

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2017

ISGATEC®



Rohstoffe/Mischungen/Halbzeuge

Realität und Simulation beim Spritzguss von LSR

Die Verwendung von Flüssigsilikon-Elastomeren (LSR, Liquid Silicone Rubber) wächst seit deren Einführung 1979 weiterhin schneller als der Markt. So kommt z.B. Silopren® LSR in der Energiewirtschaft, Verbrauchsartikel, Consumer-Electronics, Medizintechnik und Automobilindustrie zum Einsatz. Die herausragenden Verarbeitungseigenschaften in modernen Spritzgießverfahren waren dabei mitentscheidend für den nachhaltigen Erfolg von LSR als neuen elastischen Konstruktionswerkstoff.

Die niedrige Viskosität von LSR erlaubt lange Fließwege und sichert die gleichmäßige Füllung auch von Bereichen mit sehr niedriger Wandstärke. Gleichzeitig ermöglicht die schnelle Platin-katalysierte Additionsvernetzung im Vergleich zu anderen Hochleistungs-Elastomeren erheblich kürzere Zykluszeiten. Das macht LSR häufig zu einem hochinteressanten Werkstoff, speziell wenn es um die Herstellung von Artikeln in der Großserie geht. Die aktuelle Werkzeugtechnik basiert hierbei auf gehärteten Präzisionswerkzeugen mit einem vorgeschalteten Kaltkanalblock. Spaltmaße dürfen hierbei ca. 4 µm nicht überschreiten, damit das LSR die Kavität nicht überströmt.

Demzufolge werden die meisten kommerziellen LSR Spritzgießartikel in vollautomatischen, abfall- und nacharbeitsarmen Setups hergestellt. In der Konsequenz erfordert die LSR Technologie höhere Investitionen in Form und Maschinenteknik als konventionelle Elastomere. Im speziellen Umfeld von LSR kann die Simulation der Teileherstellung sehr wertvoll sein. Denn Verarbeitungsversuche und Änderungen der Präzisionswerkzeuge können aufwändig und zeitraubend sein. Die Verlagerung dieser Aktivitäten in die Simulation reduziert die Kosten, die mit Produktionsversuchen und der Ermittlung der besten Verarbeitungsparameter hinsichtlich Qualität, Zykluszeit und Ausstoß verbunden sind.

Von Oliver Franssen¹, Global Marketing Director Elastomers Transportation, Vanessa Schwittay², Marketing Manager & Engineering

¹ Momentive Performance Materials GmbH | www.momentive.com

² SIGMA Engineering GmbH | www.sigmasoft.de

LSR haben ein einzigartiges Fließ- bzw. Viskositätsprofil in Kombination mit einer sehr speziellen Vernetzungscharakteristik. Die thermisch aktivierte Vernetzungsreaktion ist inhibiert und startet erst bei einer Temperatur oberhalb von ca. 110 °C. Das macht die bloße Abschätzung der Grenzen der Machbarkeit von Teilegeometrie und Prozeßparametern schwierig. Moderne Simulationswerkzeuge ermöglichen ein tieferes Verständnis der Mechanismen bei Formfüllung und Vernetzung, weil sie neben dem untersuchten Teil ganzheitlich das Umfeld von Form und Kaltkanal inkl. Heizpatronen bzw. Wasserkanälen mit betrachten, und das unter Berücksichtigung der gewünschten Maschineneinstellung über viele Herstellzyklen.

