

THE LINDE GROUP

MAXIMATOR[®]
Maximum Pressure.

Linde

Sonderdruck

Brach liegendes Potenzial in der Gasinjektionstechnik.

Gasinnendrucktechnik mit CO₂ –
einen Schritt voraus.

CO₂-GIT. Zur Herstellung von komplexen hohlen Bauteilen, die mit konventionellen Kernen nicht umsetzbar sind, ist die Fluidinjektionstechnik ein etabliertes Verfahren. Die Auswahl des Fluids hat entscheidenden Einfluss auf Bauteilqualität, Zykluszeit und die Güte der Innenoberfläche. Was bisher wenig bekannt ist: Kohlendioxid als Einspritzmedium

bietet enormes Potenzial, um ohne Zusatzaufwand Bauteilkosten und Energieeinsatz zu verringern sowie die Bauteilqualität zu verbessern.



Verschiedene Griffe, hergestellt in Gasinjektionstechnik

(Foto: TiK)

Brach liegendes Potenzial in der Gasinjektionstechnik

MARCEL OP DE LAAK U. A.

Unter dem Oberbegriff Fluidinjektionstechnik (FIT) werden Spritzgießverfahren zusammengefasst, bei denen ein Injektionsmedium noch flüssigen Kunststoff aus dem Kern eines Spritzgussteils verdrängt. Schon Hobson [1] hat in seiner Patentschrift 1939 beschrieben, auf welche Weise dies geschehen kann. Aus diesem Grundgedanken haben sich in den 1980er-Jahren mehrere Verfahren etabliert, die sich nach der Art der Schmelzeverdrängung einordnen lassen. Die wichtigsten dieser Prozesse sind:

- das Aufblas- bzw. Teilfüllverfahren,
- das Nebenkavitätenverfahren,

- das Masserückdruckverfahren und
 - die Projektilinjektionstechnik.
- Neben verschiedenen Arten der Schmelzeverdrängung wurde Ende der 1990er-Jahre auch mit unterschiedlichen Injektionsmedien experimentiert; aus diesen Versuchen haben sich die Wasser- (WIT) und die Gas-Wasser-Injektionstechnik (TiK-WIT-Verfahren) entwickelt [2, 3]. Wasser ist als Injektionsmedium vor allem wegen der großen Kühlwirkung und der geringen Kosten für das Medium selbst höchst attraktiv für die Herstellung großer Stückzahlen von Bauteilen. Allerdings weist Wasser für den Prozess negative Eigenschaften auf, da die Bauteile entleert bzw. getrocknet werden müssen und Leckagen gravierende Schäden und Kosten verursachen können.

In diesem Artikel soll nun ein weiteres bekanntes, für die Fluidinjektion bisher

allerdings noch ungebräuchliches Medium vorgestellt werden: Kohlendioxid (CO₂). Die für Gase eher untypischen physikalischen Eigenschaften von CO₂, auf die später noch eingegangen wird, machen dieses Gas für die Gasinjektionstechnik (GIT) so interessant.

Vorteile der CO₂-Gasinjektion

Ein Vergleich, welches Medium sich nun für welche Bauteile am besten eignet, offenbart, dass der Energieaufwand für die Fluidinjektion und die erreichbaren Kühl- bzw. Zykluszeiten bei Wasser und CO₂ ähnlich positiv herausstechen (Tabelle 1, S. 28). Hinzu kommt, dass der Prozess der GIT mit CO₂ in etwa so einfach abläuft wie bisher mit Stickstoff (N₂).

Betrachtet man die physikalischen Eigenschaften von CO₂, so sind die Vortei-

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111284

le offensichtlich [4]. Seine Dichte nimmt erst ab 150 bar deutlich zu und nähert sich bei weiter steigendem Druck der von Wasser an (Bild 1). Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass sich CO₂ bei Raumtemperatur allein durch Erhöhung des Drucks auf 60 bar verflüssigen lässt. Stickstoff dagegen kann bei Raumtemperatur nicht verflüssigt werden und ist nur bei tiefen Temperaturen (-196 °C bei Atmosphärendruck) flüssig.

