

Mehr Präzision für störungsanfällige Frühvernetzer

APC plus von KraussMaffei nun auch für Duroplaste

Sie bieten hohe Steifigkeit, sind temperatur- und chemikalienbeständig und sie rieseln in die Maschine: Die Rede ist hier nicht von Hochleistungsthermoplasten wie PEEK oder PPS, sondern von duroplastischen Polymeren. Bei der Verarbeitung dieser anspruchsvollen Materialien setzt der Großserien-Spezialist Baumgarten automotive technics die Maschinenfunktion APC plus von KraussMaffei ein. Der Ausschuss ging dadurch signifikant zurück.

Zwischen Metall und Thermoplasten klafft eine Lücke. Wenn es – wie z.B. bei Bremskolben, die mehr als 400 °C vertragen müssen, oder bei Komponenten für Ölpumpen – um Bauteile geht, die unter hoher Temperaturbelastung langfristig dimensionsstabil oder robust gegenüber aggressiven Medien sein müssen, dann öffnet sich ein Feld für Werkstoffe, die viele Produktentwickler oft nicht im Blick haben: Duroplaste. Dabei sind diese Materialien wirtschaftlich besonders attraktiv. Geometrien, die beispielsweise im schweren Druckguss nachträgliche Zerspannung erfordern, lassen sich hier werkzeugfallend fertigen. Darüber hinaus weisen übliche Duroplaste eine geringere Dichte als Aluminium auf. Füllstoffgehalte von bis zu 80% in der Matrix (auf Phenol-, Epoxid-, Polyester-, Melamin- oder Harnstoffbasis) entkoppeln die Materialkosten außerdem vom unsteten Ölpreis. Allerdings machen ihre Temperatur- und Scherempfindlichkeit, der hohe Anteil an Fasern und Füllstoffen sowie ausgeprägte Chargenschwankungen die Duroplastverarbeitung zu einer Angelegenheit für Spezialisten – und die Schussgewichtskonstanz zur Herausforderung.

Die Baumgarten automotive technics GmbH verarbeitet seit 60 Jahren Duroplaste in Großserie und liefert mit ihren 75 Mitarbeitern komplexe technische Teile in verschiedene Märkte, wie die Automobil- und Energieindustrie. Wo Metall substituiert werden soll, übernimmt das Unternehmen die Anpassung der Artikelgeo-



Beim Deckel der Vakuumpumpe kommt es auf die absolut plane Funktionsoberfläche an (rechts). Herausforderung dabei: Die stark ausgeprägte Rippenstruktur auf der Rückseite (links) darf sich nicht auf der planen Seite abzeichnen. Lösen lässt sich das durch den Einsatz von PF-Duroplastmassen (© KraussMaffei)

metrie an den Kunststoff und entwickelt eigenständig Werkzeug- sowie gesamte Produktionskonzepte. Darüber hinaus steht Baumgarten als Experte und Berater rund um alle Fragestellungen duroplastischer Kunststoffe zur Verfügung.

Seit 2017 läuft am Stammsitz des Automobilzulieferers in Burbach auf zwei Fertigungsanlagen die Maschinenfunktion APC plus (APC = Adaptive Process Control) von KraussMaffei. APC plus analysiert den aktuellen Prozesszustand und ver-

gleicht diesen permanent mit der gelerten Sollkurve (Referenzkurve). Der Umschaltzeitpunkt und das Nachdruckprofil werden entsprechend dem Massedruck automatisch angepasst.

Weniger Schwankungen beim Richtwert Werkzeuginnendruck

Baumgarten hatte das Projekt 2016 zunächst als eine Art Wareneingangsprüfung gestartet, um Chargenschwankun-

gen besser untersuchen zu können. Dafür installierte man die Vorgängerversion APC auf einer Maschine der hydraulischen Baureihe CX mit 1600 kN Schließkraft, die den Deckel einer Vakuumpumpe (**Titelbild**) fertigt. Es zeigte sich aber, dass die hohen Füllstoffgehalte problematisch waren; daraufhin passte KraussMaffei das System im Zuge der Entwicklung von APC plus an. Nun sind hier auch die Daten verschiedenster Duroplaste hinterlegt, etwa die der materialspezifischen Kompressionskurve, wodurch sich die Viskosität der Masse konstant messen und der Umschaltpunkt vom Einspritzen zum Nachdruck inline und individuell in jedem Schuss regeln lässt.