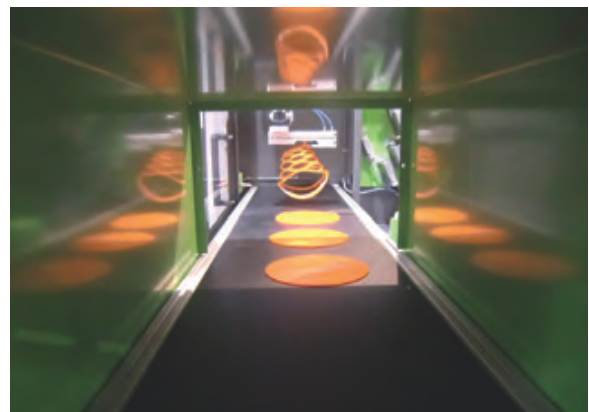
Das Designerteil „Ursula“ von CVA Silicones >>1 und 2 ist ein aktuelles Beispiel, um das Potenzial von LSR bei der Herstellung komplexer Geometrien zu zeigen. Der Name „Ursula“ ist als Referenz an die Weiblichkeit der ersten Bond-Girls entstanden und das Teil, das einen Preis der Biennale du Design Français trägt, wurde als schützendes Tragenetz für Flaschen konzipiert. Die Fließlänge beträgt bei dieser Geometrie bis zu 619 mm bei einer Wandstärke von nur 3 mm und einem Schussgewicht von 73 g – eine Herausforderung, die nur von einem LSR mit robusten Verarbeitungseigenschaften zu meistern ist.

Virtuelle Verarbeitungssimulation

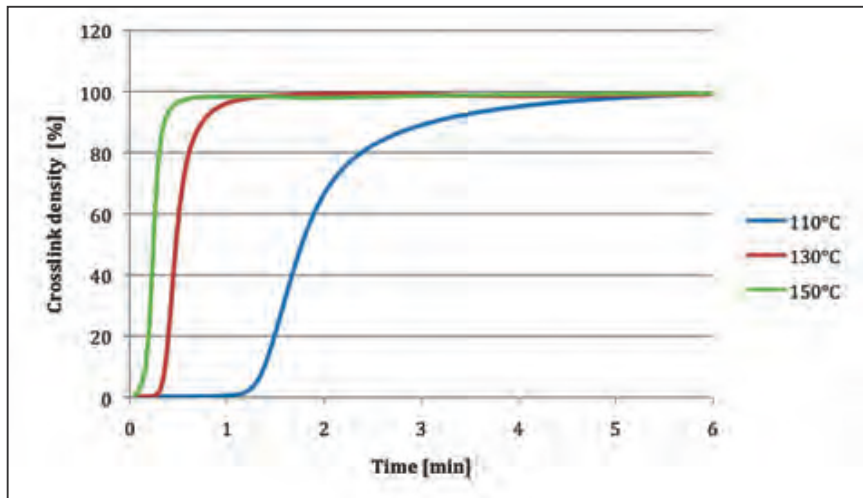
Hierfür braucht man detaillierte Materialdaten. Das gilt insbesondere für die verschiedenen Metalle der Spritzgießform (Formplatten, Kavität, Ausstoßer usw.) und



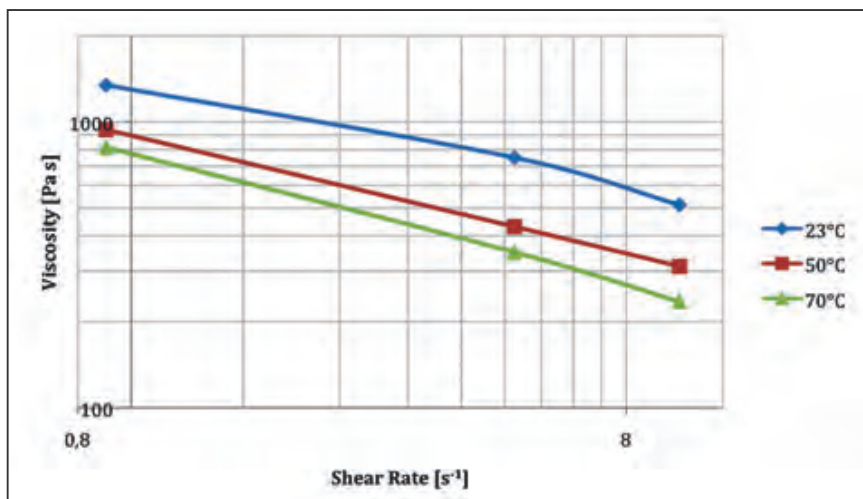
>>1: Ursula, das Tragenetz wurde nach dem Bond-Girl benannt (Bild: CVA Silicone)