Üblicherweise wird CO₂ im flüssigen Zustand in Flaschen, Bündeln oder Tanks angeliefert. In diesem Aggregatzustand hat CO₂ mit 3,0 kJ/(kg K) immerhin drei Viertel der Wärmekapazität c_p von Wasser mit 4,178 kJ/(kg K) – sie liegt damit fast dreimal so hoch wie diejenige von

Stickstoff mit 1,041 kJ/(kg K). Ein weiterer physikalischer Vorzug des CO₂ ist die hohe Expansionswärme, die das Gas der Umgebung bei abfallendem Druck entzieht. Die Gesamtheit dieser physikalischen Eigenschaften erklärt das enorme Kühlpotenzial von CO₂, das – im Vergleich zu Stickstoff – mit einer Halbierung der Kühlzeit einhergehen kann.

Ein praktischer Vorteil bei der GIT mit CO₂ ist die sehr gute Reinigungswirkung des Gases. Ringspaltinjektoren können nahezu nicht mehr verstopfen und durch einfaches Ausblasen mit CO₂ zwischen zwei Produktionszyklen vollständig gereinigt werden. Der Prozess läuft dadurch stabiler, weil die Gefahr gebannt ist, dass sich der Injektor langsam zusetzt.

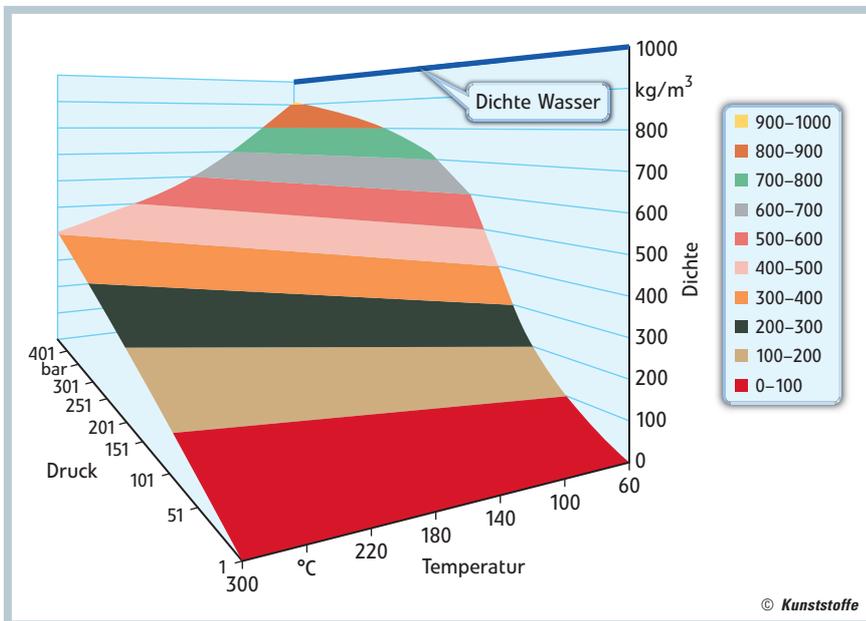


Bild 1. Die Dichte von CO₂ in Abhängigkeit von Druck und Temperatur. CO₂ lässt sich bei Raumtemperatur durch Erhöhung des Drucks auf 60 bar verflüssigen, bei steigendem Druck nähert sich seine Dichte der von Wasser an (Quelle: Maximator)

