

Virtuelle Werkzeug- und Prozessoptimierung

Mit modernen Technologien zu fundierten Entscheidungen Moderne Gummispritzgießprozesse stellen die Verarbeiter vor verschiedenste Herausforderungen. Die Bauteile werden zunehmend komplexer und zur gleichen Zeit wird eine effiziente und ressourcenschonende Produktion gefordert. Zudem müssen die Verarbeiter gegenüber der günstigen Produktion aus Übersee wettbewerbsfähig bleiben. Eine virtuelle Werkzeug- und Prozessoptimierung spart hier Zeit und Kosten in der Entwicklung und schafft damit Wettbewerbsvorteile.

Um solche widersprüchlichen Anforderungen zu erfüllen, müssen sich die Verarbeiter auf modernste Technologien und Werkzeuge, die eine fundierte Basis für Entscheidungen liefern, verlassen können. Eines dieser Werkzeuge ist die Simulation des Spritzgießprozesses. Simulation ist bereits seit einigen Jahren ein etabliertes Werkzeug, um die beste Anbindung zu bestimmen oder zur Evaluierung von Füll- und Vernetzungsverhalten sowie Zykluszeit. Zunehmend wird sie jedoch zu einer wichtigen Maßnahme, um das komplette Werkzeug und den vollständigen Prozess im Voraus zu optimieren.

Die Software Sigmasoft Virtual Molding begleitet Verarbeiter durch den kompletten Entwicklungsprozess eines neuen Bauteils. Vom ersten Bauteildesign, mit dem Fokus auf Anbindung und Angussystem, über die Werkzeugauslegung, bei der Fragen nach der Leistung des Kaltkanals und dem idealen Heizsystem betrachtet werden, bis hin zum finalen Prozess, der eine stabile Produktion und ideale Bauteilqualität garantiert. In jeder dieser Phasen liefert die Simulation eine Basis für fundierte Entscheidungen, die auch die nächsten Entwicklungsschritte beeinflussen, ohne Material und Ressourcen in einem

Autoren

Vanessa Frekers,
Engineering & Manager Marketing,
Tobias Mansfeld,
Technical Sales Manager,
Sigma Engineering, Aachen,
Andrea Ravasio,
R&D Manager,
Mesgo, Gorlago, Italien

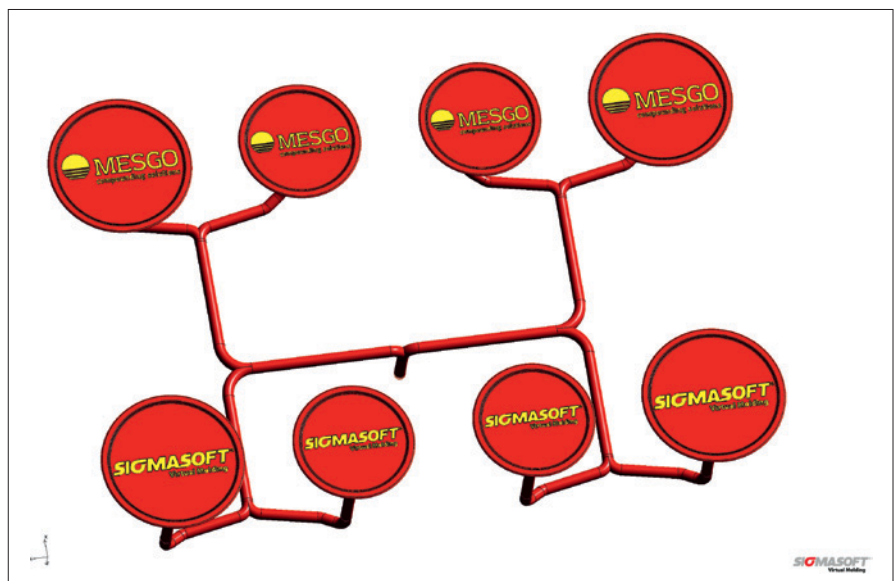


Abb. 1 Rundes Beispielbauteil: Zwei Größen in einem 8-fach Familienwerkzeug.

echten Werkzeug und auf einer echten Maschine zu verschwenden. Stattdessen werden neue Ideen am Computer in kurzer Zeit und ohne Risiko getestet. Änderungsschleifen am Werkzeug und Trial-and-Error-Versuche zur Bestimmung des Prozessfensters lassen sich dadurch vermeiden.