Der Nutzen geht dabei weit über die bloße Analyse hinaus: Bei einem Ölpumpenstellring aus PF (MD+GF) 70, der in hohen Stückzahlen auf einer CX200 entsteht, ist der Ausschuss deutlich gesunken. Das Bauteil wird seit 2014 im kontinuierlichen Dreischichtbetrieb produziert (**Bild 1**) und ist ein unauffälliges Beispiel für hohe Präzision im Dauerbetrieb. Da es im Motor den Öldruck regelt, muss es ein Fahrzeugleben lang bei Temperaturen von -30 bis +140 °C dimensionsstabil sein. Die Höhentoleranz beträgt nur 10 µm. Das umgebende Medium ist eine aggressive Mischung aus Öl, Wasser, Additiven und anderen Substanzen. Außerdem wirken statische und dynamische Kräfte, denn, über Federn in Endlage gedrückt, arbeitet der Öldruck gegen den Schieber.

Bereits vor der Einführung von APC plus hat Baumgarten als Hauptqualitäts-



Bild 1. Präzisionsbauteile mit nur 10 µm Toleranz: der Ölpumpenstellring aus PF (MD+GF) 70. Die Fertigung läuft seit 2014 im kontinuierlichen Dreischichtbetrieb auf einer CX200 (© KraussMaffei)

kriterium den Werkzeuginnendruck überwacht und Teile mit zu stark abweichenden Werten automatisch inline ausgeschleust. Ein 48-Stunden-Test (24 Stunden ohne und 24 Stunden mit APC plus) zeigte nun, dass sich mit aktivierter Maschinenfunktion die Schwankungsbreite im Werkzeuginnendruck deutlich verringert (**Bild 2**): Der Variationskoeffizient sank von 4,10 auf 2,51%. Ausreißer, die sich durch wechselnde Korngrößen, Füllstoff- oder Staubanteile ergeben können, werden ausgeglichen und das Toleranzfenster kann enger gelegt werden.

Will man intensive Analysen betreiben, sind die Variationen nach unten beim Werkzeuginnendruck übrigens besonders interessant: Das Abweichen von

einem Toleranzwert von ±30 bar kann die Teilequalität in Frage stellen. Aufgerissene Fließfronten könnten etwa die Bauteileigenschaften negativ beeinflussen und zudem die Oberflächeneigenschaften verschlechtern.

Gleicher OFT-Wert – aber unterschiedliches Materialverhalten

Auch weitere Phänomene sollen in Zukunft mithilfe von APC plus untersucht werden: Was ist, wenn sich der Viskositätsindex stark ändert, das Bauteil aber gleiche Qualitätskriterien aufweist? Was findet dann im Prozess statt? Realitätsnahe Analysen wie diese sind für den Verarbeiter wesentlich wertvoller als Prüf- ➤

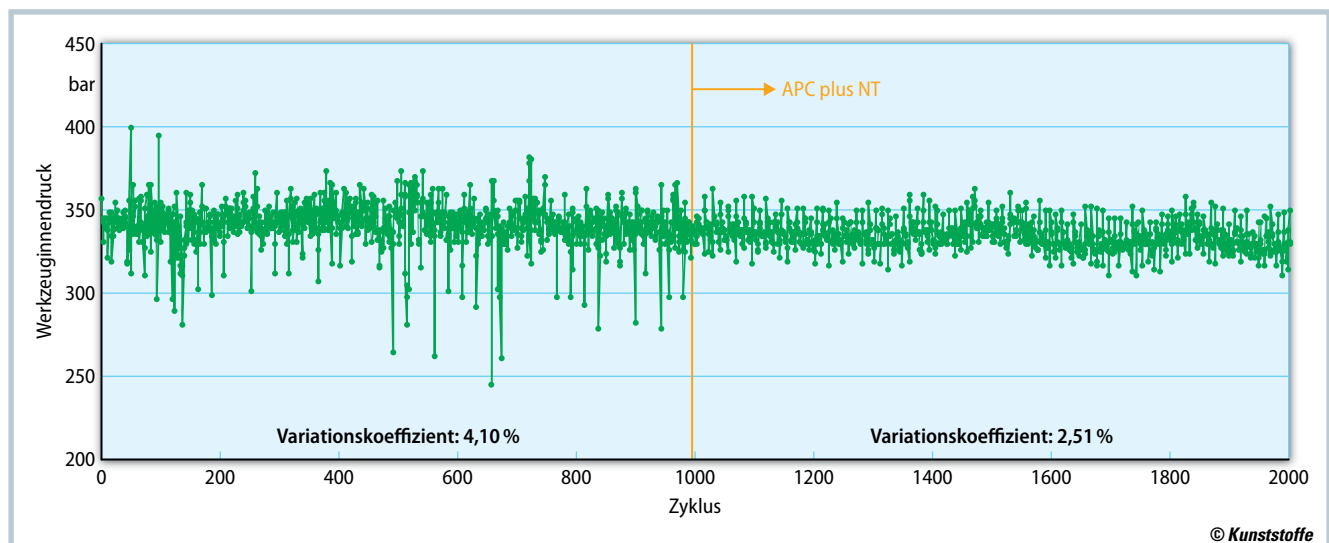


Bild 2. Ein 48-Stunden-Test (24 h ohne und 24 h mit APC plus) zeigt es: Die Maschinenfunktion reduziert die Schwankungsbreite beim Werkzeuginnendruck deutlich (NT = Nicht-Thermoplaste) (Quelle: KraussMaffei)

