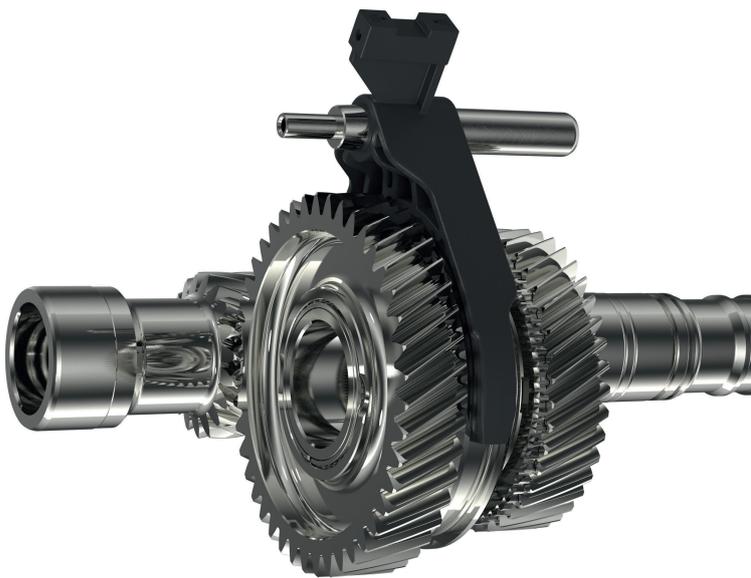


Metallsubstitution im Getriebe

Serienreife Schaltgabel aus Kunststoff erbringt Höchstmaß an Funktionsintegration

Wer bei einem Bauteil von Metall auf Kunststoff umsteigen, die Zahl der Komponenten dabei von acht auf drei reduzieren und gleichzeitig Gewicht und Herstellungskosten senken will, muss mit viel Sorgfalt agieren, um alle Anforderungen zu erfüllen. Besonders wenn es sich um einen mechanisch stark beanspruchten Artikel im heißen Getriebe handelt. GK Concept entwickelte eine neue Schaltgabel – und erhielt dafür gemeinsam mit dem Auftraggeber Koki Technik den GKV/TecPart-Innovationspreis 2019.



Die Schaltgabel stellt den Formschluss zwischen Zahnrad und Welle her, damit die Motorkraft auf die Räder übertragen werden kann (© GK Concept)

Vom ersten in den zweiten Gang und weiter – jeder Fahrer eines Schaltgetriebewagens benutzt sie, meist ohne sie tatsächlich zu kennen: die Schaltgabel. Kaum jemand weiß, dass dieses kleine Bauteil den Gangwechsel überhaupt erst ermöglicht. Auf der Suche nach Leichtbaupotenzialen sind OEM und Tier-1-Unternehmen längst im Motorraum angekommen. Hier herrschen durch Hitze und Chemikalien besondere Bedingungen, die den Umstieg von Metall auf Kunststoff anspruchsvoll machen. Vor allem, wenn ein Bauteil ständiger mechanischer Beanspruchung unterliegt.

Der Engineeringspezialist GK Concept GmbH hat in rund anderthalb Jahren Vor- und Entwicklungsarbeit eine serienreife Schaltgabel aus Polyphthalamid (PPA) mit 30 % Kohlefaseranteil geschaffen, die 35 % leichter ist als das Metallpendant, alle Anforderungen erfüllt und bereits Dauertests auf Prüfständen bestanden hat. Voraussetzung für den Erfolg war neben fundiertem Fachwissen auch ein gewisser technischer Spürsinn, denn das Team des Dresdner Entwicklungsbüros musste viele Fragen stellen, mithilfe von Simulationen untersuchen und präzise beantworten.

Schwerarbeit bei Temperaturen bis 160 °C

Was tut eine Schaltgabel? In einem Getriebe sind auf der Ausgangswelle, die die Autoräder antreibt, Zahnräder paarweise angeordnet. Sie sind mit dieser Welle jedoch nicht fest verbunden. Nur wenn eine Schaltmuffe mittels eines Synchronrings den Formschluss zwischen Zahnrad und Welle herstellt, also wenn man einen Gang einlegt, kann die Kraft, die über eine Vorgelegewelle vom Motor kommt, übertragen werden. Diese Schaltmuffe wird von der Schaltgabel bewegt (**Titelbild**), und wer sich vor Augen hält, über welche Kräfte ein Kfz-Motor verfügt, versteht, dass das Bauteil robust sein muss.