Um dies zu ermöglichen, arbeitet die Software wie eine virtuelle Spritzgussmaschine, bei der nicht nur die Bauteilfüllung simuliert wird, sondern vielmehr nach einer initialen Aufheizphase mehrere aufeinanderfolgende Zyklen für das komplette Werkzeug berechnet werden. Dadurch werden Füllverhalten und Vernetzungsreaktion erst berechnet, nachdem ein thermisch stabiler Zustand erreicht ist. Diese Temperaturverteilung im Werkzeug entspricht der realen Produktion und bildet die Ausgangsbedingung, um die Vorgänge innerhalb der Kavität exakt am Computer nachzubilden.

Fundierte Entscheidungen auch für einfache Bauteile

Die Analyse eines scheinbar einfachen Bauteils zeigt, dass eine gründliche virtuelle Auslegung auch für solche Bauteile sinnvoll ist, die nach allgemeiner Auffassung auch rein auf Erfahrungen basierend entwickelt werden können. Für ein allem Anschein nach einfaches, rundes Beispielteil (Abb. 1) erfolgte eine vollständige Virtual Molding Analyse, um einen tieferen Einblick in den Prozess zu erhalten. Dazu wurden neben den Kavitäten und dem Angussystem das komplette Werkzeug, inklusive Heizplatten und Isolierung, für die Berechnung berücksichtigt (Abb. 2).

Für eine detaillierte Analyse und aussagekräftige Vorhersagen zum späteren Prozess spielen jedoch auch die Eigenschaften des verwendeten Materials eine entscheidende Rolle. Deshalb wurden neben dem Werkzeug auch die rheologischen und vernetzungskineti-



ABSTRACT

Virtual Mold- and Process-
Optimisation

Modern rubber injection molding applications present several challenges to the processors, as parts become more complex and at the same time the production should be most efficient and resource saving. To meet these challenges they have to rely on up-to-date technology. Modern simulation tools like Sigmasoft Virtual Molding not only accompany the engineer during the full part development process, but as material data is a key factor to a successful analysis, they also seek collaborations with material suppliers to enable their users to fully reproduce reality.

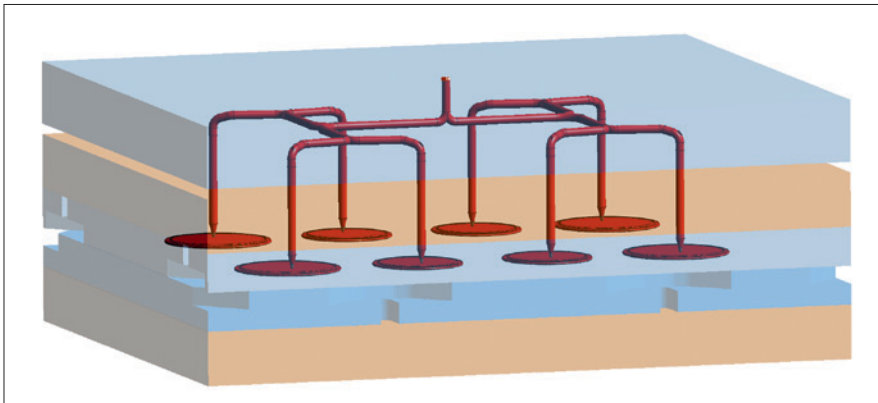


Abb. 2 Das vollständige, in der Berechnung berücksichtigte Werkzeug: Neben den Bauteilen und dem Angussystem werden sowohl Düsenseite (hellblau) und bewegliche Seite (dunkelblau) als auch die Heizplatten (orange) berücksichtigt.

schon Eigenschaften des verwendeten Compounds in der Berechnung berücksichtigt. Das Beispielteil sollte aus dem Material MG5002BL70F, einem blauen 70ShA Fluorsilikon-Compound der Firma Mesgo, produziert werden.

Als erstes erfolgte eine genaue Betrachtung des Füllverhaltens in den unterschiedlichen Kavitäten. Das offensichtlichste Problem war ein leicht unbalanciertes Füllen, das durch die unterschiedlichen Bauteilgrößen verursacht wird. Dieses Problem ist für Familienwerkzeuge mit unterschiedlich großen Kavitäten bekannt und wird auch so erwartet. Hier kann die Simulation bei der Entwicklung eines Kaltkanalsystems helfen, das durch angepasste Düsen ein balanciertes Füllen ermöglicht. Eine weitere Möglichkeit ist, unterschiedliche Positionen und Öffnungen für die Kaltkanalnadeln zu vergleichen, was für das vorliegende Beispiel zunächst als erste kostengünstige Alternative getestet wurde. Mit dieser Methode konnte die Unbalancierung bereits behoben werden. Um jedoch auch den Einfluss beider möglichen Kaltkanalsysteme auf die Werkzeugthermik zu überprüfen, wurde in einem späteren Schritt auch ein für das 8-fach Familienwerkzeug optimierter Kaltkanal mit angepassten Düsen für die zwei Kavitätsgrößen berechnet.