verfahren wie der Orifice-Flow-Test (OFT), der mit Messequipment außerhalb der Maschine stattfindet. Er soll das Fließ-Härte-Verhalten der rieselfähigen Formmassen bestimmen, ist aber ein Mischwert aus Reaktivität und Viskosität. Das heißt: Ein Material mit niedriger Viskosität und hoher Reaktivität kann den gleichen OFT-Wert erreichen wie ein Material mit hoher Viskosität und niedriger Reaktivität – verhält sich in der Maschine aber völlig anders.

Der eigene Anspruch, duroplastische Materialien immer besser zu verstehen, hat Baumgarten zu einem Unternehmen mit Expertenruf gemacht. Dessen Rat wird sowohl von Kunden gesucht als auch von Thermoplast-Verarbeitern, die die hervorragenden Materialeigenschaften erkannt haben und damit liebäugeln, ihren Wirkungskreis zu erweitern. Letztere wagen sich im Allgemeinen dann doch nicht auf das Neuland, sondern suchen sich einen Projektpartner, denn Duroplaste erfordern erhebliche Prozessenerfahrung.

Es beginnt damit, dass das Material kontrolliert gelagert werden muss, weil es historiensensibel ist; dies schließt auch den Transport mit ein. So „merken“ sich Duroplaste beispielsweise Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse, die wiederum

Die Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Cordula Wieland arbeitet im Produkt- und Technologiemanagement der KraussMaffei Technologies GmbH, München;

cordula.wieland@kraussmaffei.com

Nicolina Topic, M.Sc., ist bei KraussMaffei im Bereich Entwicklung Maschinenteknologie tätig;

nicolina.topic@kraussmaffei.com

Dipl.-Wirt.-Ing. Jan Hinz ist Head of Sales & Project Management der Baumgarten automotive technics GmbH, Burbach;

j.hinz@bat-duro.com

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/7249177

English Version

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

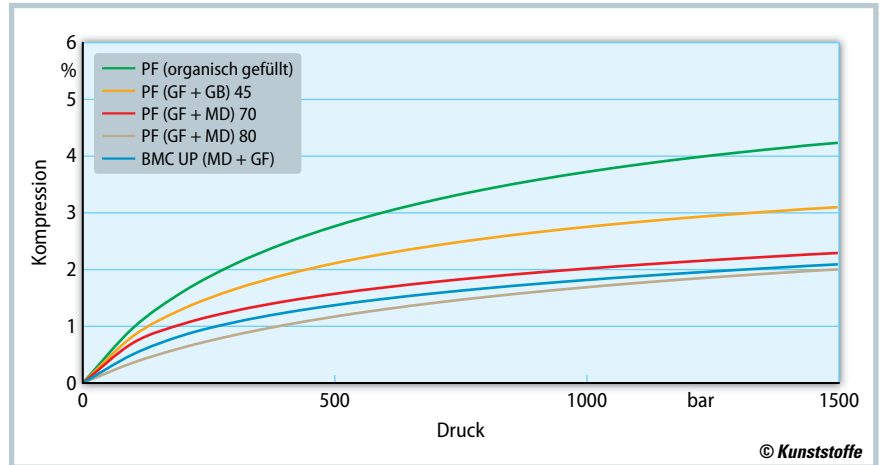


Bild 3. Je höher gefüllt, desto niedriger die materialspezifische Kompressionskurve. Bei 1000 bar Druck staucht sich die Schmelzesäule eines organisch gefüllten PF um 3,7%, bei 80% Füllung aus Glasfasern und mineralischen Anteilen sind es nur noch 1,8% (Quelle: KraussMaffei)