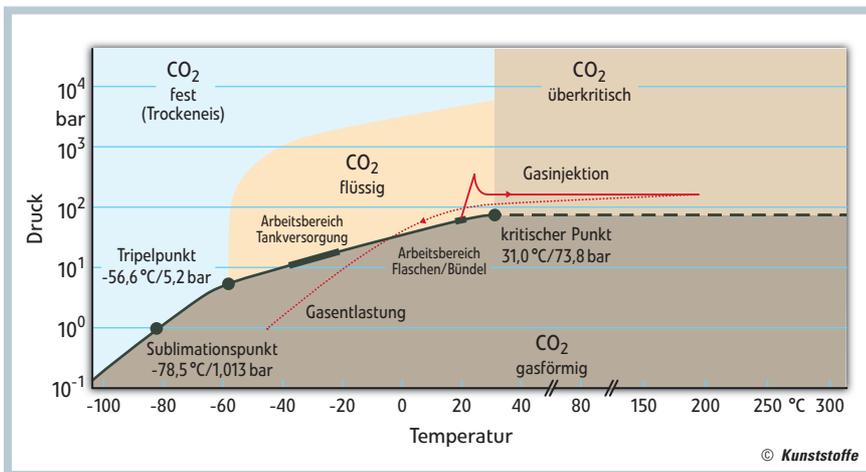


Bild 2. Aus dem Phasendiagramm des Kohlendioxid lässt sich der thermodynamische Prozessverlauf der CO₂-Gasinjektionstechnik bei Versorgung aus Flaschen oder Flaschenbündeln ablesen (Quelle: Linde/Maximator/TIK)



Bild 3. Die neu entwickelte CO₂-GIT-Anlage mit integriertem Flüssigverdichter ist geeignet für CO₂- und N₂-Anwendungen (Foto: Maximator)

Betrachtet man den für das Verdichten des Mediums aufzuwendenden Energiebedarf, muss man unterscheiden, ob es sich um eine Verdichtung im flüssigen oder im gasförmigen Zustand handelt. Wenn das CO₂ als Flüssigkeit vorliegt, ist die Förderleistung entsprechender Flüssigverdichter sehr hoch und der Energiebedarf während des Verdichtens um mehr als zwei Zehnerpotenzen niedriger als beim Verdichten von gasförmigem Stickstoff. Stickstoff kann zwar auch im flüssigen Zustand verdichtet werden, aber nur aus einem tiefkalten Flüssiggastank heraus, der sich auf Dauer langsam erwärmt und damit eine kontinuierliche und große Abnahmemenge voraussetzt.

Ein Prozessverlauf, der die Zykluszeit verkürzt

Bevor der Injektor das Gas in das Spritzgießwerkzeug und damit in das Kunststoffteil einpresst, wird es von dem im Flaschenbündel herrschenden Druck (60 bar) im flüssigen Zustand effektiv und damit energetisch sehr günstig auf ca. 300 bis 400 bar verdichtet. Während der Injektion expandiert das

CO₂ in die Schmelze, verdrängt dabei den noch flüssigen Kunststoff und bildet so den Hohlraum im Bauteil. Während der anschließenden Druckhaltezeit erwärmt die verbleibende Schmelze das CO₂, sodass es durch diese intensive Wärmeaufnahme in den überkritischen Zustand übergeht (Bild 2).

Am Ende der Druckhaltezeit wird das Gas aus dem Bauteil abgelassen. Mit fallendem Druck sinkt auch die Temperatur des CO₂ stark ab, wobei es dem Bauteil viel Wärme entzieht. Dieser enorme Abkühleffekt lässt sich zusätzlich nutzen, um Hotspots im Spritzgießwerkzeug partiell zu kühlen. Um den CO₂-GIT-Prozess erfolgreich anzuwenden, müssen Verarbeiter ein paar wichtige Verfahrensdetails beachten. Dabei geht es um

- die Auswahl des richtigen Injektors und
- das Vermeiden von Querschnittsprüngen in der Zuleitung zwischen GIT-Anlage und Injektor.

Die Auswahl des Injektors ist deshalb so wichtig, damit ein reibungsloser Ablauf der Gasinjektion und der Entlastung gewährleistet ist [5]. Dies gilt zwar auch bei Verwendung von Stickstoff, aber durch die deutlich höhere Dichte des CO₂ bei

