

Anwendungsinformation

Hybridbauteil in der Serienfertigung

In Anlehnung an die Erstveröffentlichung in Kunststoffe 87 (9/97 - H. Goldbach, J. Hoffner)

— Designbeispiel Frontend

Bei traditionellen Konstruktionsmethoden stehen sich Metall und Kunststoff in einer ausgeprägten Wettbewerbsposition gegenüber. Die Hybridtechnik dagegen nutzt gezielt die Vorteile der unterschiedlichen Werkstoffe, um sie in einem Formteil miteinander in Kombination zu bringen.

Schon seit geraumer Zeit befassen sich Entwicklungsprojekte mit der gleichberechtigten Verwendung von Metall und Kunststoff in einem Bauteil nach dem Hybridprinzip. Inzwischen bietet die Praxis zahlreiche Beispiele für die erfolgreiche Verwirklichung dieser technologischen Innovation. Die erste Umsetzung wurde im Frontend des Audi A6 (C5), durch eine Kombination aus Stahlblech und Durethan® BKV 130, einem elastomermodifizierten Polyamid PA 6 GF 30, verwirklicht.



Bild 1 Das Frontend des Audi A6 besteht aus einer Hybridkonstruktion, einem Materialverbund aus Metall und glasfaserverstärktem, elastomermodifiziertem Polyamid 6.

(Hersteller: Faurecia, Audincourt/Frankreich)

Ein wesentliches Merkmal der Hybridkonstruktionen ist, dass sich die spezifischen Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe in ihren Vorteilen ergänzen. So entsteht ein Materialverbund mit physikalischen Eigenschaften, die mit homogenen Werkstoffen nicht zu erzielen wären. Auch die Fertigung beruht auf der Kombination zweier bewährter Produktionsverfahren:

- Metall-Tiefziehen
- Kunststoff-Spritzgießen.

Damit ergänzen sich nicht nur Eigenschaften, sondern auch die wirtschaftlichsten Methoden der Massenfertigung mit dem Resultat zuverlässig reproduzierbarer Fertigungstoleranzen. Besondere Attraktivität erhält die Hybridmethode durch die charakteristische Designfreiheit innerhalb der Spritzgießtechnik sowie die damit verbundene standardmäßige Herstellung nachbearbeitungsfreier und einbaufertiger Formteile.

Konstruktions- und Herstellprinzip

Ein tiefgezogenes und gelochtes Stahlblechteil wird ähnlich der Insert-Technik in ein Spritzgießwerkzeug eingelegt und mit einem geeigneten Kunststoff umspritzt. Dabei dringt die Kunststoffschmelze durch die eingestanzten Öffnungen des Blechs und bildet zwischen der Formnestwand des Werkzeugs und dem eingelegten Metallteil einen Nietkopf. Auf diese Weise entsteht eine hochbelastbare kraft- und formschlüssige Verbindung zwischen beiden Komponenten. Das Blech benötigt weder einen Haftvermittler noch anderweitige zusätzliche Behandlungen.

Der übliche Korrosionsschutz einer kathodischen Tauchlackierung (KTL) des Metallteils ist auch nach dem Spritzprozess uneingeschränkt funktionsfähig und stört nicht die Verbindungsintensität der ungleichen Materialien.

Die Hybridtechnik bietet viele Vorteile: Tragende Metallstrukturen lassen sich noch dünnwandiger auslegen, um die ständig geforderten Gewichtsreduzierungen zu erfüllen.

Denn die Tendenz derartig dünner Metallkonstruktionen, unter Belastung zu knicken und zu beulen, kann mit einer gezielt angespritzten Kunststoffverrippung deutlich reduziert werden. Durch Ausschluss dieser Verformungsgefahr lässt sich die theoretisch errechnete Belastbarkeit voll ausnutzen und das Bauteilgewicht deutlich verringern. Die Kunststoffstrukturen erhöhen nachweisbar die Leistungsfähigkeit der Metallkonstruktion sowohl bei Druck- als auch bei Biegebelastungen.

