Qualitätsverbesserungen und Kosteneinsparungen durch neue Rundkopfkonstruktionen

Von Seiten der Nutzer von Köpfen zur Extrusion von Rohren und Schläuchen gibt es vielfältige Vorstellungen, was ein Extrusionskopf idealerweise können sollte. Darunter sind natürlich auch Träume, die sich schon alleine deshalb nicht realisieren lassen, weil die Naturgesetze ihnen im Weg stehen. Ebenso gibt es Forderungen, die sich gegenseitig ausschließen. So muss beispielsweise bei der Dimensionierung eines Kopfes entschieden werden, ob eine möglichst geringe Verweilzeit der Schmelze im Kopf angestrebt werden soll, oder ob stattdessen der Fließwiderstand minimiert werden sollte, womit zwangsläufig längere Verweilzeiten in Kauf genommen werden müssen. Es gibt darüber hinaus aber noch viele Wünsche, die voraussichtlich technisch realisierbar sind, die aber mit den zur Zeit auf dem Markt verfügbaren Düsenkonstruktionen nur unbefriedigend oder sogar noch überhaupt nicht realisiert worden sind. Aus diesem Fakt sollte allerdings nicht abgeleitet werden, dass es inzwischen nicht doch neue technische Möglichkeiten geben könnte, mit denen es realisierbar ist.

So liefert die Tatsache, dass technische Lösungen bereits seit Jahrzehnten eingesetzt werden, und dass sie quasi weltweit von allen namhaften Firmen verwendet werden – „weil es eben die optimale Lösung ist!" –, keine Garantie dafür, dass vielleicht nicht doch eine bessere Lösung möglich wäre. Im Gegenteil diese Denk- und Verhaltensweise wird schnell zum Problem, da sie jeglichen technischen Fortschritt verhindert. Die Aussage „Wir sind Marktführer und machen das bereits seit über 30 Jahren so" erstickt jede Innovationsmöglichkeit im Keim. Dies gilt natürlich auch für Extrusionsköpfe, die inzwischen bereits eine Entwicklungszeit von über einem halben Jahrhundert hinter sich gebracht haben, und bei denen immer noch technische Lösungen verwendet werden, die zweifelsfrei verbesserungswürdig sind, und auch verbessert werden können, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen.

Beispiel: Düsenzentrierung des Extrusionskopfes

Diese technischen Anforderungen muss eine gute Lösung erfüllen:

- Die Düse des Kopfes muss extrem präzise (je nach Anwendung idealerweise im Mikrometerbereich) verstellt werden können.
- Die relative Position zwischen der Düse und dem Dorn sollte messbar sein.
- Das System sollte es ermöglichen, dass einmal erreichte Einstellungen jederzeit reproduziert werden können.
- Die Lösung sollte keine Totstellen im Fließkanal erzeugen.
- Die Düse sollte idealerweise nur zentrisch montierbar sein.
- Die Lösung sollte eine Automatisierung zulassen.

Aktueller Stand der Technik

Düsen werden zum Zentrieren in der Regel mit Stellschrauben radial in Relation zum Kopf beziehungsweise zum Dorn, der starr mit dem Kopf verbunden ist, verschoben.

- Diese immer noch weltweit zum Stand der Technik gehörende Lösung erlaubt nur in Ausnahmefällen eine präzise Zentrierung.
- Die relative Position zwischen der Düse und dem Dorn könnte prinzipiell gemessen werden. Das ist aber mit so großem Aufwand verbunden, dass es sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht verbietet.
- Einmal erreichte Positionen können nicht reproduziert werden. Eine Ausnahme bilden die aufwendigen und mit Verschleißproblemen behafteten Schiebedüsen, die in Sonderfällen beim Blasformen eingesetzt werden.
- Die Lösung erzeugt Totstellen im Fließkanal, da beim Verschieben des Dorns zwangsläufig Sprünge in der Fließkanaloberfläche entstehen.
- Die Düse kann nicht direkt zentrisch montiert werden.
- Eine Automatisierung ist nur mit hohem Aufwand realisierbar.

