

Kontrollierte Reaktivität

In-situ-Polymerisation für die vollautomatische Fertigung von Leichtbaustrukturen

Die In-situ-Polymerisation von Caprolactam zu tragenden FVK-Strukturen mit anschließender Spritzgießfunktionalisierung des Bauteils kommt dem Ideal einer wirtschaftlichen Serienfertigung inzwischen sehr nahe. Ein entscheidender Anlagenteil dabei ist das Aggregat für das Aufbereiten und Einspritzen der reaktiven Komponenten. Auf der K 2016 setzt Engel Austria mit einem neu entwickelten, zum Patent angemeldeten Reaktivaggregat den nächsten Meilenstein auf dem Weg zur Serie.

Aus einem granulatförmigen Material in einem Arbeitsschritt einsatzfertige Bauteile zu produzieren, ist in der Spritzgießverarbeitung Stand der Technik. In der Fertigung von Leichtbaukomponenten mit Gewebe- oder Gelegeverstärkung wird diese Effizienz bislang allerdings nicht erreicht. Der Schlüssel für einen breiteren Einsatz von Hochleistungs-Faserverbundbauteilen liegt in der Wirtschaftlichkeit der Herstellverfahren. Von den bislang industriell eingesetzten Verfahren kommt die HP-RTM-Technologie dem Ziel am nächsten, in nur einem Schritt von trockenen Preforms zu einbaufertigen Teilen zu gelangen.

Die In-situ-Polymerisation von ϵ -Caprolactam direkt im formgebenden Werkzeug, in dem sich eine trockene Preform befindet, mit anschließender Funktionalisierung der Tragstruktur im Spritzgießverfahren eröffnet neue Möglichkeiten

(Bild 1). Zum einen lässt sich die Fertigungseffizienz weiter steigern und zum anderen trägt das Verfahren dem Trend zu einem stärkeren Einsatz von thermoplastischen Matrixmaterialien Rechnung. Dabei erfordert die Verarbeitung von ϵ -Caprolactam, das im geschmolzenen Zustand beinahe so flüssig ist wie Wasser, eine maßgeschneiderte Anlagentechnik. Viele im Spritzgießen bewährte Lösungen, wie das präzise Einspritzen mit servoelektrischen Aggregaten, lassen sich hierfür übernehmen.

Im einstufigen Prozess zum fertigen Bauteil

Generell bieten sich verschiedene Verfahren an, um zu einem dreidimensional geformten Strukturbauteil mit einem eingebetteten Gewebe oder Gelege zu gelangen. Der mehrstufige Weg über vorkonsolidierte Halbzeuge, die zugeschnitten, aufgeheizt, umgeformt und angespritzt werden, bewährt sich vor allem dann, wenn der Verschnitt gering gehalten werden kann und keine lokalen Verstärkungen notwendig sind, um die Steifigkeit und Festigkeit zu erhöhen.

Bei komplexen Drapierverhältnissen und lokalen Anpassungen beim Lagenaufbau haben Reaktivverfahren, zu denen auch das HP-RTM-Verfahren zählt, Vorteile. Beispielsweise können bei der Herstellung der Preform in gezielten Bereichen zusätzlich unidirektionale Verstärkungen eingebracht werden. Die weitere Funktionalisierung ist beim HP-RTM-Verfahren jedoch vergleichsweise aufwendig. Die erhaltenen Bauteile bestehen aus Epoxidharz oder Polyurethan, sodass Befestigungselemente und Aussteifungsstrukturen für gewöhnlich separat gefertigt und mit dem Strukturbauteil gefügt werden müssen.

Bei der In-situ-Polymerisation von ϵ -Caprolactam wird ebenfalls eine trockene Preform verwendet. Die Reaktion führt aber im Gegensatz zur bisher praktizierten RTM-Verarbeitung zu Polyamid 6. An diese thermoplastische Matrix lassen sich unmittelbar in einem Folgeprozess Funktionselemente anspritzen. In einem Arbeitsschritt und in einer integrierten Produktionszelle erhält der Anwender einbaufertige Strukturbauteile, und genau darin liegt ein wesentlicher Vorteil des In-situ-Verfahrens.

