

Radiale Wanddickensteuerung für Mehrfachwerkzeuge

Dr.-Ing. H. Groß, Roßdorf

Einleitung

Lange haben Fachleute bezweifelt, dass eine dynamische Wanddickenregelung bei Mehrfachköpfen überhaupt technisch realisierbar ist. Bei der Herstellung größerer Blasformteile ist es inzwischen üblich, den Vorformlingsschlauch nicht nur axial sondern auch radial in seiner Dicke gezielt zu verändern, um den unterschiedlichen Verstreckgraden im Formteil gerecht zu werden. Man erreicht damit eine gleichmäßigere Dickenverteilung gegenüber konventionellen Blasköpfen, die über dem Umfang eine statische Profilierung des Dorns oder der Düse besitzen. Die Verbesserung der Qualität der Hohlkörper geht einher mit einem verringerten Materialeinsatz. Die Vermeidung von unnötigen Dickstellen im Formteil führt zusätzlich zu einer Verringerung der Kühlzeit, wodurch bei den meisten Anlagen auch die Zykluszeit verringert und damit die Kapazität erhöht wird. Weiterhin ist auch noch interessant, dass das aufwendige Optimieren der statischen Fließkanalprofilierung, das personalintensiv ist und unnötig zusätzliche Anlagenkapazität bindet, entfällt. Dieser mehrfache Nutzen rechtfertigt auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht die höheren Investitionskosten für einen Blaskopf, mit dem der Fließkanalspalt auch radial dynamisch verstellt werden kann.

Eine radiale Wanddickensteuerung konnte allerdings in der Vergangenheit nur bei Blasköpfen innerhalb eines eingeschränkten Größenbereichs verwendet werden. Bei den Abmessungen der Werkzeuge gab es sowohl nach oben als auch nach unten Grenzen, die nicht überschritten werden konnten. Durch die Verwendung von partiell mehrwandigen Flexringhülsen in Blasköpfen konnten nun diese Grenzen weiter verschoben werden. So ist zur Zeit ein Projekt in Diskussion bei dem eine Flexringhülse, die einen Durchmesser von 1200 mm besitzt, in einen Blaskopf integriert werden soll, um eine radiale Wanddickensteuerung zu ermöglichen. Die Herstellung einer Flexringhülse in dieser Größe bereitet dabei keine Probleme. Größere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Suche nach geeigneten Bearbeitungsmöglichkeiten für die konventionelle Herstellung des notwendigen Außengehäuses. Will man allerdings sehr kleine Werkzeuge mit einer dynamischen Wanddickensteuerung bauen, so ist dies bedeutend schwieriger.

Anforderungen, die für eine radiale Wanddickensteuerung bei Mehrfachwerkzeugen erfüllt werden müssen

Mehrfachwerkzeuge haben in aller Regel einen Düsendurchmesser, der deutlich unterhalb von 60 mm liegt. Will man also Mehrfachwerkzeuge mit einer radialen Wanddickensteuerung ausrüsten, dann muss man erst einmal eine prinzipielle Lösung realisieren, um die Fließkanalgeometrie von Blasköpfen mit einem kleinen Durchmesser während des Austrags des Vorformlingschlauchs verändern zu können. Eine formschlüssige Anbindung der Stellsysteme an das zu verformende Düsenteil, wie es bei etablierten Lösungen der Fall ist, scheidet schon rein aus Platzgründen aus. Die Fließkanalwand kann folglich nur über Druck von außen nach innen gedrückt werden. Sieht man einmal von der praktisch vernachlässigbaren Unterstützung der Rückstellbewegung durch den Schmelzedruck ab, so muss die Fließkanalwand sich beim Zurückfahren der Stellantriebe von selbst zurückstellen. Dies bedingt jedoch, dass man sich bei den Deformationen, die in die Düse eingebracht werden, im rein linear elastischen Bereich bewegen muss, um eine ideale Rückstellung zu gewährleisten. Erste erfolgreiche Versuche mit einem kleinen dynamisch verstellbaren Blaskopf, in den eine partiell mehrwandige Flexringhülse integriert worden ist, wurden bereits vor einigen Jahren am IKV durchgeführt [1,2].

