

Optimierung eines dynamischen Mischsystems

Bei einem gemeinsam von Sika und Sulzer Mixpac entwickelten Mischsystem zum dynamischen Mischen und Auftragen von 2-Komponentenklebstoffen liegt der Fokus vor allem auf einer optimierten Mischqualität, erhöhter Applikationssicherheit und Abfallminimierung.

David Tobler, Samira Jafari, Joachim Schöck

Die beim Austausch von Windschutzscheiben zum Einsatz kommenden Klebstoffe basieren derzeit weltweit zu über 95 % auf der 1-Komponenten-Technologie. Ungeachtet der Vorteile dieser Technologie, wie die große Akzeptanz und breite Verfügbarkeit bei vergleichsweise geringen Kosten, sind auch die Beschränkungen dieser Technologie, wie der langsame Härtungsprozess und die Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen am Einsatzort, wohlbekannt. Die Sicherheit solcher Klebungen in der Ersatzverglasung erfolgt üblicherweise durch Tests mit teilweise gehärtetem Klebstoff unter Verwendung der Crashtest-Norm FMVSS212 der US Highway Traffic Safety Administration. Einige Automobilhersteller jedoch stellen erhöhte Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Klebung. Sie verlangen als zusätzliche Sicherheitsanforderung die Gewährleistung der ursprünglichen Karosseriesteifigkeit. In den vergangenen Jahrzehnten hat es diverse Versuche in der Branche gegeben, um Lösungen beziehungsweise Abhilfen für diese Limitierungen der 1K-Klebstoffe zu finden. Bis jetzt allerdings waren die alternativen Technologien nur in geringem Maße erfolgreich. Das dynamische Misch- und Dosiersystem PowerCure von Sika wurde mit der Zielsetzung entwickelt, diese Mängel zu beseitigen, das Austragen des Klebstoffs zu vereinfachen, die Zeit bis zum Wiederbenutzen des Fahrzeugs zu reduzieren, die Abfallmenge zu senken und vor allem die Anwenderfreundlichkeit zu verbessern.

Die Wahl der Technologie: dynamisches vs. statisches Mischen

Die richtige Wahl des Misch- und Dosiersystems spielt eine wesentliche Rolle beim erfolgreichen und zuverlässigen Auftragen von schnellhärtenden Klebstoffen. In der gesamten Prozesskette sind die Mischsysteme nach wie vor ein entscheidendes Element bei der erfolgreichen Dosierung von 2-Komponentenmaterialien. In der Vergangenheit waren statische Mischsysteme wegen ihrer Einfachheit, der problemlosen Anwendung und ihrer relativ geringen Kosten die bevorzugte Wahl (*Bild 1*). Trotz dieser Vorteile kann die Verwendung von statischen Mischern bei einer ungünstigen Kombination aus Klebstoffeigenschaften und Einsatzbedingungen zu ungenügenden Mischergebnissen führen. So ist zum Beispiel das Mischen und Dosieren mit statischen Mischern eine Herausforderung, wenn hochviskose Klebstoffe mit sehr hohen Viskositäts- oder Mischungsverhältnissen verwendet werden. Für solche anspruchsvollen Anwendungen, bei denen eine höhere Präzision und Effizienz erforderlich sind, bieten dynamische Mischsysteme eine hervorragende Alternative (*Bild 2*). Die schnell drehenden Rotoren erzeugen hohe Scherkräfte sowie die Bildung von mehrdimensionalen Mischstrukturen. Somit wird eine schnelle Dispersion und Mischung erreicht (*Bild 3*). Die erforderliche Mischqualität wird in einer signifikant kürzeren Zeit und Mischstrecke erreicht. Dies ermöglicht das Design eines kürzeren und kleineren Mischers