Alternative Lösung

Alternativ können Düsen zum Zentrieren nicht verschoben sondern gekippt werden. Diese seit längerem zum Stand der Technik gehörenden Kugelkalottenlösungen [1,2] sind technisch sehr aufwendig. Sie sind deshalb auch teuer in der Herstellung, störanfällig im Betrieb und kompliziert bei der Wartung. Deshalb haben sie sich wohl auch nicht richtig durchgesetzt.

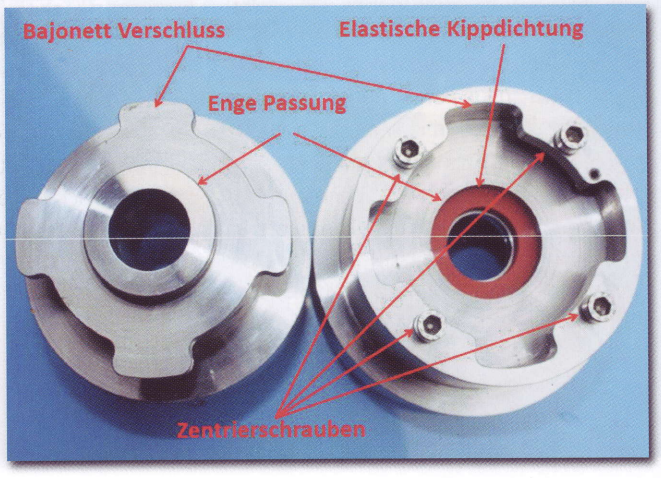


Bild 1: Schlauchdüse mit einer elastischen Kippdichtung und einem Bajonettverschluss, die auf Grund der vorhandenen Passung nur noch zentrisch montiert werden können

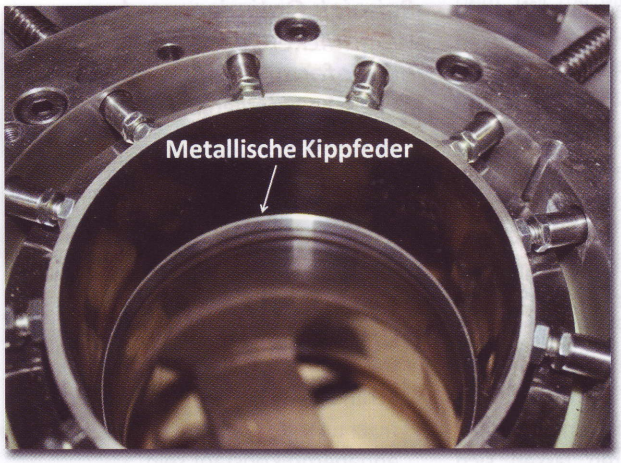


Bild 2: Flexringdüse mit metallischer Kippdichtung, die die Flexringhülse gegenüber dem Kopf abdichtet, die aber gleichzeitig ein Kippen der Flexringhülse relativ zum Kopf zulässt

Neuer Lösungsansatz

Bei Verwendung einer elastischen **(Bild 1)** oder einer metallischen **(Bild 2)** Kippdichtung werden diese Nachteile überwunden. Mit Hilfe einer einfachen und sehr kostengünstigen Elastomerdichtung lässt sich die Trennebene zwischen dem Kopf und der Düse in einfacher Weise sicher abdichten [3,4]. Für die Schmelze macht es keinen Unterschied, ob sie an einer metallischen oder einer elastomeren Fließkanalwand haftet oder langsam entlang gleitet. Das benachbarte Polymermolekül merkt bereits nicht, ob die Fließkanalwand aus einem Metall oder aus einem Elastomer besteht! Kippdichtungen aus Elastomeren haben zudem den Vorteil, dass sie eine Bajonettverschlusslösung zwischen der Düse und dem Kopf zulassen, was einen sehr einfachen und schnellen Düsenwechsel ermöglicht. Solche Elastomerdichtungen können zur Zeit allerdings nur bis zu einer maximalen Dauertemperatur von 300 °C eingesetzt werden. Auch verbietet sich ihr Einsatz, wenn abrasive Schmelzekompounds verarbeitet werden müssen. Diesen Einsatzbeschränkungen unterliegen metallische Kippgelenke [4] nicht. Sie lassen allerdings keinen komfortablen Bajonettverschluss zwischen dem Kopf und der Düse zu.