Will man allerdings eine dynamische Düsenverstellung bei Mehrfachköpfen realisieren, so stellt zusätzlich der eingeschränkte Bauraum, der für den Anbau der notwendigen Stelleinheiten zur Verfügung steht, eine weitere Hürde dar. Um eine radiale Wanddickensteuerung bei Mehrfachwerkzeugen realisieren zu können muss man folglich:

1. Düsen bis hinunter zu einem Durchmesser von kleiner 10 mm noch linear elastisch deformieren können.
2. Die zur Deformation der Fließkanalwand notwendigen Verstelleinheiten in dem Bauraum unterbringen, der durch das Stichmaß des jeweiligen Mehrfachkopfes vorgegeben ist.

Neue Fertigungsmöglichkeiten erweitern die gestalterischen Möglichkeiten bei Blasformköpfen

Mit Hilfe eines speziell entwickelten Fertigungsverfahrens lassen sich einstückige partiell mehrwandige Düseneinsätze (Flexringhülsen) für Blasköpfe fertigen, deren Eigenschaften genau auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten werden können [3-5]. Flexringhülsen lassen sich prinzipiell in jedem gewünschten Durchmesser (1 bis größer 1000 mm) mit einem konvergenten oder auch einem divergenten Fließkanalverlauf herstellen. Die in Blasköpfen zum Einsatz kommenden Flexringhülsen erstrecken sich in aller Regel von der Trennebene, die zur Zentrierung des Kopfes dient, bis zum Kopfende, an dem der Vorformling austritt. Somit entsteht bei der Integration einer Flexringhülse in einen Blaskopf keine neue Trennebene. Der Flanschbereich der Flexringhülse ist einwandig. Er ist bezüglich der Dicke so dimensioniert, dass er durch die Kräfte, die über die Stellantriebe eingeleitet werden, nicht deformiert wird. Der konische Austrittsbereich hingegen ist blattfederartig aus mehreren sich gegenseitig abstützenden Wänden aufgebaut (Bild 1).



Bild 1 Im dreiwandigen divergenten Austrittsbereich flexibel deformierbare Flexringhülse mit einem Austrittsdurchmesser von 33 mm

Der Werkzeugkonstrukteur kann nun sowohl die Anzahl der Einzelwände als auch die Dicke jeder einzelnen Wand frei festlegen, wobei zwischen den Oberflächen der Einzelwände kein Spalt existiert (Bild 2). Durch die freie Wahl der Anzahl und der Dicke der Einzelwände lässt sich entsprechend der Anwendung sowohl die benötigte Festigkeit gegenüber dem

Schmelzedruck als auch das für die im Vorformling angestrebte Wanddickenverteilung erforderliche Deformationsvermögen der Flexringhülse maßschneidern [6]. Mit der Möglichkeit auch Wanddicken im Bereich von 0,05 mm zu erzeugen, kann man nun auch sehr kleine Düsen bauen, die trotz des geringen Durchmessers, immer noch rein linear elastisch verformbar sind.

Bei der Gestaltung einer Flexringhülse ist es allerdings wichtig, dass der mehrwandige flexible Austrittsbereich eine gewisse Mindestlänge besitzt, und dass in diesem Bereich keine Krümmung vorhanden ist. Fertigt man ein solches Werkzeug neu, so kann man das berücksichtigen. Will man allerdings ein bestehendes Werkzeug mit einer Flexringhülse nachrüsten, bei dem die Düse im

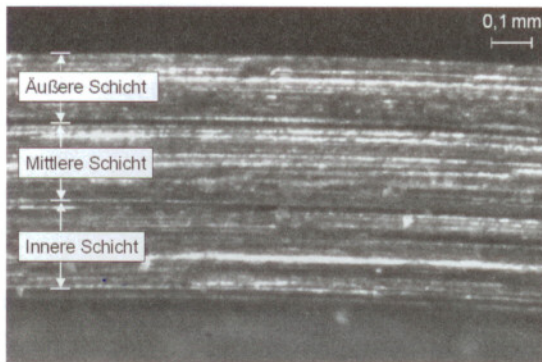


Bild 2 Mikroskopaufnahme der Stirnseite der in Bild 1 dargestellten Flexringhülse (Foto IKV Aachen [1])