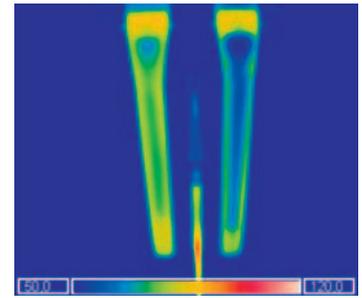


Bild 4. Die Zykluszeit bei der Fertigung dieses Kühlschranksgriffs konnte um über ein Drittel verkürzt werden. Das unmittelbar nach Prozessende aufgenommene Wärmebild zeigt die höhere Bauteiltemperatur des mit N₂ hergestellten Griffs (links) im Vergleich zur CO₂-GIT (rechts) (Bilder: Linde)

entsprechendem Druck dauert die Gasentlastung bei der Verwendung von zu kleinen Ringspaltinjektoren länger als bei N₂. Die Zuleitung von der GIT-Anlage zum Injektor darf keine Querschnittsprünge aufweisen, weil diese durch Expansion des CO₂ zur Trockeneisbildung und damit zum Verstopfen der Zuleitung führen können.

Wenn Anwender diese Hinweise beachten, können sie den CO₂-GIT-Prozess mit den meisten der bereits vorhandenen GIT-Spritzgießwerkzeuge umsetzen, die bisher mit N₂ betrieben wurden. Somit kann bei vielen aktuell laufenden GIT-Prozessen durch bloßen Austausch des

Gases und der Anlagentechnik (Bild 3) – eine gemeinschaftliche Entwicklung der Maximator GmbH, Nordhausen, und der Linde AG, München – die Zykluszeit durchschnittlich um mehr als 25 % reduziert werden, wie die folgenden Fallbeschreibungen verdeutlichen.

Umsetzung in die Praxis mit Gewinn

Mit der beschriebenen Vorgehensweise, also allein durch den Austausch der Anlagentechnik und des Injektionsgases, gelang es der Engel Formenbau und Spritzguss GmbH, Sinsheim, die Zykluszeit bei

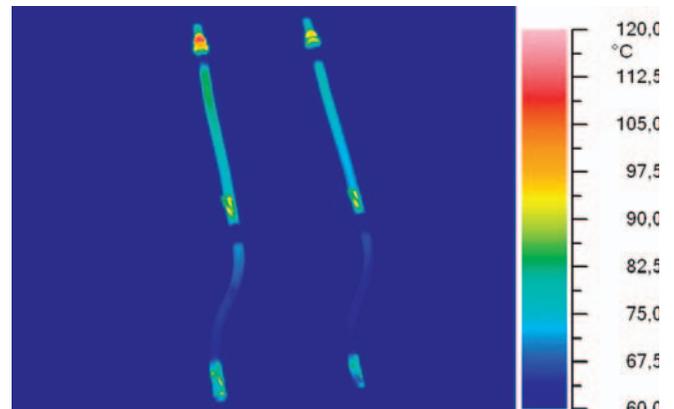


Bild 5. Die Temperatur des aus einem PA6.6-GF30 mit der CO₂-GIT hergestellten Führungsrohrs für Ölpeilstäbe liegt am Zyklusende deutlich unter der für solche Materialien üblichen Entformungstemperatur, wie das unmittelbar nach Prozessende im 2-fach-Werkzeug aufgenommene Wärmebild beweist

(Bilder: Linde)

Verfahren	Einfach zu händeln	Fluidkosten	Invest Anlage	Invest Werkzeug	Materialkosten	Prozessenergie Fluidinjektion	Injektorgroße	Zykluszeit
CO ₂ -GIT	++	○	75	100	100	1	+	50
CO ₂ -GIT mit Spülung	+	–	75	105	100	3	○	40
GIT	++	○	100	100	100	100	+	100
GIT mit Spülung	+	–	100	105	100	300	○	80
TiK-WIT	○	+	150	120	130	1	–	50
GIT cool	○	○	120	100	100	200	+	95

Tabelle 1. Vergleich einiger Fluidinjektionsverfahren mit unterschiedlichen Medien. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf das GIT-Verfahren mit Stickstoff (= 100 %) (Quelle: TiK)