Ein genaueres Betrachten des Füllverhaltens in jeder Kavität zeigte jedoch auch, dass in den kleinen Buchstaben auf den Bauteilen Füllprobleme zu erwarten waren. Die obere Hälfte von Abbildung 3 zeigt, wie besonders bei den kleineren Buchstaben das Gummi in den dickwandigen Bereichen unterhalb der Buchstaben viel schneller fließt als in den Buchstaben selbst (oben

links). Dieses Fließverhalten birgt ein hohes Risiko für Lufteinschlüsse in den Buchstaben, die bei unzureichender Entlüftung ungefüllt bleiben (oben rechts). Als Gegenmaßnahme wurden die Buchstaben in einem zweiten Versuch in die Bauteile vertieft. Auch bei dieser Variante sind wieder kleine Bereiche in den Aussparungen der Buchstaben im Vergleich zum sonstigen Bauteil erhaben. Trotzdem zeigen die vertieften Buchstaben insgesamt ein besseres Füllverhalten als die erhabenen Buchstaben aus dem ersten Versuch (Abb. 3, unten). Die Gefahr von Lufteinschlüssen ist für die Bauteile mit vertieften Buchstaben geringer.

Nach der Analyse des Füllverhaltens folgte die thermische Auslegung des Werkzeugs mit dem ursprünglichen Kaltkanalsystem für den Gesamtprozess. Um die genauen Produktionsbedingungen an der realen Maschine ab-

zubilden, ist es wichtig, für die Berechnung nicht nur eine gleichförmige Werkzeugtemperatur als Randbedingung anzunehmen. Stattdessen sollten die korrekte Temperaturverteilung im Werkzeug sowie ihre Änderung über den Zyklus berücksichtigt werden. Nur dann sind fundierte Rückschlüsse auf das Füll- und insbesondere das Vernetzungsverhalten des Bauteils möglich.

Für das Beispielteil wurde das Werkzeug zunächst für eine Stunde aufgeheizt, um die für das verwendete Fluorsilikon empfohlene Werkzeugtemperatur von 180 °C zu erreichen. Anschließend wurden zehn aufeinanderfolgende Zyklen berechnet, um sowohl einen eingeschwungenen Zustand als auch eine Temperaturverteilung innerhalb der Kavitäten, wie sie auch in der realen Produktion vorliegt, zu erreichen.



Abb 3 Die erhabenen kleinen Buchstaben füllen langsamer als die dickwandigen Bereiche darunter (oben links), was zu Lufteinschlüssen in ihren Ecken führt (Buchstabe „d“ – oben rechts), bei ins Bauteil vertieften Buchstaben verbessert sich das Füllverhalten deutlich (unten).

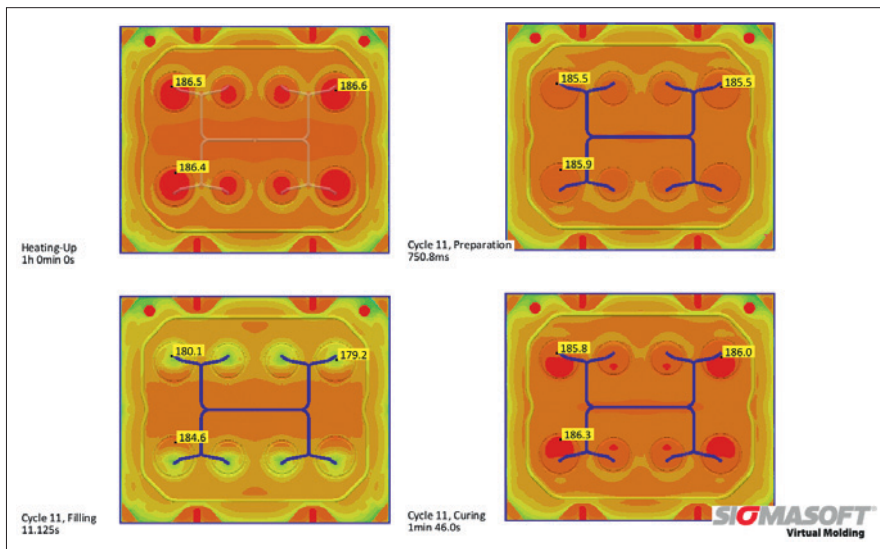


Abb. 4 Temperaturverteilung in der beweglichen Hälfte am Ende der Aufheizphase (oben links), zu Beginn des Produktionszyklus (oben rechts), am Ende der Füllzeit (unten links) und bei der Entformung des Bauteils (unten rechts); die Temperatur ist von 172 °C (dunkelblau) bis 186 °C (rot) skaliert, jede Farbe repräsentiert 1 °C.