Trifunktionelles Bauteil erweitert die verfahrenstechnischen Möglichkeiten

Noch interessanter ist die Verwendung eines neuartigen trifunktionellen Bauteils [5] in einem Extrusionskopf. Bei der elastomeren Lösung ist allerdings die maximal realisierbare Verschiebung mit wenigen Millimetern sehr gering. Die metallische Konstruktion erlaubt es, dass die Düse über 20 mm axial verschoben werden kann. Das ist besonders für das Blasformen interessant, wo die Position zwischen der Düse und dem Dorn relativ zueinander verschoben wird, um die Wanddicke des Vorformlings zu verändern. Es wird nicht nur die Düse gegenüber dem Kopf abgedichtet und ein Kippen der Düse ermöglicht, sondern es wird auch noch zugelassen, dass die Düse axial zum Kern verschoben werden kann. Mit derartigen Köpfen lässt sich der Austrittsspalt am Kopfende bei laufender Anlage stufenlos in einem vorgegebenen Bereich verstellen. Damit können beispielsweise Köpfe zur Herstellung von Bewässerungsschläuchen **(Bild 3)** hergestellt werden, mit denen man bei konstantem Abstand zwischen der Düse und der Kalibrierung unterschiedliche Wanddicken des Schlauchs herstellen kann, ohne den Extrusionsprozess unterbrechen zu müssen. Je nach Anwendung kann gewählt werden, ob manuell oder motorisch gekippt und verschoben werden soll. Bei der einfachen Schlauchherstellung reicht in aller Regel eine manuelle Verstellung aus. Beim Extrusionsblasformen ist eine motorische Verstellung unabdingbar, um die Wanddicke des Vorformlings während des Ausstoßens verstellen zu können.

Vorteile der neuartigen Kipplösungen

- Sie sind sehr kostengünstig zu fertigen, da jeweils nur ein einziges Bauteil, nämlich ein elastisches oder ein metallisches Kippgelenk benötigt wird.
- Die Düse kann extrem feinfühlig, wenn erforderlich im Mikrometerbereich, gekippt werden.
- Eine vorhandene Position kann einfach gemessen werden.
- Eine einmal erreichte Position kann jederzeit reproduziert werden.
- Beim Kippen der Düse entstehen keine Totstellen im Fließkanal.
- Durch eine Passung zwischen der Düse und dem Kopf ist sichergestellt, dass die Düse nur zentrisch montiert werden kann.
- Die Kippgelenke lassen sich sowohl manuell als auch motorisch betätigen. Kippdüsen können somit automatisiert betrieben werden und erfüllen bei spielsweise alle Anforderungen, die an eine Schiebedüse für das Blasformen gestellt werden.

Beispiel: Schmelzeverteilung im Rundkopf

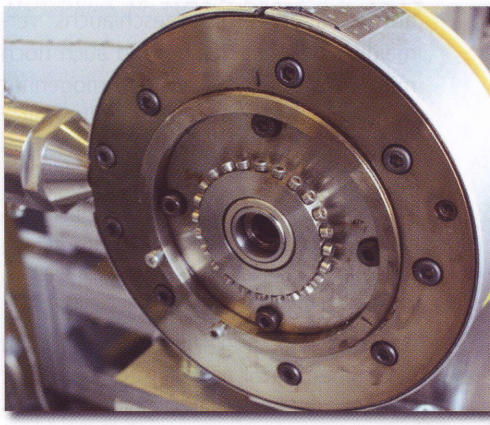
Technische Anforderung, die eine gute Schmelzeverteilung erfüllen sollte:

- Der Schmelzeverteiler sollte idealerweise betriebspunktunabhängig sein
- Die Verweilzeit sollte möglichst kurz und das Verweilzeitspektum eng sein.
- Die Homogenität der Schmelze sollte im Verteilersystem verbessert und nicht verschlechtert werden.
- Die Unterschiede in der Schmelzedeformation, die im Verteilersystem je nach Strompfad, den das einzelne Molekül durchläuft, auftreten, sollten gering sein und sich am Düsenaustritt nicht negativ auswirken.