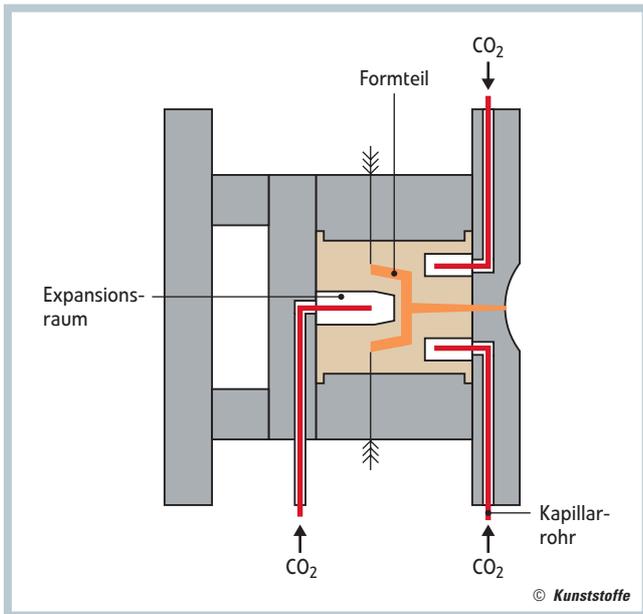


Bild 6. Schematischer Aufbau eines Spritzgießwerkzeugs mit Spot Cooling [6, 7]. Das CO₂ kühlt den Bereich um den Expansionsraum effektiv ab (Bild: Linde)

der Fertigung eines Kühlschranksgriffs während der laufenden Serie um 36 % zu verkürzen. Ein effektives Hilfsmittel ist dabei der Einsatz einer Wärmebildkamera, mit der jeweils unmittelbar nach der automatischen Entnahme des Griffs aus dem Werkzeug die Temperaturverteilung im Bauteil analysiert werden kann (Bild 4). Der direkte Vergleich zeigt, dass der mit Kohlendioxid hergestellte Griff sich wesentlich kälter entformen lässt als sein mit Stickstoff hergestelltes Pendant. Dies ermöglicht nicht nur eine Verkürzung der Zykluszeit, sondern verbessert zudem das Verzugsverhalten.

Ein ähnlicher Erfolg glückte mit einem Führungsrohr für Ölpeilstäbe, das die Gebr. Wielpütz GmbH & Co. KG, Hilden, produziert. Bei diesem Bauteil konnte der Zyklus um 22 % verkürzt werden. Das aus einem PA6.6-GF30 hergestellte Bauteil weist bei der Entnahme eine sehr homogene (niedrige) Temperatur von ca. 75 bis 80 °C auf, die deutlich unter der üblichen Entformungstemperatur von 120 bis 150 °C liegt (Bild 5). Bei diesem Bauteil ist nicht mehr der Gaskanal ausschlaggebend für die Zykluszeitverkürzung, sondern in erster Linie die spanende Nachbearbeitung, die

an diesem Bauteil im Anschluss an den Spritzprozess notwendig ist.

Eine zu starke Verkürzung der Zykluszeit hätte an den dickwandigeren Bereichen der Halter und Rippen Hotspots zur Folge. Diese heißen Stellen sind bedingt durch klein dimensionierte Schieber, die nicht mit Wasser gekühlt werden können. Bei Verwendung von CO₂ als Medium für die Gasinjektion ließe sich in dieser Anwendung durch „Spot Cooling“ ohne weitere Anlagentechnik, aber mit geringfügiger Werkzeugmodifikation die Zykluszeit weiter verkürzen und dabei sogar die Formteilqualität steigern.

Synergieeffekte zur Produktionskosten- und Qualitätsoptimierung

Hat man sich strategisch schließlich für CO₂ als Gasinjektionsmedium entschieden, so ergeben sich weitere technische Möglichkeiten, um die Produktionskosten zu senken und die Bauteilqualität zu verbessern:

- das „Spot Cooling“ von Spritzgießwerkzeugen,
- die dynamische Formnesttemperierung und
- die Reinigung von Spritzgießwerkzeugen oder Kunststoffoberflächen (zur Vorbehandlung beim Lackieren).

Beim Spot Cooling (Bild 6) wird flüssiges CO₂ durch ein maximal 1,6 mm breites flexibles Kapillarrohrchen an die zu kühlende Stelle des Formteils geleitet. Dort expandiert das CO₂ in einen im Werkzeug vorzusehenden Raum und kühlt dabei den Bereich um den Expansionsraum effektiv ab [6, 7]. Durch Kombination der CO₂-GIT mit dem Spot Cooling kann das CO₂ während der Gasentlastung im GIT-Prozess einen Hotspot in demselben Werkzeug versorgen und abkühlen.