>>2: Handling der entformten Teile auf Fakuma 2015. Das einnestrige Kaltkanalwerkzeug produzierte „Ursula“ vollautomatisch, abfall- und gratfrei mit einem Zyklus von etwa 1 min. Die Teile wurden aus Silopren® LSR 2670 hergestellt. (Bild: Momentive Performance Materials GmbH)



>>3: Vernetzungskurven von Silopren® LSR 2670 Flüssigsilikonkautschuk in Abhängigkeit von der Zeit [2]. Hinweis: Testdaten, gemessene Werte können abweichen



>>4: Viskositätskurven von Silopren® LSR 2670 Flüssigsilikonkautschuk als Funktion der Schergeschwindigkeit bei verschiedenen Temperaturen [3]. Hinweis: Testdaten, gemessene Werte können abweichen

des Kaltkanalblocks inkl. der verwendeten Temperiermedien. Viele dieser Werte findet man in der Fachliteratur oder sie sind bereits in der Simulationssoftware vorhanden. Allerdings sind Literatur- und Datenblattwerte [1] (z.B. Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Weiterreißfestigkeit, Dichte usw.) unzureichend, um die Berechnungen an den für die Simulation erforderlichen finiten Volumen durchzuführen. Für die Simulation notwendige Materialdaten sind z.B. die Vernetzung als Funktion von Zeit und Temperatur sowie die Viskosität als Funktion der Schergeschwindigkeit.

Die Vernetzung wurde auf einem Platte-Platte-Rheometer bei drei verschiedenen Temperaturen (110 °C, 130 °C und 150 °C) ermittelt. Hier wird das LSR (Teil A und B im Verhältnis A:B = 1:1 gemischt) zwischen zwei sich gegeneinander drehenden beheizten Platten gemessen >>3. Man sieht, wie mit steigender Temperatur (von 110 °C bis 150 °C), die Vernetzungsdichte (S') steiler ansteigt und sich ein Plateau früher ausbildet.

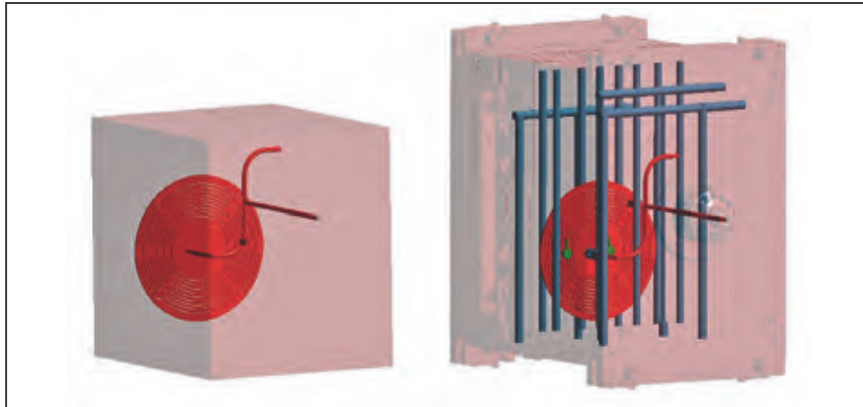
Die Viskosität wurde auf einem Kegel-Platte Viskosimeter bei drei Temperaturen (23, 50 und 70 °C) und drei verschiedenen Schergeschwindigkeiten (0, 9, 5 und 10 s⁻¹) ermittelt. Hier wurden A und B Komponenten getrennt gemessen und die gesamte Viskosität als Mittelwert von A:B = 1:1 berechnet >>4. Andere notwendige Materialkonstanten umfassen die thermische Leitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und die Poissonzahl.

Die Software extrapoliert auf Basis von Materialmodellen die jeweils richtigen Materialeigenschaften von den Messkurven. Obige Charakteristika wurden für Silopren® LSR 2670 Flüssigsilikonkautschuk gemessen und für die Berechnungen des virtuellen Prozesses adaptiert.

