

GAK *Gummi* *FASERN* **Kunststoffe**

Fachmagazin für die Polymerindustrie

Weltautomarkt 2016

Kostenoptimierung im Mischsaal

Drucksimulation Formteilmfertigung

Elastomere im Ölfeld

kuraray

Visit our new website:
www.elastomer.kuraray.com

Kuraray Liquid Rubber (K-LR) is a reactive plasticizer based on isoprene and/or butadiene. K-LR is colorless, transparent and almost odorless. Also K-LR has very low VOC values.

Applications: Rubber goods, Adhesives, Sealants, Coatings and others.

tire technology

EXPO 2016

Visit Us: Hall 19/20

Booth C218

Chinaplas 2016

Visit Us: Hall N1/Booth G01

Druckvorhersage in Elastomerwerkzeugen

T. Gebauer, V. Schwittay

Simulationsergebnisse stimmen trotz ständiger Weiterentwicklung bestehender Simulationsmodelle nicht immer mit Messergebnissen an der Maschine überein. Ist die Simulation des Drucks im Elastomerwerkzeug fehlerhaft, kann sich das kritisch auf andere Simulationsergebnisse wie die Prognose des Füllverhaltens der Form, der mechanischen Eigenschaften des Bauteils oder des Verzugs des Fertigteils auswirken, da entsprechende Zusammenhänge zwischen Druckänderungen und der damit verbundenen Temperaturentwicklung existieren. In der Serienproduktion würden solche Prognosefehler zu gravierenden Problemen führen. Der Artikel gibt eine kurze Einführung in die Messung und Simulation von Druck und beantwortet hierzu verschiedene Fragestellungen.

In spite of ongoing development of existing simulation models it happens that the simulation results do not always match the measurements taken at the actual machine. An erroneous simulated pressure in the elastomer mould may critically affect other simulation results such as the predicted filling behaviour of the form, the mechanical properties of the component or warpage of the finished part, as correlations between pressure changes and related temperature development exist. Errors in the predicted values could lead to serious problems in the serial production. The article gives a brief introduction to the measurement and simulation of pressure and answers various questions.

1 Einleitung

Die Prozesssimulation Sigmasoft Virtual Molding ist in der Entwicklungsphase von Elastomerprodukten bereits ein etabliertes Werkzeug. Sie wird zur Vermeidung von Produktionsproblemen und zur Verkürzung der Produkteinführungszeit industrieller Anwendungen genutzt. Schon sehr früh in der Entwicklungsphase können Angussysteme balanciert oder Werkzeugtemperierungen optimiert werden.

2 Simulation und Realität

Trotz ständiger Weiterentwicklung und Verfeinerung der Simulationsmodelle passiert es manchmal, dass die Simulationsergebnisse nicht mit den Messungen an der Maschine übereinstimmen. Das betrifft nicht nur den simulierten Druck, sondern auch andere Ergebnisse wie das Füllverhalten und viele temperaturabhängige Ergebnisse aufgrund ihrer Korrelation mit Druckänderungen. So wird es nicht nur schwerer zu entscheiden, ob sich das Bauteilwerkzeug wie vorhergesagt füllt, sondern auch Ergebnisse zum Vernetzungsgrad, zu den mechani-

schen Eigenschaften des Bauteils, zur Materialdegradation oder Verzug des Bauteils werden unter Umständen weniger zuverlässig (Abb. 1).

Wenn das während der Serienproduktion an der Maschine beobachtete Verhalten nicht mit dem vorhergesagten übereinstimmt, können größere Probleme auftreten. Verlorenes Geld, zeitliche Verzögerungen und frustrierte Kunden sind einige der Folgen. Nun stellt sich die Frage, warum so etwas passiert und noch wichtiger wie solche Probleme vermieden werden.

3 Druck im Werkzeug als Schlüsselfaktor

Ein Schlüsselfaktor während der Werkzeugentwicklung ist der zur Füllung des Bauteilwerkzeugs benötigte Druck. Der maximale Druck ist einer der limitierenden Werte für die Maschinenauswahl. Er ist außerdem ein Indikator für die Energie, die das Gummi während der Füllung aufheizt, und damit kritisch für die Bestimmung der Vernetzungszeit.

