

Heißkanalbalancierung geht in die Produktion

Bewährte Methode zur automatischen Balancierung von Mehrfach-Heißkanalwerkzeugen mit Standardanschluss an Industrie-4.0-Systeme

Wettbewerbsvorteile und steigender Kostendruck sind die treibenden Kräfte dafür, die Produktivität von Fertigungsanlagen immer weiter zu steigern. Essenzieller Baustein dafür sind Werkzeugkonzepte mit hoher Kavitätenzahl, wie sie beispielsweise mit Etagen- und Würfelwerkzeugen zu realisieren sind. Den wachsenden Anforderungen an den Prozess gerade bei hoher Kavitätenzahl kann der Anwender mit intelligenten Regelsystemen begegnen, um eine konstant hohe Produktqualität bei variablen Eingangsbedingungen sicherzustellen.

Die Anforderung, bei Mehrfach-Werkzeugen in jeder Kavität die gleiche Teilequalität zu erreichen, ist elementar, jedoch gerade bei qualitativ anspruchsvollen Spritzgussteilen nicht immer leicht zu erfüllen. Der Anspruch an den Prozess

und an das Werkzeug steigt mit zunehmender Anzahl der Kavitäten. Die gleichzeitige Füllung aller Nester spielt dabei eine entscheidende Rolle. Eine unbalancierte Formfüllung führt zu unterschiedlicher Teilequalität schon innerhalb eines

Schusses. Ungleiche Teilgewichte, unterschiedliche Maße und Festigkeiten, überspritzte und unterfüllte Teile, unterschiedliche Oberflächen sowie Verzug sind mögliche Folgen. Der Aufwand, den Prozess auf konventionelle Art und Weise zu



Das „Quality Balancer“-System bei der Produktion eines Deckels für ein ESP-Gehäuse © Priamus

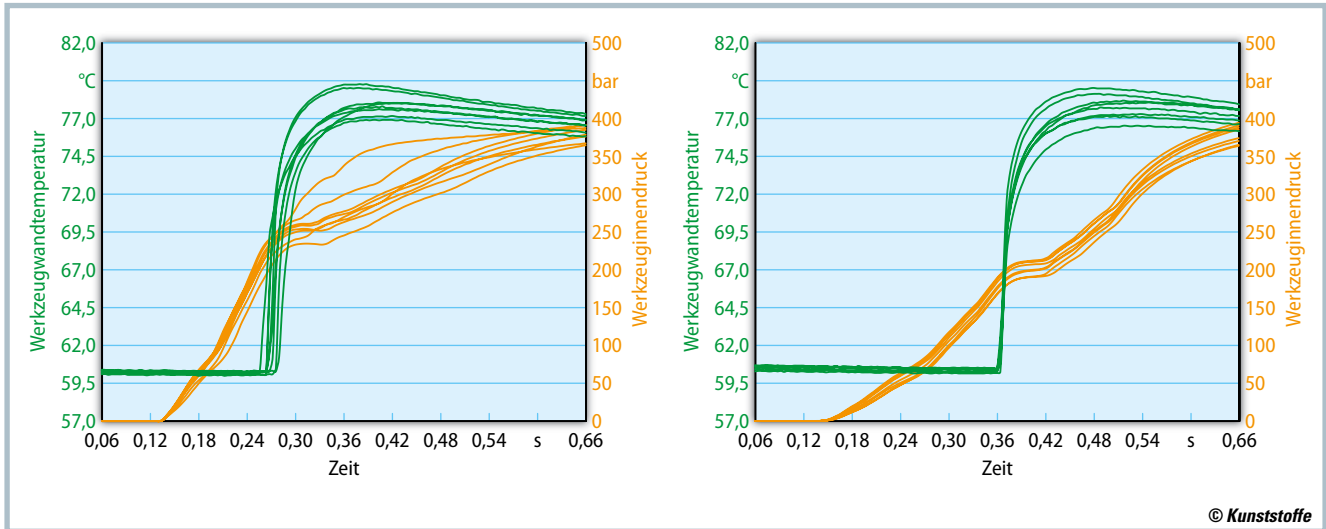


Bild 1. Während die Zeitdifferenzen zwischen den Werkzeuginnendrucksignalen bei verschiedenen Druckhöhen sowohl im unbalancierten (links) als auch im balancierten Zustand (rechts) unterschiedlich sind, zeigen die Temperaturanstiege quasi keine Zeitdifferenz in balancierter Situation (Quelle: Priamus)