Die extrem schnelle dynamische Formnesttemperierung von Spritzgießwerkzeugen oder Werkzeugeinsätzen stellt ein weiteres Anwendungsgebiet für CO₂ dar (Bild 7). Dieses Verfahren haben die Linde AG, die gwK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Kierspe, und die Iserlohner Kunststoff-Technologie GmbH entwickelt und jüngst auf der Fakuma 2012 vorgeführt. Dabei werden sowohl der Heiz- als auch der Kühlprozess in ein und demselben Werkzeugeinsatz mit CO₂ umgesetzt. Um die Kavität zu erwärmen, wird das CO₂ gasförmig mithilfe eines Verdichters und eines Turboheizers erhitzt und durch die konturnahen Temperierbohrungen des Werkzeugeinsatzes geleitet. Das Gas wird dabei im geschlossenen Kreislauf gefördert. Um den Werkzeugeinsatz wieder abzukühlen, wird flüssiges CO₂ in dieselben Temperierkanäle eingespeist und entspannt. Der Kühleffekt entspricht dem des bereits erwähnten Spot

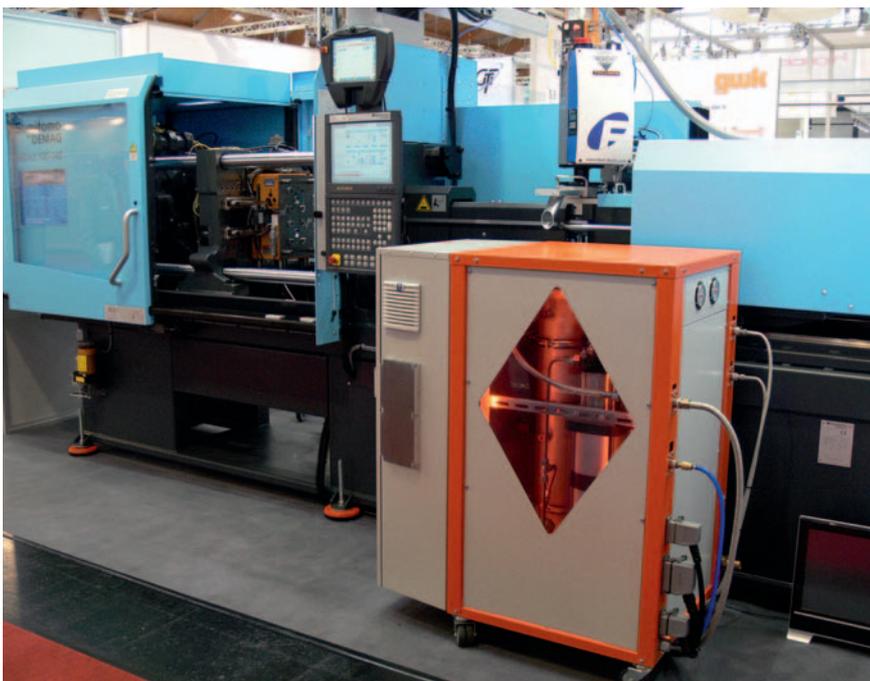


Bild 7. Die Anlage für dynamische Formnesttemperierung vereint Aufheizen und Abkühlen im schnellen Wechsel mit Temperaturgradienten von bis zu 20 K/s (Foto: gwK)

Coolings. Mit dieser Technologie lassen sich Temperaturgradienten beim Aufheizen und Abkühlen von bis zu 20 K/s erreichen.