Die Monomere fest im Griff behalten

Bei der In-situ-Verarbeitung von ϵ -Caprolactam handelt es sich um eine anionische Ringöffnungspolymerisation (Bild 2). Bei Raumtemperatur liegt ϵ -Caprolactam als weißer kristalliner Feststoff vor. Das Monomer hat einen Schmelzpunkt von 70 °C und ist im geschmolzenen Zustand mit einer Viskosität von ca. 10 mPa·s aus-



Die In-situ-Polymerisation von ϵ -Caprolactam eröffnet der Fertigung von faserverstärkten Kunststoffbauteilen mit thermoplastischer Matrix – hier als Beispiel eine Leichtbauschaufel – neue Chancen (© Engel)

gesprochen dünnflüssig. Genau deshalb jedoch eignet sich ϵ -Caprolactam sehr gut, um trockene Faserstrukturen zu durchtränken.

Für die In-situ-Verarbeitung werden dem ϵ -Caprolactam in getrennten Materialbehältern ein Katalysator und ein Aktivator zugesetzt [1]. Diese Additive sorgen dafür, dass unmittelbar nach dem Mischen der beiden Komponenten die Polymerisationsreaktion startet. Die Handhabung der Reaktivkomponenten wird durch den Einsatz von Fertigmischungen, die bereits die gewünschte Additivkonzentration enthalten, wesentlich vereinfacht. Wichtig ist, das granulartige Material vor Luftfeuchtigkeit zu schützen. Hierbei genügt es, die herkömmlichen Handhabungsregeln für feuchteempfindliche Materialien zu beachten, also das Material zum Temperausgleich frühzeitig in die Fertigungshalle zu bringen und zügig von den Transportsäcken in die luftdicht verschließbaren Dosierbehälter auf dem Reaktivaggregat umzufüllen sowie die Säcke, sollten Restmengen übrig bleiben, sorgfältig zu verschließen.

In der Aufschmelzeinheit werden die Monomermischungen auf 120°C erwärmt, was bereits nahe der Polymerisationstemperatur von 140 bis 160°C liegt. Der Werkzeugtemperierung sollte bei der Verarbeitung besondere Aufmerksamkeit gelten – eine homogene Werkzeugtemperatur ist die Voraussetzung für einen konstanten Reaktionsverlauf und eine hohe Produktqualität.

Injektionskolben exakt synchronisieren

Wie bei der Verarbeitung von Thermoplasten gilt es auch bei der In-situ-Verarbeitung, eine unnötige thermische Belastung der Reaktivkomponenten zu vermeiden. Aus diesem Grund hat die Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich, ein neues Reaktivaggregat entwickelt, in dem die Materialgemische nur in der benötigten Menge und erst kurz vor der Verarbeitung aufgeschmolzen werden. Die Aufschmelzeinheiten halten jeweils nur für maximal drei Zyklen flüssige Reaktivkomponenten vor (Bild 3). Der Füllstand wird kontinuierlich gemessen und in einem vom Anwender frei definierbaren Toleranzbereich gehalten.

Das synchrone und präzise Einspritzen der beiden Reaktivkomponenten ist die anspruchsvollste Sequenz im Prozess-



Bild 1. Schematischer Prozessablauf bei der Herstellung von In-situ-Bauteilen mit angespritzten Detailgeometrien: Die Prozessintegration steigert die Wirtschaftlichkeit des Fertigungsverfahrens (Quelle: Engel)

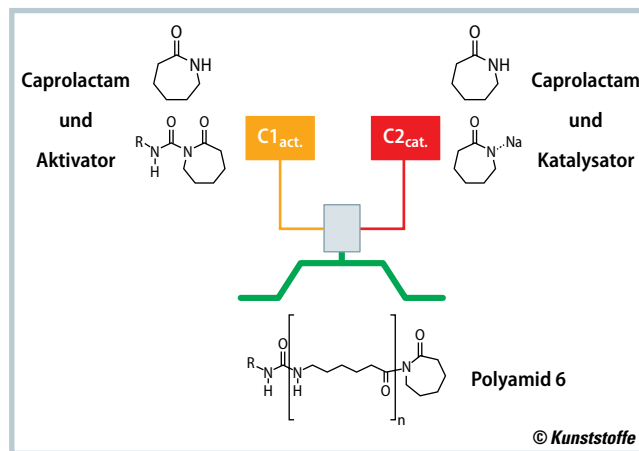


Bild 2. Durch anionische Ringöffnungspolymerisation entsteht aus ϵ -Caprolactam Polyamid 6 (Quelle: Engel)