Aktueller Stand der Technik

Die Notwendigkeit im Rundkopf den vom Extruder zugeführten Schmelzevollstrang in eine Schlitzströmung überführen zu müssen, führt zu unerwünschten verfahrenstechnischen Konsequenzen, die unvermeidlich sind. Dies gilt prinzipiell für alle gebräuchlichen Verteilerkanalsysteme, also für den Stegdornhalter,

Bild 3: Quer angeschlossener Schlauchkopf mit Flexringhülse und stufenlos verstellbarem Austrittsspalt



für den Pinolenverteiler, für die Herzkurve und auch für den Wendelverteiler. Die prinzipielle Entscheidung für ein Verteilerkanalsystem hängt vorrangig vom jeweiligen Einsatzfall und von den Prioritäten, die der Anwender setzt beziehungsweise die die jeweilige Anwendung erfordert, ab. Aber alle Verteilerkanalsysteme:

- verlängern die Verweilzeit im Kopf,
- vergrößern das Verweilzeitspektrum,
- verschlechtern die Homogenität der Schmelze,
- führen auch zu Unterschieden in den Deformationen, je nachdem welchen Strompfad das einzelne Polymermolekül durchströmt.

Mischköpfe überwinden die Nachteile des Stegdornhaltersystems

Bisher wird in allen Rundköpfen die Homogenität der Schmelze, die in aller Regel bereits nicht ideal homogen in einen Kopf einströmt, in den etablierten Verteilerkanalsystemen weiter verschlechtert. Einzelne Schmelzebereiche benötigen im Verteilerkanalsystem mehr oder weniger Zeit und werden zusätzlich unterschiedlichen Scherbelastungen ausgesetzt. Bei einer neuartigen zum Patent angemeldeten Mischkopflösung werden die Vorteile des betriebspunktunabhängigen Stegdornhaltersystems, das zudem auch noch von allen bekannten Verteilerkanalsystemen die geringste Verweilzeit und das engste Verweilzeitspektrum besitzt, genutzt und die bisher vorhandenen Nachteile in einen Vorteil verwandelt. Dies wird erreicht, indem die Dornhalterstege als Mischstege ausgebildet werden. Damit lassen sich sowohl die beim Stegdornhaltersystem störende mechanische Schwächung durch die Bindenähte als auch Wanddickenunterschiede über dem Umfang des aus dem Kopf ausgetragenen Schmelzeschlauchs vermeiden. Darüber hinaus wird auch noch mittels der Mischstege die Homogenität der Schmelze im Rundkopf nicht weiter verschlechtert sondern im Gegenteil, sie wird verbessert.

Wird der Dorn mit Hilfe von sehr engmaschigen Mischstegen am Kopfgehäuse befestigt, dann erfahren alle Schmelzemoleküle unabhängig welchen Strompfad sie durchlaufen, nahezu die gleichen elastischen Deformationen und es bildet sich ein sehr engmaschiges Bindenahtsystem aus, das keine negativen Auswirkungen auf die mechanische Festigkeit des extrudierten Schlauchs mehr besitzt. Das inzwischen auch im Metallbereich etablierte Laserschmelzverfahren [6,7] macht es möglich, im Vergleich zu aktuellen Mischern viel komplexere und auch extrem filigrane Mischergeometrien zu realisieren, mit denen auch die Erhöhung des Fließwiderstands in Grenzen gehalten werden kann.