Der Druck kann an verschiedenen Stellen im System gemessen werden. Hydraulischer Druck und Drucksensoren in Kolben oder Werkzeug sind die üblichsten Referenzpunkte für den Druck. Normalerweise wird nur ein Referenzpunkt genutzt. Wenn das System mehr als einen Druck misst, sind diese Werte bereits oft gegensätzlich.

Abbildung 2 zeigt die gemessenen Druckwerte an zwei verschiedenen Punkten im Angussystem eines Elastomerwerkzeugs. Obwohl der hydraulische Druck konstant ist,

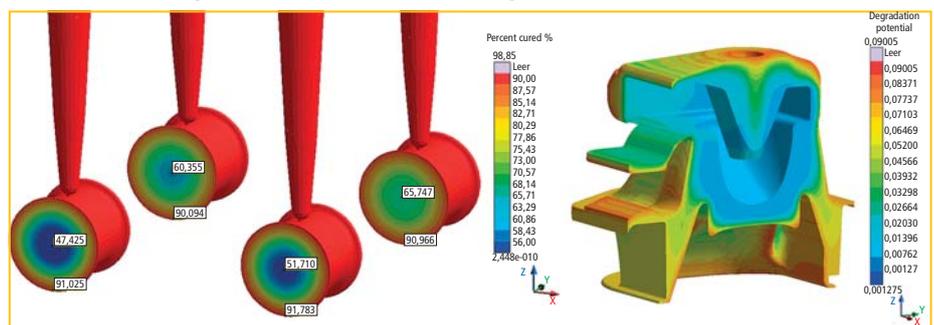
Dipl.-Ing. Timo Gebauer
t.gebauer@sigmasoft.de
Executive Manager / CTO

Vanessa Schwittay
Marketing Manager & Engineering

Sigma Engineering GmbH, Aachen

Vortrag, DKT 2015, 29. Juni – 2. Juli 2015, Nürnberg,
Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e. V., Frankfurt

Abb. 1: Verschiedene Simulationsergebnisse, wie der Vernetzungsgrad (links) und die Materialdegradation (rechts), hängen von einer korrekten Druckvorhersage ab.



fällt der Druck nahe an der Maschine (P-runner1, Ausgang Einspritzeinheit) ab einem bestimmten Zeitpunkt ab. Auf den ersten Blick scheint dies unphysikalisch. In diesem Fall merkt der hydraulische Druck, was im Kolben passiert. Wenn das Schmelzepolster zu klein wird, führt das Fließverhalten in diesem Bereich zu einer dramatischen Erhöhung des Hydraulikdrucks.

In der Simulation kann der Druck ebenfalls an verschiedenen Positionen vorhergesagt werden. Zusätzlich basiert die Simulation normalerweise auf unterschiedlichen Modellen und idealen Randbedingungen. Aufgrund des ausgewählten Modells und der getroffenen Annahmen können die Simulationsergebnisse variieren. Diese Schwankungen beruhen auf den komplexen Zusammenhängen zwischen Vermessungsfehlern des Materials, Modellierung und Annahmen. Dadurch sind die Ergebnisse oft schwer zu beurteilen.

Ein kritischer Wert für die Vorhersage des Drucks ist die von Scherraten und Tempe-

raturen abhängige Viskosität. Leider gibt es keinen direkten Weg, um die Viskosität zu messen. Je nach benutztem System werden Druck oder Drehmoment bei festgesetzten Fließbedingungen gemessen. Basierend auf diesen Werten und mit verschiedenen Korrekturen kann die Viskosität berechnet werden. Da die Einstellung dieses Systems sehr sensibel ist, können die Ergebnisse in einem breiten Spektrum variieren. Besonders für Gummimischungen können die Abweichungen der gemessenen Viskosität mehr als 100 % betragen.

3.1 Mess- und Korrekturprobleme

Abbildung 3 illustriert die Ergebnisse von drei Messungen einer Mischung (eine Charge), die in drei verschiedenen Labors gemessen wurden. Das Diagramm ist logarithmisch dargestellt. Die im Labor 3 gemessene Viskosität ist fünfmal höher als die im Labor 2 bestimmte. Werden diese Viskositäten in der Simulation genutzt, ist der vorhergesagte Druck für die drei Messungen komplett unterschiedlich.