Neben exakten Materialdaten erfordert eine präzise Simulation auch detaillierte Informationen zum kompletten Werkzeug und Kaltkanal sowie den Prozesseinstellungen, die sich gegenseitig beeinflussen. Diese Rückkopplung stellt sicher, dass die sich kontinuierlich ändernde Werkzeugtemperatur während des kompletten Produktionszyklus korrekt auf das LSR wirkt. In der klassischen Artikelsimulation wird vor allem das Füllverhalten unter homogenen Randbedingungen betrachtet. Heutzutage ist es jedoch auch möglich, den kompletten Prozess mit Hilfe des Virtual Molding Ansatzes zu analysieren und sehr viel tiefergehende Erkenntnisse zu erhalten.

Die komplexe Geometrie von „Ursula“ ist ein gutes Beispiel, um beide Ansätze zu vergleichen. Dieses Produkt erfordert ein Material mit rheologischen und vernetzungskinetischen Eigenschaften, die sich durch eine hohe Stabilität auszeichnen, sowie ein durchdachtes Temperier- und Kaltkanalkonzept, um die Prozessfähigkeit und -stabilität des Werkzeugs zu garantieren.

Für die klassische Simulation werden die 3D-Modelle von Bauteil und Angussverteiler eingelesen und ein generischer Werkzeugwürfel um diese Geometrien herumgelegt. Ohne die tatsächlichen Werkzeugkomponenten beschränken sich die thermophysikalischen Eigenschaften auf nur ein Werkzeugmaterial (es gibt keine Einsätze oder Trennebenen) und die Werkzeugtemperatur wird als konstant angenommen. Es geht keine Wärme durch Strahlung an der Trennebene verloren (weil es keine gibt) und die simulierte Werkzeugtemperatur ist das Ergebnis idealer, benutzerdefinierter Randbedingungen >>5 links. Ohne Details zu den elektrischen Heizpatronen und Trennebene gibt es auch nur eingeschränkte Prozessinformationen (genaue Vernetzungszeit, Werkzeugöffnungs-



>>5: Aufbau des Simulationsmodells für den klassischen (links) und Virtual Molding Ansatz (rechts)

und -schließzeiten, etc.). Dennoch ist dieser Ansatz für eine erste Abschätzung oder einen generellen Eindruck zum Füllverhalten ausreichend. Belastbare Ergebnisse zum endgültigen Werkzeug und Prozess können damit jedoch nicht ermittelt werden.

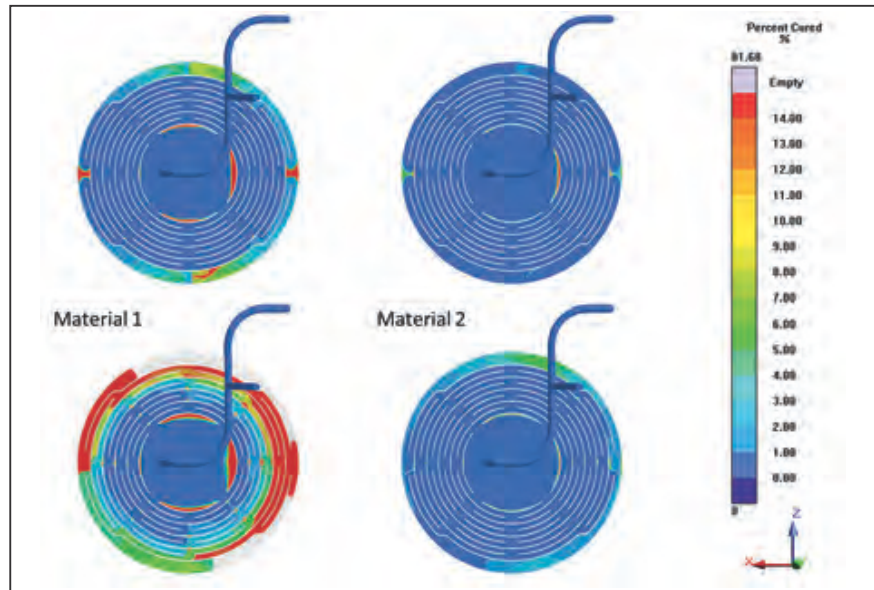
In der Realität ändert sich die Temperaturverteilung innerhalb des Werkzeugs während des Produktionszyklus kontinuierlich. Für akkurate Berechnungen kann sie deshalb nicht als homogener, benutzerdefinierter Wert angenommen werden. Besonders für komplexe Materialien und Prozesse, wie bei „Ursula“, kann ihr Einfluss nicht vernachlässigt werden.