Als GK Concept den Auftrag erhielt zu prüfen, ob man eine Schaltgabel, die traditionell aus Aludruckguss oder Stahl gefertigt ist, auch in Kunststoff umsetzen könne, stand deshalb die Frage nach Lastpfaden und Materialeigenschaften an erster Stelle. Die maximal zulässige Verformung der Gabelenden bei einer Kräfteinleitung von 1500 N unter 120 °C Betriebstemperatur lag bei deutlich unter 0,8 mm (**Bild 1**). Dieser geringe Verformungsgrad muss eingehalten werden, damit die Schaltgabel durch Schrägstellung nicht verklemmt und um erhöhten Verschleiß an Schiebemuffe und Synchronisation zu verhindern. Zusätzlich muss das Bauteil eine Missbrauchslast von 2400 N bei einer erhöhten Temperatur von 160 °C beschädigungsfrei ertragen.

Welche Werkstoffe konnten dafür infrage kommen? Kurz-, Lang-, Endlosfasern aus Carbon oder Glas, verschiedenste thermoplastische Matrixmaterialien oder sogar Duroplaste? Letztere schieden trotz sehr guter Temperaturstabilität wegen ihrer Sprödigkeit und unzureichenden Festigkeit sehr schnell aus.

Systematische Suche nach der richtigen Werkstoffpaarung

Zum U geformte Organobleche aus Endlosfasern, die man hätte umspritzen können, erreichten ebenfalls nicht die nötige Steifigkeit (errechnete Abweichung: 3,5 mm). Hochleistungspolymere wie PEEK oder PAI boten zwar gleichbleibende Maßhaltigkeit im angestrebten Temperaturfenster, kamen aber bei Materialpreisen von 50 Euro und mehr pro Kilogramm aus Kostengründen nicht in Betracht. Die Substitution von Metall durch Kunststoff wäre dann unwirtschaftlich gewesen.

Auf der Suche nach dem richtigen Werkstoff ging das GK-Concept-Team über Datenblätter und Simulationen hinaus: Die



Bild 1. Eine Betriebstemperatur von 120°C schafft harte Bedingungen. Die maximal zulässige Verformung der Gabelenden bei einer Kräfteinleitung von 1500 N lag bei deutlich unter 0,8 mm (© GK Concept)

infrage kommenden Thermoplaste wurden ausgiebigen Materialtests unter den relevanten Einsatzbedingungen unterzogen, um sicherzustellen, dass selbst die Lagerung im 150°C heißen Ölbad keinen maßgeblichen Abfall der mechanischen Eigenschaften bedingt. Letztendlich gelangten die Entwickler zu der Erkenntnis, dass PPA mit einem 30%-igen Anteil an kurzen Kohlefasern (Länge 0,5 bis 5 mm) einen Lösungsweg bot (**Bild 2**).

PPA ist fester und wärmebeständiger als die meisten anderen Kunststoffe, verfügt über eine sehr geringe Wasseraufnahme, aber hohe Kriechfestigkeit, also Stabilität unter konstanter Last, und eignet sich deshalb generell gut als Ersatz für Metall. Zudem verträgt es Dauertemperaturen von 150°C und ist chemisch beständig – wichtig für einen öligen Einsatzort.

Die Kohlefasern mit ihrer Zugfestigkeit von 2400 bis 6000 MPa (zum Vergleich Stahl: 1000 MPa) sorgen für die bei hohen Temperaturen nötige Versteifung. Doch obwohl die Geometrie der Schaltgabel durch mehr Profilhöhe und netzartige Verrippungen so gestaltet wurde, dass sie Kräfte optimal übertragen und ableiten kann, reichte die Festigkeit des PPA-CF30 zunächst nicht aus, um bei über 100°C alle mechanischen Anforderungen zu erfüllen. Im kompletten Temperaturbereich von -40°C bis +150°C musste die Geometrieänderung durch Wärmeeinwirkung weitestgehend der einer Aluminium-Gabel entsprechen, um die Passfähigkeit zu den umgebenden Getriebe-komponenten zu gewährleisten.

Eine Million Wicklungen für den Einleger

Es stellte sich also die Frage, mit welchem Einlegeteil sich der Gabelbereich weiter stabilisieren ließe. Als Profil kamen Rundstab, Flachstange oder eine T-Form infrage und erneut verschiedene Materialien. Doch ein Aluteil – oder weitere Carbonfasern »



Bild 2. Deutlich sichtbar: die Verstärkung der Schaltgabel mit Carbon-Kurzfasern (© GK Concept)

KUTENO

Kunststofftechnik Nord

Die kompakte Zuliefermesse für die kunststoffverarbeitende Industrie

12. – 14.05.2020

A2 Forum | Rheda-Wiedenbrück

Das bietet Ihnen die KUTENO:

- ▶ **Arbeitsmesse:** Kontakt zu Zulieferfirmen entlang der gesamten Prozesskette mit mehr als 330 Ausstellern in 5 Hallen
- ▶ **Starke Aussteller:** kompetente Ansprechpartner aus Industrie und regionalen Verbänden
- ▶ **Full-Service-Paket:** inklusive freiem Eintritt, Parken und Verpflegung

Jetzt kostenloses Ticket sichern!