Austrittsbereich eine Krümmung aufweist, so muss man die Fließkanalgestaltung verändern. Dies hat dann meist zur Folge, dass zum Nachrüsten des Werkzeugs nicht nur die Düse sondern auch noch der Dorn ausgetauscht werden muss. Bild 3 zeigt beispielhaft einen Dorn-Düsensatz, der in eine Kavität eines bestehenden 12-Fachkopfes integriert wurde, wobei die Fließkanalgestaltung gegenüber dem Originalkopf modifiziert worden ist. Eminent wichtig ist natürlich auch, dass die Flexringhülse der dynamischen Belastung während des Betriebs des Kopfes auch dauerhaft standhält, ohne dass sie irgendwelche Ermüdungs- oder Verschleißerscheinungen zeigt. Um dies zu testen, wurden an der Staatlichen Materialprüfanstalt der Technischen Universität Darmstadt Dauertests mit einer

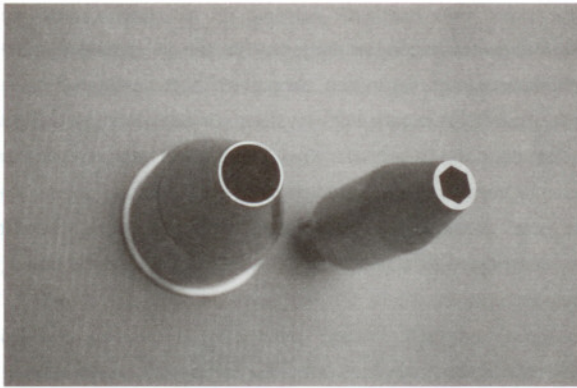


Bild 3 Flexringhülse (Austrittsdurchmesser 18 mm) und zugehöriger Dorn, dessen konzentrisch verlaufender, flexibel deformierbarer, mehrwandiger Austrittsbereich aus fünf Einzelwänden besteht

Flexringhülse durchgeführt. Bild 4 zeigt die Prüfvorrichtung und den Weg-Zeit-Verlauf der aufgetragenen Belastung. Dabei fiel die aus der Verformung der Flexringhülse resultierende Kraft während der ersten 100.000 Lastspiele leicht ab. Danach blieb sie bis zum Ende des Versuchs (600.000 Lastspiele) konstant [7]. Eine Ermüdung der Flexringhülse mit zunehmender Betriebszeit kann somit praktisch ausgeschlossen werden.

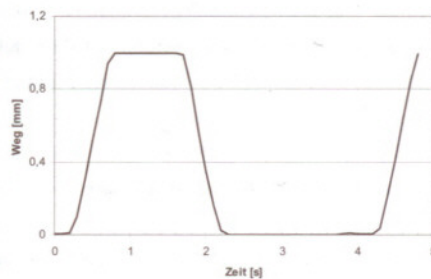
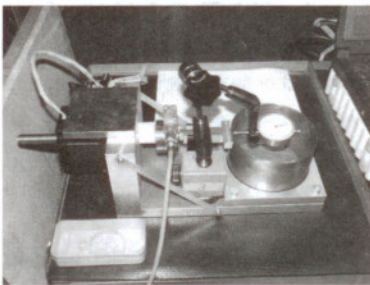


Bild 4 Foto der Prüfvorrichtung (links) und Weg-Zeit-Verlauf (rechts) der Vorschubbewegung des für die Aufbringung der Deformation verwendeten linearen Schrittmotors (Foto und Diagramm: MPA Darmstadt [7])

Auswahl eines geeigneten Stellsystems

Will man nun bei Mehrfachwerkzeugen mit jeder Kavität die radiale Wanddickenverteilung während des Schlauchaustrags verändern, so gibt es zwei denkbare Lösungen. Entweder man sieht für jede Kavität ein eigenes Stellsystem vor oder man verwendet ein zentrales Stellsystem, mit dem dann die Düsen aller Kavitäten gemeinsam verstellt werden. Im ersten Fall darf das gesamte Verstellsystem natürlich nicht größer bauen als der Bauraum, der im Werkzeug durch das Stichmaß des Kopfes vorgegeben ist. Diese Restriktion wird umgangen, indem man die Düsen aller Einzelkavitäten mit einem zentralen Verstellsystem gemeinsam deformiert.