Mit generativ hergestellten Mischerstegen werden besonders vorteilhafte Lösungen möglich. Über diese noch relativ neuen Fertigungsverfahren lassen sich effektiv mischende Steggeometrien fertigen, wie sie mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht herstellbar sind. Völlig neuartige Mischerstrukturen sind realisierbar. Sie können sehr filigran sein aber dennoch eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen. Damit kann die Schmelze sowohl in Umfangsrichtung als auch in radialer Richtung umgelenkt werden **(Bild 4)**.

Momentan sind zwar die Kosten von im Laserschmelzverfahren hergestellten Kopfkomponenten noch relativ hoch, so dass man zur Zeit noch darauf achten muss, dass die Teile nicht zu groß werden. Andererseits lassen sich mit generativen Methoden Köpfe viel kompakter bauen, so dass selbst momentan bereits Köpfe, die im Laserschmelzverfahren hergestellt werden, auch von der Kostenseite interessant sind. **Bild 5** zeigt in einer Schnittdarstellung einen kompletten Rundkopf, der gegenüber konventionell hergestellten Köpfen interessante verfahrenstechnische Vorteile verspricht, der aber bereits heute im Laserschmelzverfahren sehr kostengünstig herzustellen ist.

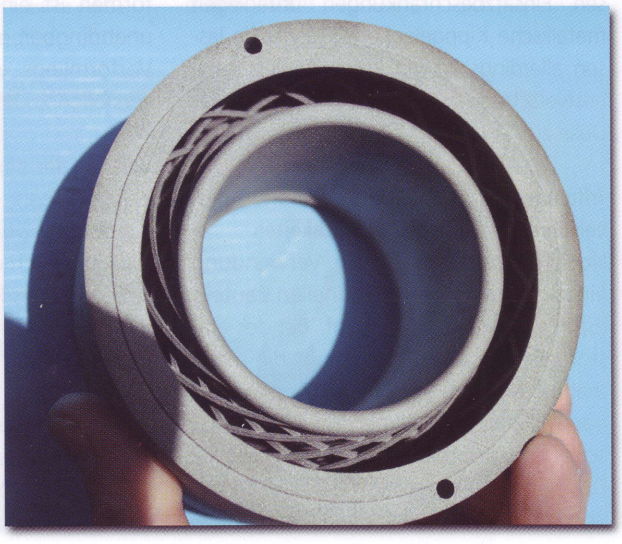


Bild 4: Einteilig im Laserschmelzverfahren hergestellter Mischer mit speziellen Mischstegen, die die Schmelze sowohl in Umfangsrichtung als auch in radialer Richtung verteilen

Beispiel: Optimierung der Wanddickenverteilung von blasgeformten Hohlkörpern

Technische Anforderungen, die Blasköpfe erfüllen sollten:

- Die Wanddicke des Vorformlings muss sowohl in Abzugs- als auch in Umfangsrichtung beeinflussbar sein.
- Es sollte speziell in Umfangsrichtung ein möglichst großer Dickengradient erreichbar sein.
- Die Austrittsgeschwindigkeit der Schmelze muss über dem Umfang trotz unterschiedlicher Wanddicken annähernd konstant sein.
- Beim Verfahren des Dorns sollte sich die Austrittsgeschwindigkeit der Schmelze nicht ändern.

Aktueller Stand der Technik

Köpfe für das Blasformen besitzen im Allgemeinen am Ende der Düse einen konischen Fließkanal, mit dem keine der genannten Anforderungen befriedigend erfüllt werden kann.

Alternative Lösung

Wenn man die Düse am Ende nicht konisch sondern zylindrisch ausführt, dann ergeben sich für das Blasformen neue verfahrenstechnische Möglichkeiten [8]. Man kann beispielsweise mit zylindrischen Düsen auch bei der Herstellung von Stapelkanistern Wanddickenverteilungen erreichen, wie sie bisher bei konischen Düsen nur mit technisch sehr aufwendigen und auch teuren PWDS- oder Flexringsystemen realisierbar waren. Besonders vorteilhaft ist die neue Düsengestaltung bei technischen Teilen, die eine komplizierte nicht symmetrische Geome-