und folglich eine Reduktion des Material- und Kunststoffabfalls bei zugleich höherer Auftragspräzision. Durch die schlanke Bauweise ist der Druckverlust eines dynamischen Mischsystems niedriger, was eine einfachere Konstruktion des Austragengeräts ermöglicht. Zusätzlich reduzieren die hohen Scherkräfte die Viskosität der üblichen hochviskosen und scherverdünnenden Klebstoffe um Größenordnungen und damit auch den Druckverlust sowie die erforderliche Austragskraft des Systems. In *Bild 4* sind die typischen Scherraten dargestellt, die beim Austragen eines typischen hochviskosen Klebstoffs mit statischen und dynamischen Mischsystemen auftreten. Das extreme Mischungsverhältnis (50:1) der Booster-/PowerCure-Technologie von Sika ermöglicht zudem die Formulierung von Klebstoffen, die sich sofort von der Scherbelastung erholen und bei der Dosierung die gleichen hervorragenden Eigenschaften hinsichtlich Standfestigkeit und Abrissfaden vergleichbarer 1-komponentiger Klebstoffe aufweisen.

Entwicklung und Optimierung von PowerCure

Zuverlässige Vorhersage-Tools und genaue Messmethoden sind entscheidende Voraussetzungen für eine erfolgreiche Produktinnovation und einen effizienten Entwicklungsprozess. Im Rahmen der Zusammenarbeit von Sika und Sulzer Mixpac wurden verschiedene numerische Methoden und Messverfahren zur Vorhersage der optimalen Durchmischung und der



Bild 1 > Statische Mischer im Portfolio von Sulzer Mixpac zum Mischen von 2K-Klebstoffen



Bild 2 > Das dynamische Misch- und Dosiersystem PowerCure von Sika

chemischen Zusammensetzung des PowerCure-Systems entwickelt. Im Folgenden wird speziell die Entwicklung eines numerischen Algorithmus zur genauen Vorhersage der Mischgüte dynamischer Mischer beschrieben. Herkömmliche, kommerziell erhältliche Tools versagen hier darin, Ergebnisse in der geforderten Geschwindigkeit und Genauigkeit zu liefern.

• Bewertung des Mischens in dynamischen Mixern

Die numerische Strömungsmechanik (engl. Computational Fluid Dynamics, CFD) ist ein häufig verwendetes Hilfsmittel in der Auslegung und Optimierung von Produkten. Standardmäßig werden damit der Zustand und die Bewegung von Fluiden simuliert. Neuerdings können aber auch zunehmend komplexere Phänomene berücksichtigt werden. Trotz der großen Fortschritte in der Numerik erweist sich eine genaue Vorhersage feiner Mischstrukturen in dynamischen Prozessen aufgrund der exzessiven numerischen Diffusion als eine Herausforderung für herkömmliche CFD-Verfahren. Laminare Mischer beruhen auf der Erzeugung,

Aufteilung und Streckung zunehmend feinerer Materialschichten, die sich schwierig auf konventionellen CFD-Gittern darstellen lassen.

Ein bekannter Ansatz, um dieses Problem zu überwinden, besteht darin, die Mischstruktur und das Konzentrationsfeld nicht durch die Lösung von Skalargleichungen innerhalb des Berechnungsgebiets zu ermitteln, sondern durch die Verwendung diskreter konzentrationskodierter Tracerpartikel. Im Unterschied zum Skalarfeld, das auf demselben Gitter gelöst wird und mit der Strömung gekoppelt ist, können die Tracer auf einem separaten Gitter verfolgt werden und sind im Wesentlichen diffusionsfrei. Für die Simulation statischer Mischer kann diese Methode relativ unkompliziert implementiert werden, weshalb sie im letzten Jahrzehnt vermehrt eingesetzt wurde. Im Unterschied zu statischen Mixern besitzen dynamische Mischer ein sich zeitlich änderndes Strömungsfeld. Daher ist der zuvor beschriebene Ansatz der Offline-Verfolgung einer begrenzten Zahl von Tracern in einem stationären Strömungsfeld nicht mehr anwendbar.

• Methodik und Algorithmus

Im Fall von instationären Bedingungen werden die Tracerpartikel mit einem Zeitstempel versehen. Analysiert man alle Tracerpartikel, die eine bestimmte Auswerteebene zu unterschiedlichen Zeiten passieren, erhält man eine unkorrekte Mischstruktur. Für ein korrektes Ergebnis ist es daher notwendig, nur die Tracerpartikel zu beobachten, die zur selben Zeit die Auswerteebene erreichen. Diese Tracer werden dann zu den Einlässen zurückverfolgt und in Abhängigkeit von ihrer Herkunft einer Konzentration zugewiesen (*Bild 5*). Dieser Algorithmus wurde in einem bereits existierenden firmeneigenen Tool implementiert und für die hochpräzise Bewertung der Mischungsqualität innerhalb des Design- und Entwicklungszyklus von PowerCure eingesetzt.