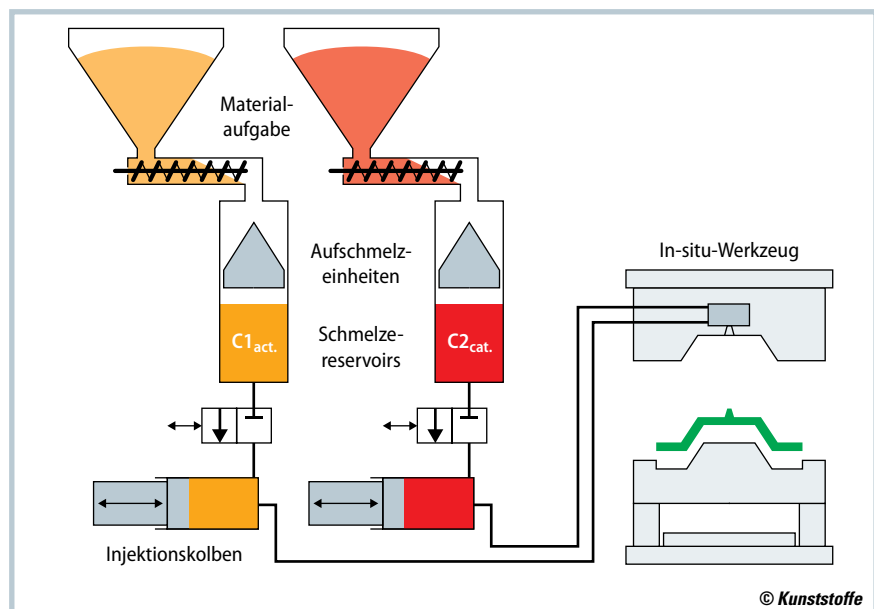


Bild 3. Das Besondere des neuen Reaktivaggregats ist, dass die thermische Belastung des monomeren Ausgangsstoffs reduziert wird. In den Aufschmelzeinheiten werden maximal die für drei Schuss benötigten Mengen vorgehalten (Quelle: Engel)

ablauf der In-situ-Verarbeitung. Die zwei mechanisch nicht miteinander gekoppelten Injektionskolben nehmen zunächst unabhängig voneinander die benötigten Hubvolumina auf, um diese anschließend

in elektronisch synchronisierter Parallelbewegung in die Kavität abzugeben. Auch die Düsen an der Mischkammer müssen synchron mit den Hubbewegungen geöffnet und geschlossen wer- ➤

den. Engel stellt diese Präzision zum einen mit servoelektrischen Antrieben sicher, die auch für das Einspritzen bei elektrischen Spritzgießmaschinen verwendet werden, und zum anderen mit leistungsstarker Software für die Prozessregelung, die eigens für die In-situ-Technologie entwickelt wurde. Nach dem Vermischen polymerisiert das ϵ -Caprolactam in der Kavität in 2 bis 3 min zu einem hochmolekularen Polyamid 6 aus.

Bei der Prozessoptimierung stehen die Verkürzung der Zykluszeiten und das Erzielen einer minimalen Porosität in der Bauteilstruktur im Vordergrund. Während die Zykluszeit wesentlich von der Reaktivität der Rezeptur abhängt und der Maschinenbediener sie über die Werkzeugtemperatur nur in gewissen Grenzen beeinflussen kann, lässt sich die Porosität durch die Prozessführung sehr gezielt steuern und fast bis auf null reduzieren (**Bild 4**). Wesentliche Parameter sind hier die Evakuierung des Werkzeugs vor dem Einspritzen und das Druckniveau im Werkzeug zum Ende des Injektionsprozesses.

