

REPRODUZIERBAR FERTIGEN

AKUSTISCHE EIGENSCHAFTEN STEuern DEN FLIESSPRESSPROZESS ZUR VERARBEITUNG VON SMC Seit vielen Jahren wird SMC zum Herstellen von Außenhaut-Bauteilen unter anderem auch für Fahrzeuge im Premiumsegment eingesetzt. Eine große Herausforderung dabei ist die reproduzierbare Fertigung und die Minimierung der Ausschussrate. Durch den Einsatz der Ultraschallmesstechnik kann der Verarbeiter nicht nur die Qualität des SMC-Halbzeugs kontrollieren, sondern auch den Verarbeitungsprozess überwachen und steuern.

Für den Einsatz von SMC (Sheet Moulding Compound) zur Herstellung von langfaserverstärkten Kunststoffbauteilen, insbesondere im Außenhautbereich in der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie, sprechen

verschiedene Eigenschaften des Materials. Die hohe Temperaturbeständigkeit in Kombination mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten in der Größenordnung von Stahl erlaubt eine On-line-Lackierung dieser Bauteile. Weiterhin sind Bauteile mit großen Umformgraden und sehr guten Oberflächenqualitäten herstellbar. Schließlich gestattet die Durchlässigkeit für elektromagnetische Wellen eine Integration von kompletten Antennensystemen in SMC-Bauteile. Aktuelle Produktbeispiele sind die Heckdeckel des BMW 6er, des Mercedes-Benz CL und des VW Eos.

Aus der Anwendung des Materials im Premiumsegment der Fahrzeughersteller

ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die Qualität der Bauteile. Insbesondere die reproduzierbare Herstellung der geforderten Class-A-Oberfläche sowie die Minimierung der Ausschussrate stellt eine große Herausforderung für die Verarbeiter und SMC-Halbzeughersteller dar. Da der Einfluss von Material- und Prozessschwankungen auf die Qualität der produzierten Bauteile erheblich ist, kommt der Überwachung der entsprechenden Parameter eine entscheidende Bedeutung zu.

Überwachung des Verarbeitungsprozesses

Der Einsatz der Ultraschallmesstechnik gibt dem SMC-Verarbeiter die Möglichkeit neben der Kontrolle der Halbzeugqualität auch eine Überwachung des Verarbeitungsprozesses durchzuführen. Schließlich kann das Ultraschallsignal dafür genutzt werden, den Verarbeitungsprozess zu steuern indem bei Erreichen einer definierten akustischen Eigenschaft der Prozess beendet und das Bauteil entformt wird.

Diese Möglichkeiten beruhen auf der Eigenschaft, dass die Ausbreitung von Schallwellen von den mechanischen Eigenschaften des durchschallten Mediums abhängt. So steigt die Geschwindigkeit einer longitudinalen Schallwelle mit dem Speichermodul des Materials an. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, bei Duroplasten den Verlauf der Vernetzungsreaktion durch eine Betrachtung des Schallgeschwindigkeitsverlaufs zu verfolgen und Rückschlüsse auf die mechanischen Eigenschaften zu ziehen.

Die Überwachung der Halbzeugqualität kann hinsichtlich verschiedener Materialparameter geschehen. Zunächst ist eine Kontrolle des Fasergehalts aufgrund der unterschiedlichen akustischen Eigenschaften von Glas und SMC-Paste möglich. Im SMC-Halbzeug kann mit einem steigenden Glasfasergehalt eine erhöhte Schallgeschwindigkeit detektiert werden.

