

Höhere Prozesssicherheit beim Spritzgiessen von Epoxid-Formmassen

1. Epoxid-Formmassen

Epoxid-Formmassen werden aufgrund ihres Eigenschaftsprofils vielfach in den Bereichen Automobilelektrik und Elektronik zur Umhüllung von Bauteilen eingesetzt. Die Hauptgründe für den Einsatz liegen in den folgenden Basis-Eigenschaften

- sehr gute Flieseigenschaften
- schnelle Härtung
- keine Überhärtung
- praktisch keine Nachschwindung
- sehr gute Dimensionsstabilität
- gute Haftung zu Metalleinlegeteilen
- hohe Rissbeständigkeit
- gute Chemikalienbeständigkeit
- gute elektrische Isolationseigenschaften

Das Umfeld der Anwendungen ist gekennzeichnet durch Innovation, ständig wachsende Anforderungen an die Qualität der Fertigteile und Kostendruck.

An die eingesetzten Formmassen werden hierdurch ebenfalls weitergehende Ansprüche gestellt wie:

- hohe Qualitätskonstanz
- hohe Prozesssicherheit
- automatisierbare Verarbeitungsmethoden

Letztere Forderung begründet die Tendenz mehr und mehr die Spritzgiesstechnik einzusetzen, so dass zur Zeit ca. 80% der Epoxid-Formmassen in dieser Technik verarbeitet werden. Trotzdem stehen diese Massen im Ruf problematisch in der Handhabung und Verarbeitung zu sein.

Der vorliegende Artikel nennt die Ursache für diese Annahme und stellt eine Strategie vor, mit der die Verarbeitung optimiert werden kann.

2. Problemstellung

Epoxid-Formmassen sind härtbare Kunststoffe in Granulatform, die unter Wärmezufuhr reagieren. Im Zylinder einer Spritzgiessmaschine wird das Granulat unter Zufuhr von Wärme soweit aufgeschmolzen, dass es mit geringem Druck in das heisse Werkzeug transferiert werden und dort zum Fertigteil ausreagieren kann.

Für einen sicheren Prozess unter Produktionsbedingungen muss die Wärmezufuhr so geregelt sein, dass das Material die gewünschte Plastizität erreicht und diese auch bei Schwankungen oder Prozessunterbrechungen beibehält.

Instabilitäten äussern sich in leichten Fällen durch schwankende Dosierzeiten und Einspritzdrücke, in schweren Fällen durch Masseaufbau zwischen Schneckenspitze und Düse. In letzterem Fall muss der Zylinder entleert und der Prozess neu angefahren werden.

Die folgenden Ausführungen sollen zeigen, wie durch geeignete Prozessführung die Prozesssicherheit auch unter Produktionsbedingungen erhöht und gleichzeitig die Qualitätskonstanz der gefertigten Teile verbessert werden kann. Die Methode wird seit Jahren bei vielen Anwendern mit Erfolg umgesetzt.

3. Ursachen für Instabilität

Standardzylinder für die Verarbeitung duroplastischer Formmassen verfügen über mind. 2, i.d.R. 3 Temperierzonen, wobei die beiden einzugseitigen oft zusammengeschaltet sind.

Aufgrund von Bedenken durch hohe Zylindertemperaturen (Faustformel: 10-15°C höhere Temperatur halbiert die Reaktionszeit) einen Masseaufbau im Zylinder zu provozieren, werden vom Verarbeiter oft tiefe Temperaturen einzugseitig gewählt. Hierdurch soll vermieden werden, dass die Reaktion zu früh einsetzt und

das Material zu lange dieser Temperatur ausgesetzt ist. Die Praxis zeigt auch, dass der Einzugsbereich aus dem gleichen Grund oft gekühlt wird.

Diese Massnahmen bewirken, dass Granulat nur wenig vorgewärmt bis in den vorderen Bereich des Zylinders gefördert wird. Hierdurch verkürzt sich zwangsläufig die nutzbare Länge zur Plastifizierung drastisch. Damit auf dieser verkürzten Strecke noch genügend Energie für ausreichend plastifiziertes Material eingebracht werden kann, muss düsenseitig dann eine hohe Temperatur gewählt werden. Zusätzlich wird auch ein hoher Staudruck eingestellt, um die Luft aus dem noch schlecht aufgeschmolzenen Granulat verdrängen zu können.

Die direkten Folgen einer derartigen Einstellung sind:

- hoher Verschleiss im Bereich der vorderen Schneckengänge
- das Material ist nicht homogen aufgeschmolzen (Abb-Nr. 1)
- Wärmezufuhr auch nach dem eigentlichen Plastifizieren



Abb.-Nr. 1 Massepfropf schlecht plastifiziert

Um eine lange Standzeit schon plastifizierten Materials zu vermeiden wird zudem bis auf Schneckenweg 0 ausgespritzt, in der Annahme die Masse könnte sonst unter der hohen

düsenseitigen Temperatur während der Härtezeit zu weit avancieren. Folgende Nachteile treten hierdurch auf:

- kein kontrollierter Nachdruck möglich
- Unter- oder Überfüllung der Kavität bei Schwankungen des Massebedarfs
- hoher Einspritzdruck
- Porositäten im Angussbereich
- Gefahr des Masseaufbaus

Es werden damit genau die Erscheinungen provoziert, die man mit der gewählten Einstellung vermeiden wollte. Die Masse zeigt gegenüber Unterbrechungen im Prozessablauf keine Toleranz und durch den nicht kontrollierbaren Nachdruck besteht keine Einflussmöglichkeit resp. Kontrolle über die Verdichtung und damit die Qualität des gespritzten Teiles. Qualitätsschwankungen sind die direkte Folge. Durch die unsichere Fahrweise provoziert man zusätzliche Prozessunterbrechungen, was bei einer automatisierten Fertigung nicht hingenommen werden kann.

4. Abhilfestrategie

Der Schlüssel zur Vermeidung der dargestellten Nachteile liegt in der Plastifizierung, weshalb diese näher betrachtet werden soll.

Ziel muss sein eine homogene Masse im Schneckenorraum zur Verfügung zu stellen. Dies auf einem Temperaturniveau, das einerseits Einspritzen mit niedrigem Druck und andererseits eine ausreichende Latenz für "normale" Zyklusunterbrechungen sicherstellt. Die Masse soll ausserdem gut entlüftet sein.

Temperaturführung

Zur Sicherstellung einer homogenen Temperatur innerhalb des gesamten plastifizierten Materials ist es notwendig so früh wie möglich Temperatur über Wärmeleitung einzubringen. Aufgrund des hohen Luftanteiles im Granulat und des kleinen Wandkontaktes kann bedenkenlos einzugseitig eine höhere Temperatur gefahren werden, ohne zuviel Energie einzubringen. Das Granulat wird damit schon im mittleren Bereich des Zylinders leicht plastisch, wodurch sich die Luft auch mit weniger Staudruck verdrängen lässt. Bei sehr grossen Schussgewichten mit der entsprechend kurzen Verweilzeit im Zylinder kann der Fall eintreten, dass die einzugseitige Temperatur so hoch gewählt werden müsste, dass das Material in den Randschichten zu weit anschmilzt und zu viel Wärme auf den Trichter übertragen wird. In diesem Fall bietet es sich an, die beiden düsenseitigen Zonen zusammenzuschliessen, wodurch man dann wieder moderatere Temperaturen trichterseitig einstellen kann.

Da hierdurch schon gut vorgewärmtes Material in den Düsenbereich gefördert wird, kann dort eine Temperatur eingestellt werden, die in etwa der Temperatur entspricht, bei der die Masse im optimalen Zustand für die Einspritzung vorliegt. Bei einer solchen Einstellung wird während eines Unterbruches weder weitere Energie zugeführt noch wird die Masse abkühlen, d.h. dies sind die besten Voraussetzungen um die Masse im gewünschten Zustand zu halten.

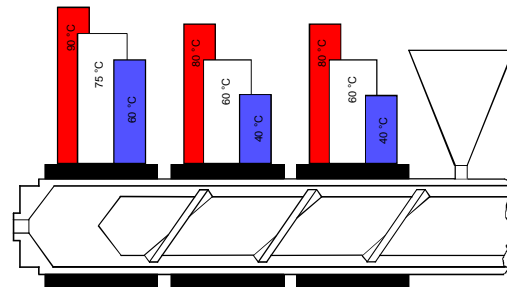


Abb.-Nr. 2. Bsp. Zylindertemperierung

Staudruck

Da die Masse frühzeitig aufgeschmolzen wird ist zur Kompression und zur Verdrängung der Luft ein geringerer Staudruck erforderlich. Es bietet sich an zu Dosierbeginn Staudruck 0 einzustellen, da schon plastisches Material im Bereich der Schneckenspitze vorhanden ist. In einer zweiten und dritten Stufe kann er dann auf den für die entsprechende Masse erforderlichen Wert gesteigert werden. (Abb.-Nr.3).. Die max Staudrücke liegen üblicherweise im Bereich 15-30bar_{spez.}