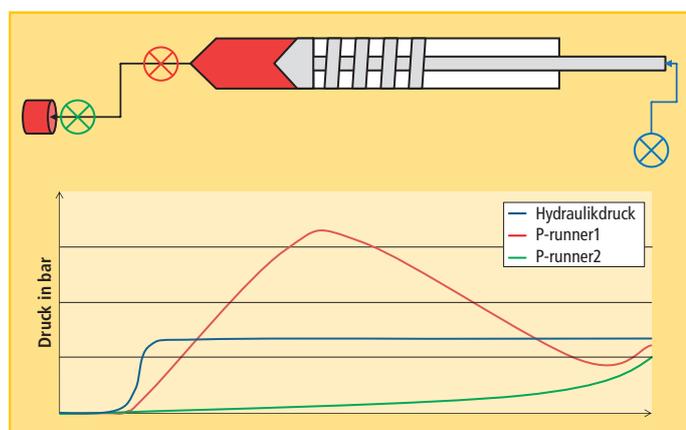
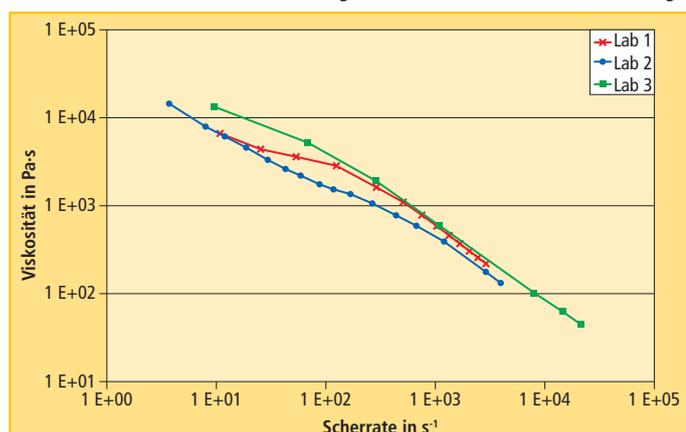


Abb. 2: Hydraulikdruck und zwei Druckkurven nahe am Anspritzpunkt (P-runner2) und nahe an der Maschine (P-runner1)

Abb. 3: Bei drei verschiedenen Labors gemessene Viskosität einer Materialcharge



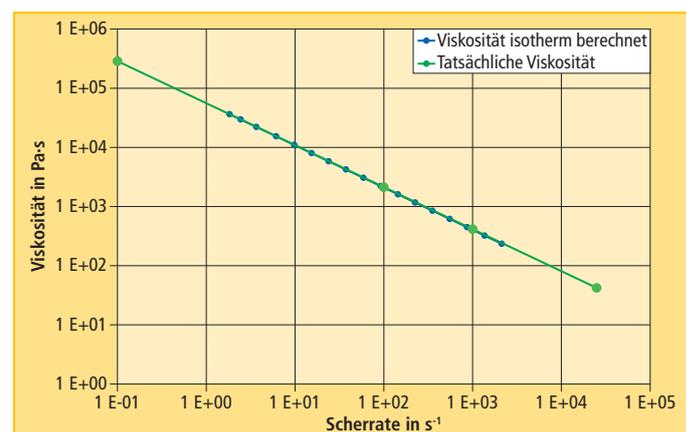
Ein Grund für die Unterschiede ist die Sensitivität der Hochdruckviskosimeter. Je nachdem, wie das Elastomer in der Maschine positioniert und das System eingestellt wird, können sich die Messwerte stark unterscheiden.

Weitere Einflüsse sind die verschiedenen Korrekturen, die genutzt werden, um die wahre Viskosität zu berechnen (Weissenberg-Rabinowitsch, Mooney, Bagley). Diese Korrekturen benötigen normalerweise eine komplexere Einstellung oder andere Experimente. Da jedes Experiment bezahlt werden muss, werden nicht alle Korrekturen für jede Charakterisierung durchgeführt.