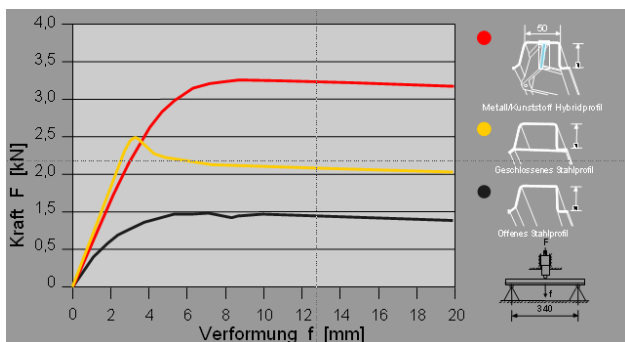


Bild 2 Überprüfung des Kraft-Verformungs-Verhaltens bei Biegebelastung eines Metall-Kunststoff-Verbundprofils und eines geschlossenen sowie offenen Stahlblechs.

Die Belastbarkeit eines Hybridprofils wurde im Vergleich zu reinen Metallausführungen exemplarisch geprüft. Bei definiert gleichen Bedingungen müssten ein offenes und ein geschlossenes U-Profil aus 0,7 mm dickem Stahlblech ihre Belastungsfähigkeit im Vergleich zu einem offenen U-Profil mit Kunststoffverstrebung unter Beweis stellen. Geprüft wurde das Kraft-Verformungsverhalten bei Biegebelastung (Bild 2), das Verformungsverhalten bei einer Druckbelastung in Längsrichtung sowie die Torsionsbelastbarkeit unter der Einwirkung eines Drehmoments (Bild 3).

Die Leistungsfähigkeit des offenen Metallblechprofils ist in allen drei Belastungsfällen niedrig.

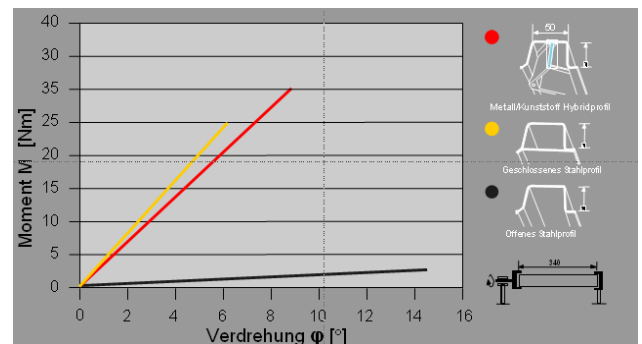


Bild 3 Überprüfung der Torsionsbelastbarkeit eines Metall-Kunststoff-Verbundprofils und eines geschlossenen sowie offenen Stahlblechs.

Bei der Biegebelastung führt das frühe Beulversagen zu einer Aufweitung der beiden Flanken. Ebenso zeigt das Druck- oder Verformungsverhalten bei Druckbelastung in Längsrichtung eine geringe Dimensionsstabilität und führt bereits bei einer kleinen Kräfteinwirkung zur Verformung. Bei etwas höheren Kräften kommt es zur Aufweitung der Flanken und zum Versagen des Profils. Erwartungsgemäß weist das offene Blechprofil auch eine äußerst geringe Torsionssteifigkeit auf.

Das geschlossene Metallblechprofil zeigt bei der Biege- und Druckbelastung eine höhere Leistungsfähigkeit, die jedoch vom Hybridprofil deutlich übertroffen wird. Dabei ist die Verrippung aus dem glasfaserverstärkten PA 6 im Gewicht vergleichbar mit der Schließplatte des geschlossenen Stahlblechprofils.

Auch das Bauteilverhalten unter Torsionsbelastung spricht für das Hybridprinzip. Abhängig von der Geometrie der Kunststoffrippen (z. B. X-förmig, Z-förmig) sowie dem E-Modul des verwendeten Kunststoffs erreicht das Verbundteil eine hohe Torsionssteifigkeit (Bild 3).

Bei diesen Ergebnissen handelt es sich um Grundsatzstudien, die deutlich zeigen, welche Möglichkeiten der Bauteilkonstruktion durch die Hybridtechnik geboten werden. Die für diese Versuche durchgängig gewählte kreuzförmige Verrippung des Profils stellt allerdings einen Kompromiss hinsicht-



lich der Stabilisierung sowohl bei Biege- als auch bei Torsionsbeanspruchungen dar. Bei einer auf die speziellen Lastfälle ausgelegten Verrippung ließen sich die Ergebnisse nochmals steigern.