Einzelnes Stellsystem für jede Kavität

Ein einzelnes Stellsystem für jede Kavität ist nur dann verwendbar, wenn Stellantriebe zur Verfügung stehen, die einerseits eine ausreichende Stellkraft besitzen, andererseits aber klein genug sind, damit sie im zur Verfügung stehenden Bauraum untergebracht werden können. Diese Lösung besitzt den Vorteil, dass das Fahrprogramm der Stellantriebe für jede Kavität individuell programmierbar ist. Somit kann man auf minimal vorhandene Unterschiede in der Dickenverteilung der einzelnen Schläuche, wie sie in jedem Mehrfachwerkzeug in mehr oder minder starkem Maß auftreten, reagieren. Erkauft wird dieser Vorteil allerdings mit einem hohen Fertigungsaufwand und somit natürlich auch mit höheren Kosten. Bei einem 6-Fachkopf, mit dem ovale Flaschen hergestellt werden sollen, werden bei dieser Lösung schon einmal 12 Stellantriebe benötigt. Diese Antriebe müssen alle einzeln am Kopf befestigt werden, und die Hubbewegung jedes Stellantriebs muss von der Antriebsachse auf die Flexringhülse übertragen werden.

Zentrales Stellsystem für alle Kavitäten

Wesentlich kostengünstiger ist es, wenn man ein zentrales Stellsystem verwendet, bei dem, unabhängig von der Anzahl der Kavitäten des Kopfes, immer nur zwei Stellantriebe benötigt werden, um beispielsweise den Austrittspalt aller Düsen für den Bereich eines ovalen Flaschenkörpers entsprechend zu ovalisieren. Bei dieser Lösung sind die Stellantriebe jeweils mit einem Verstellbalken verbunden, der sich über die gesamte Breite des Kopfes

erstreckt, und über den dann alle Düsen des Kopfes simultan deformiert werden. Unterschiedliche Bewegungsprofile für einzelne Kavitäten sind somit nicht möglich. Man kann lediglich mit Hilfe einer Feineinstellung den Nullpunkt zwischen einzelnen Kavitäten verschieben, was zur Folge hat, dass das Maß der Deformation sich voneinander unterscheidet. Man muss dabei aber in Kauf nehmen, dass sich auch der Zeitpunkt, an dem die Deformation der Flexringhülse beginnt, zwangsläufig ebenfalls minimal verschiebt.

Die Entscheidung für das eine oder das andere System sollte nach den spezifischen Voraussetzungen und den Anforderungen, die bei der jeweiligen Anwendung relevant sind, gefällt werden. Es steht allerdings zu erwarten, dass in den meisten Anwendungsfällen ein zentrales Stellsystem gewählt werden wird. Speziell die geringeren Investitionskosten werden dabei meist wohl das entscheidende Argument sein, sich für ein zentrales Stellsystem zu entscheiden.