beherrschen, ist groß, daher erfolgt die Reaktion auf ungewollte Prozessänderungen oft erst zeitverzögert. Wird dabei nicht jedes Teil in jedem Schuss überwacht, sondern nur eine statistische Auswertung der Teilequalität über Stichproben vorgenommen, bleiben Schlechteile nicht selten unerkannt.

Zum Teil Uneinigkeit über die Grundlagen der Balancierung

In diesem Zusammenhang muss zuerst grundlegend definiert werden, was eine gleichmäßige Balancierung bedeutet, weil auch Fachleute immer noch von unterschiedlichen und teilweise falschen Voraussetzungen ausgehen. Ein Mehrfach-Werkzeug ist ausbalanciert, wenn alle Kavitäten zum selben Zeitpunkt mit dem gleichen Formmassevolumen gefüllt sind [1]. Nur dann passt der Umschaltzeitpunkt für alle Kavitäten gleichermaßen und nicht nur für einige wenige. Zuverlässig und effizient angezeigt wird dies mit den Messsignalen von Werkzeugwandtemperatursensoren am Fließwegende, die das Eintreffen der Schmelzefront durch den Anstieg oder den Abfall der Temperatur (letzteres beispielsweise bei LSR) detektieren [2].

Die Sensorik ersetzt eine aufwendige Füllstudie, die bei sehr kleinen Teilen ohnehin nicht möglich ist. Meist wird eine solche auch nur bei der Bemusterung und gravierenden Problemen vorgenommen. Die entscheidende Voraussetzung



Bild 2. Einblick in das Etagenwerkzeug. Gut zu erkennen sind die Zahnstange und das Schmelzleitrohr (© Priamus)

dabei ist, dass die Erfassung noch in der Füllphase erfolgt. Eine Detektion über Druckschwellen mit Werkzeuginnendruck-Sensoren hingegen findet erst in der Kompressionsphase – und damit zu einem späteren Zeitpunkt – statt, während die Formmasse schon nicht mehr fließt.

Während man sich vor einigen Jahren fast ausschließlich auf den Werkzeuginnendruck als das Maß aller Dinge und der Teilequalität beim Spritzgießen konzentrierte, weiß man heute, dass der Formteilbildungsprozess ein mehrdimensionaler ist, der umfassend durch das pVT-Verhalten beschrieben wird und damit von mehreren Parametern abhängig ist. Die

Theorie erhält einen qualitativen Praxisbezug. So bedeutet gleicher Werkzeuginnendruck nicht automatisch gleiches Füllvolumen, wenn Temperatur und Viskosität unterschiedlich sind. Dies ist jedoch bei Schwankungen des Materials, der Materialaufbereitung, der Umgebungsbedingungen und Temperierungen in Zylinder, Verteiler, Düsen und Werkzeug permanent der Fall.

Die Priamus System Technologies branch of Barnes Group Suisse Industries LLC gilt als Pionier bei der automatischen Balancierung von Mehrfach-Heißkanalwerkzeugen und weiteren Prozessregelungen [3]. Seit 2001 setzt das Unternehmen mit Sitz in Schaffhausen/Schweiz »

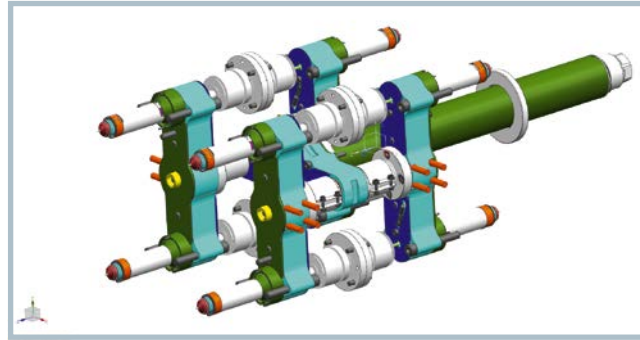


Bild 3. 8-fach-Heißkanalsystem für das Etagenwerkzeug mit Durchführung, Verteiler und Düsen von Männer

(© Walter Söhner)

Die Autoren

Dipl. Ing. (FH) Erwin König ist seit 2001 Geschäftsführer der Priamus System Technologies GmbH, Salach; salesde@priamus.com

Dipl. Ing. (FH) Christopherus Bader ist seit 2001 Geschäftsführer der Priamus System Technologies branch of Barnes Group Suisse Industries LLC, Schaffhausen/Schweiz.

Dank

Der Dank der Autoren für große Unterstützung sowie die Bereitstellung von Maschine und Werkzeug gilt Jochen Neugart, Leiter Anwendungstechnik der Walter Söhner GmbH & Co. KG, Schwaigern, und dessen Mitarbeiter Daniel Arbeit.

Unternehmen

Priamus ist wie die beiden anderen im Text genannten Unternehmen Männer und Gammaflux Mitglied in der Sparte „Molding Solutions“ der Barnes Group Inc. Bristol, USA. Weitere Partner in diesem Firmenverbund sind Foboha, Synventive und Thermoplay.

» www.barnesgroupinc.de

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/7090431

English Version

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

diese Systeme auf Basis der automatischen Fließfronterkennung über Werkzeugwandtemperatur-Sensoren ein und verfügt aufgrund der vielen im Markt arbeitenden Systeme über ein breites anwendungstechnisches Know-how. Die Erfahrung hat dabei gezeigt, dass eine zufriedenstellende Balancierung für anspruchsvolle Teile über Werkzeuginnen-druck-Schwellen in der Kompressionsphase nicht möglich ist.

Druckanstiege weisen bei unterschiedlichen Schwellwerten verschiedene Zeitdifferenzen auf, wo hingegen bei den Temperaturanstiegen in der Füllphase nur eine minimale, eindeutige Balancierzeitdifferenz zu erkennen ist (**Bild 1**). Welche Druckschwelle als Basis für eine Balancierung auszuwählen ist, bleibt daher ungewiss – und damit ebenso die Balancierung [4]. Viele Füllstudien haben jedoch gezeigt, dass der Temperaturanstieg, der über einen speziell ent-

wickelten Algorithmus während der Formfüllung detektiert wird, deckungsgleich mit dem Füllgrad sowie dem Teilegewicht ist [5].

Praktische Anwendung mit einem Etagenwerkzeug

Bei der Walter Söhner GmbH & Co. KG, Schwaigern, wurden mit einem Werkzeug für ESP-Gehäusedeckel („Elektronisches Stabilitätsprogramm“) aus PBT-GF30 erste Versuche zur speziellen Problematik bei Etagenwerkzeugen durchgeführt (**Bild 2**). Das Werkzeug hat zwar pro Etage nur vier Kavitäten, ist aber dennoch in Bezug auf die unterschiedlichen Regelstrategien interessant. Im Werkzeug integriert ist ein Heißkanalsystem (**Bild 3**) der Otto Männer GmbH, Bahlingen, die auf Mehrkavitäten-Werkzeuge, u. a. auf Etagenwerkzeuge mit hoher Fachzahl, spezialisiert ist.

