

Die Heißkanalnadel als Stellgröße

Kavitätsspezifische Druckbeeinflussung zur Steigerung der Prozesskonstanz

Das IKV in Aachen untersucht einen neuen Regelungsansatz für das Spritzgießen, bei dem der Werkzeuginnen- druck durch unterschiedliche Öffnungspositionen der Heißkanalverschlussnadel geregelt wird. Anhand von verschiedenen Nadelführungen in der Nachdruckphase wird überprüft, in welchem Maße sich der Werkzeug- innendruck beeinflussen lässt.

Das Versuchs-
werkzeug mit der
Kavität eines
Fahrradsattels
besitzt einen
servoelektrisch
angetriebenen
Heißkanal © IKV



Die Produktqualität ist für kunststoff- verarbeitende Unternehmen ein wichtiger Wettbewerbsfaktor. Qualitäts- merkmale eines Formteils, wie dessen Maßhaltigkeit, Gewicht und Oberflächen, werden von dem thermodynamischen Schmelzestand in der Kavität während der Formteilbildung bestimmt. Dabei wird der Schmelzestand durch den Druck,

das spezifische Volumen und die Tempe- ratur beschrieben. Für hochpräzise Form- teile ist ein reproduzierbarer Druck- und Temperaturverlauf in der Kavität von ent- scheidender Bedeutung [1]. Unvermeid- bare Störeinflüsse auf den Spritzgießpro- zess, wie die Verarbeitung unterschiedli- cher Materialchargen, eine schwankende Materialkonditionierung oder ein unter-

schiedliches Schließverhalten der Rück- ström Sperre, führen dazu, dass trotz kon- stanter Maschineneinstellparameter die Schmelzequalität und folglich auch die Bauteilqualität fluktuieren [2]. Daher gibt es bereits Regelungssysteme, die den Pro- zess an die vorherrschenden Bedingungen anpassen und somit nachweislich die Pro- zesskonstanz erhöhen [3–5].

Manche Systeme erkennen Schwankungen der Viskosität daran, dass sich der Einspritzdruck ändert, und passen daraufhin den Umschaltzeitpunkt und die Nachdruckhöhe an [3, 4]. Diese Konzepte können aber keine werkzeugseitigen Störungen erkennen, wie etwa Schwankungen der Werkzeugtemperierung oder Ablagerungen an der Heißkanaloberfläche, die die Fließeigenschaften verändern. Eine andere Methode regelt den Werkzeuginnendruck direkt über die Schneckenbewegung [6]. Allerdings wirken hierbei viele Einflüsse auf die Regelstrecke, sodass diese komplex ist. Dieser Ansatz erfordert beim Einstellen der Regelung fachspezifische Kenntnisse, die in der Produktion meist nicht vorausgesetzt werden können.

Regelung des Werkzeuginnendrucks direkt am Bauteilanschnitt

Darüber hinaus können diese Konzepte die Druckübertragung im Werkzeug nicht kavitätsspezifisch regulieren. Dies ist besonders bei Familienwerkzeugen nachteilig, weil die Formnester hierbei unterschiedliche Volumina aufweisen. Um dennoch für jede einzelne Kavität eine hohe Bauteilqualität gewährleisten zu können, wird das Angussystem aufwendig ausbalanciert und hinsichtlich eines Prozesspunkts optimiert. Die Ausbalancierung ist jedoch betriebspunktabhängig, sodass Abweichungen im Prozess durch Störeinflüsse zu einem ungleichmäßigen Füllen der Kavitäten führen können.

Daher gibt es ein System, das den Schmelzeffluss mithilfe zusätzlicher Schmelzeventile im Heißkanal für jede Kavität unabhängig regeln kann [7]. Je nach Stellung der Ventile kann unterschiedlich viel Material in die Kavität eingebracht werden. Allerdings regelt dieses System nicht den Druck direkt in der Kavität, sondern im Angussystem. Die Drücke an dieser Stelle spiegeln die Bedingungen bei der Bauteilumformung nicht direkt wider.