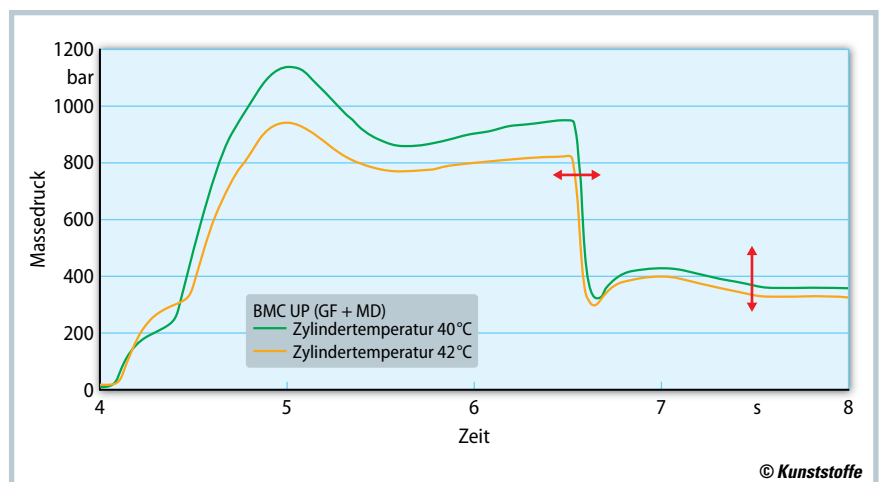


Bild 4. Wenn die Zylindertemperatur um 2°C steigt und die Masse niedrigviskoser wird, schaltet APC plus früher auf den Nachdruck um und senkt das Druckniveau, um eine Überfüllung des Bauteils zu verhindern (Quelle: KraussMaffei)

eine genaue Prozessbegutachtung und -anpassung erfordern. Eine zu feuchte, zu warme oder schlichtweg zu lange Aufbewahrung schädigt das Material und führt zu Schwankungen im Prozess. Da zudem seine Abrasivität Werkzeug und Maschine extrem beansprucht, müssen Spezialstähle verwendet werden – Baumgarten schreibt für beauftragte Werkzeuge die Herstellprozesse sogar detailliert vor.

Während der Verarbeitung kann es durch die temperaturinitiierte Reaktivität bei Schwankungen der Massetemperatur oder Verweilzeit dazu kommen, dass der Kunststoff schon in der Plastifiziereinheit zu vernetzen beginnt, was die Verwendung einer Rückströmsperre unmöglich macht. Wegen des hohen Füllstoffgehalts (bei Baumgarten 30 bis 80%) und der im Vergleich zu Thermoplasten niedri-

gen Verarbeitungstemperaturen sind die Formmassen kaum kompressibel. Dadurch schlagen sich minimale Abweichungen des Restmassenpolsters oder des Füllbeginns, der für das Bedienpersonal im Prozess nicht sichtbar ist, direkt im eingespritzten Volumen nieder. Ohne automatisierte Korrekturmöglichkeit steht man diesen Mechanismen machtlos gegenüber.

Die volumetrische Füllung der Kavität bleibt konstant

Diese Schwankungen gleicht APC plus aus – sowohl bei rieselfähigen Duroplasten und BMC (Bulk Molding Compound) als auch bei Flüssig- und Feststoffsilikon (LSR und HTV). Die hinterlegten material-spezifischen Kompressionskurven schaf-

fen dafür die Voraussetzung (**Bild 3**). Hier sieht man, dass sich beispielsweise die Massensäule eines organisch gefüllten Phenolharzes bei 1000 bar Druck im Zylinder um 3,7% staucht. Besteht die Füllung aber aus Glasfasern plus mineralischen Bestandteilen und liegt der Füllgrad bei 80%, beträgt die Kompression nur 1,8%. Zum Vergleich: Ein thermoplastisches PP liegt bei rund 8 bis 9%.

Um das System bedienungsfreundlich zu halten und den häufiger auftretenden Schwankungen im Füllstoffgehalt Rechnung zu tragen, kann der Anwender bei den rieselfähigen Duroplasten einfach zwischen niedriger und hoher Füllung wählen. Dass APC plus auf den materialspezifischen Kompressionskurven basiert, ist sein Alleinstellungsmerkmal und ausschlaggebend für das 2015 veröffentlichte Patent [1].

Im Prozess selbst passt APC plus anhand eines prognostizierten Einspritzvolumens die Umschaltposition und die Nachdruckhöhe so an, dass die volumetrische Füllung der Kavität konstant bleibt (**Bild 4**). Steigt beispielsweise bei der BMC-Verarbeitung die Zylindertemperatur um 2°C, was bei einem driftenden Temperiergerät oder sommerlicher Hitze schnell der Fall sein kann, und wird der Kunststoff dadurch flüssiger, schaltet APC plus früher vom Einspritz- auf den Nachdruck um (horizontaler Pfeil). Außerdem sinkt die Nachdruckhöhe (vertikaler Pfeil). Beides geschieht, um eine Überfüllung des Bauteils zu vermeiden.