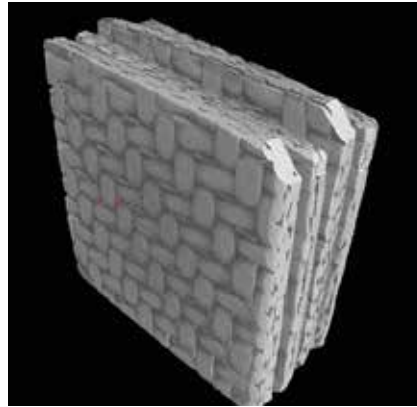


Bild 4. Computertomografische Untersuchungen zeigen, dass das Gewebe annähernd porenfrei imprägniert werden kann (© Engel)

Mehrkomponententechnik mit der Schwerkraft als Helfer

Die Kombination der In-situ-Technologie mit der Spritzgießverarbeitung bietet umfangreiche Möglichkeiten für die Herstellung einbaufertiger Leichtbauteile. Dabei entsteht im ersten Schritt aus einer trockenen Preform eine tragende Struktur mit einer Polyamidmatrix. Diese steife und feste FVK-Struktur wird unmittelbar nach dem Polymerisationsprozess von einem Roboter aus dem In-situ-Werkzeug entnommen und in die Kavität des Spritzgießwerkzeugs umgesetzt. Wie bei der konventionellen Mehrkomponententechnik werden dort in einem zweiten Schritt Detailgeometrien, wie Kanteneinfassungen, Rippenstrukturen, Anschraubdome oder lokale Aufdoppelungen, angespritzt. Für die Funktionsintegration wird bevorzugt Polyamid, z. B. mit Kurzglasfaserverstärkung, verwendet, um die Anzahl der

unterschiedlichen Materialien im Bauteil zu minimieren.

Da die Caprolactam-Additiv-Mischungen über beheizte Schläuche zur Mischkammer im Werkzeug geleitet werden, lässt sich das Reaktivaggregat frei positionieren. Es kann zum Beispiel platzsparend hinter dem Spritzgießaggregat installiert werden.

Das neue Reaktivaggregat lässt sich mit Engel-Spritzgießmaschinen unterschiedlicher Bauarten kombinieren. Fertigungsanlagen mit vertikaler Schließrichtung haben für die In-situ-Verarbeitung den Vorteil, dass die trockene Preform einfach in der unteren Werkzeughälfte abgelegt werden kann (**Bild 5**). Werden im Werkzeug Vorrichtungen für das Halten der Preforms vorgesehen, eignet sich ebenso gut eine horizontal schließende Spritzgießmaschine [1].

Auf Basis einer vertikalen Presse (Typ: Engel v-duo 700) hat Engel gemeinsam

Die Autoren

Dr.-Ing. Norbert Müller ist Leiter der Entwicklung im Bereich des Technologiezentrums für Leichtbau-Composites bei der Engel Austria GmbH in St. Valentin/Österreich; norbert.mueller@engel.at

Dipl.-Ing. Peter Egger leitet das Technologiezentrum für Leichtbau-Composites von Engel in St. Valentin; peter.egger@engel.at

Dr. Lorenz Reith leitet bei Engel in St. Valentin Entwicklungsprojekte im Bereich der Reaktivtechnik; lorenz.reith@engel.at

Prof. Dr.-Ing. Georg Steinbichler ist Leiter des Bereichs Forschung und Entwicklung Technologien der Engel Austria GmbH in Schwertberg/Österreich; georg.steinbichler@engel.at

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1759140

English Version

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

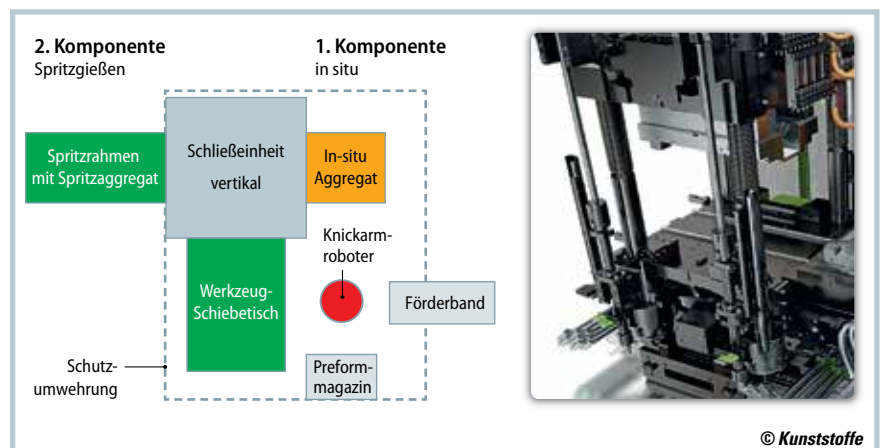


Bild 5. In Richtung der Schwerkraft zu arbeiten, bietet in vielen Anwendungen mit Preforms Vorteile. Die Grafik zeigt exemplarisch ein Anlagenlayout für einen integrierten Mehrkomponentenprozess auf einer vertikalen Spritzgießmaschine (Quelle: Engel)

mit der Schöfer GmbH, Schwertberg/Österreich, die sich als Spezialist für In-situ-Werkzeuge etabliert hat, ein komplettes Setup für die Herstellung von Leichtbauschaukeln entwickelt (**Bild 6** und **Titelbild**), das Engel auf der K2016 präsentieren wird. In dieser Anwendung erleichtert die vertikale Schließrichtung die Handhabung der Preform. Herausfordernde Detailfragen ergeben sich vor allem für das Werkzeug, beispielsweise in Bezug auf die Temperierung, die Abdichtung der In-situ-Kavität und die Abstimmung der Spritzgießkavität auf die In-situ-Tragstruktur.

Maßgeschneiderte Anlagen für eine höhere Effizienz

Eine In-situ-Fertigung im Takt der Spritzgießproduktion wurde aufgrund der längeren Verarbeitungszyklen des Polymerisationsprozesses bislang nicht erreicht. Allerdings genügen für die In-situ-Fertigung deutlich geringere Werkzeugindrücke als bei der Spritzgießfertigung eines gleich großen Bauteils. Mit einem geeigneten Anlagenlayout kann dieser Faktor vorteilhaft genutzt werden. So lassen sich z. B. in einem In-situ-Mehr-Kavitäten-Werkzeug mehrere Tragstrukturen gleichzeitig fertigen und diese anschließend nacheinander in einem Ein-Kavitäten-Spritzgießwerkzeug funktionalisieren. Im Idealfall entspricht die Zykluszeit der In-situ-Verarbeitung genau der Zeit, die für



Bild 6. Für die Herstellung der Leichtbauschaukeln kombiniert die Anlage einen In-situ-Polymerisationsprozess mit dem klassischen Spritzgießverfahren

(© Engel)

die nacheinander erfolgenden Spritzgießprozesse benötigt wird.

Verbindendes Element zwischen den artungleichen Prozessen und der Schlüssel zu einer hohen Produktivität ist die Automatisierung. Roboter übernehmen sowohl das Bestücken des In-situ-Werkzeugs mit trockenen Preforms als auch die Übergabe des Trägerteils an das Spritzgießwerkzeug sowie die Entnahme der fertigen Bauteile.

Fazit

Mit dem neuen speziell auf die Verarbeitung von ϵ -Caprolactam abgestimmten Reaktivaggregat nimmt Engel eine wesentliche Hürde, um die In-situ-Polymerisation und die Funktionalisierung der

Tragstrukturen in einem Zwei-Komponenten-Prozess zu integrieren. Die Entwicklung baut auf eine ebenfalls von Engel entwickelte und 2012 vorgestellte Prototypmaschine für In-situ-Polymerisationsprozesse auf. Seitdem wurden wesentliche konzeptionelle Anpassungen vorgenommen, u.a. die Trennung der Anlagenteile für die Aufbereitung und die Injektion der reaktiven Komponenten.

Damit steht erstmals eine Anlagentechnik zur Verfügung, die eine präzise und robuste Verarbeitung einer bedarfsgerecht aufbereiteten Menge an ϵ -Caprolactam ermöglicht. Dies wird weitere interessante Anwendungsfelder für thermoplastbasierende FVK-Bauteile eröffnen – nicht nur im Automobilbau. ■