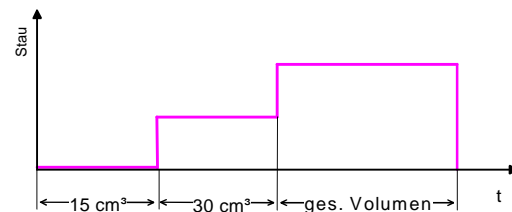


Abb.-Nr. 3 Staudruckprofil

Mit der beschriebenen Vorgehensweise wird die Masse langsam und zum grössten Teil durch Wärmeleitung und nur in geringem Masse durch Friktion plastifiziert. Dadurch ist die eingebrachte Energie weit besser unter Kontrolle, die Homogenität der Schmelze gleichmässiger.

Abgesehen von den für ein gegebenes Formteil festen Einflussfaktoren Werkzeug und Formteil hängt die max. mögliche Unterbruchzeit somit nur noch von der Reaktivität der jeweiligen Masse bei der entsprechenden Temperatur ab und wird nicht mehr durch die Randbedingungen künstlich verkürzt.

Diese Stabilität der plastifizierten Masse ermöglicht auch die Verwendung eines Massepolsters, wodurch weitere Vorteile erzielt werden:

- geringere Spritzdrücke
- gezielte Kontrolle der Verdichtung des Formteiles
- Verhinderung von Masseaufbau
- kürzere Einrichtzeiten
- geringerer Verschleiss

Dies sind die Voraussetzungen für enge Qualitätsgrenzen und Kostenreduktion.

Die Unterschiede der beiden Fahrweisen sind in Tab.-Nr. 1 exemplarisch für eine Umhüllungsmasse gegenübergestellt.

| | ϑ_{Zyl} [°C] | p_{Stau} [bar] |
|----------------------|------------------------|------------------|
| NU 463 konventionell | 85/40/40 | 15/15/15 |
| NU 463 neu | 75/60/60 | 0/10/15 |

Tab.-Nr. 1 Vergleich von Zylindertemp. und Staudruck bei unterschiedlichen Fahrweisen

In Abb.-Nr. 4 kann man am Beispiel einer Umhüllungsmasse die Öffnung des Verarbeitungsfensters bei der vorgeschlagenen Fahrweise im Vergleich der erforderlichen Spritzdrücke (Umschaltdruck auf Nachdruck) erkennen.

Während bei konventioneller Fahrweise der Spritzdruck nach 3min Unterbruch um 50% steigt und nach 5min die Druckgrenze der Maschine erreicht, steigt er bei der vorgeschlagenen Fahrweise bei 5min lediglich um 20% und selbst bei 10 min erst um 50%. Die Toleranz gegenüber Zyklusunterbrüchen ist damit entscheidend grösser.

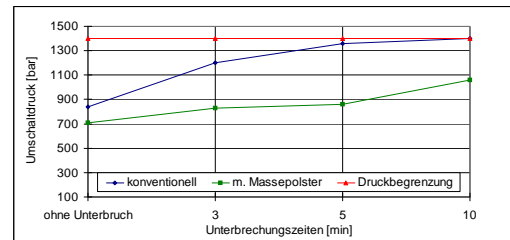


Abb.-Nr. 4 Umschaltdruck vs. Unterbruchzeiten

5. Prozessstart

Um von Beginn an Gutteile produzieren zu können und negative Einflüsse auf die Plastifizierung bei kontinuierlicher Fertigung auszuschliessen, sollte eine Startprozedur eingehalten werden, die schnell zu homogen plastifiziertem Material führt. Bisher ist es immer noch üblich mit zu geringem Schussgewicht zu starten und sich "von unten" an das richtige Schussgewicht heranzutasten. Ausser dass hier Ausschuss durch unterfüllte resp. schlecht verdichtete Teile bewusst in Kauf genommen wird besteht auch die Gefahr, dass "kaltes" Granulat zwischen Schnecke und Düse zerrieben wird und anhaftet. In diesem Fall wird die Düse innert 15-20 Schuss zuwachsen, ein Neustart wird erforderlich.

Bei Einhaltung des beschriebenen Ablaufes besteht diese Gefahr nicht. Da mit Massepolster gefahren wird kann von Beginn an mit dem optimalen Dosiervolumen gestartet werden. Das Einpendeln der Spritzparameter in den stabilen Bereich verkürzt sich erfahrungsgemäss von ca. 15 Schuss auf 5-10 Schuss.

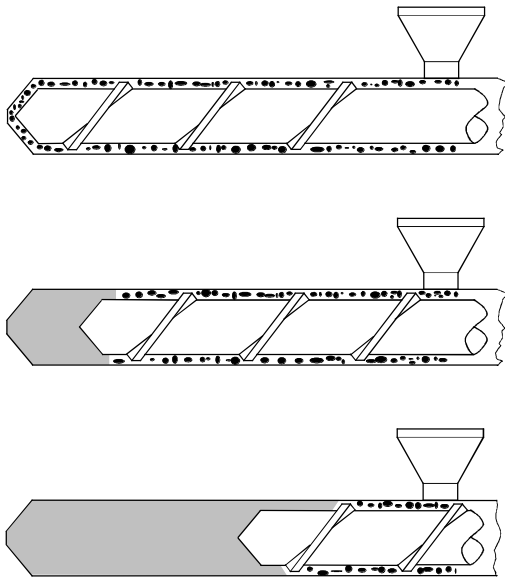


Abb.-Nr. 5 Anfahren

1. dosieren, bis Zylinder gerade gefüllt
→ 0,5-1min warten
2. dosieren bis ca. 1/8
Schussvolumen → 0,5-1min warten
3. ausspritzen bis auf wenige cm³
4. wiederholen der Schritte 2 und 3
mit steigendem Dosiervolumen bis
zum ganzen Schussvolumen
5. 1 Schuss ausspritzen, aufdosieren.
6. Produktionsstart

6. Kontrolle

Ob die Parameter laut vorgeschlagener Strategie optimal gewählt sind, lässt sich anhand einiger einfach zu bewertender Punkte erkennen.

Besitzt die SG-Maschine eine graphische Darstellung des Einspritzdruckes, sollte dieser bei konstant gewählter Einspritzgeschwindigkeit langsam bis zum Umschaltdruck ansteigen oder einen konstanten Wert annehmen. (Abb.-Nr. 6) Er sollte nicht zu Anfang oder am Ende einen überhöhten Wert annehmen.

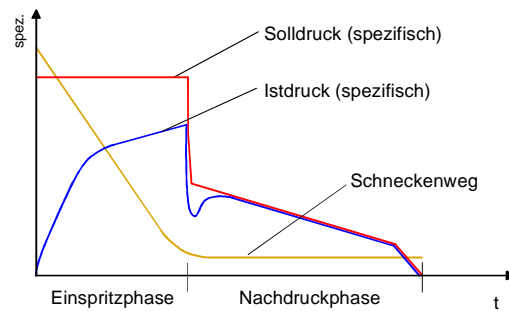


Abb.-Nr. 6 Spritzdruckprofil

Die Schnecke sollte beim Dosieren mit konstanter Geschwindigkeit zurückfahren.

Die Angussröbe sollte nicht spröde abreißen sondern noch weiches Material aus dem Düsenkonus mitziehen. (Abb.-Nr. 7)



Abb.-Nr. 7 Angussröbe



Abb.-Nr. 8 Plastifizierung

Im Zylinder sollte nicht nur vor der Schnecke plastifiziertes Material bereitstehen sondern mind. 1, besser 2 Schneckengänge sollten im dosierten Zustand plastisches Material

enthalten. Danach folgt ein langsamer Übergang über teilgeschmolzenes zu ungeschmolzenem Granulat. Dies lässt sich am besten bei Produktionsstop beurteilen. (Abb.-Nr. 8)

7. Zusammenfassung

Die aufgezeigte Strategie unterscheidet sich von der gebräuchlichen Fahrweise hauptsächlich dadurch, dass die Masse im Zylinder schonender aufbereitet wird, durch mehr Wärmeübertragung und weniger Friktion. Sie erlaubt es, Epoxid-Formmassen mit einem Massepolster zu verarbeiten ohne Probleme mit Masseaufbau befürchten zu müssen. Neben der Schonung von Werkzeug und Maschine führt dies direkt zu erhöhter Formteilqualität und -Qualitätskonstanz sowie zu einem breiteren Prozessfenster. Dies ist die Voraussetzung zur Realisierung einer automatischen Fertigung wie sie schon erfolgreich bei mehreren Anwendern eingesetzt wird.