Temperaturverteilung im Werkzeug mit Kaltkanalsystem

Abbildung 4 zeigt die Temperaturverteilung in der beweglichen Werkzeughälfte zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des Prozesses. Die Skala ist von 172 °C (dunkelblau) bis 186 °C (rot) in Schritten von 1 °C skaliert. Das Bild oben links zeigt die bewegliche Hälfte nach der Aufheizphase. Aufgrund der unterschiedlichen Werkzeugkomponenten sind Temperaturunterschiede innerhalb des Werkzeugs bereits deutlich sichtbar. Nach Erreichen des eingeschwungenen Zustands ist die Temperaturverteilung besonders in den Kavitäten etwas gleichmäßiger (oben rechts). Die unteren Bilder zeigen, dass die Temperatur jedoch in jedem Zyklus um bis zu 6 °C schwankt. Zusätzlich kann am Ende des Füllvorgangs ein Temperaturunterschied von 7 °C innerhalb der einzelnen Kavitäten beobachtet werden (unten links). Doch

diese Schwankungen scheinen gering im Vergleich zur Angussseite des Werkzeugs. Hier können auf den Kavitätsseiten Temperaturunterschiede von rund 25 °C beobachtet werden (Abb. 5, links). Diese großen Temperaturunterschiede werden hauptsächlich durch das Kaltkanalsystem verursacht, das nicht vollständig vom restlichen Werkzeug isoliert werden kann. Der Kaltkanal führt deshalb immer zu kalten Stellen im Werkzeug.

Um zu prüfen, ob der Einfluss des Kaltkanals auf die Düsenseite verringert werden kann, wird in einer zweiten Berechnung ein für das 8-fache Familienwerkzeug optimierter Kaltkanal in das Werkzeug eingesetzt. Dieser zeichnet sich nicht nur durch angepasste Düsen für die verschiedenen Kavitätsgrößen, sondern auch durch eine verbesserte thermische Trennung zur heißen Werkzeugeite aus. Zudem werden

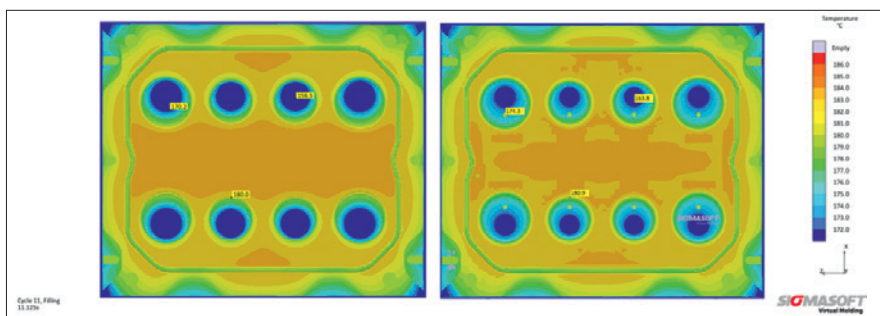


Abb. 5 Temperaturverteilung der Düsenseite, die beim zuerst geplanten Konzept Temperaturunterschiede von 25 °C innerhalb der Kavitäten aufweist (links); mit dem optimierten Kaltkanalkonzept wird diese Differenz auf 17 °C reduziert (rechts).

UNTERNEHMEN IM DETAIL

Partner für die Entwicklung

Um den Anwendern von Sigmasoft Virtual Molding die bestmöglichen Daten zur Verfügung zu stellen, sucht die Sigma Engineering die enge Zusammenarbeit mit Materialherstellern. Einer dieser wertvollen Partner ist die Mesgo Gruppe in Italien. Die Partnerschaft zwischen Mesgo und der Sigma Engineering begann 2016 bei einem Tag der Offenen Tür im neuen Mesgo Werk Çayırova, Türkei. Durch die Bereitstellung von gemessenen Daten für ihre Silikoncompounds unterstützt das italienische Unternehmen die Entwicklung von kosten- und ressourceneffizienten Prozessen, Werkzeugen und Bauteilen und baut den Service für ihre Kunden weiter aus.

für den Kaltkanal eine detaillierte Kühlung und im Werkzeug weitere Heizpatronen vorgesehen. Auf diese Weise soll eine ausgeglichene Werkzeugthermik erreicht werden. Die rechte Seite von Abbildung 5 zeigt die resultierende Temperaturverteilung in der Düsenseite. Insgesamt konnte eine deutlich gleichmäßigere Temperaturverteilung in den Kavitäten erreicht werden und die maximale Differenz innerhalb der Kavitäten beträgt nur noch rund 17 °C.

