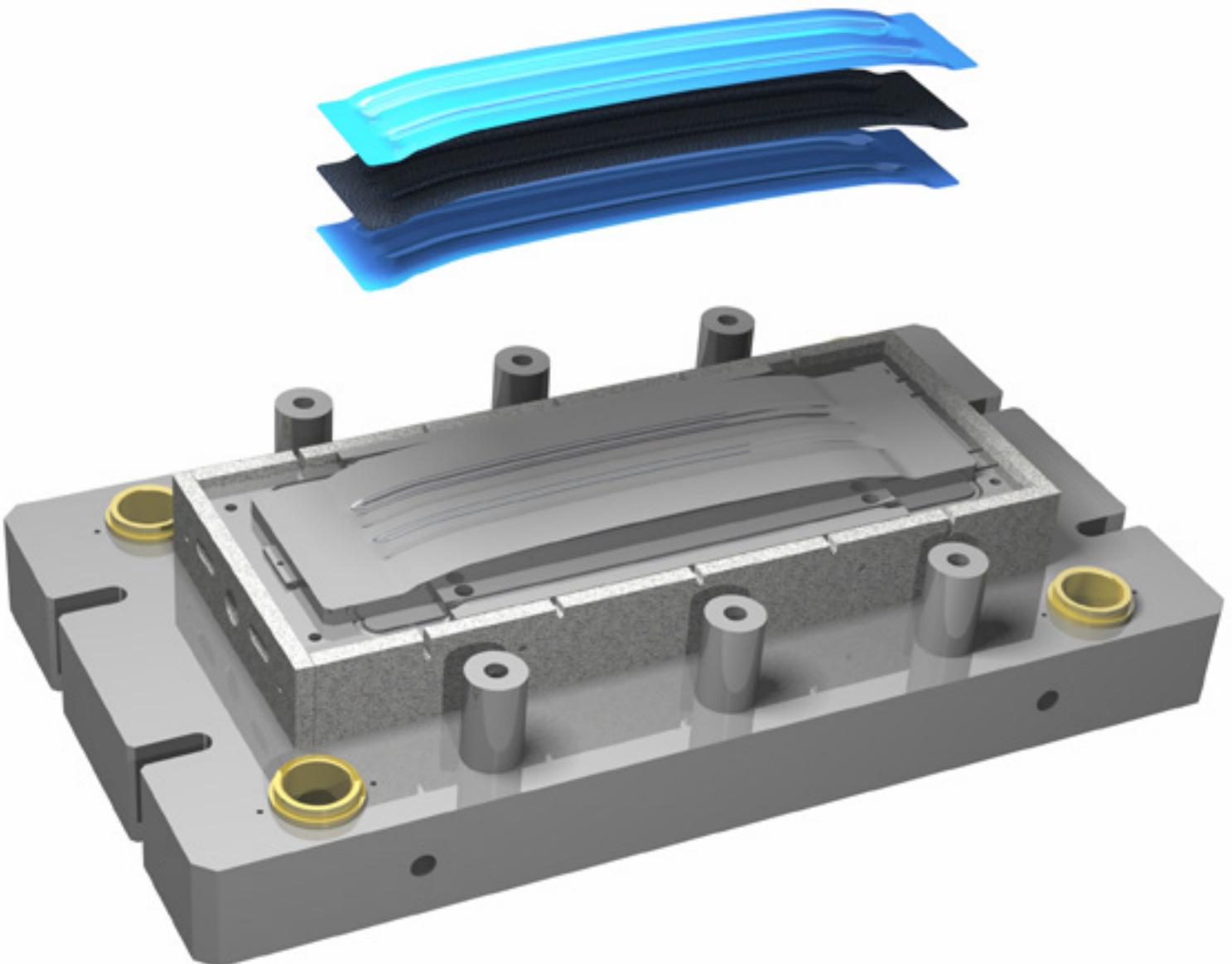


HYBRIDVERBUNDE – HERSTELLUNG UND VERARBEITUNG





KLUG KOMBINIERT

Leichtbau mit Hybridverbunden

Hybrid als Chance

Die Entwicklung moderner Strukturbauteile erfolgt im Spannungsfeld zwischen komplexen Funktionseigenschaften und zunehmenden Leichtbauanforderungen. Für Anwender und Konstrukteure stehen bei der Technologie- und Materialauswahl Eigenschaften wie Festigkeit, Steifigkeit, Schwingungsverhalten, Material- und Ressourceneffizienz und nicht zuletzt Kosten im Fokus. Die Vielzahl an teils konträren Anforderungen hat dazu geführt, dass im Hinblick auf den Leichtbau die klassischen, monolithischen Werkstofflösungen an ihre technologischen Grenzen stoßen.

Ein im Wortsinn vielschichtiger Lösungsansatz sind hybride Werkstoffverbunde. Getreu dem Motto »das richtige Material am richtigen Ort« werden dabei