Am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen wird nun ein neues Regelungskonzept entwickelt, das den Werkzeuginnendruck direkt am Bauteilanschnitt regelt. Dabei wird die Druckübertragung in die Kavität mithilfe der Heißkanalverschlussnadeln geregelt. Diese Strategie nutzt den Umstand, dass der Druckverlust im Heißkanal mit geringem Öffnungshub der Verschlussnadel

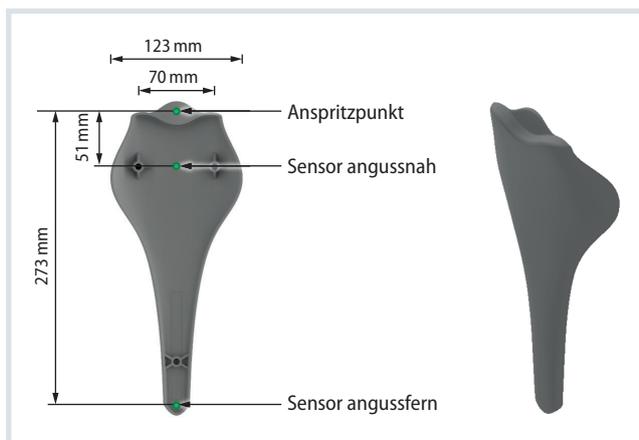


Bild 1. Entlang des Fließwegs sind in dem Werkzeug zwei kombinierte p/T-Sensoren für die Innendruckmessung verbaut. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

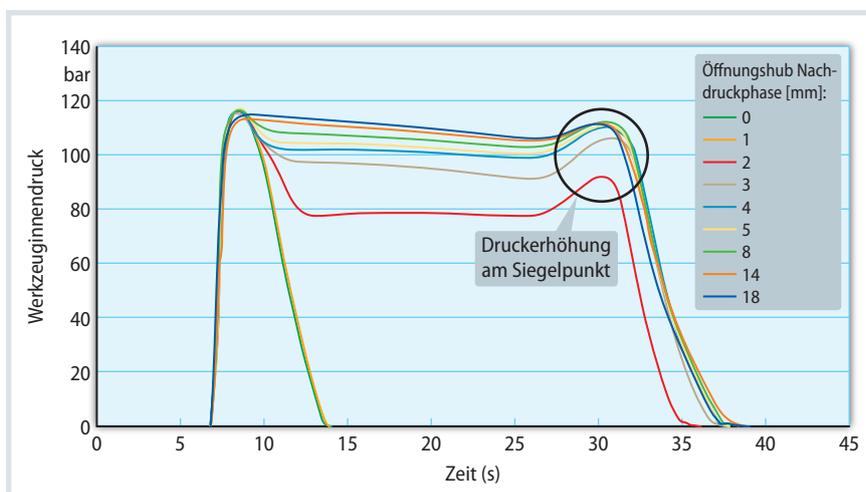


Bild 2. Unterschiedliche Öffnungshübe in der Nachdruckphase beeinflussen den Werkzeuginnendruck. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Komponente	Typ	Hersteller
Spritzgießmaschine	Allrounder 520 A 1500 – 800 Alldrive	Arburg GmbH + Co KG, Loßburg
p/T-Sensor	6190CA	Kistler Instrumente AG, Winterthur/Schweiz
Heißkanal	Flexflow	HRSflow / Inglass S.p.A., San Polo di Piave/Italien
Heißkanalnadel/Steuereinheit	Minas A5 / MBDHT2510	Panasonic Electric Works Europe AG, Ottonbrunn
cRIO-System	cRio-9074, samt entsprechender Module	National Instruments (NI), Austin, Texas/USA
Polypropylen	579 S	Saudi Basic Industries Corporation (Sabic), Riad/Saudi-Arabien

Tabelle 1. Anlagen- und Systemkomponenten, wie sie in den Versuchen zur kavitätsspezifischen Druckregelung zum Einsatz kamen. Quelle: IKV

steigt, weil der durchströmte Querschnitt im Heißkanal reduziert wird.

Das Druckniveau in der Kavität sinkt, je kleiner der Öffnungshub ist

Im Rahmen der Experimente (Tabelle 1), die für die Entwicklung des neuen Regelungskonzepts durchgeführt wurden, wur-

de zunächst der Zusammenhang zwischen Öffnungshub und Werkzeuginnendruck quantifiziert. Als Versuchswerkzeug dient ein auf einer vollelektrischen Spritzgießmaschine betriebenes Tauchkantenwerkzeug, dessen Kavität die Geometrie eines Fahrradsattels aufweist (Titelbild).

Entlang des Fließwegs sind ein angussnaher und ein angussferner (Füll- ➤

Vorteile auf einen Blick

Da der Druck mit einer Heißkanalverschlussnadel geregelt wird, kann für jede Kavität unabhängig von anderen Formnestern ein Werkzeuginnendruckverlauf individuell adaptiert werden. So können Störungen auf den Spritzgießprozess kavitätsspezifisch ausgeregelt werden. Dies ist besonders bei Familienwerkzeugen vorteilhaft, da die Kavitäten unterschiedliche Volumina aufweisen.