Fazit

Durch Nutzung von Kohlendioxid als Medium für die Gasinjektionstechnik und einer leicht modifizierten Anlagentechnik können Spritzgießbetriebe auf einfachem Wege die Zykluszeiten und damit die Bauteilkosten reduzieren. Da die Handhabung des Prozesses ebenso einfach ist wie die Umrüstung von Stickstoff auf CO₂, kann das CO₂-GIT-Verfahren sowohl laufende als auch zukünftige GIT-Anwendungen verbessern. Der Reinigungseffekt des CO₂ an Injektoren stabilisiert die Produktionsprozesse dauerhaft. Darüber hinaus bietet CO₂ die Möglichkeit, Temperieraufgaben in Spritzgießwerkzeugen effektiv und kostengünstig zu lösen. ■

LITERATUR

- 1 PS-US 2331688: Method and apparatus for making hollow articles of plastic material (1939) Hobson, R.

- 2 DE 103 39 859 B3: Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Kunststoff-Bauteils, welches einen Innenhohlraum hat (2003) Op de Laak, M.
- 3 Op de Laak, M.; Rupprecht, V.: Die Qual der Wahl. Kunststoffe 96 (2006) 9, S. 115-120
- 4 N.N.: Eigenschaften der Kohlensäure. Fachverband Kohlensäure-Industrie e.V., 1997
- 5 Eyerer, P.; Elsner, P.; Knoblauch-Xander, M.; von Riewl, A.: Gasinjektionstechnik. Hanser Verlag, München 2003
- 6 N.N.: Technisches Handbuch Toolvac, Firmenschrift der AGA Gas GmbH, 1995
- 7 Berghoff, M.: Kühlen kritischer Bereiche im Werkzeug mittels CO₂-Temperierung. Diplomarbeit, Märkische Fachhochschule Iserlohn 1999

DIE AUTOREN

DIPL.-ING. MARCEL OP DE LAAK, geb. 1970, ist Geschäftsführer des Ingenieurbüros TiK-Technologie in Kunststoff GmbH, Teningen; marcel.opdelaak@tik-center.de

DIPL.-ING. AXEL ZSCHAU, geb. 1965, ist Geschäftsführer des Ingenieurbüros TiK-Technologie in Kunststoff GmbH, Teningen; axel.zschau@tik-center.de

DIPL.-ING. ANDREAS PRALLER, geb. 1966, ist bei der Linde AG, Geschäftsbereich Linde Gas, Unterschleißheim, als Projektleiter zuständig für die Ent-

wicklung und Markteinführung gasebasierter Technologien für die kunststoffverarbeitende Industrie; andreas.praller@linde-gas.com

DIPL.-ING (FH) MADRS RASMUSSEN, geb. 1977, betreut im Technischen Büro Sinsheim der Maximator GmbH Kunststoffverarbeiter mit Technologien für die Gas- und Wasserinjektionstechnik und das physikalische Schäumen; mrasmusen@maximator.de

SUMMARY

UNTAPPED POTENTIAL IN GAS INJECTION MOLDING

CO₂ GAIM. Fluid injection technology is an established method for producing complex hollow parts that cannot be implemented with conventional cores. The choice of fluid has a significant impact on part quality and cycle time, and the quality of the inner surface. What is not so well known is that carbon dioxide, acting as injection medium, offers huge potential to reduce part costs and energy input and to improve part quality – without additional effort.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on

www.kunststoffe-international.com

© Carl Hanser Verlag, München 2013. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe dieses Sonderdrucks und der Übersetzung behält sich der Verlag vor.

Kontakt.

Maximator GmbH

Technisches Büro Süd
Postfach 17 65
74877 Sinsheim
Germany
www.maximator.de

Matthias Wipfler

Telefon +49.7261.9454-16
Fax +49.7261.9454-20
Mobil +49.175.5790760
mwipfler@maximator.de

Dipl.-Ing.(FH) Mads Rasmussen

Telefon +49.7261.9454-18
Fax +49.7261.9454-20
Mobil +49.151.14257347
mrasmusen@maximator.de

Linde AG

Linde Gas Division
Carl-von-Linde-Straße 25
85716 Unterschleißheim
Germany
www.linde-gas.com

Andreas Praller

Telefon +49.89.31001-5654
Fax +49.89.31001-5585
Mobil +49.160.96240746
andreas.praller@linde-gas.com

Mikael Orsén

Telefon +46.40.283835
Fax +46.40.933918
Mobil +46.70.6268536
mikael.orsen@linde-gas.com