Wahl geeigneter Stellantriebe

Zur dynamischen Deformation der Flexringhülse sind unterschiedliche Stellantriebe geeignet. Prinzipiell können natürlich die bei den bekannten konventionellen Wanddickensteuerungslösungen meist verwendeten Hydraulikkolben oder auch vereinzelt eingesetzte Servoantriebe verwendet werden. Die zur Deformation von Flexringhülsen mit einem kleinen Durchmesser notwendigen Kräfte lassen sich allerdings auch von Schrittmotoren aufbringen. Schrittmotoren besitzen einerseits Kostenvorteile gegenüber den bisher üblichen Stellantrieben, da sie keine Regelung erfordern. Es gibt aber auch technische Argumente, die für den Einsatz von Schrittmotoren sprechen. Schrittmotoren gibt es schon seit längerer Zeit in Linearausführung (Bild 5). Bei derartigen Linearantrieben führt die Achse eine translatorische Bewegung aus. Somit benötigt man keine zusätzliche Übersetzung der ursprünglich rotatorischen Bewegung des Stellantriebs. Die Achse eines Linearantriebs kann somit direkt auf die Außenoberfläche der Flexringhülse drücken.

Das gewünschte Fahrprofil kann auch von einem gesteuerten Linearantrieb in Schrittmotorbauweise mit extrem hoher Genauigkeit abgefahren werden. Setzt man voraus, dass der Schrittmotor ausreichend stark dimensioniert ist, so führt er rein theoretisch grundsätzlich alle Schritte aus, die ihm von der Steuerung vorgegeben werden. Seine Geschwindigkeit ist im Gegensatz zu einem Servomotor lastunabhängig. Rein theoretisch

erreicht er also zu konkreten Zeitpunkten immer ganz genau den von der Steuerung vorgegebenen Sollwert. Im Gegensatz zu einer geregelten Fahrweise befindet er sich damit entweder exakt auf der Sollwertkurve oder aber grundsätzlich entweder etwas unterhalb

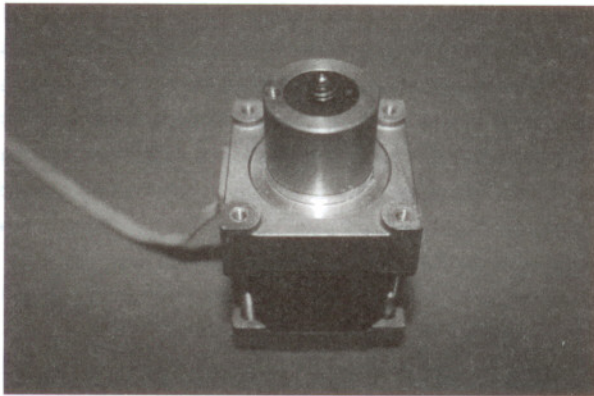


Bild 5 Klein bauender Schrittmotor in Linearausführung, der mit einer Axialkraft von 70 N und einer Reproduzierbarkeit der Position von kleiner 0,01 mm zum Verstellen einer Flexringhülse geeignet ist

(solange er vorfährt) oder aber etwas oberhalb (solange er zurückfährt) der vorgegebenen Sollwertkurve. Da für das Abfahren der Sollwertkurve keine äußeren Störgrößen existieren, macht es keinen Sinn den Stellantrieb bei dieser Aufgabenstellung zu regeln. Entsprechende Wegaufnehmer oder Encoder zum Vergleich des Istwerts mit dem Sollwert sind somit nicht erforderlich. Sollte die Kraft des Schrittmotors nicht ausreichen, bleibt noch die Möglichkeit eine Hebelübersetzung zu verwenden. Derartige Linearantriebe erreichen somit, ohne dass eine Regelung erforderlich ist, eine bessere Wiederholgenauigkeit der einzelnen programmierten Positionen, als sie mit geregelten Servoantrieben oder mit hydraulischen Systemen erreicht werden können. Bei entsprechend ausgewählten Schrittmotoren sind Wiederholgenauigkeiten von kleiner 10 μm erreichbar.

Ansteuerung von Schrittmotoren

In der Vergangenheit bereitete der Einsatz von Schrittmotoren für die radiale Wanddickensteuerung noch Probleme, weil die existierenden Programme zur Ansteuerung von Servomotoren oder von Hydraulikzylindern für Schrittmotoren nicht eingesetzt werden konnten, und es deshalb keine für das Extrusionsblasformen spezifisch geschriebene Software zur Programmierung der Schrittmotoren gab. Aus diesem Grund wurde eine geeignete Software geschrieben, die auf jedem PC, Laptop oder auch auf jeder zentralen Maschinensteuerung, auf dem bzw. auf der ein Windows Betriebssystem implementiert ist, aufgespielt werden kann. Sie wurde gezielt für die radiale Wanddickenprofilierung des Vorformlings mit Hilfe von Schrittmotoren geschrieben und kommuniziert direkt mit der notwendigen Schrittmotorsteuerung.