• Verifizierung und Validierung

Alle firmeneigenen numerischen Tools unterliegen einer gründlichen Überprüfung und Validierung, bevor sie in der Produktentwicklung eingesetzt werden. Sowohl der Versuchsaufbau als auch die Berechnungsmodelle müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt sein, um zuverlässig ein hohes Maß an Vergleichbarkeit zu erreichen. Die aus der Simulation berechneten Mischstrukturen wurden mit Strukturen verglichen, die mittels optischer Verfahren gemessen wurden. In *Bild 6* ist der Versuchsaufbau für die Erfassung der Mischstrukturen schematisch dargestellt. Die Validierungsstudie bestätigte die Anwendbarkeit und die Genauigkeit der Methode.

• Auslegung und Optimierung

Während der Auslegung und Optimierung des dynamischen Mixers PowerCure wurden sowohl CFD als auch der oben beschriebene Algorithmus zur Bewertung der Mischgüte eingesetzt. Im Rahmen der Kooperation von Sika und Sulzer Mixpac wurden in mehreren Zyklen mannigfaltige Mischgeometrien entworfen, simuliert, gemessen und optimiert. Von vielversprechenden Designvarianten wurden Prototypen angefertigt und diese mit realen Klebstoffen überprüft. Aufgrund des batteriebetriebenen Antriebs des Dispensers war es von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des PowerCure-Systems, eine ausreichende Mischgüte bei möglichst niedriger Rotationsgeschwindigkeit zu erreichen. Des Weiteren wurde die Geometrie von Vormischkammer und Rotor dahingehend optimiert, dass es nur zu mi-

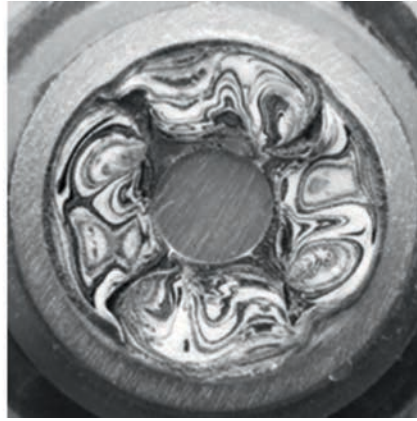


Bild 3 > Typische Mischstruktur bei statischem (links) im Vergleich zum dynamischen Mischen (rechts); dynamisches Mischen ermöglicht ein mehrdimensionales Mischen und Dispergieren

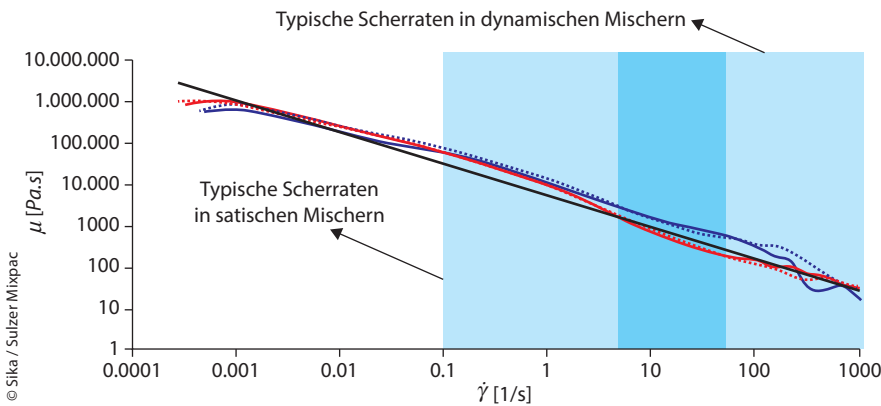


Bild 4 > Vergleich der typischen Scherraten in statischen und dynamischen Mixern; hohe Scherwerte führen zu einer deutlichen Abnahme der Komponentenviskosität und folglich der erforderlichen Kraft und des Drucks im Dispenser