Der Virtual Molding Ansatz schließt alle Werkzeugplatten, Kavitäten, Heizpatronen, Kühlkreisläufe, das komplette Kaltkanalsystem usw. als 3D-Komponenten in die Berechnung ein. Es gibt keine Einschränkungen hinsichtlich der Anzahl der verschiedenen Werkzeugmaterialien oder Prozesszeiten (z.B. wann sie miteinander oder dem Bauteil in Kontakt sind oder wie die Wärme durch eine Hälfte transportiert wird, während das Werkzeug geöffnet ist), die in der Berechnung berücksichtigt werden **>>5 rechts**. Nach dem Aufheizen des Werkzeugs werden mehrere aufeinanderfolgende Produktionszyklen simuliert, sodass sich im Werkzeug ein thermischer Gradient ausbildet. Dieser ersetzt die zuvor erwähnten Annahmen.

Materialauswahl

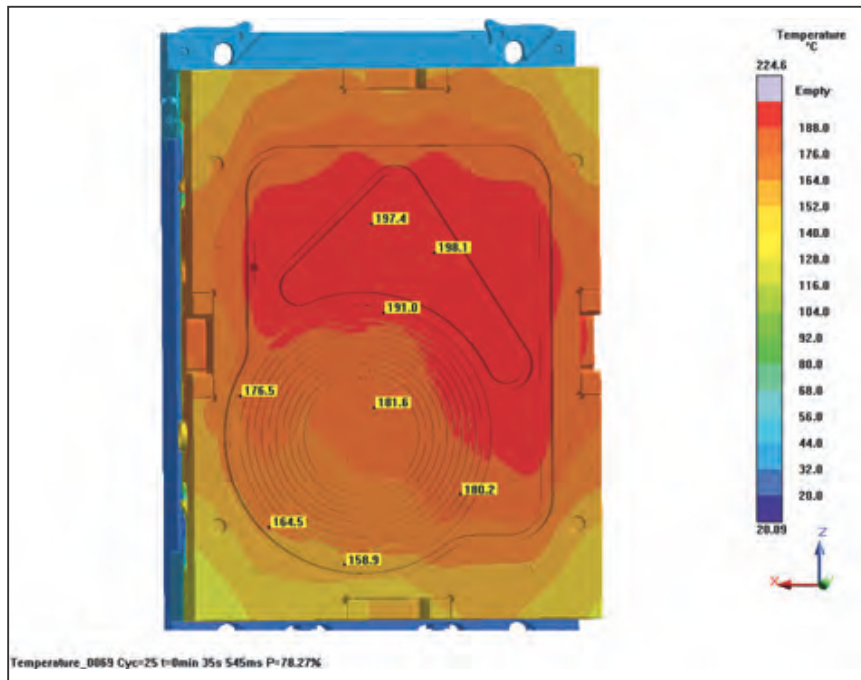
Vom Kunden wurden zwei ähnliche LSR Materialien für die Produktion von „Ursula“ in die engere Auswahl genommen. Für beide Materialien erfolgten Analysen sowohl mit der klassischen Simulation als auch mit dem Virtual Molding Ansatz. Dabei zeigte sich, weshalb nur ein Material den Herausforderungen bei der Produktion gewachsen ist. Wie sich herausstellte, war das Silopren® LSR 2670 für diesen Prozess das beste Material.