sowohl Metalle als auch Kunststoffe mit und ohne Faserverstärkung zu flächigen Materialverbunden kombiniert. Die Zielstellung besteht somit im Leichtbau durch Substitution eines einlagigen Metallwerkstoffs durch einen Lagenverbund, wobei die effiziente Prozesskette zur Herstellung von schalenförmigen Bauteilen weitestgehend erhalten bleiben soll. Aus diesem Zusammenhang ist der Begriff des »Hybridblechs« erwachsen, das den Leichtbauaspekt des Verbundmaterials mit dem hohen technologischen Reifegrad von Blechumformverfahren verdeutlicht.

Einen weiteren Ansatz zum konstruktiven Leichtbau bietet die Funktionsintegration. Hier übernimmt der Werkstoffverbund durch Kombination seiner Einzellagen eine zusätzliche Funktion und macht damit eine separate Komponente überflüssig.

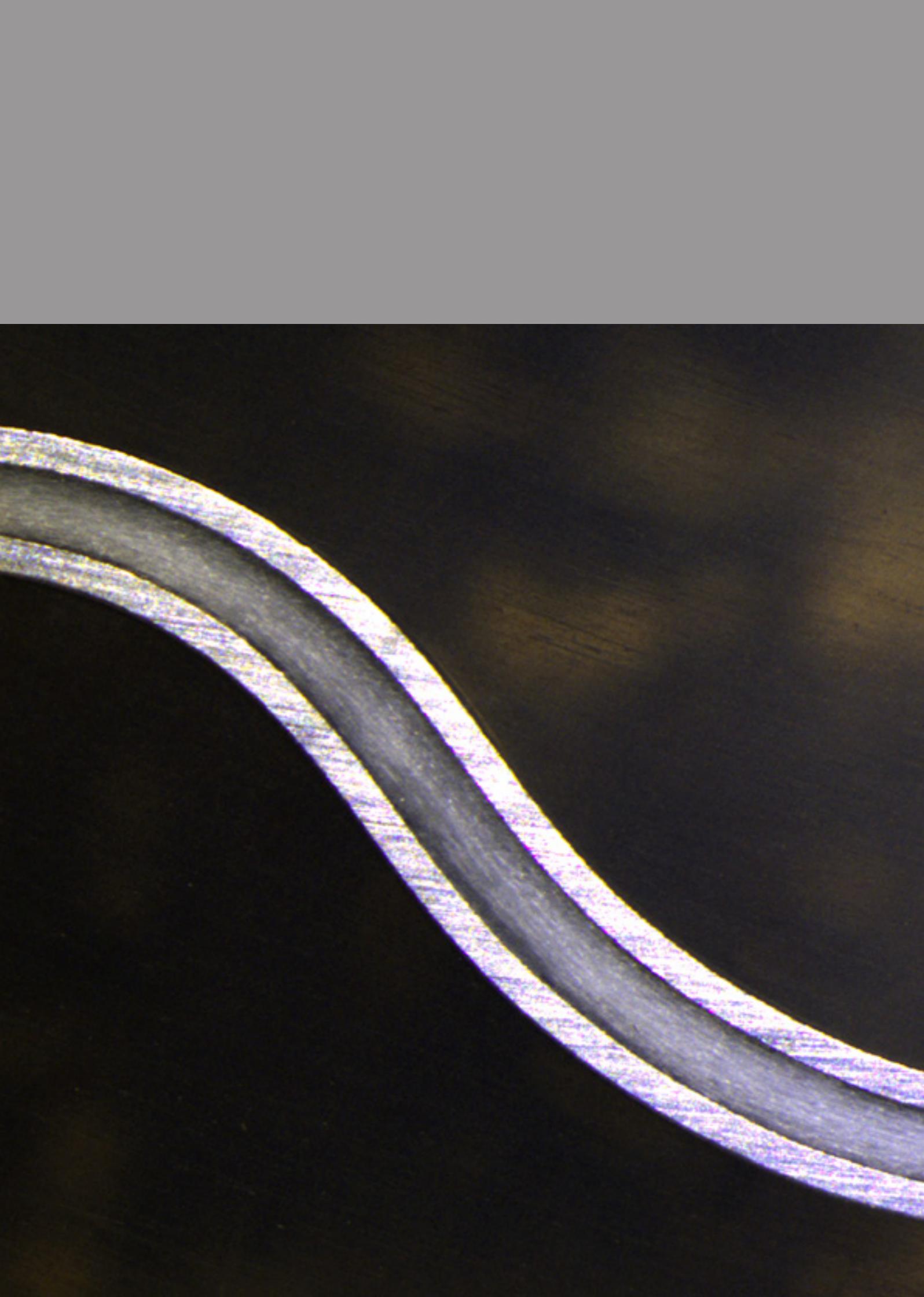
Hybrid als Herausforderung für die Produktion