Partikel zu unterschiedlichen Zeiten am Einlass

Partikel haben zur selben Zeit t_0 die Ebene 2 erreicht

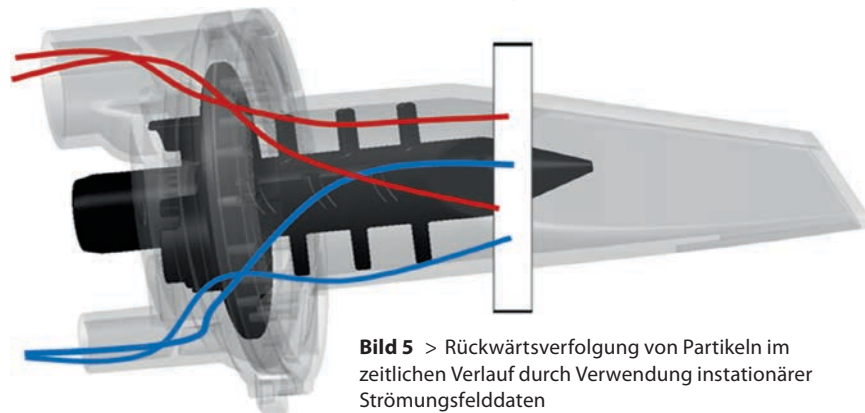


Bild 5 > Rückwärtsverfolgung von Partikeln im zeitlichen Verlauf durch Verwendung instationärer Strömungsfeldern

nimalen Lufteinschlüssen während der Befüllung des Mixers kommt. Die effektive Auslegung des Mischerrotors führt zu einer wirksamen Verteilung und Durchmischung des Boosters schon bei relativ niedriger Rotationsgeschwindigkeit, wo-

durch der Temperaturanstieg im Material reduziert wird.

• **PowerCure als Benchmark**

Die Booster-/PowerCure-Technologie von Sika ermöglicht es, die Härtung ei-

nes existierenden feuchtigkeitshärtenden Klebstoffs zu beschleunigen. Dabei werden am Ende des Klebprozesses immer die gleichen Klebstoffeigenschaften erreicht – unabhängig vom Härtungsmechanismus und der Größe der ausgetragenen Raupe. Als die Booster-Technologie erstmals eingeführt wurde, war ihre Anwendung hauptsächlich auf die Anwendung mittels Pumpe aus dem Fass beschränkt. Die Booster-Systeme für Kartuschen waren so aufgebaut, dass eine zusätzliche Komponente auf eine Standard-1K-Kartusche aufgeschraubt werden konnte. Der Booster-Adapter von Sika enthielt einen zahnradgetriebenen Pumpmechanismus für die Dosierung der Beschleunigerpaste in Abhängigkeit von der Viskosität des Klebstoffs und der Beschleunigerpaste. Zusätzlich erforderte er ein Vorwärmen der Kartuschen zur Reduktion der Klebstoffviskosität, was sich limitierend auf Genauigkeit, Einfachheit und Zuverlässigkeit der Booster-Anwendungen aus Kartuschen auswirkte. Dank der Entwicklung des PowerCure-Systems konnten diese Probleme überwunden und eine benutzerfreundliche und weithin akzeptierte Lösung entwickelt werden.

Die Schlüsselaspekte, die für den Erfolg des PowerCure-Systems ausschlaggebend waren, sind nachfolgend aufgeführt.

- **Düsengröße:** Nur mit einem dynamischen Mischer war es möglich, die erforderliche Mischeffizienz bei einer gebräuchlichen Düsengröße zu erreichen.
- **Austragsgerät:** Da das dynamische Mischen einen neuen Dispenser erforderlich machte, eröffnete dies die Gelegenheit, ein komplett neues System zu entwickeln – und zwar mit dem Fokus auf der Erleichterung des Arbeitsprozesses und den tatsächlichen Anforderungen des Anwenders, wie beispielsweise:
 - einfacher Austausch einer Kartusche, sogar ohne Berühren des Mixers,
 - Mehrfachverwendung teilweise gefüllter Kartuschen,
 - ausreichende Leistung, um hochviskose Klebstoffe austragen und mischen zu können, selbst bei Materialtemperaturen von unter 0 °C,
 - gleichmäßige Dosierung und Mischgüte bei unterschiedlichen Austragsgeschwindigkeiten.
- **Leistung:** Da das Mischen ungefähr 80 % des gesamten Leistungsverbrauchs des PowerCure- Dispensers ausmacht, wurden als Kennwert für eine akzeptable Betriebsdauer mit der