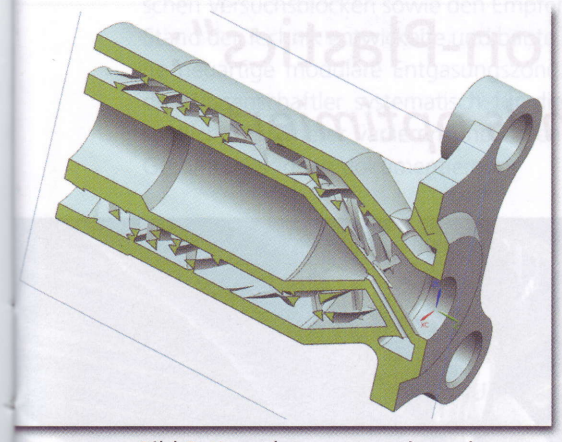


Bild 5: Kompletter neuartiger einteiliger, betriebspunktunabhängiger Mischkopf, bei dem der Dorn an speziellen spiralförmig verlaufenden Mischstegen aufgehangen ist

trie besitzen. Unter Verwendung einer einfachen massiven, zylindrischen GWDS-Düse und einem massiven allerdings dreidimensional profilierten Dorn kann die Wanddickenverteilung entscheidend verbessert werden. Es können nämlich aus einer GWDS-Düse Vorformlinge mit deutlichen Wanddickenunterschieden über dem Umfang ausgetragen werden, ohne dass dadurch störende unterschiedliche Austrittsgeschwindigkeiten über dem Umfang der Düse in Kauf genommen werden müssen.

Bild 6 zeigt auf der linken Seite einen Vorformling mit einem Wanddickenunterschied von 3,5 mm und auf der rechten Seite den wellenfreien glatten Vorformling, wie er aus der Düse ausgetragen wird. **Bild 7** zeigt einen Vergleich zwischen einem mit einer konventionellen Düse hergestellten Behälter und dem, der mit einer GWDS- Düse hergestellt worden ist. Mit einer erheblich verbesserten Dickenverteilung konnte das Behältergewicht um über 20 Prozent reduziert werden.

Ausblick

Interessante Perspektiven werden eröffnet, wenn man alle beschriebenen Technologien in einem Kopf vereint. Speziell für das Extrusionsblasformen ergeben sich neue bisher nicht realisierbare verfahrenstechnische Möglichkeiten. Mischköpfe mit trifunktionellen Bauteilen und mit einer GWDS-Düse lassen bisher nicht erreichte Teilequalitäten im Extrusionsblasformen erwarten. Aber auch bei allen anderen Verfahren, bei denen Rundköpfe zum Einsatz kommen, erscheinen interessante verfahrenstechnische Verbesserungen realisierbar, wenn man künftig dazu übergeht, Köpfe über generative Fertigungsverfahren herzustellen. So lassen sich beispielsweise mit Hilfe des selektiven Laserschmelzverfahrens vorteilhafte Fließkanalverläufe realisieren, die sich insbesondere bei Farb- oder Materialwechsel durch kürzere Spülzeiten vorteilhaft auswirken.