Schleichende Störgrößen wie Umgebungsfaktoren, Chargenänderungen und insbesondere Schwankungen, die unvorhersehbar von Zyklus zu Zyklus unterschiedlich auftreten, werden so von der Maschinenfunktion automatisch im selben Schuss ausgegletzt und kompensiert. Das Bedienpersonal bemerkt meist nichts von diesen Aktivitäten. Allerdings



Bild 5. Das Projektteam für die Integration von APC plus in der Duroplast-Großserie (v.l.): Nicolina Topic (KraussMaffei), Linus Schneider und Jan Hirz (beide Baumgarten) sowie Cordula Wieland (KraussMaffei)

(© KraussMaffei)

müssen Mitarbeiter mit der neuen Wirkungsweise vertraut gemacht werden, damit sie nicht – bisherigen Abläufen folgend – eingreifen, wenn sich Auffälligkeiten zeigen. Die Mitarbeiter müssen wissen und sich darauf verlassen können, dass die Maschine das Füllvolumen automatisch konstant hält.

Trend und Herausforderung: Bauteile mit höheren Schussgewichten

Die (zu) frühe Vernetzung bei Duroplasten ist eine der größten Herausforderungen auf dem Weg zu höheren Schussgewichten, denn der komplexe Prozess ist mit steigendem Volumen immer schwerer zu beherrschen. Aktuell betreibt Baumgarten KraussMaffei-Maschinen mit Schließkräften von 800 bis 3000 kN und Schneckendurchmessern von 35 bis 70 mm. Produkte für die Automobilindustrie laufen hier in Millionenzahlen, etwa Bremskolben aus Duroplast, die in den USA mit rund 1,3 Milliarden Stück längst etabliert sind, in Europa aber noch auf den Durchbruch warten.

Produziert werden auch Hochpräzisionsbauteile für Fluidpumpen, die an Kun-

den weltweit geliefert werden. Es gibt jedoch immer mehr Anfragen nach Artikeln mit 2 kg Gewicht und mehr. Insbesondere der Energiesektor zeigt hier hohe Wachstumsraten. Neben der Langlebigkeit und Stabilität werden elektrische Isolationsfähigkeit und Dichtigkeit gefordert, was den Einsatz von Duroplasten interessant macht. Elektronikkomponenten können mit Epoxidharzformmassen mediendicht umspritzt werden, solche Duroplaste haften stoffschlüssig an.

Anwendung im Großserienalltag

KraussMaffei und Baumgarten pflegen seit über 35 Jahren einen vertrauensvollen Umgang miteinander, wie die schnelle Umsetzung des APC plus zeigt (**Bild 5**). Die Möglichkeit, das auf Duroplaste erweiterte APC plus im Großserienalltag zu testen, war für beide Seiten ein Glücksfall. Der Maschinenhersteller und der Verarbeiter verfolgen mit ihrer Kooperation auch das Ziel, diesem oft stiefmütterlich behandelten Teil der Polymere mehr Raum innerhalb der Kunststoffverarbeitung zu verschaffen. Denn in Ausbildung und Studium liegt der Schwerpunkt auf den Thermoplasten, sodass Entwickler meist wenig über die vielfältigen Möglichkeiten wissen, die Duroplaste bieten, wenn es um robuste und langlebige Bauteile geht. Baumgarten tauscht sich dazu intensiv mit führenden Hochschulen wie der RWTH Aachen und dem KIMW in Lüdenscheid aus. Je weiter die Entwicklung im Energie- und Mobilitätssektor mit den konsequent gewichtsreduzierten Elektroautos voranschreitet, desto mehr könnten auch die spitzgezogenen Duroplaste davon profitieren. ■

Das Leistungsspektrum von APC plus

Das Leistungsspektrum von APC plus von KraussMaffei deckt neben der Verarbeitung von Thermoplasten nun auch das gesamte Spektrum von Duroplasten ab. Das Spritzgießen von Duroplasten ist ein anspruchsvoller Prozess, denn (zu) rasche Vernetzung, hohe Füllstoffgehalte und der Rückfluss des Materials während des Einspritzens erschweren die Reproduzierbarkeit. Die Maschinenfunktion APC plus hält das Füllvolumen konstant – sowohl bei rieselfähigen Duroplasten wie auch bei duroplastischen Polyesterformmassen (BMC/SMC). Bei der Baumgarten automotive technics GmbH, einem der ersten Unternehmen, die APC plus auf diesem Feld einsetzen, ging der Ausschuss dadurch signifikant zurück.