So vorteilhaft sich die unterschiedlichen Eigenschaften der zum Lagenaufbau verwendeten Werkstoffe auf die Komponente auswirken, so herausfordernd sind diese Unterschiede jedoch in der Herstellung und Verarbeitung der Lagenverbunde. Der aus dem Laminataufbau resultierende Eigenschaftssprung lokalisiert diesen Gegensatz an einer entscheidenden Stelle – der Grenzschicht. Standen bei der Umformung von monolithischen Materialien noch die Bruchdehnung bzw. das Grenzformänderungsvermögen als technologische Grenzen im Mittelpunkt, so tritt bei Hybridblechen die Delamination als zusätzliches Versagensbild auf. Dabei ist eine gute Lagenanbindung für die Eigenschaften der gefertigten Komponenten von außerordentlicher Bedeutung.

Hybride Prozessführung als Lösung

Um ein belastbares Verbundbauteil herstellen zu können, bedarf es einer zuverlässigen Lagenanbindung. Die einmal gefügte Grenzschicht muss den folgenden Formgebungsprozess ohne Schädigung überstehen. Die Frage, wann der Lagenverbund hergestellt wird, lässt dabei die Grenze zwischen Herstellung eines Verbundhalbzeugs und Formgebung verschwimmen. Für Verbundwerkstoffe mit polymerer Komponente ist die Temperaturführung ein wesentlicher Prozessparameter. Neben den mechanischen Eigenschaften lassen sich damit auch die Konsolidierung und Lagenanbindung gezielt steuern. Grundlage einer solchen Prozessführung ist die kontrollierte Einstellung der Temperaturverteilung in Werkzeug und Werkstück. Die Kombination aus thermischer Verbundherstellung und umformtechnischer Bauteilfertigung verschmilzt dabei zu einem hybriden Prozess.

