

Eine Rakete im Werkzeug

Mikrospritzgießen eines Gasdiffusors mit flüssigkristallinen Polymeren

Filigrane Werkzeuge und winzige Bauteile sind das Spezialgebiet der Kunststofftechniker von Jantsch. Kurz vor Serienanlauf eines erdgasbetriebenen Fahrzeugs entwickelten sie einen dringend benötigten Diffusor. Zusammen mit dem Distributeur K.D. Feddersen wurde für die hauchdünnen Wände nicht nur auf einen sehr speziell zu verarbeitenden Kunststoff gesetzt, sondern auch ein Werkzeug am Rande des Möglichen gebaut.

Das kleine LCP-Bauteil inklusive einer der vier Werkzeugkavitäten. Der Größenvergleich lässt die sehr geringen Wanddicken nur vermuten

(© Jantsch)



Es war zwar nicht unbedingt laut, aber dennoch störte es die Testfahrer der nagelneuen Fahrzeuge. Das Pfeifgeräusch, das ein Gasdruckregler im erdgasbetriebenen Motor von sich gab. Obwohl das Pfeifen nicht regelmäßig auftrat, sondern nur bei bestimmten Druck- und Temperaturverhältnissen, war es für die Fahrzeugingenieure nicht akzeptabel. Da der Serienanlauf drängte, sollte einer der Zulieferer eine schnelle und unkonventionelle Lösung des Problems liefern, möglichst ohne die ganze Motorkonstruktion zu ändern. So wurde innerhalb kurzer Zeit gemäß den extremen Anforderungen ein zusätzliches Kunststoffbauteil

entwickelt, aufgrund des knappen Bauraums in Miniaturausführung.

Das Pfeifgeräusch hat Stephan Loh zwar nie gehört, aber das für Ruhe sorgende Diffusorbauteil kennt er besser als jeder andere. Der Ingenieur und sein Team der Kunststofftechnik Jantsch GmbH, Nürnberg, waren gefragt, weil die Anforderungen des Bauteils mit herkömmlichen Kunststoffen und Verarbeitungsmethoden nicht zu erfüllen waren (**Bild 1**). Das mittelständische Unternehmen hat sich auf anspruchsvolle Präzisionsbauteile aus einer großen Bandbreite von Kunststoffen und Sonderverfahren spezialisiert. »

Ende 1980 hat Dipl.-Wirtsch.-Ing. Wieland P. Loh das Unternehmen zusammen mit seiner Frau Florence Letellier-Loh übernommen und groß gemacht. Interessierten berichtet Loh senior gern über die Unternehmensgeschichte, bringt viele Anekdoten an und grüßt alle Mitarbeiter im Betrieb persönlich (**Bild 2**). Mittlerweile ist auch Lohs Sohn Stephan als Geschäftsführer in der Verantwortung. Er ist Diplom-Ingenieur, begeistert sich besonders für schwierige Bauteile, weiß wie Spritzlinge zu konstruieren sind und jongliert mit Verfahrensparametern, bis die Fertigungsprozesse sitzen. Das Unternehmen hat auch einen haus-eigenen Werkzeugbau mit rund 18 Mitarbeitern. „Normalerweise produzieren wir Bauteile, die bereits fertig entwickelt sind. Bei dem Diffusor haben wir eine Ausnahme gemacht“, so Loh junior. Entscheidend dafür war nicht nur die spritzgieß-gerechte Konstruktion des Teils, sondern auch eine sehr spezielle Werkstoffauswahl.

Der schnelle Griff zu PEEK

Der pfeifende Gasdruckregler saß zwischen Erd-gastank und Motor. Da der Regler von Gas durch-strömt wurde, entstand eine turbulente Strömung, die zu einer schwingenden akustischen Säule führte. Ähnlich wie bei einer Orgel erzeugte dies im Fahrzeug das störende Geräusch. Um das zu verhindern, schlugen die Strömungsexperten des Autobauers ein Diffusor-Bauteil in Form eines klei-nen, feinen Gitters vor. Es sollte die Strömung lami-narisieren und damit das Pfeifgeräusch verhindern. „Ein solches Laminar-Flow-Bauteil war ursprüng-lich nicht vorgesehen und musste daher nachträg-lich entwickelt werden“, so Stephan Loh. Im Erd-gasstrom treten Temperaturen von -120 °C bis 140 °C



Bild 1. Das Entwicklun-steam mit dem Diffusor-Werkzeug (v.l.n.r.): Frank Berka, Anwendungsentwickler von K. D. Feddersen, Wieland P. Loh und Stephan Loh, Geschäftsführer der Kunststofftechnik Jantsch GmbH

(© Hanser/F. Gründel)

auf, die das Kunststoffbauteil aushalten muss. Für den Tier-1-Zulieferer sprachen nicht zuletzt diese Anforderungen für den Einsatz des Hochleistungs-polymer Polyetheretherketon (PEEK). Auf der Suche nach einem geeigneten Verarbeiter für diesen Materialtyp konsultierte er die Experten von Jantsch. „Der Kunde wollte jemanden, der mit PEEK umgehen kann und ihm hilft, eine Bauteilkonstruk-tion zu finden, die spritzgießbar ist und den gefor-derten Anforderungen entspricht“, erinnert sich Stephan Loh.

