigenschaften des Vergütungsstahls unter Betriebsbelastungen kaum von jenen der AFP-Stähle unterscheiden.

Impactversuche

Im Projekt galt es ferner, eine Absicherung der Bauteile gegen im Betrieb auftretende schlagartige Belastungen vorzunehmen, da AFP-Stähle eine geringere Zähigkeit als die klassischen Vergütungsstähle aufweisen. Anhand von Bauteilversuchen und begleitenden bruchmechanischen Bewertungen auf Basis von Finite-Elemente-Berechnungen konnte die Eignung der AFP-Bauteile auch für diese Belastungen nachgewiesen werden. Auch unter tiefen Temperaturen können AFP-Bauteile auf Impact-Belastungen duktil reagieren. Dies erfordert insbesondere eine sorgfältige Kontrolle der geeigneten Gefügeausbildung bei stabiler Prozessführung. Ebenso sind fertigungsbedingte Risse, größere Riefen oder größere Gefügeengänzen zu vermeiden.

Lastannahmen

Zur Bewertung der im Betrieb auftretenden zyklischen Belastungen gegenüber den erzielten Versuchsergebnissen wurden die zur Auslegung notwendigen Bemessungslasten für die beiden untersuchten Bauteile abgeleitet. Dies erfolgte auf Basis von standardisierten Annahmen über Maximallasten und Kollektivformen von fahrbetriebstypischen Lastfällen, Geradeausfahrt, Kurvenfahrt, Lenken für Fahrwerksteile von Nutzfahrzeugen. Hierzu verfügt das Fraunhofer LBF über jahrzehntelange Erfahrungen in verschiedenen Einsatzbereichen der Fahrzeuge.

Für Impactbelastungen von Achsschenkeln wurde ein praxisbezogenes Versuchs-kriterium erstmalig abgeleitet, da es hierzu branchenweit bisher keinen Maßstab gab. Dieses geht von einem seitlichen Anprall des Rads gegen einen Bordstein aus, der mit Hilfe eines aufwendigen Rechenmodells eines Lkw-Vorderwagens untersucht wurde. Für die Übertragung auf die Bedingungen des Impact-Prüfstands wurde auf gleiche örtliche Dehnungen im kritischen Zapfenradius zurückgerechnet.

Bemessung

Für die Auslegung der Bauteile wurden aus Bauteil- und Probenversuchen Werkstoffdaten zur Bemessung ermittelt und zusammengestellt. Ein Bemessungskonzept wurde beispielhaft für die Bauteile Achsschenkel und Lenkhebel vorgestellt. Das erarbeitete Bemessungskonzept ermöglicht – ausgehend



Bild 3: Duktil verbogener Lenkhebel nach Impactversuch.

von den ermittelten Werkstoffkennwerten, rechnerischen Spannungsanalysen und unter Anwendung der Bemessungslasten – eine betriebsfeste Auslegung von AFP-Bauteilen im Fahrwerk. Anhand der durchgeführten Bauteilversuche konnte die Gültigkeit des Bemessungskonzeptes validiert werden.

Ergebnisse

Die oben genannten durchweg positiven Ergebnisse ermöglichen es dem Anwender, die AFP-Stähle als wirtschaftliche Alternative zu Vergütungsstählen mit vergleichbarer Sicherheit einzusetzen. Hierzu werden neben allgemeinen Erkenntnissen zum Versagen auch konkrete Schwingfestigkeitswerte zur Auslegung zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht es den Anwendern, gleichwertige Bauteile