In Kombination aus Innenhochdruck-Umformen und Spritzgießen gefertigtes Metall-Kunststoff-Hybridbauteil



DER OPTIMALE HYBRIDVERBUND

Spektakulär in den Eigenschaften, unspektakulär in der Verarbeitung

Unser Anspruch

Um das Leichtbaupotenzial der flächigen Materialverbünde für eine breite Serienanwendung zu erschließen, ist eine Verarbeitung mit etablierten Verfahren der konventionellen Blechbearbeitung vom Platinenschnitt über die Formgebung bis hin zu anschließenden Fügeverfahren erforderlich. Die Verarbeitung der Hybridmaterialien muss hinsichtlich Prozessstabilität, Produktivität und Kostenstruktur ein vergleichbares Niveau wie die klassische Blechverarbeitung erreichen.

Unser Angebot

Die Verarbeitung der Verbundwerkstoffe sollte ebenso prozesssicher und effizient ablaufen wie die konventionelle Stahl- und Aluminiumverarbeitung. Dafür ist ein detailliertes Verständnis der Eigenschaften und Besonderheiten dieser Materialgruppe unabdingbar. Wir unterstützen Sie in der Charakterisierung der einzelnen Lagenmaterialien ebenso wie bei der Prüfung des Gesamtverbundes und daraus entstehender Komponenten. Dabei fließen die spezifischen Anforderungen des Werkstoffverbundes bereits in die Methodenplanung, die Umformsimulation, den Werkzeugbau und die Temperierung des Umformprozesses mit ein. Wir bieten Ihnen dieses Paket aus einer Hand.

Charakterisierung von Material und Grenzschicht

Als Grundlage einer simulationsgetriebenen Prozessauslegung dient die Charakterisierung der Einzelkomponenten und der Verbundfestigkeit. Für Metalle und Kunststoffe kommen die Methoden der klassischen Charakterisierung monolithischer Werkstoffe zum Einsatz. Im einachsigen Zugversuch wird neben Streckgrenze, Zugfestigkeit, Gleichmaß- und Bruchdehnung auch die Fließkurve ermittelt. Bei Kunststoffen wird die typische Zug-Druck-Asymmetrie durch zusätzliche Kennwertermittlung im Druckbereich ergänzt. Speziell bei Metallen werden höhere Vergleichsumformgrade im mehrachsigen Spannungszustand erreicht. Dafür stehen uns neben der Erichsen-Tiefung und dem Nakajima-Test auch ein hydraulischer Tiefungsversuch und eine Biaxial-Prüfmaschine zur Verfügung. Im Ergebnis der Materialcharakterisierung liegen die Grenzformänderungs-

kurve und die bereits erwähnte Fließkurve nun auch für hohe Umformgrade vor. Für die temperierte Prozessführung ist eine Kenntnis der Werkstoffkennwerte in Abhängigkeit der Temperatur erforderlich. Unsere Versuchstechnik erlaubt eine entsprechend temperierte Messwertaufnahme.

Charakterisierung der Verbundhaftung

Für die Festigkeit der gefertigten Bauteile spielt die Integrität der Lagenanbindung eine tragende Rolle. Die Belastungen im Anwendungsfall setzen sich üblicherweise aus Zug bzw. Druck in Dickenrichtung und einer Scherbelastung zwischen den Verbundlagen zusammen. Die Verbundfestigkeit stellt hier keine isolierte Materialeigenschaft mehr dar, sondern entspricht der Versagensgrenze der Grenzschicht unter den bei Umformung und Anwendung auftretenden Randbedingungen.

Prozesssimulation und Werkzeugauslegung

Basierend auf den ermittelten Werkstoff- und Verbundeigenschaften werden entsprechende Modelle für das Materialverhalten und die Verbundfestigkeit abgeleitet. Anhand von Umformversuchen mit Versuchswerkzeugen und anschließenden Berechnungen werden die FE-Modelle abgeglichen. Bei der Werkzeugauslegung sind kurze Zykluszeiten und somit eine effiziente Werkzeugtemperierung unser Anspruch.

Ihr Vorteil: Bauteilperformance und Leichtbaueffekt

Aus den Gestaltungsmöglichkeiten zu Deckblechmaterialien und -dicken, zur Wahl des Kernwerkstoffs und der Entscheidung für oder gegen eine Faserverstärkung in der Kunststoffmatrix resultiert eine große Variantenvielfalt. Anhand von Variantenvergleichen und Benchmarks bis hin zur statischen und dynamischen Prüfung der Bauteilsteifigkeit und -festigkeit unterstützen wir Sie bei der Auswahl des für Ihren konkreten Anwendungsfall optimalen Lagenaufbaus.

*Schliffbild eines Verbundes aus
0,25 mm starken Stahlblechen und
glasfaserverstärktem Thermoplast*

THEMENSCHWERPUNKTE UND REFERENZPROJEKTE

Stabile Prozessführung vom Prototypen bis zur Serienproduktion

Für den Leichtbau durch Materialsubstitution spielt die Herstellbarkeit der Strukturbauteile eine Schlüsselrolle.

Wir unterstützen Sie dabei, die für die Werkstoffkombination und Bauteilgeometrie optimale Prozessführung auszulegen, erfolgreich umzusetzen und in der Serienfertigung sicher zu beherrschen. Das DFG-AiF-Verbundvorhaben »Großserientaugliche Prozessketten für hochintegrierte Bauteile aus hybriden Faser-Kunststoff/Metall-Verbunden« (IGF 17690 BR) hatte in diesem Zusammenhang den Vergleich von hybriden Umformprozessketten zum Inhalt. Zentrale Fragestellung des Projekts war der Vergleich der Konsolidierung des Lagenverbundes vor oder nach der Formgebung. Während die Verarbeitung von vorkonsolidiertem Verbundmaterial kalt oder temperiert mit hoher Taktrate durchgeführt werden kann, bietet die kombinierte Umformung und Konsolidierung von Einzelmaterialeine höhere Umformgrenze bzw. Gestaltungsfreiheit der Bauteile. Im Vergleich zur monolithischen Stahlvariante wurden Verbundwerkstoffe mit Stahlblech-Decklage und Polymerkern gefertigt und geprüft. Bei einem vergleichbaren Festigkeitsniveau unter Biegebelastung konnte ein Leichtbaueffekt von 25 Prozent gegenüber der Stahlreferenz realisiert werden.

Mehrwert durch optimierte Verbundeigenschaften

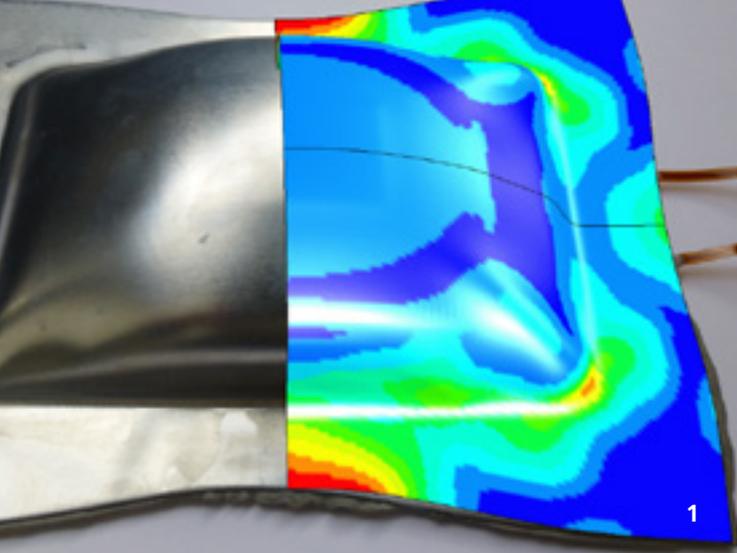
Über den reinen Leichtbaueffekt hinaus lassen sich durch einen – dem Anwendungsfall angepassten – Lagenaufbau weitere Mehrwerte erzielen. Dazu zählen beispielsweise optimierte akustische Eigenschaften, wie sie innerhalb des IGF-Vorhabens »Reduktion der Schallabstrahlung durch gezielte Schubdämpfung in hybriden Metall-Kunststoff-Verbunden« (IGF 17895 N) erreicht wurden. Der Effekt ist bei großflächigen und damit schwingungsanfälligen Strukturbauteilen besonders ausgeprägt. Aufgrund der Substitution des monolithischen Stahlblechs durch einen Lagenverbund mit polymerer Kernschicht konnte unter Beibehaltung der Biegesteifigkeit zunächst eine Reduzierung des Flächengewichts um mehr als 30 Prozent realisiert werden. Darüber hinaus wurde unter Zugabe von