Die ersten beiden Konstruktionsentwürfe des Automobilzulieferers hatten eine extreme Geome-trie, zumindest für die Spritzgießfertigung. Zum einen wurde eine dünne (5 mm), aber vergleichswei-se lange (21 mm) Hohlschraube mit Längsschlit-z vorgeschlagen. Die zweite Version bestand aus einem kleinen Raster mit Außenabmessungen von 4,7x4,7 mm und Wandstärken kaum dicker als eine Plastikfolie (0,2 mm). Schon beim ersten Blick der Spritzgießer auf diese Entwürfe war klar: Diese Geometrien lassen sich nicht fertigen. Loh junior war sich sicher, dass die dünnen Werkzeugkerne nach nur wenigen Schuss durchgeglüht und kaputt wären, „sowas würde keiner machen.“ Eine Sim-ulation mit PEEK zeigte anschließend, dass das Material die Formkavität nicht ausfüllen würde. Selbst unter für das Material optimalen Bedingun-gen von 230 °C Werkzeugtemperatur und 2500 bar floss die Schmelze nur ein paar wenige Millimeter in das Werkzeug. Dann war Schluss, die PEEK-Schmelze war zu zäh für diese Geometrien.

Spritzgießbarkeit im Fokus eines neuen Entwurfs

Deswegen gingen Loh & Co. nochmal zurück zum Entwurf und entwickelten ein neues Bauteil, „das sich spritzgießen ließ und die Anforderungen des

Im Profil

Die **Kunststofftechnik Jantsch GmbH** wurde 1952 gegründet, beschäftigt am Standort Nürnberg derzeit rund 80 Mitarbeiter und wird dieses Jahr voraussichtlich einen Umsatz von 10 Mio. EUR überschreiten. Kernkompetenz ist die Herstellung von anspruchsvollen spritzgegossenen Kunststoffteilen aus nahezu sämtlichen Thermoplasten mit derzeit 27 Spritzgießmaschinen. Zu den eingesetzten Sonderverfahren gehören unter anderem Mehrkomponenten-Spritzgießen, automatisiertes Zuführen von Einlegeteilen, Inline-Teileprüfung mit optischen Messverfahren und eine Reinraumfertigung. Das Bauteilspektrum reicht von < 1 mg bis ca. 500 g. Die Firma Jantsch verfügt über einen eigenen Formenbau mit derzeit 18 Beschäftigten sowie eine Prototyping-Abteilung inkl. Vakuumgießen. Kundenbranchen sind Automobil, Elektrotechnik, Luftfahrt, Optik, Messtechnik und Medizintechnik.

➤ www.jantsch.de

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/4534379

Kunden erfüllte.“ Das bedeutete eine andere, stabilere Geometrie ohne allzu dünne Wanddicken. Außerdem musste ein alternativer Werkstoff gefunden werden, der leichtfließend genug ist, um die feinen Strukturen abzubilden und die geforderte Temperaturbeständigkeit zu erfüllen.

Liegt das Ergebnis auf dem Tisch, könnte man den endgültigen Diffusor fast mit einem Granulat-korn verwechseln (**Titelbild**). Mit 7,5 mm Länge und

LCP hat eine sehr geringe Schmelzwärme und erstarrt daher schlagartig

5 mm Durchmesser ist das zylindrische Bauteil winzig klein. Der Grundkörper beinhaltet im oberen Teil ein feines Gitter mit 0,26 mm dünnen Rippen, im unteren Teil ist er hohl. Außen gibt es auf der einen Seite eine umlaufende Wulst, auf der anderen Seite kleine Finnen, damit das Bauteil später von beiden Seiten fest in das Drosselventil eingesteckt werden kann (**Bild 3**). Im Betriebszustand darf es sich weder verdrehen, noch aufplatzen und erst recht keine Partikel freisetzen, die etwa die Einspritzdüsen verstopfen könnten. „Man sieht es dem finalen Bauteil nicht an“, sagt Stephan Loh, „aber in der Geometrie stecken sehr viele Überlegungen. Man hätte an vielen Stellen etwas falsch machen können.“