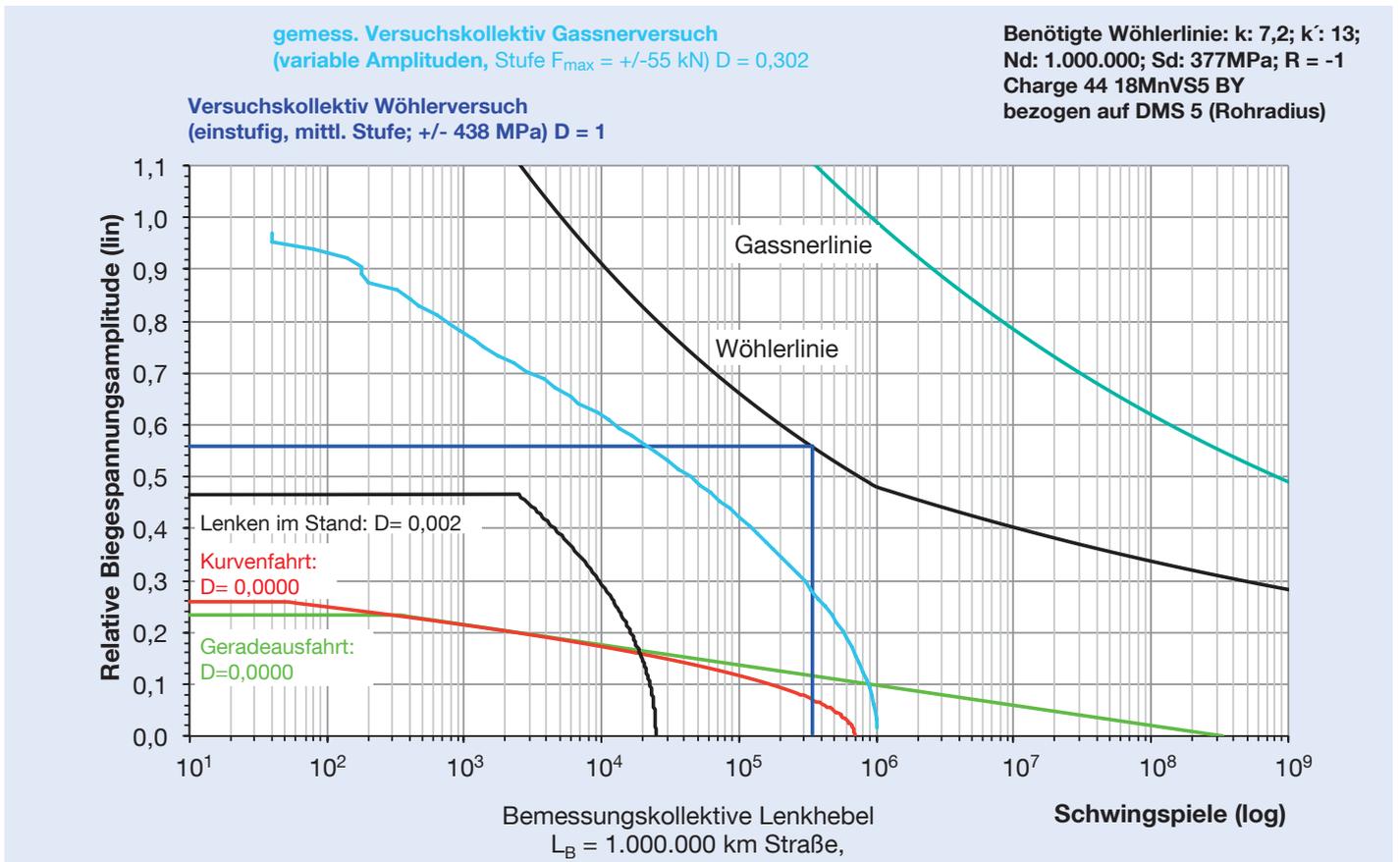


Bild 4: Schädigungsabschätzung der Bemessungs- und Versuchskollektive des Lenkhebels.

Bilder: Autoren

energie- und kostengünstiger zu produzieren. Es wird aber auch deutlich, dass hierbei der Gefügestruktur eine grundsätzliche Bedeutung zukommt.

Als wesentliches Resultat ergibt sich für die Praxis eine nahezu gleichwertige Einsatzmöglichkeit von AFP-Stählen und Vergütungsstählen bei typischen Fahrzeugbauteilen. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass bei Anwendung der hier abgeleiteten, jeweils spezifischen Werkstoffkennwerte die gängigen Bemessungskonzepte ebenfalls Gültigkeit haben. Dieses Bemessungskonzept kann unter

Kenntnis der individuellen Betriebslasten und einer experimentellen oder numerischen Spannungsanalyse auf weitere Bauteile aus AFP-Stählen angewendet werden.

Fazit

Unter Beachtung der genannten Kriterien können die untersuchten AFP-Stähle die klassischen Stähle bei Lkw-Fahrwerksbauteilen ersetzen. Hierbei steht die anforderungsgerechte Gefügeausbildung durch geeignete Abkühlbedingungen im Vordergrund. Deren Einflüsse – besonders der von Bainiteinlagerungen – sollten in einem weiteren Projekt

genauer untersucht werden, um die Prozesssicherheit zu erhöhen. ■



Dipl.-Ing.
Andreas Herbert



Dipl.-Ing.
Steffen Schönborn

Literatur

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF; Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen PtU; Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. (Hrsg.): Einfluss von Faserverlauf und Gefüge auf die Schwingfestigkeit warm-massivumgeformter AFP-Stähle, 2010, AVIF-Projekt A245.

Grubisic, V.: Einflussgrößen der Betriebsfestigkeit geschmiedeter Bauteile; Sonderdruck aus VDI-Z 134 (1992), Nr. 11, S. 105-112.

Grubisic, V.: Ermittlung von Bemessungskollektiven für Nfz-Bauteile, Darmstadt, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit, 1980 (LBF-Veröff. 193/80).

Kloos, K. H.; Fuchsbauer, B.; Magin, W.; Zankov, D.: Übertragbarkeit von Probestab-Schwingfestigkeitseigenschaften auf Bauteile. In: VDI-Berichte Nr. 354 (1979), S. 59-72.

Kuguel, R.: A Relation between Theoretical Stress Concentration Factor and Fatigue Notch Factor Deduced from the Concept of Highly Stressed Volume ASTM Proceedings 61 (1961), pp. 732-748.

Sonsino, C. M.; Kaufmann, H.; Grubišić, V.: Übertragbarkeit von Werkstoffkennwerten am Beispiel eines betriebsfest auszuliegenden geschmiedeten Nutzfahrzeug-Achsschenkels, Konstruktion 47 (1995) Heft 7/8, S. 222-232.

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 16435 BG (Betriebs-sichere Auslegung von Fahrwerks-sicherheitsbauteilen aus AFP-Stahl) der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. (FSV) in Kooperation mit Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) wurde 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. Der Schlussbericht kann bei der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. angefordert werden.