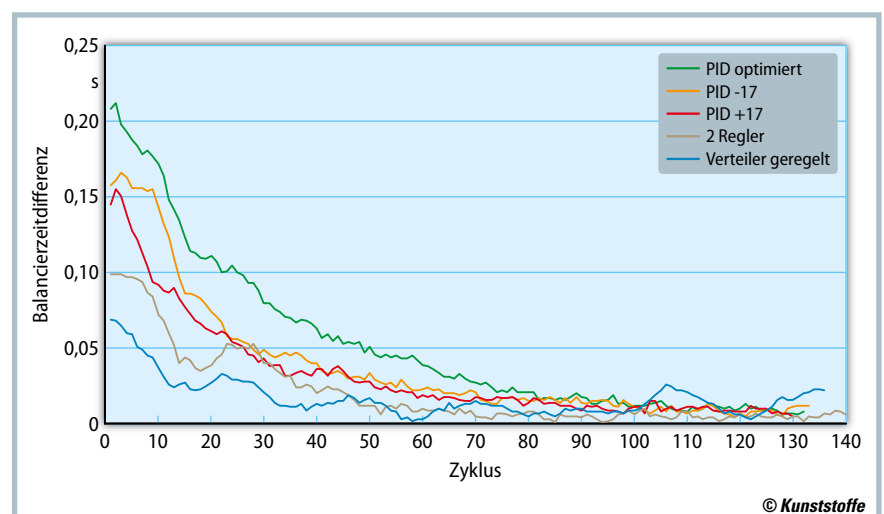


Bild 4. Balancierung mit verschiedenen PID-Parameter-Einstellungen und Regelstrategien. Das Bild zeigt den zeitlichen Verlauf der Heißkanalbalancierung anhand der Balancierzeitdifferenz zwischen den automatisch ermittelten Temperaturanstiegen in den verschiedenen Kavitäten. Im Verlauf der Trendgrafik ist die Trägheit der verschiedenen Einstellungen zu erkennen, wobei die kleinste Abweichung die bestmögliche Balancierung bedeutet (Quelle: Priamus)

Etagenwerkzeuge sind aufgrund der annähernd zweifachen Ausbringung bei fast gleichem Platzbedarf für die Maschine Werkzeugen mit einer Trennebene weit überlegen, wodurch die Stückkosten beträchtlich gesenkt werden können. Allerdings birgt der mechanische Aufbau des Mittelteils eine potenzielle Schwachstelle, die zu unterschiedlicher Teilequalität schon innerhalb eines Schusses und zu erhöhtem Verschleiß führen kann. Da der meist weniger steife Mittelteil nicht durch die Aufspannplatten gestützt ist, kann er durch die Wirkung der Schließkraft und des Spritzdrucks deformiert werden, was zusätzlich zu den sonstigen prozessvariablen Einflüssen zu einer ungleichmäßigen Formfüllung beitragen kann.

Mit dem neuen System „Quality Balancer“, einer Einsteigervariante der automatischen Heißkanalbalancierung Fill-control H von Priamus, wurden Versuche gefahren, die erste Erkenntnisse über die Einflüsse von Etagenwerkzeugen erbringen und die Praxistauglichkeit des Sys-

tems zeigen sollten. Der Quality Balancer ist ein bedienerfreundliches Regelsystem zur Balancierung von Mehrfach-Heißkanalwerkzeugen. Dabei wurde – wie auch schon beim ersten System dieser neuen Baureihe, dem Quality Monitor – großer Wert auf die integrierten IoT-Möglichkeiten (Internet of Things) gelegt, um echte Qualitätsdaten einfach zu vernetzen.

Die Feinheiten bei der automatischen Heißkanalbalancierung

Um die Eignung des Heißkanalreglers voraussetzen zu können, wurde mit verschiedenen Versuchsreihen zur Überprüfung und Optimierung der PID-Regler des Heißkanalregelgeräts G24 (Hersteller: Gammaflux Controls GmbH, Wiesbaden) begonnen. Das Regelverhalten der PID-Regler ist mitentscheidend für die Temperaturführung der Düsen und Verteiler und Voraussetzung für eine einwandfreie Funktion der automatischen Heißkanalbalancierung. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, diese im Vorfeld zu optimieren (**Bild 4**).

Geschieht dies nicht, reagieren die Heizzonen zu langsam oder überschwingen zu sehr, was schon bei einer statischen Anwendung die Leistungsfähigkeit herabsetzt. Bei dynamischen Anwendungen, in denen die Düsentemperaturen permanent verändert werden, um Schwankungen im Prozess auszugleichen, ist dies umso wichtiger.