LCP: Nur für Spezialisten

Auf der Suche nach Materialien mit ähnlichen Temperaturbeständigkeiten wie PEEK hielten die Entwickler von Jantsch Rücksprache mit Anwendungsentwickler Frank Berka vom Werkstoffdistributeur K.D. Feddersen GmbH & Co. KG, Hamburg. Seit rund 20 Jahren arbeiten die beiden Firmen zusammen. Aufgrund seiner guten Fließfähigkeit wurde zunächst Polyphenylsulfid (PPS) als Alternative in Betracht gezogen, allerdings neigt das Material zur Ausbildung von Graten. Das ist bei solchen Miniaturbauteilen sehr unvorteilhaft, da die Nachbearbeitung einer feinmechanischen Meisterleistung gleich kommt. Eine weitere Idee von Loh junior und Berka waren flüssigkristalline Polymere (liquid crystal polymer, LCP). Sie sind sehr fließfähig, flammwidrig, dimensionsstabil bei hohen Temperaturen, haben eine geringe thermische Ausdehnung und sind chemisch beständig. Die niedrigeren mechanischen Eigenschaften werden durch Glas- oder Kohlefasern deutlich verbessert. Sie folgen allerdings im Vergleich zu herkömmlichen Thermoplasten völlig anderen Regeln in der Verarbeitung. Berka empfiehlt LCP

deswegen nicht unbedingt jedem: „Wenn man noch nie mit diesem Material gearbeitet hat, kann man viel falsch machen. Deswegen ist es sinnvoll, im Vorfeld mit Materialherstellern zu sprechen, um nicht in nachträgliche Kostenfallen wie Werkzeuganpassungen zu tappen.“ Bei Kunststofftechnik Jantsch sei es ein großer Vorteil gewesen, dass sie früh Kontakt aufgenommen haben, ihre Werkzeuge selber bauen können und bereits Erfahrungen mit LCP aus Bauteilen und Fachartikeln hatten. Trotzdem war das Diffusorbauteil eine Herausforderung, das „die Messlatte schon noch ein bisschen weiter nach oben verschoben hat“, sagt Stephan Loh stolz.

Wie es ihr Name schon sagt, sind teilkristalline Bereiche in der Schmelze und eine sehr geringe Schmelzenthalpie das Besondere an LCP. Einzigartig ist daher, dass beim Erstarren nahezu keine Kristallisationswärme abgeführt werden muss, weswegen trotz der sehr niedrigen Schmelzeviskosität kaum Gratabbildung entsteht. Sobald das flüssige Material unter die Schmelzetemperatur abkühlt, indem es beispielsweise an die Werkzeugwand kommt, erstarrt es sofort. „Deswegen muss LCP genau umgekehrt wie herkömmliche Thermoplaste behandelt werden“, sagt Materialexperte Berka, „damit es optimal fließt, muss man den Prozess so auslegen, dass LCP möglichst stark geschert wird.“ Es heizt sich beim Fließen auf und nur so bleibt die Schmelze ausreichend flüssig und kann die Form ausfüllen. Deswegen müssen sich die Querschnitte idealerweise von der Plastifiziereinheit über den Anguss bis in die Kavität verjüngen und das Material möglichst schnell ins Werkzeug gebracht werden. Da es sehr schnell erstarrt, bewirkt Nachdruck nichts mehr, dafür schwindet LCP beim Abkühlen auch so gut wie gar nicht. Die starke Orientie- ➤

Bild 2. Wieland P. Loh im Gespräch mit einer Mitarbeiterin in der Produktion. Die vielen Miniatur- und Präzisionsbauteile erfordern eine aufwendige Qualitätskontrolle, teilweise per Hand durch die Mitarbeiter

(© Hanser/F. Gründel)



rung der kristallinen Bereiche in der Schmelze führt zu anisotropen Eigenschaften, weswegen Angusslage und Bindenähte besonders beachtet werden müssen. LCP weist eine sehr geringe Bindenahtfestigkeit auf, was bei der Bauteilentwicklung mittels Füllsimulationen berücksichtigt werden muss. „Je geringer die Wanddicken, desto höher die Festigkeit eines LCP-Bauteils“, sagt Berka, „deswegen war der Diffusor prädestiniert für dieses Material.“ Er wählte im konkreten Fall das LCP Vectra E130i von Celanese mit 30 % Glasfasern.