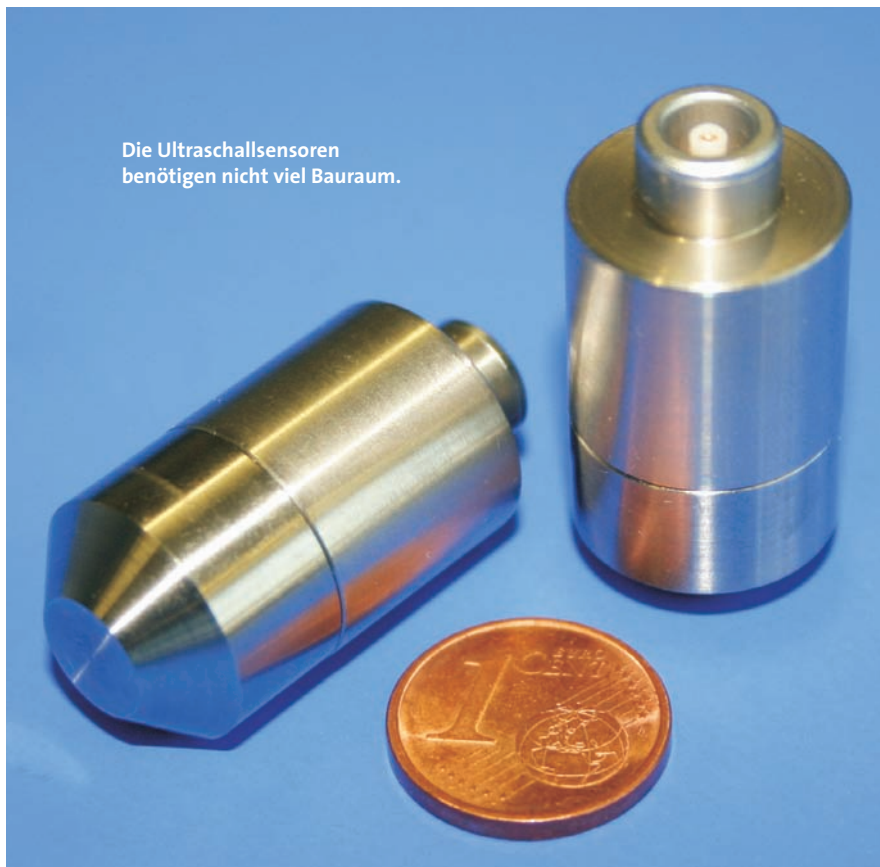


Autoren

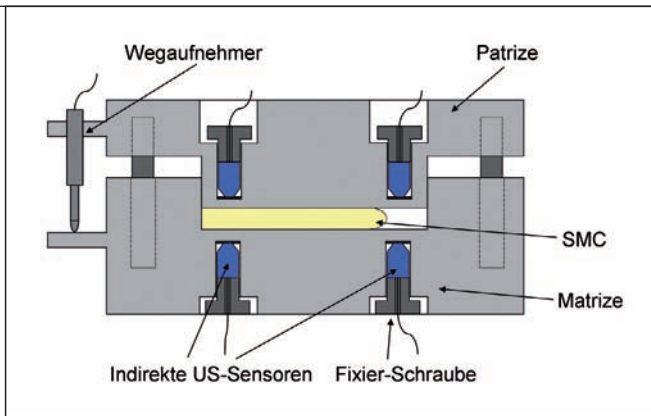
Prof. Dr. Dr. E.h. Walter Michaeli,
Institutsleiter, IKV Institut für
Kunststoffverarbeitung
RWTH Aachen, Aachen,



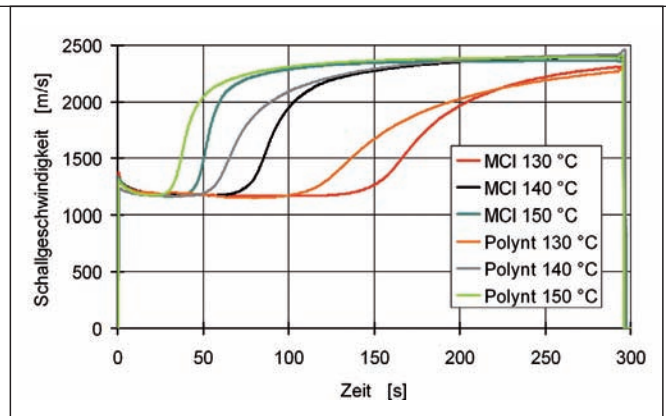
Christoph Kremer, Arbeitsgruppe
Faserverstärkte Kunststoffe/
Pressen/CAE, IKV, Aachen,
kremer@ikv.rwth-aachen.de



Die Ultraschallsensoren benötigen nicht viel Bauraum.



Aufbau eines Presswerkzeugs mit indirekten Ultraschallsensoren



Einfluss der Verarbeitungstemperatur bei unterschiedlichen SMC-Materialien

Darüber hinaus kann der Einfluss der Lagerbedingungen (wie Dauer und Temperatur) auf die Fließ- und Vernetzungseigenschaften des Halbzeugs gezeigt werden. Da diese Parameter einen entscheidenden Einfluss auf die spätere Qualität des Bauteils haben, kommt deren Überwachung eine große Bedeutung zu. In der industriellen Praxis hat sich für diese Aufgabe jedoch noch kein Verfahren flächendeckend etabliert.

Überwachung von Halbzeugeigenschaften

In Versuchen am IKV wurde zur Überwachung der Fließeigenschaften ein Pressrheometer mit Ultraschallsensoren ausgestattet, so dass parallel zu rheologischen Untersuchungen die Schallsignale aufgenommen werden konnten. Die Schwankungen in der Materialviskosität sind bei der Lagerung des Materials bei Raumtemperatur deutlich größer als bei einer Lagerung bei Temperaturen von +5 oder +12 °C. Ein einheitlicher Anstieg der Materialviskosität als Funktion der Lagerzeit konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Nach einem nahezu einheitlichen Abfall der Schallgeschwindigkeit nach zwei Wochen Lagerung steigen die Werte für den weiteren Zeitraum nahezu stetig an. Während in den ersten sechs Wochen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Lagerbedingungen deutlich werden, zeigt sich gegen Ende des untersuchten Zeitraums ein überproportionaler Anstieg der Schallgeschwindigkeit für die bei Raumtemperatur eingelagerten Proben.

Die Entwicklung von Härtungseigenschaften wurde durch das Auswerten der Schallgeschwindigkeitsamplitude analysiert. Dieser Wert beschreibt die Zunahme der Schallgeschwindigkeit während der Bauteilhärtung als Folge des steigenden Vernetzungsgrades. Es zeigt sich eine Abnahme der Amplitude, die auf eine sinkende Schallgeschwindigkeit im ausgehärteten Zustand zurückzuführen ist. Das bedeutet, dass die Schall-

geschwindigkeit nach der Erwärmung des Materials identisch und damit unabhängig von den Lagerbedingungen in den untersuchten Grenzen ist. Die Abnahme der Schallgeschwindigkeit im ausgehärteten Zustand wird mit einer Degradation der peroxidischen Härterkomponente begründet. Diese Degradation verstärkt sich mit der Lagerdauer und einer höheren Lagertemperatur.

Neben der Kontrolle von SMC-Halbzeugen bietet die Ultraschallmesstechnik Möglichkeiten zur Prozessüberwachung und Steuerung im Fließpressprozess. Um dies zu untersuchen, wurde ein Presswerkzeug mit Ultraschallsensoren und einer digitalen Messuhr zur Bestimmung der aktuellen Fließkanalhöhe ausgerüstet. Die Messung der Schalllaufzeit bei Kenntnis der aktuellen Fließkanalhöhe und der durchschallten Vorlaufstrecke im Werkzeug erlaubt die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Material zu jedem Zeitpunkt des Prozesses.

Im Rahmen der Untersuchung wurde auch der Verlauf der Schallgeschwindigkeit während der Verarbeitung von zwei verschiedenen Class-A-SMC-Typen der Firmen Menzolit Compounds International (MCI) und Polynt bei unterschiedlichen Werkzeugtemperaturen verglichen. In der ersten Prozessphase wird das Material durch das heiße Werkzeug erhitzt. Dabei sinkt die Schallgeschwindigkeit im Material aufgrund der abnehmenden Viskosität auf ein Minimum. Nach dem Einsetzen der Härtungsreaktion steigt die Schallgeschwindigkeit rapide an und erreicht gegen Ende der Reaktion einen Grenzwert.

Aus dem Vergleich wird deutlich, dass eine Erhöhung der Werkzeugtemperatur um 10 °C nahezu eine Halbierung der Inhibitionszeit zur Folge hat. Weiterhin

fällt der unterschiedliche Verlauf der Schallgeschwindigkeitskurve zwischen den beiden Materialien auf. Während das Material von Polynt eine kürzere Inhibitionszeit aufweist, verläuft die Schallgeschwindigkeitskurve für das Material von MCI steiler, was auf eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit in dieser Phase hinweist. Das Ende der Reaktion, gekennzeichnet durch ein starkes Abflachen der Schallgeschwindigkeitskurve, wird von beiden Materialien nahezu zeitgleich erreicht.

Ultraschall als Auslöser für Steuersignale

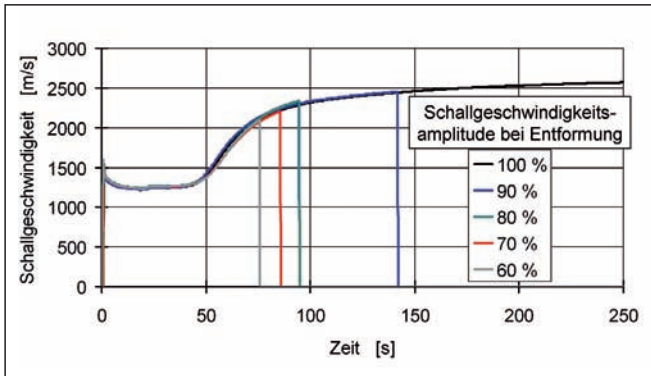
Bei weiteren Versuchen wurden die Eigenschaften des Ultraschallsignals zur Verfolgung der Materialvernetzung genutzt, um eine Steuerung der Presse zu realisieren. Dazu wird die Schallgeschwindigkeit in der Messwertfassung in eine elektrische Spannung umgewandelt. Diese Spannung wird in einer externen Steuereinheit weiterverarbeitet, so dass bei Überschreiten eines zuvor definierten Grenzwerts ein Steuersignal an die Presse gesendet wird. Durch dieses Steuersignal kann beispielsweise das Entformen des Bauteils ausgelöst werden.

Zum Test dieses Systems wurden SMC-Bauteile mit dem Class-A-Material von Polynt bei unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten entformt und anschließend hinsichtlich des Vernetzungsgrades sowie der mechanischen und Verzugseigenschaften untersucht. Die Prozesszeit für einen vergleichbaren industriellen Prozess bei einer Wanddicke von 3 mm beträgt 120 bis 140 s.

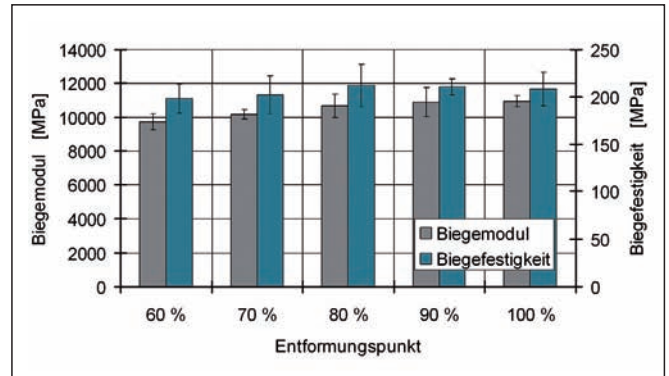
Durch dynamische DSC-Analysen wurde die Nachvernetzung für die einzelnen Prozesspunkte ermittelt und mit dem idealen Reaktionsumsatz ins Ver-

Vernetzungsgrad in Abhängigkeit vom Entformungspunkt

Entformungspunkt [%]	60	70	80	90	100
Vernetzungsgrad [%]	68,2	70,2	70,3	72,4	76,7



Bauteilentformung in Abhängigkeit von der Schallgeschwindigkeit



Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit vom Entformungspunkt

hältnis gesetzt. Mit dieser Analyse-methode konnte ein leicht abnehmender Ver-zugsgrad bestimmt werden.

Um die Entformungspunkte hinsicht-lich der mechanischen Eigenschaften be-werten zu können, wurden Dreipunkt-Biegeversuche nach DIN EN ISO 14125 durchgeführt. Die Ergebnisse für den Biegemodul zeigen eine abnehmende Tendenz für frühere Entformungspunk-

te. Dabei fällt der Wert von etwa 11 GPa auf 9,7 GPa bei einer Entformung bei 60 % der Geschwindigkeitsamplitude. Für die Biegefestigkeit ist hingegen keine eindeutige Tendenz erkennbar. Hier schwankt der Wert für alle Entformungs-punkte um 200 MPa. Aus diesen Ergeb-nissen folgt, dass eine Variation der Bau-teilentformung für diesen Bereich keine nennenswerten Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile bei Raumtemperatur hat.

Von großem Interesse ist weiterhin die Qualität der erreichten Bauteiloberfläche. Ein bestimmter Bereich der Bauteile wurde mit dem optischen Messverfahren ATOS der Gesellschaft für optische Mess-technik am Institut für Bildsamen Formge-bung der RWTH Aachen digitalisiert und anhand von Schnitten in der Bauteilebene dargestellt.

Beispielhaft werden die aus den Schnitten abgeleiteten Oberflächentopo-graphien von zwei Bauteilen, eines bei 100 % und eines bei 70 % der Schall-geschwindigkeitsamplitude entformt, zur Bewertung herangezogen. Während die Oberfläche des spät entformten Bauteils lediglich Abweichungen von -0,06 bis +0,11 mm aufweist, zeigt das Bild des früh entformten Bauteils eine stärkere Verformung im Bereich von -0,15 bis

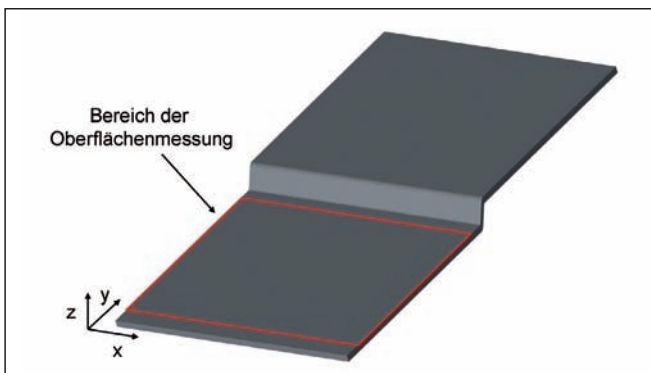
+0,2 mm. Diese Beobachtung gilt ebenso für die anderen Bauteile, wobei pro Ent-formungspunkt drei Bauteile hergestellt und vermessen wurden. Zusätzlich fällt auf, dass die Schwankungen der Maßhalt-igkeit bei früh entformten Bauteilen stark zunehmen. Der erhöhte Verzug kann auf Reaktionsvorgänge im Material nach der Entformung und somit nach dem Wegfall des Formzangs durch das Werkzeug zurückgeführt werden. Aussa-gen über die Entstehung von Kurzwellig-keit können mit diesem Verfahren nicht getroffen werden. Für die sehr früh ent-formten Bauteile kann jedoch eine deut-liche Zunahme der Kurzwelligkeit festge-stellt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Ultraschallmesstechnik geeignet ist, Änderungen im SMC-Halb-zeug zu detektieren. Darüber hinaus er-gibt sich die Möglichkeit, eine Steuerung des Pressprozesses über die akustischen Eigenschaften des Bauteils zu realisieren. Es zeigt sich, dass für Bauteile mit hohen Anforderungen an Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität eine lange Härtezeit vorteilhaft ist während für Bauteile mit rein mechanischen Anforderungen die Prozesszeit durchaus verkürzt werden kann. Mit dem vorgestellten Verfahren lassen sich Zykluszeiten auf ein erforder-liches Minimum reduzieren und Schwankungen in Prozessparametern durch eine automatisiert angepasste Pro-zesszeit ausgleichen. ■

NEUE TECHNOLOGIE

Steuerung des Pressprozesses

Der Einsatz der Ultraschallmesstechnik ermöglicht eine ganzheitliche Überwachung der Fließpressverarbeitung von Sheet Moulding Compound. Sowohl Eigenschafts-schwankungen des Halbzeugs als Funktion der Zeit und der Lagerbedingungen als auch der Einfluss verschiedener Prozesspara-meter können mit einem indirekten Messsystem, das heißt ohne Markierungen auf dem Bauteil zu hinterlassen, detektiert werden. Zur Qualitätsüberwachung kann über die Messung der Schallgeschwindigkeit ein Steuersignal zur Prozesssteuerung erzeugt werden, so dass eine Erhöhung der Reproduzierbarkeit von Bauteileigenschaften erzielt werden kann.



Untersuchte Bauteilgeometrie

Das Forschungsvorhaben 14985 N der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde im Programm zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert. Beiden Institutionen gilt der ausdrückliche Dank der Autoren.