



Modifizierte Scheibenplastifizierung mit Standardgranulat für Kleinteilespritzgießen

KLEINES GEWICHT, GROSSE ANFORDERUNGEN

PLASTIFIZIEREINHEIT ZUM SPRITZGIESSEN VON KLEIN- UND MIKROFORMTEILEN Das Spritzgießen von Klein- und Mikroformteilen erfordert kleinste Schussgewichte. Dadurch kann es bei einer Schneckenplastifizierung mit der zwangsläufig langen Verweilzeit der Schmelze zu thermischen Schädigungen des Kunststoffes kommen. Neue Konzepte für eine spezielle Variante der Scheibenplastifizierung und für die variotherme Prozessführung sollen Abhilfe schaffen.

Das Spritzgießen von Kunststoffteilen wird durch die Prozessstufen Plastifizieren, Formfüllen/Verdichten, Formstabilisieren und Entformen charakterisiert. Durch das Plastifizieren wird die erforderliche Menge Kunststoffschmelze in ausreichender Qualität für den Einspritzvorgang zur Verfügung gestellt. Während bei mitt-

leren bis großen Schussgewichten thermische und mechanische (stoffliche) Inhomogenitäten der Schmelze (radiale und axiale Temperatur- und Konzentrationsunterschiede von Zuschlagstoffen) auftreten können, ist bei Klein- und Mikroteilen die Verweilzeit der Schmelze bei hoher Temperatur und die Scherbelastung in der Plastifiziereinrichtung problematisch.

Jede Form der Schneckenplastifizierung (Schneckenkolben- und auch Schneckenvorplastifizierung mit Kolbeneinspritzung) führt bei Klein- und Mikroformteilen durch die langen Verweilzeiten der Schmelze zu einer homogenen Schmelze, aber oftmals auch zu thermischen Schädigungen des Kunststoffes. Dazu folgendes Beispiel: Eine Schnecke mit einem Durchmesser von 14 mm und mit einer Länge des Zwanzigfachen des Durchmessers besitzt ein Gangvolumen von 10 bis 11 cm³. Bei einem durchaus üblichen Formteilvermögen für Kleinteile von 0,1 cm³ ergibt das theoretisch eine Verweilzeit von bis zu 110 Spritzzyklen. Eine mit entsprechend kleineren Kolben-

durchmessern ausgelegte Kolbenplastifizierung hingegen führt zu geringen Verweilzeiten, aber auch zu Inhomogenitäten in der Schmelze.

Für die Fertigung von Klein- und Mikroteilen ergeben sich somit einige Forderungen an die Plastifiziereinheit einer Spritzgießmaschine:

- geringe Verweilzeiten der Schmelze in der Plastifiziereinheit,
- geringe Scherbelastung der Schmelze,
- sehr gute thermische und mechanische Homogenität der Schmelze,
- exaktes Regelverhalten der Temperatur,
- hohe Reproduzierbarkeit der Plastifiziervorgänge,
- Verarbeitbarkeit technischer und HT-Kunststoffe,
- Verarbeitung von Standardgranulaten und
- exakt spritzbare geringe Schussgewichte.

Bislang angebotene Maschinen verschiedener Hersteller nutzen herkömmliche Verfahren und Techniken zur Realisierung der oben aufgeführten Anforde-

