

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 12

Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Dipl.-Ing. Bernd Liedtke,
Sindelfingen

Nr. 509

Faserverbund-
kunststoff / Metall-
Hybridstrukturen
im Pkw-Roh-
karosseriebau

RVK⁰⁰

HLuHB Darmstadt



15396440

VDI Verlag

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen | VIII |
| Kurzfassung | XI |
| Abstract | XII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Stand der Technik | 3 |
| 2.1 Literatur | 3 |
| 2.1.1 Linearelastischer Bereich, dynamisches Verhalten und Dauerfestigkeit | 3 |
| 2.1.2 Plastischer Bereich und Energieabsorption | 4 |
| 2.2 Anwendungen und Patente | 5 |
| 2.3 Markteingeführte Hybridmaterialien | 7 |
| 3 Basismaterialien | 10 |
| 3.1 Faserverbundwerkstoffe | 10 |
| 3.1.1 Faserwerkstoffe..... | 10 |
| 3.1.1.1 Glasfaser..... | 12 |
| 3.1.1.2 Kohlenstofffasern | 13 |
| 3.1.1.3 Aramidfasern | 14 |
| 3.1.1.4 Hochfeste Polyethylenfasern | 15 |
| 3.1.2 Matrices..... | 16 |
| 3.2 Metalle..... | 16 |
| 3.2.1 Stahl..... | 17 |
| 3.2.2 Aluminium | 18 |
| 3.2.3 Magnesium..... | 18 |
| 4 Potential der Hybridwerkstoffe und mögliche Anwendungen im Pkw-Karosseriebau | 20 |
| 4.1 Leichtbaugüte von Hybridwerkstoffen | 20 |
| 4.1.1 Steifigkeit | 22 |
| 4.1.1.1 Zugsteifigkeit | 22 |
| 4.1.1.2 Biegesteifigkeit | 23 |
| 4.1.2 Festigkeit..... | 26 |
| 4.1.2.1 Zugfestigkeit..... | 26 |
| 4.1.2.2 Biegefestigkeit..... | 29 |
| 4.2 Mögliche Anwendungen von Hybridstrukturen im Pkw-Karosseriebau..... | 35 |
| 4.2.1 Quer- und Längsträger im Vorbau | 36 |
| 4.2.2 Seitenaufprallschutz | 37 |
| 4.2.3 A-Säule | 38 |

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.4 | Flächige Bauteile (Motorhaube, Heckdeckel, Dach) | 38 |
| 5 | Untersuchungen an Hybridwerkstoffen unter mechanischer und thermischer Last | 40 |
| 5.1 | Hybridwerkstoffe unter vereinfachter mechanischer Last | 40 |
| 5.1.1 | Modellbildung für die mechanische Betrachtung | 40 |
| 5.1.1.1 | Modellbildung mit der klassischen Laminattheorie | 40 |
| 5.1.1.2 | Modellierung mit der Methode der Finiten Elemente | 41 |
| 5.1.2 | Zugprüfungen | 46 |
| 5.1.2.1 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 47 |
| 5.1.2.2 | Experiment | 48 |
| 5.1.2.3 | Analytik | 49 |
| 5.1.2.4 | FE-Simulation des Zugversuchs | 51 |
| 5.1.2.5 | Vergleich von Experiment, Analytik und Numerik | 52 |
| 5.1.3 | Vier-Punkt-Biegeversuch | 53 |
| 5.1.3.1 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 53 |
| 5.1.3.2 | Experiment | 54 |
| 5.1.3.3 | Analytik | 55 |
| 5.1.3.4 | FE-Simulation des Biegeversuchs | 57 |
| 5.1.3.5 | Vergleich von Experiment, Analytik und Numerik | 60 |
| 5.1.4 | Zyklische Axiallast | 60 |
| 5.1.4.1 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 61 |
| 5.1.4.2 | Laststeigerungsversuche | 62 |
| 5.1.4.3 | Ermittlung einer Wöhlerkurve | 78 |
| 5.2 | Hybridwerkstoffe unter thermischer Last | 79 |
| 5.2.1 | Modellbildung | 79 |
| 5.2.2 | FEM-Analyse | 81 |
| 5.2.3 | Analyse mit der klassischen Laminattheorie | 81 |
| 5.2.4 | Auswertung und Vergleich | 84 |
| 6 | Demonstratorbauteile in Hybridbauweise | 91 |
| 6.1 | Auswahl von zwei Demonstratorbauteilen zur Darstellung in Hybridbauweise | 91 |
| 6.1.1 | A-Säule (Stahl/FVK) | 91 |
| 6.1.2 | Crashabsorber im Frontmodul (Aluminium/FVK) | 92 |
| 6.2 | Darstellung einer A-Säule in Hybridbauweise | 93 |
| 6.2.1 | Aufbau der A-Säule und Hybridisierungskonzept | 93 |
| 6.2.2 | Versuchsaufbau zur Überprüfung der Crashsicherheit einer A-Säule | 95 |
| 6.2.3 | Aufdickung der Schalen | 97 |
| 6.2.3.1 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 97 |

| | | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2.3.2 | Experiment | 98 |
| 6.2.3.3 | FEM-Modellbildung | 100 |
| 6.2.3.4 | Simulationsergebnisse und Vergleich zum Experiment | 104 |
| 6.2.4 | Verstärkungsrohr in Hybridbauweise | 106 |
| 6.2.4.1 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 107 |
| 6.2.4.2 | Experiment | 109 |
| 6.2.4.3 | FEM-Modellbildung | 110 |
| 6.2.4.4 | Simulationsergebnisse und Vergleich zum Experiment | 111 |
| 6.3 | Darstellung eines Crashabsorbers in Hybridbauweise | 111 |
| 6.3.1 | Rundprofile | 111 |
| 6.3.1.1 | Gewickelte, miteinander verklebte Profile | 112 |
| 6.3.1.2 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 112 |
| 6.3.1.3 | Experiment | 113 |
| 6.3.1.4 | Analytik | 119 |
| 6.3.1.5 | FEM-Simulation | 125 |
| 6.3.1.6 | Vergleich von Experiment, Analytik und Numerik | 127 |
| 6.3.2 | Ineinander angeordnete Rohre | 130 |
| 6.3.2.1 | Geometrie und Versuchsbedingungen | 130 |
| 6.3.2.2 | Experiment | 131 |
| 7 | Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick | 135 |
| Anhang | | 138 |
| A1 | Herleitung des Gleichungssystems: Axiale Stauchung von außenverstärkten FVK-Metallhybridrohren unter Ausformung von Ringbeulen | 138 |
| A2 | Bemerkungen zur FEM-Simulation von Faserverbundkunststoffen und Hybridstrukturen | 158 |
| A3 | Abbildungen und Tabellen | 161 |
| A4 | Verwendete Materialien | 166 |
| Literaturverzeichnis | | 167 |