Feintuning, was die Werkzeugkerne halten

Nach allen Vorüberlegungen wurde innerhalb von sechs Wochen ein Backenwerkzeug mit vier Kavitäten bei Jantsch im eigenen Betrieb gebaut. Da musste alles richtig schnell gehen oder wie Loh junior es formuliert: „Rekordzeit für so ein schwieriges Bauteil.“ Die kurzen Wege im Betrieb und ein eigener Werkzeugbau sind für die Produktion der Miniatur- und Präzisionsbauteile vorteilhaft. Bei den vielen feinen Werkzeugkernen sind immer wieder Reparaturen und schnelle Reaktionszeiten notwendig. Für Stephan Loh liegt deswegen ein Großteil der Kompetenz im Werkzeug, denn „wenn man den Werkzeugbau nicht im Haus hat, ist man immer wieder auf andere angewiesen.“

Jede Kammer des Diffusor-Gitters im Inneren des Zylinders hat einen eigenen Kern von nur eini-

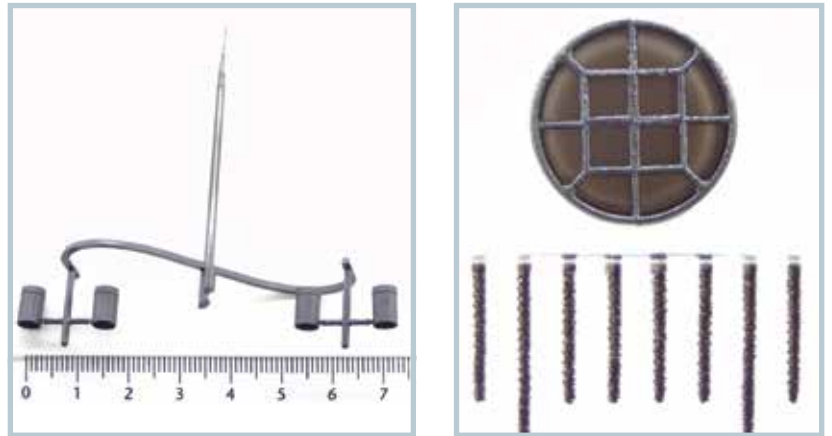


Bild 3. Detailansichten des Diffusor-Bauteils. Der Großteil des Materials und der Einspritzzeit entfallen dabei auf den Anguss (© Jantsch)

gen zehntel Millimetern – 12 Kerne pro Kavität, 48 insgesamt, mikrogefräst mit speziellen Hilfsvorrichtungen und einer Präzision von kleiner als 10 µm. Das Werkzeug ist konstant auf 100 °C tempe-

Reproduzierbar und wiederholgenau ist wichtiger als schnell und günstig

Prominentes Gegenstück

Dem kleinen Diffusor von Jantsch sieht ein heftig diskutiertes und sogar in der Tagesschau vorgestelltes Bauteil verblüffend ähnlich. Es handelt sich um das Volkswagen-Bauteil zur technischen Nachrüstmaßnahme für die manipulierten Abgasfahrzeuge. Tatsächlich hat es auch eine ähnliche Funktion. Ende November 2015 hat VW den Strömungsgleichrichter vorgestellt, der bei Fahrzeugen mit 1,6-Liter EA 189-Motor direkt vor dem Luftmassenmesser befestigt werden soll. Das Bauteil ist ein Gitternetz, das den verwirbelten Luftstrom beruhigt und so laut VW die Messgenauigkeit des Luftmassenmessers verbessert. Dieser ermittelt die aktuell durchgesetzte Luftmasse; ein für das Motormanagement sehr wichtiger Parameter für einen geeigneten Verbrennungsvorgang.



Strömungsgleichrichter für die vom Dieselskandal betroffenen Fahrzeuge

(© VW)

riert und lässt sich mit nur 100 bar Einspritzdruck füllen, viel weniger als die für PEEK benötigten ≥ 2500 bar. Aufgespannt wird es bei Jantsch auf eine 180 kN-Spritzgießmaschine der Arburg GmbH + Co KG, Loßburg, mit einem Schneckendurchmesser von 15 mm. „Das Material muss blitzschnell ins Werkzeug und sollte sich nicht mehr entspannen“, so Berka. Konkret bedeutet das: Innerhalb von etwa 110 ms wird das Werkzeug komplett gefüllt, lediglich 30 ms davon entfallen auf die Teilekavitäten. „Bei diesen Geschwindigkeiten kann man nichts mehr großartig regeln oder steuern“, sagt Stephan Loh, „das Material ist wie eine Rakete, die man ins Werkzeug abschießt und die dann ihr Ziel, die Kavitäten, selbstständig treffen muss.“ Rund 65 % des eingespritzten Kunststoffes bilden den Anguss, nur die restlichen 35 %, etwa 324 mg, verteilen sich auf die vier kleinen Bauteile (Gewicht pro Stück 81 mg). Die Zykluszeit beträgt etwa 10 s, am längsten dauert der Anguss, damit dieser bei der Entnahme nicht zerreißt. „Bei solchen Präzisionsbauteilen ist die Zykluszeit nicht unbedingt entscheidend“, erklärt Wieland Loh, „viel wichtiger ist, dass man es überhaupt reproduzierbar und wiederholgenau spritzen kann.“ Weil die Schmelze innerhalb von einer halben Sekunde erstarrt ist, braucht das Bauteil keine Kühlzeit und kann unmittelbar aus der Maschine entnommen werden. Anschließend prüfen Mitarbeiter die Qualität und ziehen die Bauteile händisch vom Anguss ab.