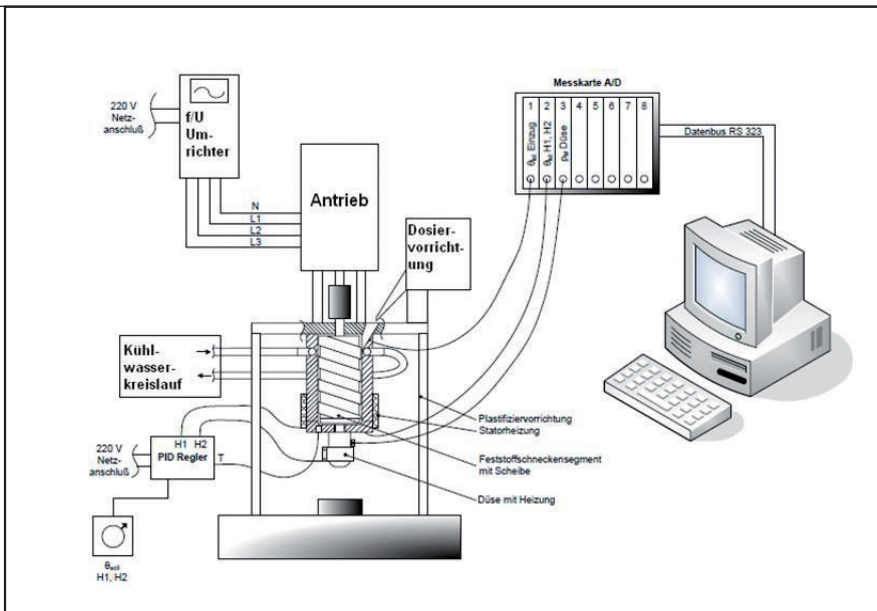
Autoren

Franziska Seidel, Gesellschafterin/Geschäftsführerin, CKT Kunststoffverarbeitungstechnik und Ökoplast, Mittweida, oekoplast@t-online.de

Dietmar Brunner, Technischer Leiter, Ökoplast, Mittweida, oekoplast@t-online.de

Prof. Dr. Eckhard Wißuwa, Fachbereich Maschinenbau/Feinwerktechnik, Hochschule Mittweida, wissuwa@htwm.de

Michael Jost, Fachbereich Maschinenbau/Feinwerktechnik, Hochschule Mittweida, mjost@htwm.de



Versuchsstand zur Erprobung der Scheibenplastifizierung

rungen an die Plastifiziereinheit. Dabei steigen die Kosten für Regelungstechnik, Sensorik und Aktorik progressiv mit kleiner werdenden Schussgewichten. Bei der Schneckenkolbenplastifizierung besteht nur noch geringer Spielraum, um die Geometrie anzupassen und die Einspritzwege reproduzierbar zu verkürzen. Kolbenmaschinen benötigen hohe Drücke zur Plastifizierung und gute Abdichtungen zur Zylinderwandung.

Ungünstiges Materialverhältnis zwischen Anguss und Bauteil

Ein grundlegendes Problem beim Spritzgießen von Klein- und Mikroformteilen

NEUE TECHNOLOGIE

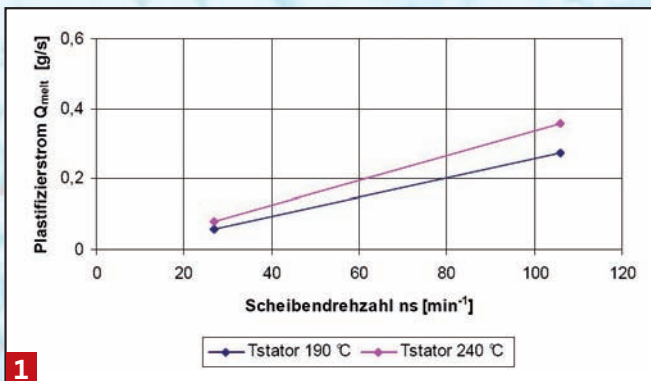
Reduzierung der Zykluszeit

Bei der Entwicklung einer Vorrichtung zum Spritzgießen von Klein- und Mikroteilen wurden die Schwerpunkte auf die qualitätsbestimmenden Verfahrensstufen Plastifizieren und Einspritzen gelegt. Mit dieser Vorrichtung werden vom Plastifiziersystem kleine Mengen Schmelze für den Einspritzvorgang bereitgestellt und eine optimale Abformgenauigkeit bei vollständiger Füllung der Kavität gewährleistet. Erreicht wird das durch eine spezielle, auf das Kleinteilespritzgießen bezogene Variante der Scheibenplastifizierung und durch ein neues Konzept der variothermen Prozessführung. Mit einer Trägerbaugruppe werden vier Formeinsatzpaare zu den Bearbeitungsstationen Heizen, Einspritzen, Kühlen und Entformen bewegt. Dadurch kann der Verfahrensschritt Heizen zeitgleich mit den Verfahrensschritten Einspritzen, Kühlen und Entformen durchgeführt werden. Eine wesentliche Reduzierung der Zykluszeit bei variothermer Temperierung ist die Folge.