>>6: Beurteilung der Füllbarkeit des Bauteils unter dem klassischen (oben) und Virtual Molding Ansatz (unten) für Silopren® LSR 2670 (rechts) und ein ähnliches LSR (links)

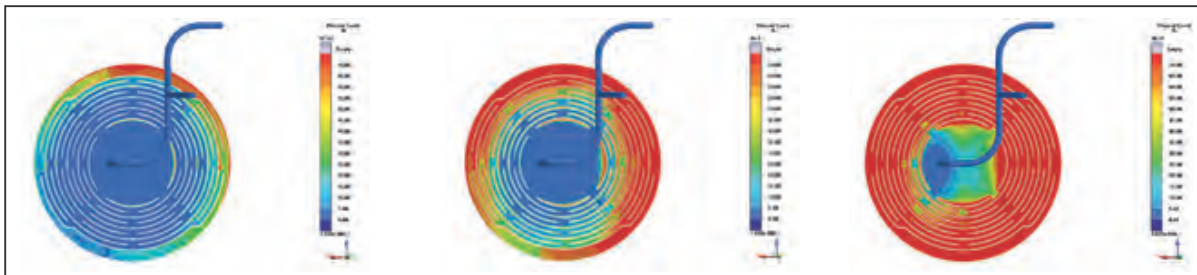


In einer ersten Betrachtung unter dem klassischen Simulationsansatz mit einer homogenen Werkzeugtemperatur von 180 °C sah es zunächst so aus, als könnten beide Materialien gleichermaßen für die Produktion genutzt werden >>6 oben. Eine Betrachtung unter dem Virtual Molding Ansatz zeigte jedoch, dass dies nicht der Fall ist. Aufgrund vorzeitiger Vernetzung ist ein komplettes Füllen mit einem der Materialien nicht möglich >>6 unten links. Dies resultiert aus den unterschiedlichen Vernetzungseigenschaften in Kombination mit den großen Temperaturunterschieden innerhalb der Kavität während des Füllens. Diese Temperaturgradienten werden in der Ein-Zyklus-Rechnung nicht berücksichtigt, da mehrere Produktionszyklen (> 25 Zyklen) nötig sind, bevor sich diese vollständig ausbilden.

Der Grund für diese unterschiedlichen Ergebnisse ist die Temperaturverteilung innerhalb des Werkzeugs. Während der klassische Ansatz eine homogene Temperatur annimmt, zeigt das virtuelle Werkzeug große Unterschiede der Temperatur. Nach Erreichen des thermisch stabilen Zustands stellen sich in der beweglichen Hälfte bereits innerhalb der Kavität Temperaturunterschiede von 30 °C und mehr ein >>7. Durch die heißen Bereiche oben in der Kavität erreichte das erste Material an der Fließfront schnell einen Vernetzungsgrad von > 20%. Mit einem Alpha Gel von 10% konnte es bei so einem hohen Vernetzungsgrad nicht mehr länger fließen. Im Vergleich dazu stellte sich das Silopren® LSR 2670 als stabiler heraus. Obwohl auch bei diesem Material der Vernetzungsgrad anstieg, wurde das Füllverhalten nicht negativ beeinflusst. Wie in der Realität war trotz der ungleichmäßigen Werkzeugtemperatur eine gute Bauteilqualität erreichbar >>6 unten rechts.