Mit dem Online-Code:
kuteno20-aziKU

einsetzen? Und falls Carbonfasern: in welcher Form? Bei aus plattenförmigen Halbzeugen gefrästen Einlegern wäre die Faserorientierung ungünstig gewesen, weil die Zugfestigkeit in Faserrichtung immer am höchsten ist.

Die Lösung boten Carbonrovings, die um einen Kern passenden Durchmessers gewickelt und in einer Matrix aus Epoxidharz eingebettet werden. Die einzelne Faser ist hierbei nur 5 bis 9 µm dick, es braucht somit über eine Million Wicklungen, um auf den Einlegerquerschnitt von 6 x 8 mm zu kommen (Bild 3). Auch ver-

Im Profil

Gegründet im Jahr 2012 hat sich die GK Concept GmbH in kurzer Zeit als Engineering Factory und kompetenter Partner für Produkt- und Prozessinnovationen in der Kunststoffbranche etabliert. Mit derzeit 16 Mitarbeitern findet das Unternehmen seit acht Jahren Lösungen für die Bauteil- sowie Werkzeugauslegung und übernimmt mit Partnern den Werkzeugbau und die Erstmustererstellung.



Zu seinen Kernkompetenzen zählt das Dresdner Entwicklungsbüro kinematische Komponenten und Baugruppen, Leichtbau- und Strukturbauteile, Verkleidungselemente aus hinterspritzten Textilien und Folien unterschiedlichster Art, Anwendungen mit Organoblechen sowie komplexe Bauteile und Baugruppen. Für die hier beschriebene Entwicklung einer neuen Schaltgabel erhielt GK Concept (im Bild die beiden Autoren) zusammen mit dem Auftraggeber Koki Technik den GKV/TecPart-Innovationspreis 2019.

» www.gkconcept.de

Die Autoren

Roger Kaufmann gründete 2012 die GK Concept GmbH, Dresden, und ist seither CEO der Engineering Factory; r.kaufmann@gkconcept.de

Dipl.-Ing. Jana Horn leitet bei GK Concept die Entwicklungsabteilung.

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-03

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

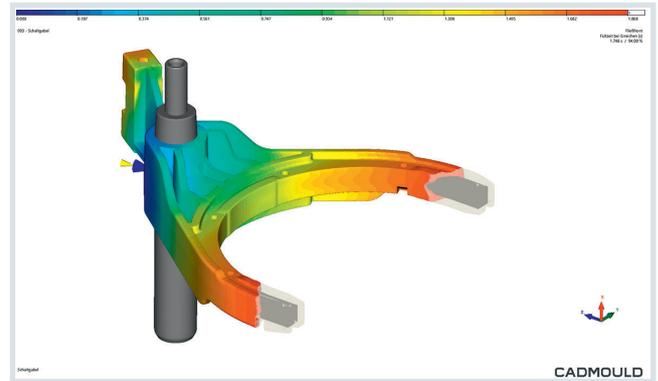


Bild 3. Die Füllsimulation zeigt den gleichzeitigen Schmelzeffluss in beide Gabelenden hinein. Gut erkennbar ist der Carboneinleger rechts im Bild (© GK Concept)



Bild 4. Der hohe Orientierungsgrad der Fasern verstärkt die Belastbarkeit des Bauteils und verringert die Schwindung in Faserrichtung (© GK Concept)

schiedene Faserorientierungen um den Kern wurden virtuell erprobt, letztlich zeigte sich bei einem Winkel von 0° das beste Leistungsvermögen.

Funktionsintegration bringt entscheidenden Kostenvorteil

Nachdem GK Concept ermittelt hatte, dass man das Bauteil aus Kunststoff so fertigen kann, dass es den Betriebsbedingungen standhält, ging es daran, es auch kostenseitig zu optimieren. Rein vom Materialeinsatz her wäre die neue Schaltgabel immer noch teurer gewesen als das Standardmodell aus Aluminiumdruckguss. Nun spielte aber das Spritzgießverfahren seine Fähigkeit zur Funktionsintegration aus: Die acht Einzelteile einer Metallschaltgabel schrumpften in der neuen Konstruktion zu gerade mal drei.

Konstruktionsbedingt nicht mehr nötig war die sogenannte Patte, eine dünne Kunststoffschicht am Aluminium zum Schutz der Schaltmuffe. Viel einfacher ließen sich auch zwei Magneten und ein Polblech am oberen Ende der Schaltgabel anbringen, wo sie für die Getriebesteuerung nötig sind. Bislang mittels Schraube befestigt und von einer Schutzkappe umhüllt, konnte man Magnete und Polblech zu einem Artikel vereinen, der nun im Werkzeug ebenso umspritzt wird wie die Schaltstange, die bei der Metallgabel separat montiert werden muss. Als Einzelteile verbleiben also Schaltstange, Magnetgruppe und Kohlefaserinleger. Damit wurde das Konzept preislich attraktiv, weil Nacharbeiten vollständig entfallen. Der Artikel kommt einbaufertig aus dem Spritzgießwerkzeug.

Dies zu konstruieren war nicht trivial: Wenn drei Einlegeteile positioniert werden müssen, bleibt wenig Platz für Schmelze-führung, Kühlung und mechanische Komponenten wie Schieber und Auswerfer. Für den Carbon-Halbring, der quasi in der Kavität „schweben“ muss, um allseitig umspritzt werden zu können, überlegten sich die Ingenieure einen Kniff. Er wird in beiden Werkzeughälften in Öffnungsrichtung durch Pakete mit je sechs Flachauswerfern axial gehalten, ein zusätzliches Auswerferpaket in der beweglichen Seite übernimmt die Positionierung in radialer Richtung. Ist die Kavität zu 95% gefüllt und so der Einleger durch den Kunststoff fixiert, fahren die Stifte hydraulisch zurück, damit die frei gewordenen Räume ebenfalls gefüllt werden. Die Kohlefasern in ihrer Epoxidmatrix sind dann vollständig von PPA umgeben.

Trotz unterschiedlichen Schwindungsverhaltens der Materialien (0,05 bis 0,55% bei PPA-CF30 gegenüber nahezu 0% Längenänderung beim Einleger) ist das Bauteil weitestgehend spannungsfrei. Dazu trägt auch bei, dass die Schmelze vom alleinigen Anspritzpunkt nahe der Schaltwelle sehr gleichmäßig in die beiden Enden der Gabel geführt wird. So entsteht in den Gabelarmen ein hoher Orientierungsgrad der Fasern, was eine verminderte Schwindung in Faserrichtung bewirkt (Bild 4).

Dauertests in automobilen Prüfständen bereits bestanden

Das ausgeklügelte Zusammenspiel von Bauteilauslegung, Materialauswahl, Struktursimulation, Werkzeugauslegung und Prozesssimulation machte es möglich, eine Schaltgabel mit nur 99 g Bauteilgewicht herzustellen, das sind 35% weniger als das Ausgangsmodell mit 143 g. Da jedes Gangpaar über eine eigene Schaltgabel verfügt, summiert sich, etwa bei einem Sechs-Gang-Getriebe, die Gewichtsersparnis entsprechend.

Interessant ist die Kostenseite der Metallsubstitution. Die PPA-CF30-Ausführung schafft ihr Effizienzplus vor allem durch die Funktionsintegration. Rein vom Materialpreis liegt sie höher als Aluminium, bei den Bearbeitungskosten nähern sich beide Kurven bereits an, und in dem Moment, da man vormals externe Komponenten integrieren kann, ist das neue Modell ganz klar günstiger. So sinkt die nötige Werkzeuginvestition um enorme 60% – in der Gesamtrechnung schlägt eine Kosteneinsparung von immerhin 10% zu Buche. Auch die Umsetzungszeit ist

kürzer, weil weniger Einzelteile angefragt und beauftragt werden müssen.

Die Kunststoff-Schaltgabel hat Dauertests in automobilen Prüfständen bereits bestanden. Der Einsatz in Serie ist also nur noch eine Frage der Zeit.

Fazit

Das Engineering für die Kunststoff-Schaltgabel bot mit hohen Umgebungstemperaturen, vorhandenen Chemikalien und beträchtlichen mechanischen Belastungen einige Herausforderungen – zumal auch die Kostenseite zu bedenken war. Das Team von GK Concept löste sie mit großer Sorgfalt und entwickelte so ein serienreifes Produkt, das leichter und günstiger ist als bisherige Ausführungen aus Metall. ■

SIRMAX auf der Fakuma
Hall B2 Stand B2-2207

13/17.10.2020
Friedrichshafen, Deutschland

SUSTAINABLE IDEAS

FOR NEW AUTOMOTIVE SOLUTIONS.

Wir sind internationale Anbieter von Kunststoffmischungen, -harzen und thermoplastischen Elastomeren mit 50 Jahren Erfahrung. Wir bieten der Automobilindustrie ein komplettes Portfolio an thermoplastischen, kreislaufwirtschafts- und biokunststoffbasierten Lösungen. Unsere Forschungs- und Entwicklungsabteilung hilft Ihnen bei der Auswahl des richtigen Materials für Ihre Interieur-, Exterieur- und Motorraum-Anwendungen und unterstützt Sie durch Co-Design das Fahrzeuggewicht zu reduzieren, die Emissionen zu senken und Sicherheit und Lebensdauer zu verbessern.

SIRMAX
SUSTAINABLE IDEAS

sirmax.com