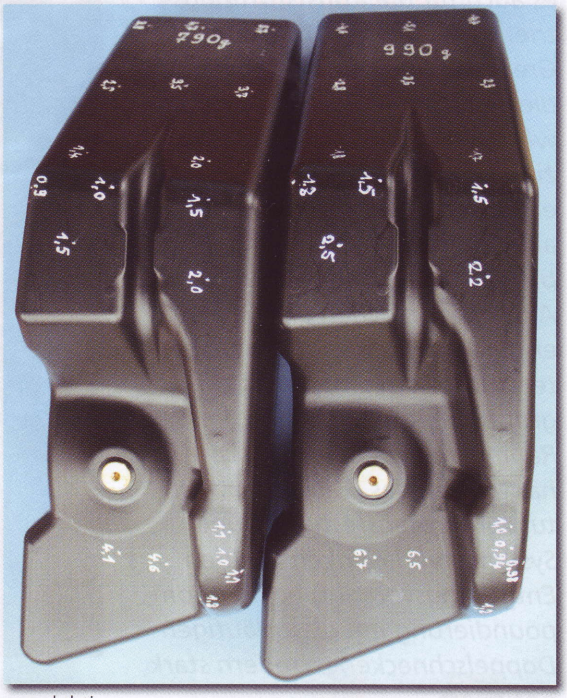
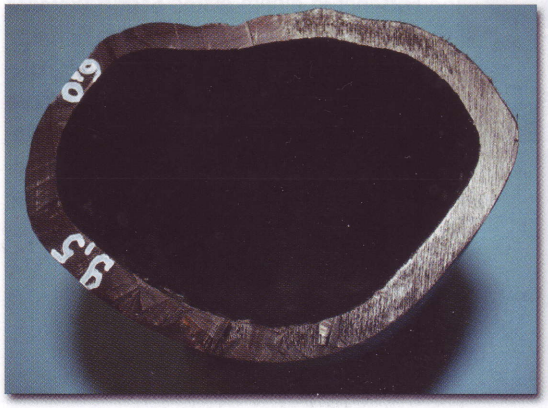
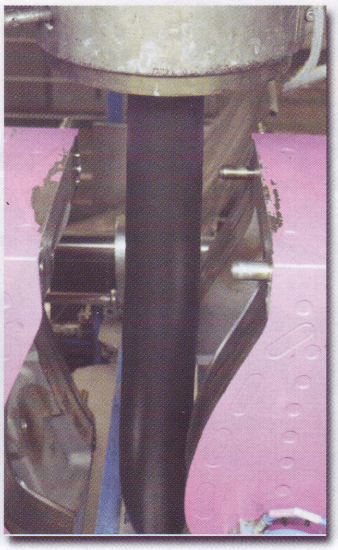


Bild 7 :Vergleich der Wanddickenverteilung zwischen dem konventionell hergestellten Behälter (Gewicht 990 g) und dem mit der nachgerüsteten GWDS-Düse gefertigten Behälter (Gewicht 790 g)

Bild 6: Abgekühlter, unverstreckter Vorformling mit einer maximalen Wanddicke von 9,5 mm und einer minimalen von 6 mm (linkes Bild) sowie aus der Düse ausgetragener Vorformling kurz vor dem Schließen des Werkzeugs (rechtes Bild)





Literatur

1: Koetke, C.-D., Schindler, M., Extrusionsblaskopf. Offenlegungsschrift DE 10 2004 028 100, Tag der Anmeldung 09.06.2004

2: Lang, K., Extrusionskopf mit Düsenspalteinstellung. Offenlegungsschrift DE 10 2004 057 974, Tag der Anmeldung 30.11.2004

3: Groß, H., Kipptechnologie verbessert nicht nur das Zentrieren. Zeitschrift Kunststoffe, Carl Hanser Verlag München Wien, Ausgabe 3/2012, Seite 42-44

4: Gross, H., Tilting Technologies and GWDS: Novel Solutions for Annular Dies. Magazine Plastics Engineering, Society of Plastics Engineers, April 2014, page 38-42

5: Groß, H., Schlauchkopf mit trifunktionellem Bauteil. Deutsches Patent DE 10 2012 022 409, Tag der Anmeldung 15.11.2012

6: N.N.: Teilerfolge beim 3-D-Druck in der Serienproduktion. VDI Verlag Düsseldorf, VDI Nachrichten, Nr. 31/32, Juli 2015, Seite 12-13

7: Dlugosch, G.: Schneidwerkzeuge profitieren von additiver Fertigung. VDI Verlag Düsseldorf, VDI Nachrichten, Nr. 31/32, Juli 2015, Seite 14

8: Groß, H., Traditionen auf den Kopf gestellt. Zeitschrift Kunststoffe, Carl Hanser Verlag München Wien, Ausgabe 10//2013, Seite 228-232

Dr.-Ing. Heinz Gross
Ringstraße 137, 64380 Roßdorf, Germany
www.gross-k.de