Bauteilanforderungen und ihre Umsetzung

Das Hauptinteresse bei der Konzeption des eingangs erwähnten Frontends galt der Kostenreduzierung, einer gleichmäßig hohen Qualität, sowie der Gewichtsminimierung. So wog das Bauteil ca. 1 kg weniger als die früher eingesetzte glasmattenverstärkte Ausführung (GMT), die allerdings durch die nachträgliche Montage eines Metallträgers verstärkt werden musste. Besonders attraktiv an der Gewichtseinsparung war, dass sie vor der Vorderachse realisiert werden konnte und sich damit günstig auf die Achslastverteilung auswirkte. Die Achslastverteilung hat einen direkten Einfluss auf das Fahrverhalten des Automobils.

Als Dauerbelastung musste das Frontend Kippmomente des Motors von bis zu 7 kN aufnehmen, der über ein Lager abgestützt war. Eine nicht zu unterschätzende Belastung ging auch vom Haubenschloss aus, sowohl beim Schließvorgang als auch bei höheren Geschwindigkeiten. Dabei war das Bauteil einem Temperaturspektrum von -40 bis $+90$ °C ausgesetzt, da es zusätzlich als Träger für die Kühlaggregate der Öl- und Wasserkreisläufe sowie Teilen der Klimaanlage diente.

In umfangreichen Versuchen und Testreihen wurde nachgewiesen (Fahrzeughersteller Audi, Systemlieferant Faurecia und Rohstoffhersteller sowie Patentinhaber LANXESS), dass ein Frontend nach dem Prinzip der Hybridkonstruktion die gestellten Anforderungen erfüllt.

Durch das von Faurecia mit CAD-Daten generierte Finite-Elemente-Netz konnten die Drehmoment- und Fronthaubenschlosskräfte simuliert werden. Mit dieser Berechnungs-Methode ließ sich der Prototyp des Frontends auslegen, wobei z. B. auch Schwachstellen in der Metallstruktur frühzeitig erkannt und optimiert wurden (Bild 4). Auf diesen Erkenntnissen basierte dann die Konstruktion der Prototypenwerkzeuge. Die letzte Stufe der Prototypenwerkzeuge erreichte durch Komplettierung im Hinblick auf die

vollautomatische Fertigung Serientauglichkeit, die über die gesamte Serienproduktion gewährleistet war.

Durch Anwendung von Moldflow-Analysen wurde das Angusskonzept überprüft und der Füllverlauf des Werkzeugs optimiert. Die errechnete Füllzeit für das Hybrid-Spritzgießteil lag bei 4 s, der Füllverlauf des Werkzeugs ist in Bild 5 dargestellt. Die Orientierung der Glasfasern in Fließrichtung der Kunststoffschmelze wurde gezielt genutzt, um die thermische Ausdehnung der Bauteile in Längsrichtung klein zu halten (Bild 6). Ein wesentlicher Vorteil der Füllsimulation war die gezielte zeitliche Abgleichung der verschiedenen Füllbereiche, um Druckspitzen im Werkzeug zu vermeiden.



Bild 4 Entwicklung des Frontends mittels Finite-Elemente (FE)-Methode (A); Schwachstellen in der Metallstruktur ließen sich so frühzeitig erkennen und optimieren (B).

Eine ebenfalls wichtige Aufgabenstellung die mit Hilfe der FEM-Methode gelöst wurde, war die Verzugsberechnung: Verformungen durch Schwindungsunterschiede während der Abkühlphase des Bauteils ließen sich frühzeitig erkennen, so dass konstruktive Gegenmaßnahmen im Vorfeld getroffen werden konnten.

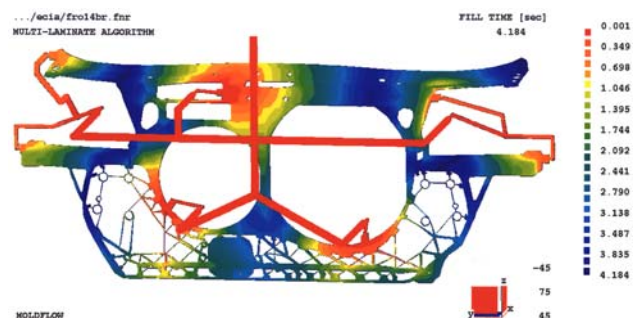


Bild 5 Mittels Moldflow-Analyse wurde das Angusskonzept überprüft und der Füllverlauf des Werkzeugs optimiert (Darstellung des Füllverlaufs bei 100 % Füllung).

Der Unterschied zur gewöhnlichen Spritzgießtechnik lag in der Anpassung des Metallteils an das Spritz-



gießwerkzeug. Hier galt es, komplexe Strukturen in den Abmessungen 1m x 0,4 m x 0,8 mm an die Werkzeuggeometrie anzupassen, woraus besonders hohe Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit des Werkzeugs resultierten. Mittels CNC-Bearbeitung konnte das Tiefziehwerkzeug mit den gleichen Daten hergestellt werden wie das Spritzgießwerkzeug, so dass die Anpassung des Blechteils wenig Aufwand erforderte. Der Tiefziehprozess lieferte verzugsfreie und geometriegenau eingelegte Bleche, die im Spritzgießprozess in einem Arbeitsschritt zu montagegenauen, einbaufertigen Strukturteilen oder Montageträgern komplettiert wurden

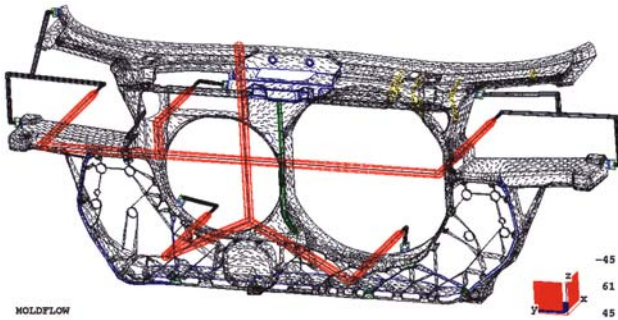


Bild 6 Die Moldflow-Analyse diente auch dazu, die Orientierung der Glasfasern zu verfolgen.

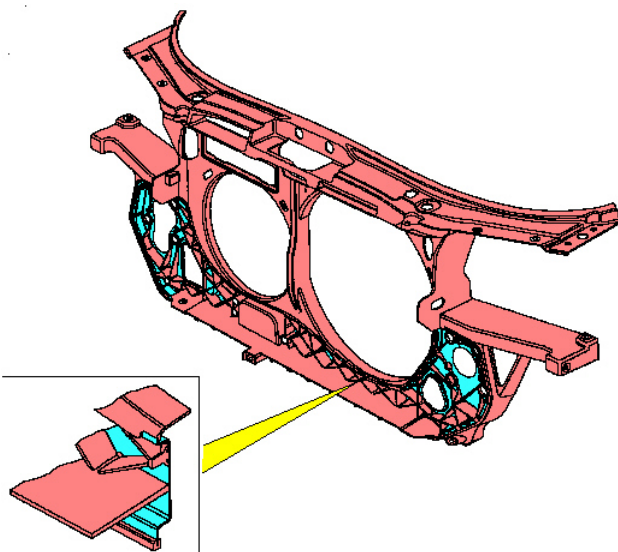


Bild 7 Hybrid-Struktur des Frontendträgers des Audi A6 (Blechstruktur: grün, Kunststoff rot).

Integration von Zusatzfunktionen

Durch Integration beliebig vieler Zusatzfunktionen im Spritzgießverfahren eröffnet die Hybridtechnik ein

viel versprechendes Rationalisierungspotential für die Herstellung montagefertiger Module. Bei der beschriebenen Version des Frontends wurden nach der Insert-Technik Befestigungsbuchsen für das Motorlager sowie andere Befestigungselemente gemeinsam mit dem tiefgezogenen Blech in das Spritzgießwerkzeug eingelegt und umspritzt (Bild 7). Präzise ließen sich die Öffnung für den Lüfter des Kühlaggregats mitformen sowie alle Durchbrüche aber auch der Motorhalter für den Lüftermotor (bei dieser Version war er allerdings noch montiert, weil eine vorhandene Bauteilgestaltung zu übernehmen war).

Versteifungsrippen und Hinterschnitte lassen sich im Spritzgießverfahren wesentlich einfacher realisieren als in der GMT-Technik. So entsteht ein Strukturbauteil mit einem Integrationsgrad, der in nur einem Werkstoff nicht mit den gleichen mechanischen Eigenschaften zu erzielen wäre. Dem Kunststoffkonstrukteur bietet der Werkstoff Stahl unter Steifigkeits- Kostengesichtspunkten eine unvergleichlich günstige Konstruktionskomponente. Der Stahlkonstrukteur erhält die Möglichkeit, durch die gleichberechtigte Kombination mit Kunststoff nach der Hybridtechnik auf kostenintensive Montage- und Schweißarbeiten verzichten zu können.