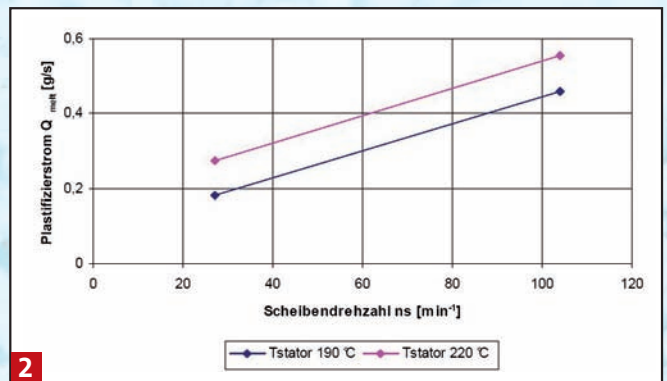
ist – unabhängig von der ohnehin schwierigen Abstimmung der Plastifizier- und Einspritzparameter wie Schmelzeverweilzeit, Schussgewicht, Einspritzdruck und -geschwindigkeit – das ungünstige Materialverhältnis zwischen notwendigem Anguss und eigentlichem Bauteil. Oftmals beträgt das Angussvolumen zur Verringerung der Verweilzeit ein Vielfaches des Bauteilvolumens.

Bei einer konventionellen Spritzgießmaschine mit Schneckenkolben konnten diese Nachteile zunächst durch eine Miniaturisierung von Baugruppen reduziert werden. Allerdings sind der Verkleinerung von Plastifizierzylinder und Schneckenkolben physikalische und technische Grenzen gesetzt. Gegenwärtig betragen die praktisch realisierten minimalen Durchmesser bei Schneckenkolben vor allem aus Festigkeitsgründen, aber auch technologisch durch die Granulatgröße begründet, immer noch 14 beziehungsweise 12 mm.

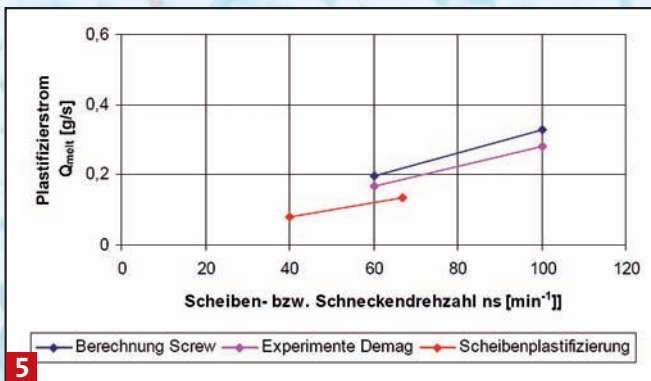
Die kunststoffverarbeitende Industrie verlangt aber zunehmend Lösungen, die die funktionsbedingten Defekte der Plastifizier- und Einspritzeinheiten minimieren. Um das für das Spritzgießen von Klein- und Mikroteilen zum Einspritzen gut geeignete Kolbenprinzip zu nutzen, wurde das Plastifizieren und Einspritzen in verschiedenen technischen Lösungen funktionell getrennt. Dabei ist zu beachten, dass beim Einspritzvorgang ein Zurückfließen der Schmelze in die Plastifiziereinrichtung verhindert werden muss. Beim Plastifiziervorgang muss dem als Feststoff (Granulat) vorliegenden Kunststoff die erforderliche Wärmemenge (thermische Energie) durch Wärmeübertragung (Wärmeleitung, Strahlung, Konvektion) beziehungsweise durch mechanisch thermischen Energieumsatz zugeführt werden. Verfahren, wie Kolben-



1 Abhängigkeit des Plastifizierstroms von Scheibendrehzahl und Stator-temperatur, HDPE



2 Abhängigkeit des Plastifizierstroms von Scheibendrehzahl und Stator-temperatur, POM



3 Vergleich des Plastifizierstroms der Scheiben- mit der Schneckenplastifizierung (\varnothing 14 mm) experimentell und Berechnung mit Computerprogramm SCREW, PMMA

Scherspalt zwischen einer mit gleicher Schneckendrehzahl wie das Schnecken-segment rotierenden Scheibe und einem Stator plastifiziert und homogenisiert. Dabei wird auch der notwendige Druck zum Füllen der Einspritzeinheit erzeugt. Der Vorteil liegt in der geringen Verweilzeit der Schmelze in der Plastifiziereinrichtung bei sehr guter thermischer und mechanischer Homogenität. Durch die sehr kurze Bauweise der Plastifiziereinrichtung kann die Einspritzeinheit in verschiedenen Ausführungen, vorzugsweise die Kolbeneinspritzung, integriert werden.

Unterschiedliches Aufschmelzverhalten

Um das Plastifizierverhalten mit verschiedenen Kunststoffen in der Praxis zu erproben, wurde ein Versuchsstand erstellt. Es wurden verschiedene Schnecken-segmente und Plastifizierscheiben bei unterschiedlichem Spalt zwischen Stator und Scheibe untersucht. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, die Feststoff-Fördermenge des Schnecken-segments auf die Aufschmelzleistung der Scheibenplastifizierung abzustimmen. Dabei ist das unterschiedliche Aufschmelzverhalten von amorphen und teilkristallinen Werkstoffen besonders zu beachten.

In den Diagrammen 1 und 2 sind die experimentell ermittelten Werte für den Plastifizierstrom der teilkristallinen Werkstoffe HDPE (Hostalen GD 7255) und POM (Hostaform C27021) sowie im Diagramm 3 die Werte der amorphen Werkstoffe PC (Lexan 121R) und PMMA (Plexiglas 7N) als Funktion der Scheibendrehzahl dargestellt.

Es zeigt sich eine nahezu lineare Abhängigkeit. Bei der Plastifizierung von

plastifizierung und Infraroterwärmung, die vorrangig auf Wärmeübertragung beruhen, haben den Nachteil, keine Scher-deformationen in der Schmelze zu erzeugen. Dadurch können keine Mischungsaufgaben, die zu einer besseren thermischen und stofflichen Homogenität führen, übernommen werden. Plastifizierverfahren, die mechanische Energie in Wärme umsetzen, sind deshalb zu bevorzugen.

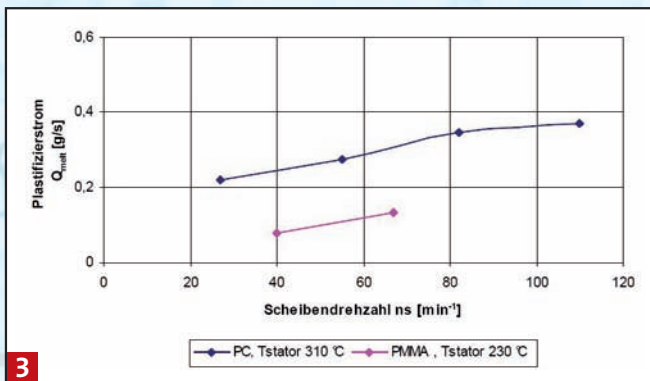
Gute thermische Homogenität und geringe Verweilzeit

Als mögliche Lösung zur Minimierung dieser Mängel bietet sich die seit Langem bekannte Scheibenplastifizierung an. Mit diesem Verfahren lassen sich geringe Mengen Schmelze bei guter thermischer Homogenität und geringer Verweilzeit plastifizieren. Trotz vieler theoretischer Arbeiten und Erprobungen hat sich das Prinzip aufgrund zu geringer Durchsatzmengen in der Extrusion in der Vergangenheit nicht durchgesetzt. Darüber hinaus gibt es noch weitere Gründe:

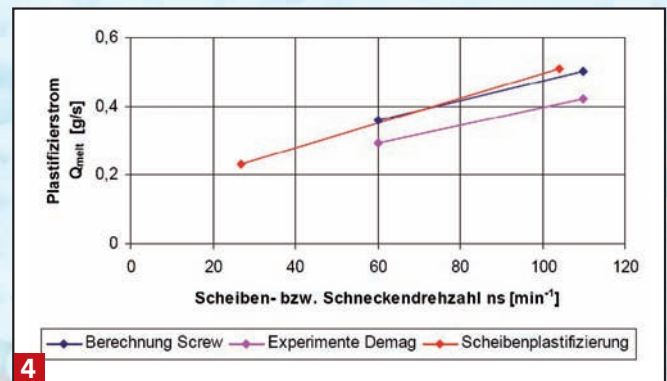
- Druckaufbau ist zu klein,
- Druckaufbau bei der Archimedis-Spirale ist zwar hoch, jedoch nur geringer Durchsatz,
- Materialspeisung ist problematisch und
- Reinigung schwierig.

Diese Probleme treten sofort in den Hintergrund, wenn hinsichtlich Durchsatz und Druckaufbau der Vergleich zum Schneckenextruder nicht gesucht wird. Dann überwiegen die Vorteile der kurzen, gedungenen Bauweise, die kurze Verweilzeit des Materials und die kurze Antriebswelle durch horizontale Aufstellung. Aufgrund dieser Vorteile basiert die Entwicklung der Plastifiziereinrichtung von Ökoplast und CKT auf dem Prinzip der Scheibenplastifizierung mit modifiziertem Materialeinzug.

Die entwickelte und erprobte Plastifiziereinrichtung ist so aufgebaut, dass die Scheibenplastifizierung mit einer Schnecken-zuführung kombiniert wird. Dabei wird über ein Schnecken-segment das Granulat dosiert, vorgewärmt und entgast. Das Material wird in einem



3 Abhängigkeit des Plastifizierstroms von Scheibendrehzahl und Stator-temperatur, PMMA und PC



4 Vergleich des Plastifizierstroms der Scheiben- mit der Schneckenplastifizierung (Ø 14 mm) experimentell und Berechnung mit Computerprogramm SCREW, POM

PMMA konnte nur bis zu einer Scheibendrehzahl von 66 min⁻¹ gearbeitet werden. Bei größeren Scheibendrehzahlen ließ sich die geförderte Feststoffmenge nicht aufschmelzen. Es werden demzufolge für teilkristalline und amorphe Werkstoffe verschiedene Geometrien der Schnecken-segmente eingesetzt.

Die Diagramme 4 und 5 zeigen jeweils den Vergleich des Plastifizierstroms der untersuchten Scheibenplastifizierung mit der Schneckenplastifizierung mit 14 mm Durchmesser an der konventionellen Spritzgießmaschine Demag-Ergotech 25–80 System sowie eine Simulation mit dem Computerprogramm Screw ebenfalls mit Schneckendurchmesser 14 mm.

Es ist zu erkennen, dass die Scheibenplastifizierung den Bereich der Schne-

ckenplastifizierung erreicht und das bei sehr guter Schmelzequalität. Defizite gibt es noch bei der Plastifizierung von PMMA. Dazu müssen noch weitere Untersuchungen mit veränderter Geometrie des Schnecken-segments und der Plastifizierscheiben durchgeführt werden.

Weitere Untersuchungen geplant

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei sehr guter Schmelzequalität Plastifizierströme erreicht werden, die teilweise über den Werten einer Schneckenplastifizierung mit Schneckendurchmesser 14 mm liegen, zum Beispiel 0,64 g/s mit POM.

Diese Ergebnisse führten zu dem Entschluss, diese Variante zum Plastifizieren von Kunststoffen zusammen mit einer

Kolbeneinspritzung in einen Prototypen der Vorrichtung zum Spritzen von Klein- und Mikroteilen zu integrieren. Um das Plastifizierprinzip weiter zu entwickeln, wurde die Versuchseinrichtung überarbeitet. Geplant sind Untersuchungen mit verstellbarem Plastifizierspalt zwischen Stator und Rotor, mit verschiedenen Scheibengeometrien sowie weiteren Werkstoffen. ■

Unterstützt wurde die gemeinsam von Öko-plast, Mittweida, Hochschule Mittweida und F&K Prototypen und Erodieretechnik, Mittweida, entwickelte Vorrichtung durch das BMWi und der AiF Berlin.