Prinzipiell ist diese Software ähnlich aufgebaut, wie vorhandene Programme, die zur axialen Wanddickenprofilierung des Vorformlings mit Hilfe von Hydraulikzylindern oder Servomotoren eingesetzt werden. Die Zykluszeit wird aufgeteilt in Zeitinkremente, für die dann mit Hilfe eines Schiebereglers oder aber auch alphanumerisch die Position des Schrittmotors vorgegeben werden kann. Bild 6 zeigt die Bedienoberfläche auf der das

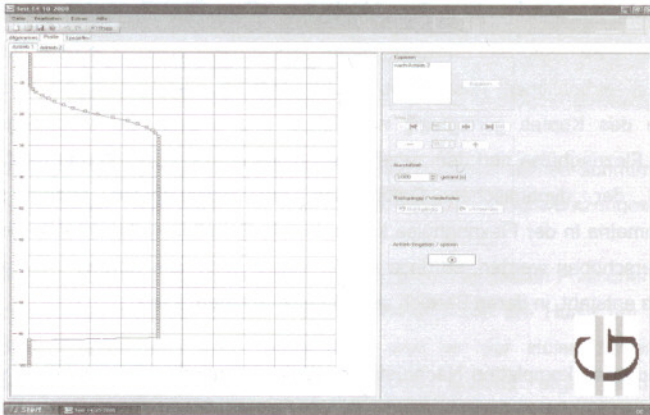


Bild 6 Bedienoberfläche des Programms zur Ansteuerung der einzelnen Schrittmotoren mit einem typischen Fahrprofil für eine ovale Flasche Programmseite,

gewünschte Fahrprofil für den Schrittmotor eingegeben wird. Mit dem Programm können momentan bis zu sechs Schrittmotoren individuell programmiert werden. Bei einer geringfügigen Änderung der Zykluszeit, die auf Grund eines Farbwechsels oder gar eines Materialwechsels vom Anlagenbediener vorgenommen wird, ändert sich die Länge der einzelnen Zeitinkremente automatisch proportional zu der vorgenommenen Änderung der Zykluszeit. Zusätzlich lässt sich mittels des Programms auch noch der Strom einstellen, womit die vom Schrittmotor aufgebrauchte Kraft variiert werden kann. Wird das Programm extern von der zentralen Maschinensteuerung auf einem Laptop oder PC betrieben, so wird lediglich ein Startsignal von der Maschine benötigt, über das die Fahrbewegungen der Schrittmotoren mit dem Maschinenzyklus synchronisiert werden.

Nachrüstung einer Kavität eines Mehrfachkopfes

Um die Kosten zur Erprobung der Technologie gering zu halten, wurde für orientierende Versuche erst einmal nur eine Kavität eines vorhandenen Zwölfachkopfes nachgerüstet. Entgegen den Bedenken vieler Fachleute stellte es überhaupt kein Problem dar, in die vorhandene Kopfkonstruktion eine Flexringhülse mit den zugehörigen Stellantrieben zu integrieren. Der limitierte zur Verfügung stehende Bauraum war mehr als ausreichend. Lediglich die Fließkanalgeometrie des Originalkopfes im Bereich nach der Trennebene war ungeeignet, um eine dynamische radiale Wanddickensteuerung mit Hilfe einer integrierten Flexringhülse zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurde die Fließkanalgestaltung hinter der Zentrierebene des Kopfes geringfügig modifiziert. Bild 3 zeigt die einstückige partiell mehrwandige Flexringhülse und den zugehörigen massiven Dorn, die in den Kopf integriert wurden. Bei der dynamischen Deformation der Flexringhülse ändert sich die Fließkanalgeometrie in der Flexringhülse kontinuierlich. Es müssen dabei keine Teile relativ zueinander verschoben werden, so dass im Fließkanal auch kein Sprung und damit auch keine Totstelle entsteht, in deren Bereich sich Material ablagern kann.