Temperaturunterschiede innerhalb der Kavitäten beeinflussen auch das Vernetzungsverhalten der Bauteile. Am Zyklusende, wenn die Bauteile aus dem Werkzeug entformt werden, ist eine deutliche Korrelation von hohen und niedrigen Temperaturen und dem jeweils erreichten Vernetzungsgrad sichtbar (Abb. 6). Besonders der Kaltkanal hat einen negativen Einfluss und beeinträchtigt deutlich die realisierbare Zykluszeit. Neben den Schwierigkeiten bei der Bauteilfüllung, ist die ungleichmäßige Vernetzung ebenfalls ein Effekt, der nur in langwierigen Maschinenversuchen vor dem Produktionsstart offensichtlich würde. Mit Hilfe der virtuellen Versuche am Computer, konnten diese Probleme jedoch frühzeitig entdeckt und Gegenmaßnahmen vor dem Werkzeugbau getestet und festgelegt werden.

Als eine Grundregel gilt, dass die Ergebnisse jeder virtuellen Analyse nur so gut sein können wie die Daten, die in das verwendete Programm eingespeist werden. Nur mit realen Geometrien und realistischen Prozesseinstellungen, die später auch an der Maschine eingestellt werden, lässt sich die Realität am

Computer nachbilden. Ein besonders wichtiger Faktor sind dabei die Materialdaten des verwendeten Compounds. Es macht keinen Sinn anzunehmen, dass mit irgendeinem generischen Gummimaterial korrekte Vorhersagen zu Füllung und Vernetzung getroffen werden. Nur bei Berücksichtigung der realen, vermessenen Daten für Viskositäten und Vernetzungskinetik kann das Materialverhalten im Werkzeug korrekt vorhergesagt werden.

Nur fundierte Daten erlauben fundierte Entscheidungen

Um den heutigen Herausforderungen bei der Produktion von Gummibauteilen gerecht zu begegnen, verlassen sich Verarbeiter auf neueste Technologien und Werkzeuge wie die Prozesssimulation. Auch bei scheinbar einfachen Bauteilen hilft die Simulationssoftware Virtual Molding dabei, Anfangsschwierigkeiten und langwierige Trial-and-Error-Versuche beim Einrichten des Prozesses zu vermeiden. Mittels Simulation werden nicht nur Probleme bei

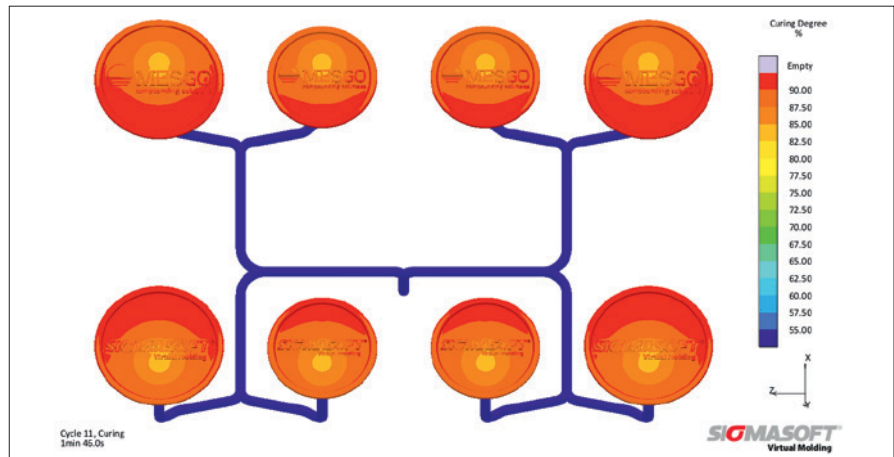


Abb. 6 Vernetzungsgrad innerhalb der Bauteile am Zyklusende.

der Bauteilfüllung aufgedeckt, auch Kühlkanal- und Temperierkonzepte lassen sich am Computer einfach auslegen. Eine Voraussetzung für fundierte Vorhersagen des realen Prozesses sind die vermessenen Materialdaten des Compounds. Durch die Unterstützung von Materialherstellern können Bauteile, Werkzeuge und Prozesse noch

einfacher virtuell optimiert werden. ■

Sigma Engineering und die Mesgo Gruppe danken ORP Stampi für die Bereitstellung der Geometriedaten des Beispielbauteils.

KONTAKT

Sigma Engineering, Aachen,
v.frekers@sigmasoft.de