>>7: Die bewegliche Hälfte zeigt im thermisch stabilen Zustand allein in der Kavität Temperaturunterschiede von über 30 °C



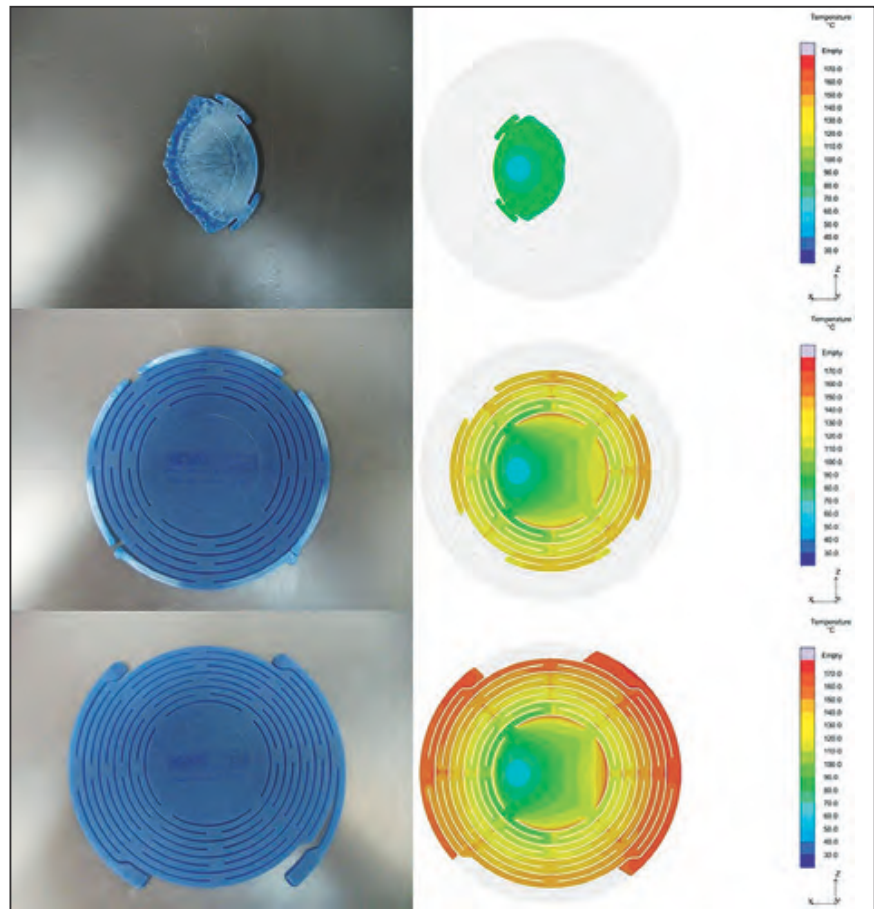
>>8: Vernetzungsgrad nach 25,5 s, 29,5 s und 35,5 s (von links nach rechts) Zykluszeit

Die Temperaturverteilung innerhalb der Kavität beeinflusst nicht nur das Füll- sondern auch das Vernetzungsverhalten von Ursula. Eine weitere Betrachtung des Prozesses unter Verwendung des Silopren® LSR 2670 zeigte, dass die Vernetzungsreaktion im oberen Bereich der Kavität startet >>8 links und sich dann über den Rand in die Mitte des Bauteils fortsetzt >>8 Mitte und rechts. Mögliche Gegenmaßnahmen, um eine gleichmäßigere Vernetzung und eine balanciertere Bauteilfüllung zu erhalten, umfassen Anpassungen der Heizleistung oder ein anderes Layout der Heizpatronen. Beide Lösungsansätze können unproblematisch in Sigmasoft getestet werden, ohne direkt Änderungen am Werkzeug durchzuführen.

Überprüfung der Simulation in der Realität

Nach dem Abschluss der Virtual Molding Analyse wurde die Übereinstimmung der berechneten Ergebnisse mit der Realität überprüft. Zu diesem Zweck wurden Teilfüllungen (Short Shots) den korrespondierenden Simulationsergebnis-

>>9: Gegenüberstellung der Short Shots und der Simulation bei 10 cm³, 40 cm³ und 60 cm³ (Bilder: SIGMA Engineering GmbH)



sen gegenübergestellt. Bei einem Bauteilvolumen von 72 cm³ wurde alle 10 cm³ eine Teilfüllung erstellt.