3.2 Simulation von Druck und Viskosität mit Berücksichtigung der Schererwärmung

Zusätzlich zum bereits komplexen Problem der bekannten Korrekturen, gibt es keine Korrektur, die die Temperaturerhöhung während der Messung berücksichtigt. Das Material wird mit hohem Druck durch eine Kapillare gepresst. Je höher Druck und Geschwindigkeit sind, desto höher ist auch die Schererwärmung. Abhängig von der Sensibilität der Viskosität für Temperaturänderungen ist die reale Viskosität unter Umständen deutlich höher als die gemessene. **Abbildung 4** zeigt ein virtuelles Experiment. In diesem Experiment wird ein Material mit einer bestimmten Viskosität (original viscosity) zur Simulation eines Hochdruckkapillarviskosimeters genutzt. Mit Hilfe des simulierten Drucks wird wie im realen Experiment die Viskosität berechnet. Die zweite Kurve (viscosity

Abb. 4: Tatsächliche und berechnete Viskosität für isothermes Materialverhalten



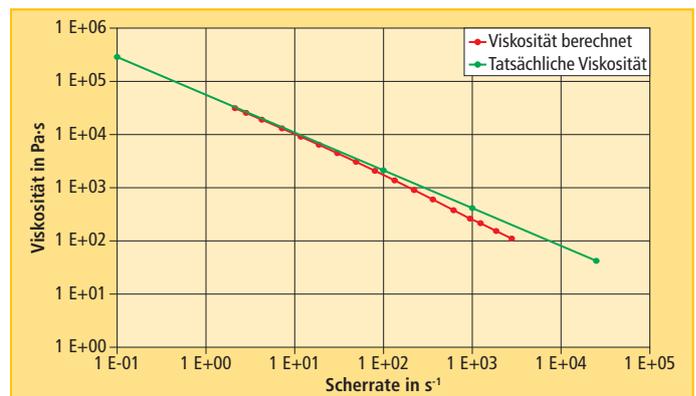
isotherm) zeigt die so berechnete Viskosität. Das verwendete Material wurde für die Simulation so manipuliert, dass sich seine Temperatur nicht ändern konnte. Die beiden Kurven stimmen sehr gut überein. Dieser Machbarkeitsnachweis zeigt, dass die Simulation der Kapillare sehr genau funktioniert und eine korrekte Druckvorhersage liefert.

Anschließend wurde eine weitere Simulation durchgeführt. In diesem Fall konnte sich die Temperatur des Materials durch Schererwärmung ändern. Wieder wurde die Viskosität berechnet. **Abbildung 5** gibt die tatsächliche (grüne Kurve) und berechnete Viskosität (rote Kurve) für dieses Material wieder. Im Bereich niedriger Scherraten stimmen die zwei Kurven sehr gut überein. In diesem Bereich ist die Schererwärmung gering, so dass sich das Material nicht sehr erwärmt. Bei höheren Scherraten wächst der Abstand zwischen den Kurven. Bei einer Scherrate von 1 000/s unterscheiden sich die Kurven um den Faktor zwei. Dieses einfa-

che Experiment zeigt den deutlichen Einfluss des Temperaturanstiegs während der Viskositätsmessung. Um den Druckverlust in einem Elastomerwerkzeug richtig vorherzusagen, muss dieser Einfluss ebenfalls in einer Korrektur berücksichtigt werden.

Ein Weg, die reale Viskosität zu ermitteln, ist die Simulation. Mit Sigmasoft Virtual Molding wird die reale Viskosität unter Berücksichtigung des Temperaturanstiegs ermittelt.

Abb. 5: Tatsächliche und berechnete Viskosität für ein normales Materialverhalten



4 Fazit

Diese kurze Einführung in die Messung und Simulation von Druck zeigt, dass viele Fragen im Detail beantwortet werden müssen, um eine Übereinstimmung von simulierten Ergebnissen und gemessenem Druck zu gewährleisten. Es ist nicht immer nötig, alle Fragen zu beantworten, aber es ist wichtig sich des Einflusses verschiedener Effekte bewusst zu sein. So können kritische Werte in der Produktion vermieden werden.