Bild 7 zeigt nun den kompletten Nachrüstsatz mit der integrierten Flexringhülse, wie er an den vorhandenen Kopf angeflanscht wurde. Da die herzustellende coextrudierte Flasche mit einem Volumen von 400 ml, deren Design noch der Geheimhaltung unterliegt, eine flächensymmetrische ovale Grundgeometrie besaß, war es ausreichend senkrecht zu der Symmetrieffläche, die natürlich auch gleichzeitig die Trennebene der Blasform bildete, jeweils einen Antrieb zu positionieren. Bei der verwendeten Konstruktion wird die Kraft der linearen

Schrittmotoren jeweils über einen Hebel auf die Flexringhülse übertragen. Damit wird einerseits sichergestellt, dass die zur Deformation der Flexringhülse benötigten Kräfte auch sicher erreicht werden, andererseits besitzt diese Lösung den Vorteil, dass der Raum unterhalb des Austrittsbereichs frei bleibt. Damit bleibt auch der für den Abscheider erforderliche Platz frei.

Die ersten Tests des Systems wurden außerhalb der Anlage bei Raumtemperatur durchgeführt. Dabei bestätigte sich erst einmal, dass sich die Flexringhülse trotz des bereits sehr kleinen Durchmessers von nur 18 mm in beachtlichem Maß rein linear elastisch verformen lässt. Bei diesen Versuchen wurde die Flexringhülse im Bereich der beiden

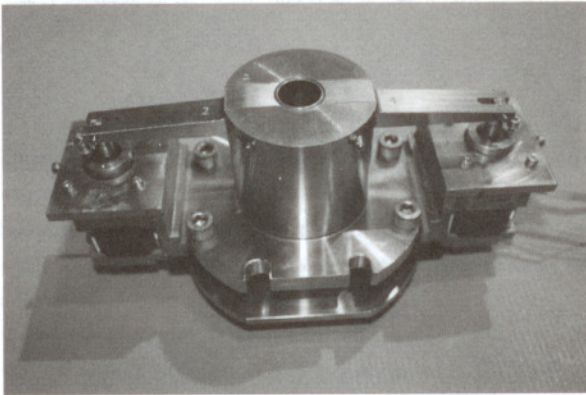


Bild 7 Mit einer Flexringhülse (Durchmesser 18 mm) und zwei kleinen Schrittmotoren ausgerüsteter Nachrüstsatz für eine Kavität eines Zwölfachwerkzeuges

Hebel jeweils um 0,3 mm nach innen gedrückt. Senkrecht zu diesen Positionen, das heißt im Bereich der Hauptachse der ovalen Flasche, bewegte sich die Hülse um 0,3 mm nach außen. Man erreicht also auch, ohne dass man an der Hülse ziehen kann, eine Vergrößerung des Fließkanalspalts im Kopf. In Summe ergibt sich somit eine Fließkanaländerung von 1,2 mm, was deutlich mehr ist, als es zur Optimierung der Wanddickenverteilung der ovalen Flasche benötigt wird. Bild 8 verdeutlicht mit Hilfe von zwei im Winkel von 90 Grad angeordneten Messuhren, dass die Hülse in den Bereichen, die im Winkel von 90 Grad zur Wirkrichtung der Stellhebel liegen, nach außen ausweicht. Durch eine zusätzlich mögliche Optimierung der aktiven Kante der Verstellhebel kann man nun

noch spezifisch die genaue Kontur, die die Flexringhülse in diesem Bereich einnimmt, verändern. Auf diese Weise kann beispielsweise die Fließkanalgeometrie der Düse auch für Flaschen mit einem Flaschenkörper, der parallele Seitenwände besitzt, genau optimiert werden.