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann ist Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen und Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen.

Hanna Dornebusch, M.Sc. RWTH, leitete von 2016 bis 2020 die Arbeitsgruppe Prozessregelung im Spritzgießen am IKV.

Matthias Schöll, M.Sc. RWTH, leitet seit August 2020 die Arbeitsgruppe Prozessregelung im Spritzgießen am IKV; matthias.schoell@ikv.rwth-aachen.de

Dank

Die beschriebenen und erläuterten Untersuchungen wurden im Rahmen des IGF-Vorhabens (19966N) der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Service

Literatur & Digitalversion

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

English Version

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

volumen 22% bzw. 98%) kombinierter p/T-Sensor verbaut (**Bild 1**). Das Werkzeug verfügt über einen Heißkanal mit servoelektrisch angetriebener Nadelverschlussdüse. Die mithilfe eines cRIO-Systems angesteuerte Heißkanalnadel öffnet vor der Einspritzphase vollständig (maximaler Öffnungshub: 18 mm) und steuert während der Nachdruckphase vorgegebene Öffnungshübe an.

In ersten Versuchen wurde der Einfluss konstanter Öffnungshübe während der Nachdruckphase auf den Werkzeuginnendruck analysiert. Bei einem Öffnungshub der Verschlussnadel von 18 mm während der Nachdruckphase herrscht in der Kavität ein Druck von etwa 115 bar (**Bild 2**). Wenn der Öffnungshub 5 mm beträgt, wird in der Kavität ein um etwa 10 bar niedrigerer Druck gegenüber dem Referenzverlauf (Öffnungshub 18 mm) gemessen. Der Vergleich der Druckverläufe der unterschiedlichen Nadelpositionen bekräftigt, dass das Druckniveau in der Kavität umso niedriger ist, je kleiner der Öffnungshub ist.

Das niedrigere Druckniveau ist darauf zurückzuführen, dass durch den geringeren Öffnungshub der Druckverlust beim Durchströmen des Heißkanals steigt. Der Einfluss des Öffnungshubs auf den Werkzeuginnendruck nimmt bei geringeren Hüben zu. So beträgt die Differenz des Referenz-Werkzeuginnendruckverlaufs (Öffnungshub 18 mm) mit jedem Millimeter geringerem Öffnungshub etwa weitere 0,5 bar. Sobald der Heißkanal jedoch um weniger als 4 mm geöffnet ist, steigt der Druckverlust erkennbar an, sodass das Druckniveau in der Kavität sinkt [8]. Dies lässt sich damit erklären, dass bei Öffnungshüben zwischen 0 mm und 4 mm der durchströmte Querschnitt sehr eng und der Druckwiderstand im Heißkanal somit am größten ist (**Bild 3**).

Druckwiderstand im Heißkanal

Bei größeren Öffnungshüben der Verschlussnadel wird der Druckwiderstand im Heißkanal durch die Länge der Ringströmung im Heißkanal variiert. Allerdings ist der Einfluss dieser Veränderung auf den Druckwiderstand geringer als eine Änderung des durchströmten Querschnitts. Weiterhin ist in den angussnah gemessenen Druckverläufen eine Druckerhöhung am Siegelpunkt auffällig. Diese lässt sich darauf zurückführen, dass die

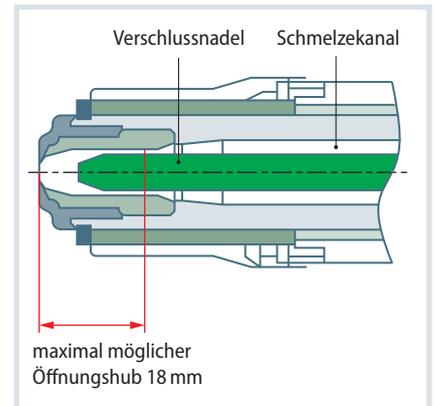


Bild 3. Der engste durchströmte Querschnitt im Heißkanal wird erst im letzten Viertel vor dem vollständigen Schließen der Verschlussnadel beeinflusst. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Bauteile auf den Drucksensor, der schräg aus der Kavitätsoberfläche herauschaut, aufschwinden.