>>9 zeigt die Gegenüberstellung für die Teilfüllungen bei 10 cm³, 40 cm³ und 60 cm³. Das leicht unsymmetrische Füllverhalten resultiert aus der azentrischen Anbindung. Es liegt eine beachtliche Übereinstimmung von Virtual Molding Ergebnissen und produzierten Teilfüllungen vor. Die Bereiche in denen das LSR schneller fließt sind klar erkennbar und vereinfachen den Vergleich von Ergebnissen und Teilfüllungen.

Fazit

Diese Validierung liefert nur ein Beispiel, bei dem die Möglichkeiten des Virtual Molding Ansatzes viel weiter reichen, als die der klassischen Simulation. Er liefert LSR-Verarbeitern nicht nur verlässliche Ergebnisse, sondern auch Hintergrundinformationen zu ihren spezifischen Herausforderungen und deren Konsequenzen. Solche Informationen sind für eine effiziente Suche nach Lösungen unerlässlich.

Für komplexe Bauteile und Prozesse ist die Auswahl eines passenden Materials entscheidend. Eine angemessene Wahl kann nur mit einem tiefgehenden Verständnis der tatsächlichen Produktionsbedingungen getroffen werden. So kann klar kommuniziert werden, warum ein Material nicht geeignet ist und welche spezifischen Eigenschaften notwendig sind, um das optimale LSR auszuwählen. Auf der Basis von gemessenen Materialeigenschaften und den Prozessdaten hilft die virtuelle Verarbeitungssimulation bei der Festlegung des idealen Setups, ohne wertvolle Ressourcen an der Maschine zu verschwenden.

Literatur

[1] Technisches Datenblatt Silopren® LSR 2670 Flüssigsilikonkautschuk von Momentive, <https://www.momentive.com/products/showtechnicaldatasheet.aspx?id=15847>

[2] Gemessen nach DIN 53529 auf Monsanto MDR 2000. Batch-bezogene Messwerte von Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen. Nicht für Spezifikationen zu verwenden

[3] Gemessen nach DIN 53019 auf Haake Kegel/Platte Viskosimeter. Batch-bezogene Messwerte von Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen. Nicht für Spezifikationen zu verwenden



TPE
im
Bereich
Trinkwasser

info@hexpolTPE.com
www.hexpolTPE.com

Müller
Kunststoffe
A HEXPOL TPE COMPANY

HEXPOL
TPE

Rückenwind durch Kompetenz = Σ (Erfahrung + Wissen)



Konstruktion & Entwicklung/Beratung:

Unsere Experten beschleunigen Ihren Entwicklungsprozess durch **anwendungstechnische Beratung**. Die fachkompetente **Marketing- und Managementberatung** sowie die **Vermittlung von Unternehmenskäufen und -verkäufen** durch unser Netzwerk bringen Sie sicher ans Ziel.



Seminare (auch Inhouse), Foren, Kongress:

Wir vermitteln das Wesentliche rund um die Themen **Dichtungs-, Klebe- und Polymertechnik** und der angrenzenden Bereiche praxisnah, herstellernerneutral, kompetent.



Fachliteratur:

Das **Fachmagazin DICT!** und die **DICHTUNGSTECHNIK JAHRBÜCHER** informieren über Trends und Entwicklungen, präsentieren die Systemalternativen differenziert nach den unterschiedlichen Einsatzbereichen und Branchen. Die **WÖRTERBÜCHER DER DICHTUNGSTECHNIK** vereinen Sprach- und Fachkompetenz.



Online Portal:

Online finden Sie Lieferanten unter **LÖSUNGEN FINDEN**, Fach- und Führungskräfte im **KARRIERENETZWERK**, Informationen, Links, Trends u.v.m. unter **WISSENSWERTES**. Dies unterstützt und beschleunigt Ihre tägliche Arbeit. Partizipieren Sie an unserer Erfahrung, dem Wissen und den Kontakten.

Rufen Sie uns an! Telefon: +49 (0) 621-717 68 88-0

DICHTEN KLEBEN POLYMER
WWW.ISGATEC.COM