Eigenschaftsprofil der Polyamid-Komponente

Besonders für technische Anwendungen, für stark beanspruchte Teile und tragende Strukturen haben sich der Polyamidwerkstoffe Durethan BKV 130 und Durethan BKV 30 in langjährigem Einsatz bewährt. Beide Materialien weisen eine hohe Schlagzähigkeit auf und eignen sich für Anwendungen mit stoßartiger und dynamischer Belastung. Die Glasfaserverstärkung bewirkt eine hohe Steifigkeit in Verbindung mit einer geringen Kriechneigung sowie hoher Dimensionsstabilität bei außerordentlicher Wärmeformbeständigkeit.

Das Festigkeitsniveau dieser mit 30 % Glasfasern verstärkten Thermoplaste erlaubt insbesondere den Einsatz bei deutlich über 100 °C. Für diese Anwendung wichtig ist auch die gute dynamische Festigkeit (Dauerschwingfestigkeit) bei dauernder und wechselnder Beanspruchung. Die Werkstoffe neigen nicht



zur Spannungsrissbildung und zeigen aufgrund ihrer Zähigkeit ein gutes Überlastverhalten.

Besonders geeignet für den Einsatz im Metallverbund sind die Werkstoffe durch ihre Fähigkeit, Spannungen während des Spritzprozesses durch Relaxation abzubauen. Ebenfalls wichtig ist das geringe Kriechverhalten auch bei höheren Temperaturen, so dass die Formbeständigkeit und das Rückstellverhalten bei Belastung sehr gut sind.

Recycling problemlos

Was einfach und wirtschaftlich zusammengefügt wurde, lässt sich ebenso einfach wieder separieren. In einem einzigen Arbeitsgang und in wenigen Sekunden zerkleinert eine Hammermühle die Verbundteile, die ja nur durch eine kraft- und formschlüssige Verbindung zusammengehalten werden. Siebe und Magnetabscheider trennen Metall und Kunststoff zuverlässig und sortenrein. Die wiedergewonnenen Werkstoffe können aufbereitet werden und direkt in den Produktionskreislauf zurückfließen.

Konzeption weiterer Produkte

Armaturentafelträger, Heckklappen, Automobilsitze und -türen für den überwiegenden Teil der Strukturteile im Fahrzeugbau eröffnet die Verbundtechnik Lösungen zur Gewichtsreduzierung und bietet gleichzeitig ein Rationalisierungspotential um den Montageaufwand zu verringern. Die Anforderungen, die an den Konstrukteur gestellt werden, sind hoch. Er muss bekannte und bewährte Methoden verlassen und sich auf Neuland begeben. Dazu sind Kenntnisse aus der Metallverarbeitung sind ebenso gefordert wie spezifisches Kunststoffwissen. Die Anwendungstechniker des Geschäftsbereichs Semi-Crystalline Products von LANXESS stehen daher auch neun Jahre nach Serienanlauf des erläuterten Frontends gerne mit Rat und Tat zur Verfügung, wenn es gilt, neue Hybridanwendungen gemeinsam zu entwickeln.

Durethan® ist eine eingetragene Marke der LANXESS Deutschland GmbH

Haftungsklausel für Verkaufsprodukte

Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise - insbesondere unserer Sicherheitsdatenblätter und technischen Informationen - und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkten erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich.

Haftungsklausel für Versuchsprodukte

Es handelt sich um ein Verkaufsprodukt im Versuchsstadium (Versuchsprodukt), dessen Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Endgültige Aussagen über Typkonformität, Verarbeitungsfähigkeit, Langzeiterprobung unter verschiedenen Bedingungen o. ä. produktions- und anwendungstechnische Parameter können daher nicht gemacht werden. Eine endgültige Aussage über das Produktverhalten bei Einsatz und Verarbeitung kann nicht getroffen werden. Jegliche Verwendung des Versuchsprodukts erfolgt außerhalb unserer Verantwortung.

Die angegebenen Werte wurden, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, an genormten Prüfkörpern bei Raumtemperatur ermittelt. Die Angaben sind als Richtwerte anzusehen, nicht aber als verbindliche Mindestwerte. Bitte beachten Sie, dass die Eigenschaften durch die Werkzeuggestaltung, die Verarbeitungsbedingungen und durch die Einfärbung unter Umständen erheblich beeinflusst werden können.

Der Verkauf unserer Produkte und unsere Beratung erfolgen nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