Elastomerrezyklat der Dämpfungskoeffizient nahezu verdreifacht. Die Kombination beider Effekte macht den Werkstoff vor allem für Gehäuse- und Strukturbauteile hochinteressant.

Vorteile aus zwei Welten – in Material und Verarbeitung

Analog zur gewinnbringenden Kombination der Werkstoffkomponenten lassen sich auch die jeweiligen Verarbeitungstechnologien miteinander kombinieren und somit Prozessketten erheblich verkürzen. Innerhalb des Exzellenzclusters »Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen« (MERGE) wurden die etablierten Prozessketten zur Verarbeitung von Metallen und Kunststoffen mit dem Ziel einer funktionalen Erweiterung kombiniert. So entstand ein Technologiedemonstrator, der den Druck der Kunststoffschmelze zur Wirkmedienumformung nutzt. In dem am Fraunhofer IWU entwickelten Versuchswerkzeug ist es damit gelungen, eine mechanische und wirkmediengebundene Umformung mit dem klassischen Anspritzen einer Versteifungsstruktur zu kombinieren. Im weiteren Projektverlauf wurden verschiedene Oberflächenvorbehandlungen vergleichend betrachtet und der thermisch bedingte Schwund durch einen angepassten Faservolumengehalt der Kunststoffkomponente reduziert. Mit der neuen Verfahrenskombination können hochbelastbare Hybridbauteile in nur einem Pressenhub hergestellt werden.

Dieser Ansatz hat bereits Einzug in die industrielle Praxis gehalten: Kernidee des ZIM-Vorhabens »FVK-Innenhochdruck-Umfomung« (ZIM 16KN020829) ist die Kombination aus Wirkmedienumformung von Profilen und Umspritzen mit einer Kunststoffkomponente. Dazu kamen in einem ersten Schritt Aluminiumprofile mit verschiedenen Oberflächenstrukturierungen zum Einsatz. Durch Rändeln, Sandstrahlen und Laserstrukturieren konnten neben dem rein adhäsiven Verbindungsmechanismus eine mechanische Verklammerung und damit einhergehende, höhere Verbindungsfestigkeiten erreicht werden. Um den Leichtbaueffekt zu steigern, wurde das Profil durch ein Kunststoffrohr ersetzt. Hier bestand die Herausforderung in einer angepassten und somit prozessfähigen Temperaturführung während des Innenhochdruck-Umform- und Spritzgussprozesses.



Zur Verdeutlichung des Potenzials wurde ein Cockpitquerträger in Aluminium-Kunststoff- und FVK-Kunststoff-Verbundbauweise gefertigt.

Hochbelastbare Crashstrukturen durch Kombination von Form- und Stoffschluss

Die Tragfähigkeit der Gesamtstruktur hängt ganz wesentlich von einer hohen Festigkeit der Lagenverbindung ab. Für Hochleistungsbauteile sind deshalb neben rein adhäsiven Anbindungsmechanismen weitere Maßnahmen zum flächigen Fügen der Einzellagen von Interesse. Vor diesem Hintergrund verfolgt das DFG-Schwerpunktprogramm 1712 »Umformend hergestellte intrinsische Hybridverbunde für crashbelastete Strukturbauteile« einen innovativen Ansatz, der die Schichtanbindung durch einen makroskopischen Formschluss verstärkt. Die Formschlusselemente werden dabei während der Formgebung erzeugt und noch während des Umformprozesses mit den umgebenden Faserlagen gefügt. Im Rahmen einer Prototypenfertigung konnten nicht nur das intrinsische Fertigungsprinzip demonstriert, sondern darüber hinaus auch die beabsichtigte höhere Energieaufnahme unter einer crashtypischen Belastung nachgewiesen werden.

Intelligente Hybridverbunde

Leichtbau lässt sich auch durch Funktionsintegration und somit eine Reduzierung der Einzelkomponenten von Baugruppen realisieren. Innerhalb des Sonderforschungsbereichs/Transregio 39 »Großserienfähige Produktionstechnologien für leichtmetall- und faserverbundbasierte Komponenten mit integrierten Piezosensoren und -aktoren« (PT-PIESA) wurden Laminatwerkstoffe durch das Einbetten von Piezoelementen in die polymere Kernschicht um sensorische und aktorische Funktionalitäten ergänzt. Im Rahmen des Projekts wurde die Anbindung und schadenstolerante Umformung der Piezoelemente intensiv untersucht. Anwendungsmöglichkeiten liegen beispielsweise in der Detektion und aktiven Tilgung von Schwingungen.

Schneller zum einbaufertigen Hybridbauteil

Die Herstellung von Hybridbauteilen aus Metall-Kunststoff-Verbunden ist aufwendig, da u. a. eine Vielzahl von Prozessschritten erforderlich ist. Wie sich dies ändern lässt, wurde im CORNET-Projekt »PreFiHy – Prefinished metal polymer hybrid parts« (IGF 122 EBR) untersucht. Wissenschaftler des Fraunhofer IWU und des Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF) haben gemeinsam mit zwei Industriepartnern Strategien entwickelt, um Hybridbauteile schneller und effizienter zu fertigen.

Ihr Ansatz ist eine spezielle Lackschicht zwischen Blechkomponente und Kunststoff: Die Forscher entwickelten einen Pulverlack, der sowohl die Metalloberfläche veredelt als auch verschiedene Thermoplaste während des Spritzgießens ausgezeichnet anhaften lässt. Da der Pulverlack bereits auf das Blechcoil aufgetragen wird und beim Umformen der Platinen stabil bleibt, können mehrere kostenintensive Vorbehandlungsschritte entfallen und Prozessenergie eingespart werden. Die am IPF entwickelten verschiedenen Lacksysteme wurden am Fraunhofer IWU auf ihre Umformstabilität und Eigenschaften wie Rauheit und Glanzgrad überprüft. Auf diese Weise wurden mehrere Lacke ausgewählt. Anhand eines Strukturbauteils aus der Mittelkonsole eines Pkw konnten die Wissenschaftler die Vorzüge der innovativen Verbindungstechnik nachweisen.

- 1 *Flächige Piezo-Aktoren bilden mit dem umzuformenden Blech einen Verbund, der z. B. durch Tiefziehen in die endgültige Form gebracht wird.*
- 2 *Strukturbauteil als Beispiel für Hybridverbunde mit ausgezeichneter Verbundhaftung*

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0
Fax +49 371 5397-1404
info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

Abteilung Blechbearbeitung

Dipl.-Ing. Matthias Demmler
Telefon +49 371 5397-1327
matthias.demmler@iwu.fraunhofer.de

**Abteilung Profilbasierte Verfahren und
Hochgeschwindigkeitstechnologien**

Dr.-Ing. Verena Psyk
Telefon +49 371 5397-1731
verena.psyk@iwu.fraunhofer.de