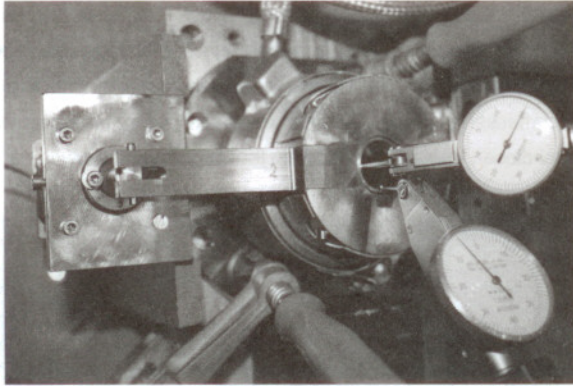


Bild 8 Bei einer Verringerung des Fließkanalspalts um 0,2 mm, vergrößert er sich senkrecht zu dieser Position um 0,05 mm (siehe Messuhren)

Fazit

Die durchgeführten Vorversuche haben erst einmal bestätigt, dass die Flexringtechnologie es ermöglicht auch Blasköpfe mit einem kleinen Austrittsdurchmesser mit einer dynamischen radialen Waddickensteuerung auszurüsten. Damit kann dann die lokale Waddicke des Vorformlings entsprechend den lokalen Verstreckgraden, die in dem Blasformteil auftretenden, angepasst werden. Dabei ist es unerheblich, ob der Austrittsbereich des Kopfes divergent oder wie bei den meisten Werkzeugen mit sehr kleinem Austrittsdurchmesser konvergent ausgeführt ist. In beiden Fällen lassen sich entsprechend ausgelegte Flexringhülsen in beachtlichem Maß rein linear elastisch deformieren. Selbst bei Mehrfachwerkzeugen ist in aller Regel ausreichend Platz vorhanden, um die erforderlichen Stellsysteme unterbringen zu können. Meist ist es besonders wirtschaftlich, wenn man bei einem Mehrfachwerkzeug mit einem zentralen Stellsystem arbeitet, mit dem die Düsen aller Einzelkavitäten simultan verstellt werden. Somit kann man beispielsweise den Vorformling

bei der Herstellung ovaler Flaschen unter Verwendung eines Mehrfachkopfes im Verschlussbereich mit einem ideal runden Kopfspalt und den Bereich für den ovalen Flaschenkörper mit einem ideal ovalisierten Kopfspalt austragen. Dafür werden unabhängig von der Anzahl der Einzelkavitäten des Kopfes jeweils nur zwei Stellantriebe benötigt.

Literatur:

- [1] Grünewald, J.: Entwicklung und Erprobung neuer Werkzeugkonzepte zur radialen Wanddickenbeeinflussung beim Extrusionsblasformen., RWTH Aachen Diss. 2004, ISBN 3-86130-498-8
- [2] Michaeli, W.; Brümmer, T.; Wenigmann, S.; Fink, B.: Werkzeugtechnik – Schlüssel zur Prozesseffizienz und Produktqualität – Extrusionswerkzeuge. Umdruck des 23. Kunststofftechnischen Kolloquiums des IKV, Aachen, 15.-16. März 2006, ISBN 3-920998-02-2
- [3] Groß, H.: Neue Horizonte des technisch Machbaren. Zeitschrift Werkstatt + Betrieb, Carl Hanser Verlag, München, Ausgabe 10/2007, Seite 56-60
- [4] Groß, H.: Einstellbare Werkzeuggeometrien – die Zukunft im Extrusionswerkzeugbau? Zeitschrift Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, 96. Jahrg., Heft 10/2006, Seite 153 – 157
- [5] Groß, H.: Fertigungstechnologie für metallische Bauteile. Zeitschrift VDI-Z Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, Ausgabe III/2007 November, Seite 32-33
- [6] Groß, H., Kubisch, P., Raum M. R.: Materialeinsparung bei komplexen Formen. Zeitschrift Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, 98. Jahrg., Heft 7/2008, Seite 68-70
- [7] Labudda, H. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht Nr. S 08 1330 vom 30.10.2008 der Staatlichen Materialprüfanstalt Darmstadt