Bei Standardwerkzeugen mit einer Trennebene wird im Normalfall ein Regler zur Balancierung von Mehrfach-Heißkanalwerkzeugen herangezogen. Über Werkzeugwandtemperatur-Sensoren, die in jeder Kavität am Fließwegende positioniert sind, wird der Zeitpunkt ermittelt, zu dem die Schmelze diese Position erreicht. So können die Balancierzeitdifferenzen berechnet und die Formfüllung automatisch über die Veränderung der Heißkanaldüsentemperaturen nach einem speziellen Algorithmus ausbalanciert werden.

Die Balancierung gliedert sich in zwei Phasen: Während in der ersten Phase das Werkzeug von einem unbalancierten »

in einen balancierten Zustand überführt wird, hält man in der zweiten Phase die Balancierung allen Prozessschwankungen zum Trotz auf einem bestmöglichen Wert. Das Vorgehen eines Anwendungstechnikers, der bei einer Füllstudie abhängig vom visuellen Füllzustand der Spritzgussteile die Düsentemperaturen manuell und nach seinen Erfahrungen anpasst, unterliegt dagegen auch subjektiven Faktoren. Ein permanentes manuelles Eingreifen während der Produktion ist ohnehin undenkbar, ohne die validierten Qualitätsparameter zu verändern.

Verschiedene Regelstrategien im Vergleich

So wurde auch beim ersten Versuch ein Regler definiert, der alle Kavitäten aus beiden Etagen gleichzeitig ausbalanciert. Ausgangszustand war die manuell ermittelte Einstellung für die Düsentemperaturen, die eine Balancierzeitdifferenz von ca. 0,1 s aufwies. Hierbei wurden keine signifikanten Unterschiede in der Füllzeit zwischen den Kavitäten von Etage 1 und 2 festgestellt. Nach der automatischen Balancierung konnte die Füllzeitdifferenz stabil auf ein Minimum ($< 0,01$ s) geregelt

Im Profil

Das Leistungsspektrum der **Walter Söhner GmbH & Co. KG** umfasst die Herstellung von Prototypen-, Etagen-, 3-Platten-, Heißkanal- und Mehrkomponenten-Werkzeugen sowie Werkzeugen zur Band- und Rotor- bzw. Stator-Umspritzung. In der Spritzgießfertigung werden damit alle gängigen unverstärkten und verstärkten technischen Kunststoffe sowie Hochleistungskunststoffe verarbeitet. Das Produktspektrum reicht von mechanischen und elektromechanischen Komponenten (Kunststoff-Metall-Verbindungen, Mehrkomponenten- und Montagebauteile) über allgemeine technische Kunststoffteile bis hin zu Steckverbindungen und Einpresskontakten. Mit diesen Produkten ist das Unternehmen vertreten in den Branchen Automobil (z. B. Klimaregelung, Sicherheits- und Bremssysteme), Energietechnik (z. B. Solar- und Windenergie), Medizin und allgemeine Konsumgüter. Walter Söhner beschäftigt ca. 700 Mitarbeiter am Hauptsitz in Schwaigern bei Heilbronn sowie in Fertigungswerken in den USA, China und Rumänien.

» www.soenhnergroupp.com/walter-soehner/

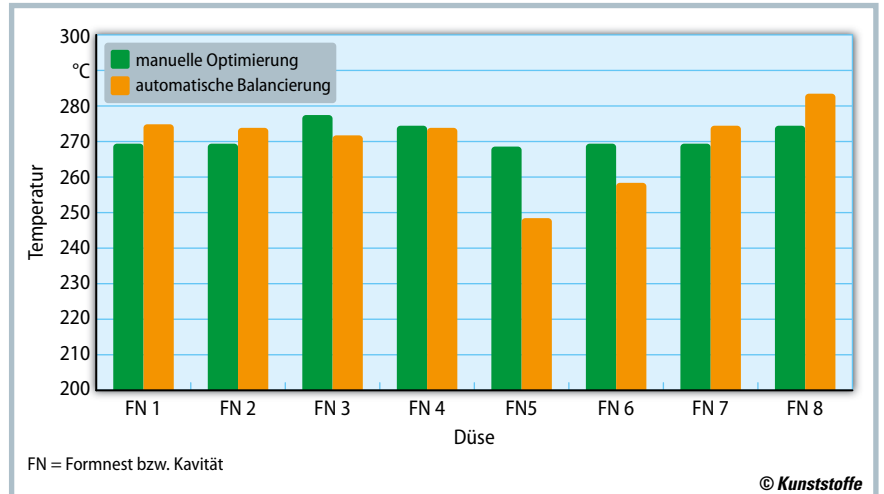


Bild 5. Während bei manueller Optimierung eine Balancierzeitdifferenz von 0,1 s zu verzeichnen war, wurde bei automatischer Balancierung eine Zeitdifferenz von nur 0,01 s erreicht. Für eine optimale Balancierung mussten die Düsentemperaturen entsprechend angepasst werden (Quelle: Priamus)

und gehalten werden, wobei die Düsentemperaturen innerhalb der für das Material zulässigen Verarbeitungsgrenzen entsprechend angepasst wurden. Die Maßhaltigkeit der Spritzgussteile konnte dabei für alle Prüfmaße wie Ebenheit, Länge und Breite gewährleistet werden.

Im weiteren Verlauf wurden für beide Etagen getrennte Regler definiert, die jeweils unabhängig von der anderen Etage die Balancierung vornahm. Das Priamus-System bietet die Möglichkeit, so viele Regler einzusetzen, wie es die Anwendung z. B. für mehrere Komponenten, mehrere Spritzeinheiten bei Würfelwerkzeugen oder Kaskadenregelungen erfordert. Der Ausgangszustand war mit ca. 0,1 s Balancierzeitdifferenz wieder derselbe, wobei auch mit dieser Regelstrategie ein sehr gutes Ergebnis mit ausbalancierten Kavitäten und Füllzeitdifferenzen unter 0,01 s bei unauffälligen Differenzen bei den Düsentemperaturen erreicht wurde (**Bild 5**). Auch in diesem Versuch war die Einhaltung der Prüfmaße sichergestellt.

Somit konnten die Versuche zeigen, dass unabhängig von der gewählten Konfiguration auch bei Etagenwerkzeugen eine optimale Balancierung erfolgen kann und mit dem neuen Quality Balancer (**Titelbild**) ein industrielles und praxistaugliches System für den breiten Industrieinsatz zur Verfügung steht. Insgesamt waren die Auswirkungen auf die Qualitätsmerkmale in diesem Fall wegen des Glasfaseranteils in dem verwendeten

Kunststoff und der weniger anspruchsvollen Toleranzen geringer als bei ungefüllten Materialien. Aufgrund der niedrigen Kavitätanzahl zeigte sich auch der Einfluss der mechanischen Schwachstelle im Werkzeug kaum, wie es bei einer weit aus größeren Anzahl von Kavitäten bzw. größeren und weniger steifen Werkzeugen zu erwarten ist.

Fazit

Die Versuche bilden die Grundlage für bereits geplante Folgeversuche mit Multi-Kavitäten-Werkzeugen, bei denen das Problem des wenig steifen Mittelteils wesentlich ausgeprägter ist. Der Bedarf an Werkzeugen für anspruchsvolle Produkte im Medizin- und Pharmabereich sowie in der Verpackungsindustrie, mit denen prozesssicher eine hohe Ausbringung garantiert werden kann, steigt, denn das Einsparpotenzial ist hier sehr hoch. Mit produktionsstauglichen Regelsystemen zur automatischen Heißkanalbalancierung, wie sie von Priamus heute angeboten werden, ist für die Zukunft zu erwarten, dass dies auch mit Etagen- oder Würfelwerkzeugen mit hoher Kavitätanzahl problemlos möglich sein wird. Noch vor wenigen Jahren wäre in diesen Fällen nur die konservativere, aber kostenintensive Variante mit kleineren Werkzeugen in Frage gekommen. Der Erfolg wird sich dort einstellen, wo man bereit ist, neue Technologien in Verbindung mit intelligenten Werkzeugkonzepten einzusetzen. ■