Impressum

Herausgeber
Dr. Heinz B. P. Gupta

Anschrift
Dr. Gupta Verlag
Am Stadion 3b,
40878 Ratingen
Ust. Nr. DE 157894980

Postanschrift
Postfach 10 13 30,
40833 Ratingen

Tel. +49 2102 9345-0
Fax +49 2102 9345-20

E-Mail info@gupta-verlag.de

Internet www.gak.de

Redaktion
Dr. Ernst Debie (Chefredakteur, v.i.S.d.P.)
Dr. Stephanie Waschbüsch
(Stellvertretende Chefredakteurin)
Dr. Heinz B. P. Gupta
Dr. Isabella Kappner
Dipl.-Biol. Markus Linden

in memoriam Dipl.-Chem. Frank A. Gupta†

Freie Mitarbeiter
Dr. Stefan Albus (ALS)
Jiri G. Drobný (JD)
Dr. Hermann Fries (HF)
Prof. Dr. Dr. Günter Grundke (GG)
Gert F. Hartmann (GFH)
Siegfried Heimlich (SH)

Dr. Franz Otto (FO)
David Shaw (DS)
Dr. Horst-E. Toussaint (HET)
David Vink (DV)

Redaktionsassistent
Patrizia Schmidt
Tel. +49 2102 9345-12

Abonnements
Noemi Jäger
Tel. +49 2102 9345-18

Anzeigen
Indira Gupta, Julian Bäumer
Tel. +49 2102 9345-15

Layout
Ulrich Gewehr, Max Godenrath
Tel. +49 2102 9345-18

Erscheinungsweise:
12 Ausgaben 2016
Postvertriebsnummer 4637
ISSN 0176-1625

Bankverbindungen
Deutsche Postbank AG
IBAN DE95 3004 0000 0858 7982 00
BIC COBADEFFXXX

Commerzbank Düsseldorf
IBAN DE43 3007 0024 0470 7170 00
BIC DEUTDE33XXX

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Oft handelt es sich um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht ausdrücklich als solche gekennzeichnet sind.

Abonnement-, Bezugs- und Lieferbedingungen:

Jahresabonnementpreis 280,- EUR (zzgl. Versandkosten). Einzelheft 25,- EUR (Inlandspreise verstehen sich inkl. der jeweils gültigen Mehrwertsteuer). Bestellungen nehmen der Verlag und alle Buchhandlungen im In- und Ausland entgegen. Eine neue Abonnementbestellung gilt zunächst nur für das laufende Kalenderjahr. Das Abonnement verlängert sich automatisch, wenn nicht sechs Wochen vor Ablauf des Kalenderjahres schriftlich gekündigt wird. Die Abonnementgelder werden jährlich im Voraus in Rechnung gestellt und bei Teilnahme am Lastschriftverfahren automatisch abgebucht. Sollte die Fachzeitschrift aus Gründen, die nicht vom Verlag zu vertreten sind, nicht geliefert werden können, besteht kein Anspruch auf Nachlieferung oder Erstattung vorausbezahlter Bezugsgelder. Gerichtsstand für Vollkaufleute ist Ratingen, für alle Übrigen gilt dieser Gerichtsstand, sofern Ansprüche im Wege des Mahnverfahrens geltend gemacht werden.

Urheber- und Verlagsrecht:

Mit Namen oder Signum des Verfassers gekennzeichnete Artikel sind nicht unbedingt die Meinung der Redaktion. Unverlangte Manuskripte werden nur zurückgesandt, wenn Rückporto beigefügt ist. Der Verlag setzt voraus, dass der Autor Inhaber der Urheber- und Verwertungsrechte hinsichtlich sämtlicher Bestandteile der Einsendung ist, also auch bezüglich miteingesandter Abbildungen, Tabellen usw. Mit Annahme des Manuskripts gehen das Recht der Veröffentlichung sowie die Rechte zur Übersetzung, zur Vergabe von Nachdruckrechten, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken, Fotokopien und Mikrokopien an den Verlag über. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der durch das Urheberrechtsgesetz festgelegten Grenzen ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig.