Metallsubstitution. Hochleistungspolyamide auf Basis von Polyphthalamid (PPA) verfügen über hervorragende Festigkeitswerte, die auch bei hohen Temperaturen erhalten bleiben. Die Produktklasse weitet die Möglichkeiten für Metallersatz deutlich aus und bietet gleichzeitig die klassischen Vorteile der Kunststoffverarbeitung wie Funktionsintegration, Gewichtsersparnis und niedrigere Kosten.

Bis an die Grenze des Machbaren

THOMAS JELTSCH

Thermoplastische, teilkristalline Polyamide auf PPA-Basis sind bereits lange für ihr vorteilhaftes Eigenschaftsprofil bekannt. Dazu zählen beispielsweise die gute Chemikalienbeständigkeit sowie die sehr gute Dimensionsstabilität und Verzugsarmut. Bauteile aus diesen Polyamiden lassen sich rationell und kostengünstig herstellen und zeigen gleichzeitig eine gute Oberflächenqualität. Zum hervorragenden Konstruktionswerkstoff für anspruchsvolle Anwendungen werden PPA-basierte Materialien wie Grivory HT dank ihres Eigenschaftsprofils, das weit in den Leistungsbereich der Hochleistungskunststoffe wie PPS oder PEEK hinein reicht. Bei den für Metallersatz wichtigsten Kenndaten Steifigkeit und Festigkeit steht Grivory HT mit diesen Werkstoffen bei Anwendungstemperaturen bis 120 °C im Wettbewerb. Die hohe Steifigkeit und Festigkeit bewahren Grivory-HT-Typen dank ihrer äußerst geringen Feuchtigkeits- und Wasseraufnahme im Gegensatz zu Standardpolyamiden langfristig, gerade auch bei hohen Temperaturen. Bekannte Einsatzgebiete sind daher zum Beispiel die Fertigung medienführender Bauteile im Automobilbereich und in der Sanitärindustrie. Grivory HT ist physiologisch unbedenklich und verfügt über die nötigen Zulassungen, um für Trinkwasseranwendungen verwendet werden zu können.

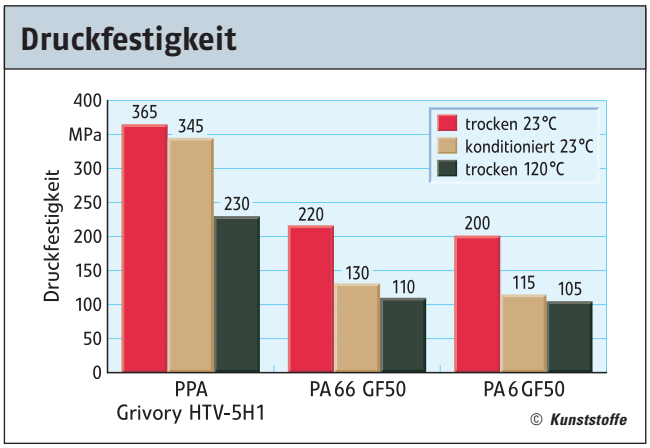

Bild 1. Vergleich der Druckfestigkeiten von PPA (Grivory HTV-5H1), PA 6 und PA 66 (Druckversuch nach ISO 604, Prüfling 10 x 10 x 4 mm)

KU103976

Metallersatz auf höchsten Niveau

Mit der Produktfamilie der glasfaserverstärkten Grivory-HT-Typen ist es gelungen, eine optimale Wechselwirkung zwischen Matrix und Verstärkung zu generieren.

Entscheidende Materialeigenschaften für den Metallersatz sind die Druck- und Zugfestigkeit. Die Druckfestigkeit von Grivory HTV-5H1 wurde im Vergleich zu PA 66 und PA 6 in trockenem und in konditioniertem Zustand bei 23 °C sowie konditioniert bei 120 °C Einsatztemperatur getestet (Bild 1). Alle drei Materialien sind jeweils mit 50 % Glasfasern verstärkt. Dabei zeigt sich, dass Grivory HT für alle drei Kriterien die jeweils besten Materialkennwerte liefert. Die Druckfestigkeit nimmt bei allen Materialien vom trockenen zum konditionierten Zustand hin ab. Auffallend ist, dass Grivory HTV-5H1 von seiner Druckfestigkeit von 365 MPa im trockenen Zustand – der höchsten im Vergleich – nur rund 5 % im konditionierten

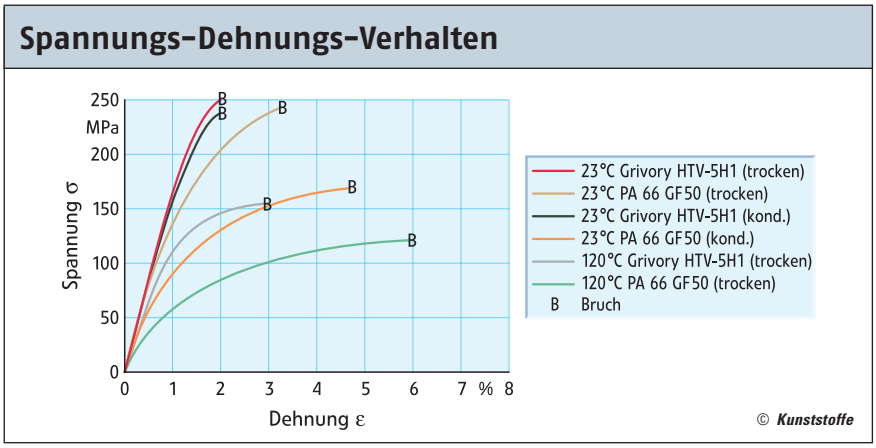

Bild 2. Spannungs-Dehnungs-Verhalten von PPA Grivory HTV-5H1 im Vergleich zu PA 66, jeweils trocken und konditioniert bei 23 °C und bei 120 °C trocken

© Carl Hanser Verlag, München

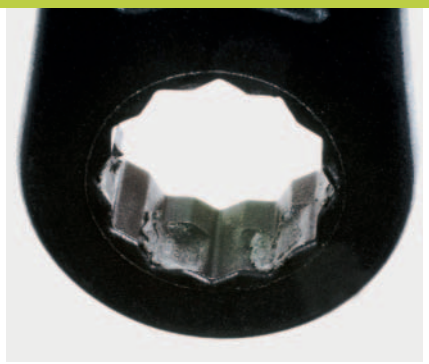

Bild 3. Ringschlüssel aus PA 66 GF 50 nach Versuch (Detailaufnahme)

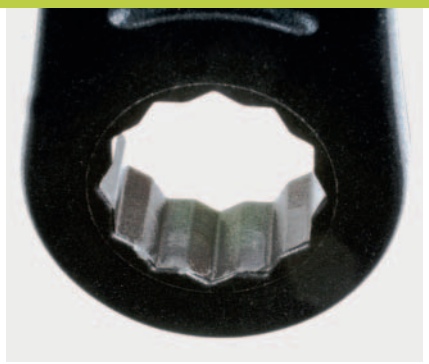

Bild 4. Ringschlüssel aus PPA Grivory HTV-5H1 nach Abdrehen von Schrauben (Detailaufnahme)

Hersteller

Ems-Chemie AG
Business Unit Ems-Grivory
Reichenauer Strasse
CH-7013 Domat/Ems
Schweiz
Tel. +41 (0) 81/6 32-7888
Fax +41 (0) 81/6 32-7401
www.emsgrivory.com

Zustand verliert. PA 66 und PA 6 verlieren hingegen rund 40 % ihrer Festigkeit! Bereits im trockenen Zustand verfügen die Vergleichstypen mit 220 bzw. 200 MPa über eine deutlich geringere Druckfestigkeit. Deutliche Unterschiede zeigen sich auch bei einer Einsatztemperatur von 120 °C, wo Grivory HTV-5H1 mehr als doppelt so wiederstandsfähig gegenüber Druck ist wie die Vergleichsmaterialien.

Beim Spannungs-Dehnungs-Verhalten unter Zugbelastung zeigen sich weitere charakteristische Unterschiede zwischen Grivory HTV-5H1 und Standard-PA 66 (Bild 2). Im trockenen Zustand erreichen beide Materialien vergleichbare Zugspannungen mit bis zu 250 MPa, wobei das Standardpolyamid eine geringere Steifigkeit zeigt. Deutlich werden die Unterschiede im konditionierten Zustand, wo PA 66 aufgrund der aufgenommenen Feuchtigkeit bereits bei kleinen Zugspannungen visko-elastisches Verhalten aufweist und bei Zugspannungen von rund 170 MPa bricht. Grivory HT hingegen behält seine lineare Spannungs-Dehnungscharakteristik nahezu vollständig bis zum Bruch bei. Für die Bauteildimensionierung ist es wichtig zu erkennen, dass die Standardpolyamide PA 6 und PA 66 durch den Kontakt mit Feuchte deutlich an Zugfestigkeit und Steifigkeit verlieren. Grivory HT hingegen büßt auch bei Wasserkontakt nur wenig von seiner Festigkeit ein.

Die Oberflächenhärte von Grivory HTV ist ebenfalls besonders hoch und beweist metallnahe mechanische Eigenschaften: Mit einem Anteil von 50 % Glasfasern liegt die Kugeldruckhärte sowohl im trockenen als auch im konditionierten Zustand bei 340 MPa (Messung nach ISO 2039-1); sie kann bei Bedarf über den Glasfaseranteil weiter erhöht werden (65 % GF: 420 MPa).

Stabiler als Metall

Als Testbauteil für das Material entwickelte Ems-Grivory einen Ringschlüssel aus Grivory HTV-5H1, ein Bauteil, das während der Anwendung bekanntermaßen sehr hohen Druck- und Zugbelastungen ausgesetzt ist. Mithilfe von Simulationen und Festigkeitsanalysen sowie rheologischen Untersuchungen optimierte Ems-Grivory das Werkzeug, um den Rahmenbedingungen (z. B. Festigkeit der Bindenaht) Rechnung zu tragen. Die fertigen Bauteile weisen eine wesentlich höhere Performance im Vergleich zu Ringschlüsseln aus anderen Polyamiden mit 50 % Glasfaserverstärkung auf.

Mit den spritzgegossenen Ringschlüsseln wurden im Test M6-Schrauben festgezogen (Schlüsselweite 10 mm). Ringschlüssel aus PA 66 GF 50 konnten die Schraube nur leicht anziehen. Bereits bei Drehmomenten von ca. 8 Nm wurden die Schlüsselzähne abgeschabt und die Schlüssel unbrauchbar (Bild 3). Mit Ringschlüsseln aus Grivory HTV-5H1 jedoch konnten so hohe Überdrehmomente aufgebaut werden, dass die Schraube (Festigkeitsklasse 8,8) bei einem Drehmoment von 18 Nm brach, während der Ringschlüssel unversehrt blieb (Bild 4). In Bild 5 wird einer FE-Simulation gezeigt, die die Bauteilspannung dokumentiert. Der Kunststoffschlüssel erfährt beim Auf- ▶

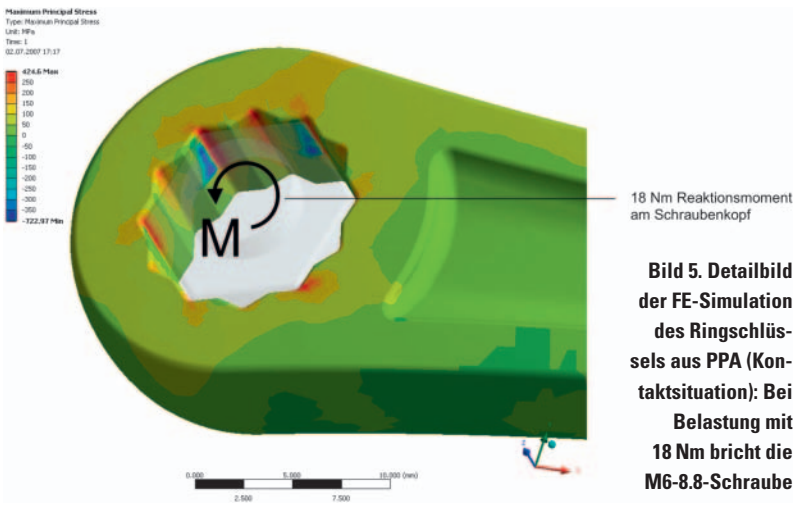

Bild 5. Detailbild der FE-Simulation des Ringschlüssels aus PPA (Kontaktsituation): Bei Belastung mit 18 Nm bricht die M6-8.8-Schraube

bringen der Belastung – analog zu Metall – eine sehr geringe Eigendeformation und widersteht auch mehrmaligen Belastungen. Der enorme Leistungsunterschied wird durch das bereits dargestellte, weitgehend lineare Spannungs-Dehnungs-Verhalten und die sehr hohe Druckfestigkeit begründet. Hinzu kommt bei Grivory HT eine für Thermoplaste außergewöhnlich hohe Steifigkeit. Während der Ringschlüssel aus PA 66 GF 50 sich unter der Belastung stark deformiert und schließlich unter plastischer Verformung und Bruch der Zahnflanken durchrutscht, führt das metallähnliche Verhalten von PPA dazu, dass die Zahnflanken bis zum Versagen der Schraube formstabil bleiben.

Brücke zwischen Standard- und Hochleistungsmaterialien

Typische Beispiele für den Einsatz von PPA sind Teile, deren Belastung längerfristig oder zeitweilig bei erhöhten Temperaturen erfolgt und die darüber hinaus in feuchter Umgebung dauerhaft stabil sein müssen. Dafür sind Hochleistungskunststoffe wie PEEK oder PPS verfügbar, die hohe Kosten verursachen und für viele Anwendungen überdimensioniert sind. Standardpolyamide wiederum zeigen nicht die geforderte Eigenschaftscharakteristik. Die Polyamide der Grivory-HT-Familie schlagen hier eine sinnvolle Brücke als Material, das kostengünstig ein dauerhaftes, zuverlässig hohes Eigenschaftsprofil zeigt. Serienteile finden sich beispielweise in Wasserzählern, Zahnriemenscheiben, Pumpen- und Ventilgehäusen, Schaltklappen und deren Gehäusen sowie allgemein in Funktionsteilen mit entsprechenden Anforderungen.

Der hohe Schmelzpunkt von 325 °C gewährleistet einen problemlosen Einsatz bei hohen Betriebstemperaturen, der von PA 6 (222 °C) oder PA 66 (260 °C) nicht erfüllt werden kann. Im Dauergebrauch kann Grivory HT Temperaturen bis zu 150 °C ausgesetzt werden, und es hält kurzzeitige Temperaturspitzen bis 250 °C. Auch für Anwendungen die hauptsächlich im Temperaturbereich <80 °C betrieben werden ist das PPA sehr interessant, da es von –40 bis 80 °C nur eine sehr geringe Steifigkeitsänderung aufweist (Bild 6). Das daraus gefertigte Bauteil zeigt in einem großen Temperaturbereich nahezu unveränderte Eigenschaften.

Spannungs-Dehnungs-Verhalten

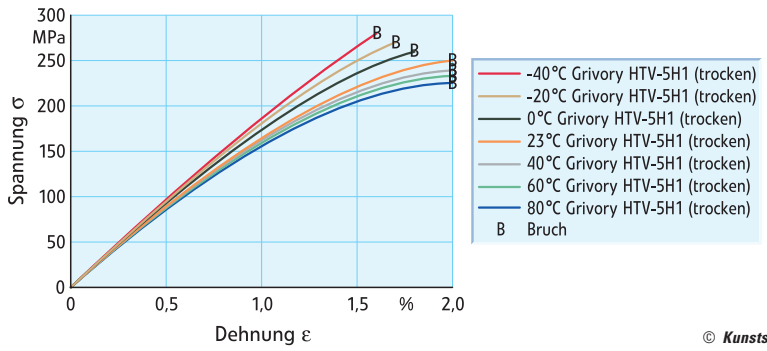

Bild 6. Spannungs-Dehnungs-Verhalten von PPA Grivory HTV-5H1, trocken im Temperaturbereich –40 bis 80 °C

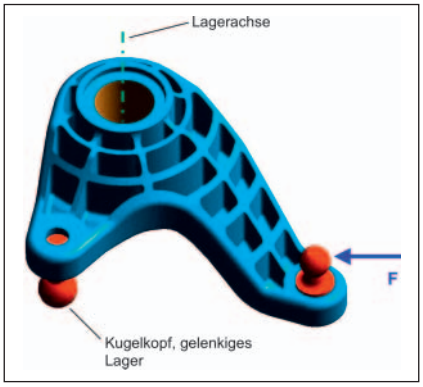

Bild 7. Schwenklager mit Darstellung der Belastungssituation

Rationelle, wirtschaftliche Fertigung

Der Wechsel von Metall auf Kunststoff birgt eine ganze Reihe von Vorteilen. Typisch für die Metallverarbeitung sind mehrere Folgeschritte, angefangen beim Entgraten, Nachbearbeiten von Passflächen, Gewindeschneiden über Korrosionsschutz und Oberflächenveredlung bis hin zur Montage. Die hohe Designfreiheit von Kunststoffbauteilen ermöglicht es, verschiedene Funktionen in einem Bauteil zu integrieren und Folgeschritte, wie die Montage oder das Aufbringen einer Dichtung, überflüssig zu machen. Die metalltypischen und kostenintensiven Nachbearbeitungsschritte entfallen meist völlig. Im Vergleich zu Druckgussverfahren haben Werkzeuge beim Spritzgießen wesentlich höhere Standzeiten, was sich während der Produktlaufzeit in verringerten Unterhaltskosten niederschlägt. Ein weiterer Kostenfaktor sind die Rohstoffpreise: Im Vergleich zum Jahr 2004 sind heute Preise für Metalldruckgusslegierungen drei- bis viermal höher und werden voraussichtlich das Niveau halten oder noch weiter steigen. Je nach Bauteil erbringen diese Faktoren Einsparungen bis zu 50 % (in Einzelfällen mehr).

Substitution mit kompetenten Partnern

Ems-Grivory konzentriert sich seit mehr als 15 Jahren auf Metallsubstitution. Dank dieser Erfahrung unterstützt das Unter-

© Carl Hanser Verlag, München

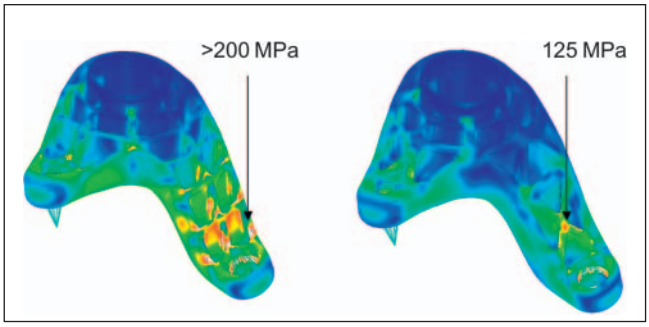

Bild 8. Simulation der Spannungen im Schwenklager mit unterschiedlichen Verrippungen: nicht belastungsgerechte Verrippung mit lokalen Maximalbelastungen über 200 MPa (links); optimierte Konstruktion senkt Maximalbelastung um 40 % (rechts)

nehmen seine Projektpartner bereits bei der Planung mit Machbarkeitsstudien und Designvorschlägen. Finite-Elemente-Analysen, abgestimmt auf die Materialeigenschaften und den Einsatzzweck, optimieren die Konstruktion der Bauteile.

Mithilfe der Bauteilsimulation können die zu erwartenden Vorteile der Kunststoffbauteile aufgezeigt werden. Die Konstruktion mit faserverstärkten Hochleistungspolymeren ist durchaus anspruchsvoll und muss einer Reihe von Anforderungen genügen, um letztendlich zu einer leistungsfähigeren und kostengünstigeren Bauteilversion zu führen. Ein Beispiel für eine solche Optimierung der Konstruktion ist ein Schwenklager, das in Grivory HTV-5H1 realisiert wurde. Bild 7 zeigt die ursprünglich geplante Verrippung. Während der Optimierung erwies sich diese als nicht belastungsgerecht ausgelegt (Bild 8 links). Durch eine Kreuzverrippung (Bild 8 rechts) können die maximalen Spannungen und Verformungen um 40 % gegenüber der Ausgangssituation reduziert und damit eine erwartungsgemäße Betriebssicherheit gewährleistet werden.

Fazit

Die hohe Steifigkeit der Metalle wird mit Spritzgusswerkstoffen zwar nicht erreicht, lässt sich in sehr vielen Fällen jedoch mit materialgerechtem Design konstruktiv kompensieren. Mit der PPA-basierten Werkstofffamilie Grivory HT stehen Materialien zur Verfügung, die mit ihren metallnahen Eigenschaften die Machbarkeitsgrenzen weiter nach oben ausbauen. ■

DER AUTOR

DIPL.-ING. THOMAS JELTSCH, geb. 1960, leitet bei Ems-Grivory, Domat/Ems, Schweiz, in der Anwendungstechnik den Bereich CAE-Service.
Kontakt: welcome@emsgrivory.com.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

To the Limits of the Possible

METAL REPLACEMENT. High-performance plastics based on polyphthalamide (PPA) have excellent strength values, which are also retained at high temperatures. This product class significantly widens the opportunities for metal replacement, while at the same time offering the classic advantages of plastics processing such as functional integration, weight saving and lower costs.

*NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103976** on our website at **www.kunststoffe-international.com***