Nadel schließen: Kleiner Druckanstieg bei jedem Verfahrensschritt

In weiterführenden Versuchen hielt die Heißkanalverschlussnadel während der Nachdruckphase nicht nur einen definierten Öffnungshub, sondern verfuhr nach einem vorgegebenen Positionsprofil. Dafür wurde u.a. der Einfluss einer schrittweisen Schließung des Heißkanals auf den Werkzeuginnendruck untersucht (**Bild 4**). Der Öffnungshub wird in sechs 3-mm-Schritten von 18 auf 0 mm reduziert. Die einzelnen Stufen werden dabei 5 s gehalten.

Der resultierende Werkzeuginnendruck liegt nur leicht unterhalb des Niveaus bei vollständig geöffneter Verschlussnadel während der Nachdruckphase. Die geringe Abweichung resultiert aus der längeren Ringströmung im Heißkanal gegenüber der unveränderten Nadelposition und dem damit einhergehenden höheren Druckwiderstand im Heißkanal. Jedoch steigt der Druck zu Beginn der Verfahrensbewegungen der Verschlussnadel jeweils geringfügig. Ein möglicher Grund dafür kann die zusätzliche Komprimierung der Schmelze und der weitere Schmelzeintrag in die Kavität durch die Schließbewegung der Verschlussnadel sein. Die Druckerhöhung am Siegelpunkt des Werkzeuginnendruckverlaufs ist, wie bereits erläutert, auf das Schwindungsverhalten des Kunststoffes zurückzuführen.

Nadel öffnen: Leichter Druckabfall bei jedem Verfahrenschritt

Schließlich wurde die umgekehrte Verfahrensbewegung der Verschlussnadel in der Nachdruckphase analysiert. Beim schrittweisen Öffnen des Heißkanals schließt die Verschlussnadel nach einem Öffnungshub von 18 mm während der Einspritzphase zunächst vollständig und öffnet in sechs 3-mm-Schritten von 0 auf 18 mm. Auch hier werden die einzelnen Stufen jeweils 5 s gehalten. Kurz nach dem Umschaltzeitpunkt wird ein maximaler Werkzeuginnendruck von über 115 bar gemessen – ein höherer Wert im Vergleich zu den anderen Versuchen (Bild 5).

Analog zu den leichten Druckpeaks beim schrittweisen Zufahren der Nadel ist dies auf die zusätzliche Komprimierung der Schmelze durch die Verfahrensbewegung der Nadel zurückzuführen. Durch das Verschließen des Heißkanals wird die Druckübertragung aus dem Schneckenraum in die Kavität vollständig unterbrochen. Aufgrund der Volumenkontraktion beim Abkühlen der Schmelze, die aufgrund der abgeschlossenen Kavität nicht ausgeglichen werden kann, fällt der Werkzeuginnendruck um etwa 50 bar. Mit dem folgenden Öffnen des Heißkanals steigt der in der Kavität gemessene Druck wieder fast auf das gleiche Niveau wie bei vollständig geöffneter Nadel während der gesamten Nachdruckphase an, da die nachströmende Schmelze die Schwindung ausgleichen kann.

Im Gegensatz zu dem zuvor diskutierten Versuchspunkt ist auffällig, dass diesmal zu Beginn der Verfahrensbewegung der Verschlussnadel an den einzelnen Stufen kurzfristig jeweils geringe Druckabfälle auftreten. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass im Gegensatz zu dem vorherigen Versuchspunkt die Schmelze aufgrund der Öffnungsbewegung der Verschlussnadel entspannt wird.

Auch am angussfernen Sensor ist der Einfluss der Nadelbewegung auf den gemessenen Druckverlauf zu erkennen. So zeigt sich im Druckverlauf auch hier beim Schließen des Heißkanals nach dem Umschalten von der Einspritz- auf die Nachdruckphase ein Einbruch, der ebenfalls durch das anschließende Öffnen nahezu ausgeglichen wird. Allerdings sind am angussfernen Sensor die Druckabfälle zu Beginn der Verfahrensbewegungen nicht so ausgeprägt. Der Grund hierfür liegt in der geringeren

Schmelzetemperatur, wodurch der Kunststoff eher erstarrt und die Druckübertragung in der Schmelze sinkt. Zudem ist die Distanz zwischen der Sensorposition und der Verschlussnadel größer, sodass der Effekt nochmal geringer ausfällt.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde in weiterführenden Untersuchungen eine Regelungsstrategie entwickelt, die den Werkzeuginnendruck mithilfe der Heißkanalverschlussnadel als Stellgröße gezielt regelt. Die mit dieser Regelung erzielten Ergebnisse sind dem Abschlussbericht des Projekts zu entnehmen [9]. In Zukunft soll die Regelung des Werkzeuginnendrucks mithilfe der Heißkanalverschlussnadel auf ein Familienwerkzeug übertragen werden, weil dies eine kavitätsspezifische Beeinflussung der Prozessbedingungen ermöglicht.