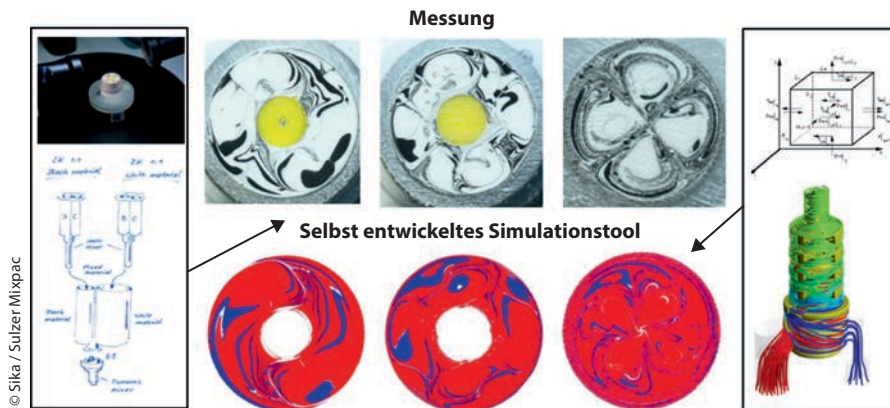


Bild 6 > Validierung der in dynamischen Mixern erhaltenen Mischstrukturen im Vergleich zur Messung an verschiedenen Stellen innerhalb des Mixers

verfügbaren Akkutechnologie die Drehzahl des Mixers pro Milliliter extrudierten Klebstoffs identifiziert und optimiert.

Erweiterung des PowerCure-Systems

Die PowerCure-Plattform wurde mittlerweile um zahlreiche Dicht- und Klebstoffe auf Polyurethanbasis, silanterminierte Polymere (STP) und um die Silikon-Chemie erweitert. Auf diese Weise war es möglich, sowohl Kunden in der Neuproduktion von Schienenfahrzeugen, Bussen, Anhängern und Wohnwagen als auch auf die Ersatzverglasung spezialisierte Unternehmen und Baufachbetriebe zu beliefern. Der Vorteil des PowerCure-Systems für den Kunden liegt in der Beschleunigung

und Optimierung des Klebprozesses sowie in einer gleichzeitigen Verbesserung der Produktqualität. Somit wird es vielen Anwendern ermöglicht, von den schnellhärtenden Klebstoffen zu profitieren, da das System die Investitionshürde im Vergleich zu traditionellen Dosiersystemen erheblich senkt.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen einer Kooperation zwischen Sika und Sulzer Mixpac wurde ein neuartiges dynamisches Mischsystem entwickelt. Dieses erhöht die Applikationsqualität einer kombinierten Anwendung aus hochviskosem Klebstoff mit einer Booster-Komponente. Die darin imple-

mentierte dynamische Mischtechnologie ermöglicht eine bessere Durchmischung, einen geringeren Energieverbrauch, weniger Abfall und ein exakteres Austragen des Klebstoffs. Für die Designoptimierung des dynamischen Mixers wurde ein eigen dafür entwickelter hochmoderner Algorithmus zur Bewertung der Mischqualität in die vorhandene Simulationsumgebung implementiert.

Die Autoren

David Tobler

(tobler.david@ch.sika.com)

leitet bei der Sika Services AG in Zürich den Bereich „Corporate Marketing Transportation Business“.

Dr. Samira Jafari

(samira.jafari@sulzer.com)

ist Leiterin „Strategic Innovation“ bei der Sulzer Mixpac AG in Haag (Schweiz).

Joachim Schöck

(joachim.schoeck@sulzer.com)

arbeitet bei der Sulzer Mixpac AG als Spezialist im Bereich „Computational Fluid Dynamics“ (CFD) und Mischtechnik.