Werkstofftipps, die in keiner Tabelle zu finden sind

So zumindest war zunächst die von Jantsch mit Simulationen, Vorversuchen und viel Erfahrung erdachte Theorie. „Wir haben gedacht, dass es so funktioniert“, sagt Loh junior schmunzelnd. Dann kamen die ersten Musterungen und die Kunststofftechniker sahen, dass sporadisch ein Formnest nicht richtig ausgefüllt wird – jedes Mal ein anderes. Die im Werkzeug fehlenden gut 80 mg Material bemerke die Maschine gar nicht und könne dementsprechend nicht drauf reagieren, erklärt Stephan Loh. Überhaupt ist aufgrund des blitzschnell erstarrenden LCP ohne Nachdruckmöglichkeit durch den Prozess sowieso nur wenig zu regulieren. Den entscheidenden Hinweis bekam der Verarbeiter von Materialexperte Frank Berka: Man muss den Anguss und die Anschnitte extrem dünn gestalten, dann funktioniert es. „Sowas kann man in keiner Tabelle nachschauen“, sagt Loh im Rückblick, „da ist die Rücksprache mit Materialherstellern und Distributoren gefragt.“

Nach diesem Hinweis wurde der Anspritzpunkt im bestehenden Serienwerkzeug zunächst um einen Zehntel Millimeter im Quadrat zugeschweißt, dann wieder etwas größer gemacht, weil zu wenig Schmelze durchkam (Bild 4). „Wir haben hin und her probiert. Dabei musste jede Veränderung komplett symmetrisch und auf das μ genau ins Werkzeug eingeschliffen werden“, sagt Loh junior und ergänzt, „sonst macht die Schmelze komische Sachen.“ Letztendlich stellte sich ein Anguss mit Rechteckquerschnitt von 0,15 mm x 0,3 mm als praktikabel heraus, bei einer Bauteilwanddicke von 0,26 mm.

Aktuell ist der Diffusor für die erdgasbetriebenen Fahrzeuge im Anlauf. Erste Serien wurden bereits ausgeliefert, eine Stückzahl von 50 000 pro Jahr ist anvisiert. Eine spritzgießgerechte Konstruktion, sehr spezifisches Werkstoff-Know-how und ein präziser Werkzeugbau ermöglichten die Herstellung dieses Bauteils. „In der Gruppe der Hochleistungspolymere ist LCP wesentlich günsti-



ger als PEEK“, antwortet Berka auf die Frage nach den Kosten. Stephan Loh wiegelt ab: „Bei diesem Bauteil ist nicht das Material ausschlaggebend für den Preis, sondern die Qualitätskontrolle.“ Dazu gehört auch regelmäßiges Reinigen und gründliches Inspizieren des Werkzeugs. Loh senior gibt dabei zu bedenken, dass das Ziel ein automatisierter Prozess mit Schüttgut und nur noch stichprobenartigen Kontrollen sei – zumindest, „wenn wir damit Geld verdienen möchten und nicht nur ein schönes Bauteil machen wollen.“ Sosehr der Vater auch betriebswirtschaftlich denkt, sosehr begeistert sich der Sohn für technische Herausforderungen. Das vergleichsweise kleine Werkzeug mit wenigen Kavitäten hatte den Reiz, mit überschaubarem Risiko etwas Neues ausprobieren zu können. „Wenn man Grenzen verschieben möchte, ist es besser, wenn es nicht um allzu große Summen geht“, resümiert Stephan Loh. ■

Franziska Gründel, Redaktion

Bild 4. Das Geheimnis der vollständigen Kavitätenfüllung lag letztendlich im Anguss. Im Gegensatz zu allen anderen Thermoplasten muss LCP kontinuierlich geschert werden, damit es flüssig bleibt (© Hanser/F. Gründel)