Fazit

Die Versuche am IKV in Aachen haben gezeigt, dass durch Bewegungen der Heißkanalverschlussnadel während der Nachdruckphase sowohl angussnah als auch angussfern unterschiedliche Werkzeuginnendrucke realisiert werden können und sich die Heißkanalnadel somit als Stellgröße für eine Regelung eignen könnte. Das Druckniveau in der Kavität korreliert mit dem Öffnungshub der Verschlussnadel, deutlich lässt sich der Druckverlust jedoch erst durch Variation des durchströmten Querschnitts in der Heißkanaldüse beeinflussen. Wie die Versuchsergebnisse zeigen, hat die Variation der Länge der Ringströmung hingegen nur einen geringfügigen Einfluss auf die Druckübertragung in die Kavität. ■

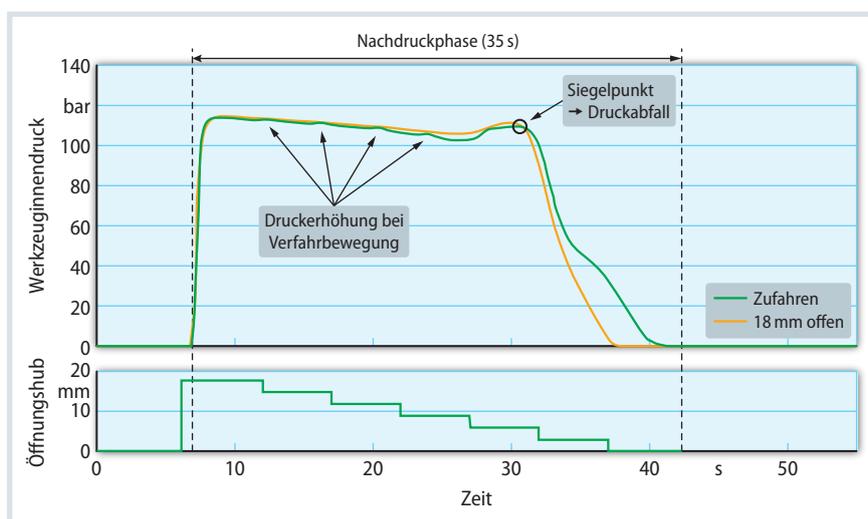


Bild 4. Schrittweises Schließen des Heißkanals beeinflusst den Druckverlauf nur geringfügig

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

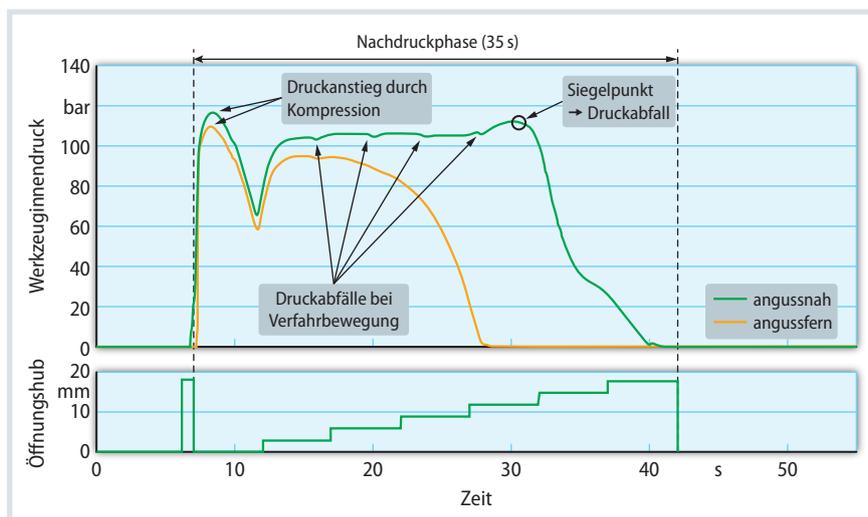


Bild 5. Bei schrittweisem Öffnen des Heißkanals während der Nachdruckphase ist im Werkzeuginnendruckverlauf eine Einfallstelle zu erkennen

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser