

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2019

ISGATEC®

Kompressible Dichtstoffe in Form gebracht

2K-Dosiersystem für anspruchsvolle automatisierte Anwendungen

Die Applikation von hochviskosen Dichtstoffen in der Luftfahrtindustrie stellt die Bestrebungen nach Automatisierung vor neue Herausforderungen. Um eine prozesssichere Produktion zu gewährleisten, bedarf es vieler Technologien. Eine Kombination mit dem entsprechenden Know-how der Prozessentwicklung eröffnet neue Möglichkeiten in der Versiegelung von Strukturbauteilen (Bild 1).

Bauteilversiegelung – ein notwendiges Übel

Bei der Herstellung von Flugzeugen und ihren einzelnen Strukturbauteilen – unabhängig von der Verwendung von Aluminium oder Faserverbundwerkstoffen – ist neben der Montage die Bauteilversiegelung einer der zeitintensivsten Arbeitsschritte. Hierbei gilt es, sämtliche Bauteilübergänge abzudichten, um ein Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern. Da diese durch Kondensation der Luftfeuchtigkeit an der durch den Flugbetrieb kalten Struktur zu jeder Zeit und in jedem Bereich entstehen kann, ist eine hohe Gründlichkeit notwendig. Weitere Gründe für die Bauteilabdichtung sind zudem die Versiegelung gegenüber dem Flugzeugäußeren und das lückenlose Verschließen der Tankbereiche im Inneren der Flügel. Hierfür gibt es eine Vielzahl verschiedener Anwendungsszenarien und die dazugehörigen Auftragsprofile und -bedingungen. So wird unterschieden zwischen:

- aerodynamischen Anwendungen im Außenbereich von Flugzeugrumpf sowie Flügelflächen,
- Versiegelungen von unzähligen verschiedenen Nietköpfen in hohen Stückzahlen in sämtlichen Bereichen der Struktur und
- diversen Nahtgeometrien am Übergang zwischen miteinander verbundenen Bauteilen.

In der heutigen Produktion von Flugzeugen werden diese Tätigkeiten, unabhängig vom Flugzeughersteller, zum größten Teil manuell durchgeführt. Die Resultate weisen

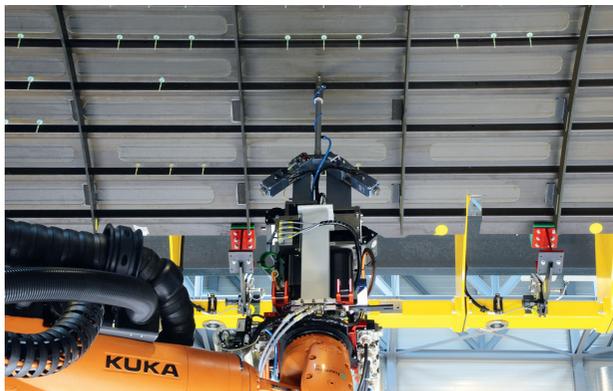
Von Dipl.-Ing. Urs Roemer¹, Gruppenleiter Adaptive Applikationssysteme; Dipl.-Ing. Jens Bölke², Director Key Market Composites | Wind | Aerospace

¹Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Stade | www.ifam.fraunhofer.de/stade

²DOPAG / Hilger & Kern Group | www.dopag.de

Bild 1: Prototypischer Dosier-Endeffektor innerhalb einer CFK-Flugzeugrumpfschale in der Überkopfanwendung

(Bild: Fraunhofer IFAM)



hierdurch eine zu erwartende große Streuung auf: Sie variieren in ihrer Güte sowie Schichtdicke, der aufgetragenen Menge und der Einhaltung der Positionsanforderungen.

Da diese Art von Dichtmasse in einem Flugzeug an sehr vielen Stellen und in einem nicht unbeträchtlichen Umfang verwendet wird, ergibt sich hieraus neben einem hohen Arbeitsanteil ein deutlicher Gewichtsanteil. Aus diesem Grund wurden die zur Verfügung stehenden Materialien in den vergangenen Jahren in ihren Eigenschaften immer weiter optimiert, um bestmögliche Resultate bei dem geringsten Gewicht zu erzielen. So konnte insbesondere mit eingebrachten mikroskopisch kleinen Polymerhohlkugeln die Dichte des Materials deutlich gesenkt werden. Die Verarbeitungseigenschaften der Dichtstoffe sind komplett auf eine manuelle Handhabung zugeschnitten und ermöglichen durch eine sehr hohe Viskosität auch die problemlose Verarbeitung in Überkopfbereichen. Um die Positionstreuung und diverse Nahtgeometrien heutzutage realisieren zu können, ist es bei der Verarbeitung oft notwendig, sehr viele Arbeitsschritte in der Vorbereitung durchzuführen. So gehört das Maskieren der Bauteile zur Regel, um einen ungewollten Kontakt von Dichtstoff und Bauteil beim Materialauftrag sowie der anschließenden Formgebung mithilfe eines Spatels zu verhindern (**Bild 2**). Nach erfolgter Formgebung gilt es, genau diese Maskierung wieder zu entfernen. So ergibt sich typischerweise durch die Maskier- und Demaskierarbeiten ein weitaus größerer Arbeitsanteil, als es der reine Dichtstoffauftrag vermuten lässt. Aus diesem Grund war es eine der Hauptbestrebungen bei der automatisierten Verarbeitung solcher Dichtstoffe neben einer prozessgesicherten Verarbeitung auch die Applikation so sicher zu beherrschen, dass auf die Bauteilmaskierung in Zukunft verzichtet werden kann.



Bild 2: Manuelle Dichtstoffverarbeitung mit Materialauftrag, Formgebung und Demaskierung

(Bild: Fraunhofer IFAM)

Mix-on-Demand als flexible Automatisierungslösung

Zielsetzung des Projekts war es, den heutigen Einsatz von Kartuschen, die sich von Hand oder mit einem Automat vormischen lassen, durch den Einsatz eines robotergeführten Dosier- und Mischwerkzeugs für eine Mix-on-Demand-Anwendung zu ersetzen. Der Materialauftrag sollte mit diesem Werkzeug ebenfalls, innerhalb der gesetzten Toleranzen, realisiert werden. Als Materialversorgung sollten Großgebinde die bisherigen Kleinkartuschen ersetzen.

Um ein solches System an einem Industrieroboter realisieren zu können, werden normalerweise lange Schlauchleitungen von einem Fassentnahmesystem bis zum Dosierkopf eingesetzt. Da die zu bearbeitenden Bauteile aus dem Luftfahrtbereich in ihren Dimensionen den Einsatz eines entsprechend großen Roboters benötigen, galt es, Schlauchlängen von minimal 10 m Länge einzuplanen. Hierbei stellten sich die Eigenschaften der einzelnen Dichtstoffkomponenten als ganz besondere Herausforderung dar. Die Härterkomponente ließ sich mit Standardsystemen problemlos fördern und transportieren. Bei der Grundmasse wurden hier jedoch schnell Grenzen erreicht. Durch die bereits erwähnten Polymerhohlkugeln war die Grundmasse bei ihrer Verarbeitung und Förderung überaus empfindlich gegenüber Drücken und Scherbeanspruchungen. Ein Überschreiten dieser geringen Grenzen führte zu einer unweigerlichen Zerstörung der Füllkörper und hiermit zu einem deutlichen Anstieg der Materialdichte. Die Veränderung ließ sich äußerlich jedoch nicht erkennen und hätte eine unwissentliche Weiterverarbeitung eines zerstörten Materials bedeutet. Hinzu kam eine ungewöhnlich hohe Viskosität der Grundmasse von bis zu 1.700 Pa·s, die bei einem Transport des Materials durch einen Schlauch aufgrund der Rohrreibung ebenfalls zu erheblichen Drücken führte. Wegen dieser Einschränkungen durch die Materialeigenschaften galt es, einen neuartigen Ansatz zur Materialversorgung zu entwickeln.

Bei der Verarbeitung des 2K-Materials ist die Einhaltung des Mischungsverhältnisses von besonderer Relevanz. Es kann gravimetrisch eingestellt werden oder aber über eine entsprechende volumetrische Dosierung. In einem Dosier- und Mischprozess, der

im laufenden Prozess durchgeführt werden muss, ist nur eine volumetrische Dosierung möglich. Aufgrund der sehr hohen Prozesssicherheit und hohen Genauigkeit wurden hierfür zwei, in ihrer Größe dem Mischungsverhältnis angepasste Kolbendosierer ausgewählt. Um im nächsten Schritt bei Durchführung des Dosiervorgangs die Dosiermenge entsprechend dem vorgegebenen volumetrischen Mischungsverhältnis anzupassen, stellte erneut die Beschaffenheit der

Grundmasse eine besondere Herausforderung dar. Wie bereits erwähnt, sind die Füllstoffe in Form von kleinsten Polymerhohlkugeln unter Druck komprimierbar. Das führt letztendlich dazu, dass die Grundmasse als kompressibles Fluid zu behandeln ist. Sobald innerhalb des Dosierkolbens ein Druck aufgebaut wird, erfolgt eine Kompression der Grundmasse von ca. 25%. In diesem Zustand ist es nun notwendig, permanent im korrekten volumetrischen Mischungsverhältnis die beiden Materialien zueinander zu dosieren und in der intelligenten Steuerung die Kompression der Grundmasse für jeden möglichen Füllstand zu berücksichtigen. So ließ sich mit einem Zweikolbensystem die präzise Dosierung eines hochviskosen, kompressiblen Dichtstoffs erfolgreich erzielen.

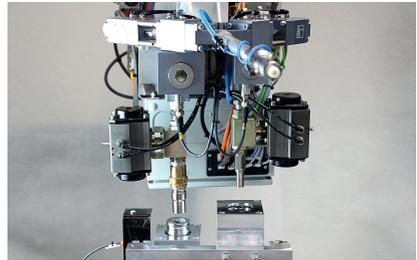


Bild 3: Prototyp des entwickelten Dosier-Endeffektors über der Materialnachfüllstation

(Bild: Fraunhofer IFAM)

Verzicht auf Versorgungsschläuche als Schlüssel zur freien Prozessgestaltung

Nachdem die komplexe Materialdosierung gelöst war, konnte als nächster Schritt die Materialversorgung ergänzt werden. Da im angestrebten Einsatzgebiet die möglichen Bauteile meist sehr große Dimensionen aufweisen, z.B. hat die Flügelschale eines Airbus A350XWB eine Länge von über 30 m, war eine der größten Herausforderungen, einerseits die Materialversorgung so flexibel wie möglich zu gestalten und andererseits materialschonend sowie chargenrein zu arbeiten. So wurde auf die Integration einer Schlauchversorgung über das Robotersystem verzichtet und stattdessen eine stationäre Nachfüllstation entwickelt. Hierbei wurden die Dosierkolben des Roboter-Endeffektors zugleich als Dosierpumpe und als Materialvorrat genutzt. Sobald die Einzelkomponenten verbraucht sind, kann das Dosierwerkzeug mithilfe des Roboters zur Nachfüllstation gebracht und dort über ein Kupplungssystem (**Bild 3**) mit der fassumpfenbasierten Materialversorgung verbunden werden. Exakt auf die jeweiligen Maximaldrücke abgestimmt, lassen sich die Kolbendosierer so wieder befüllen. Nach Abschluss dieses Vorgangs, der nur einige Sekunden in Anspruch nimmt,

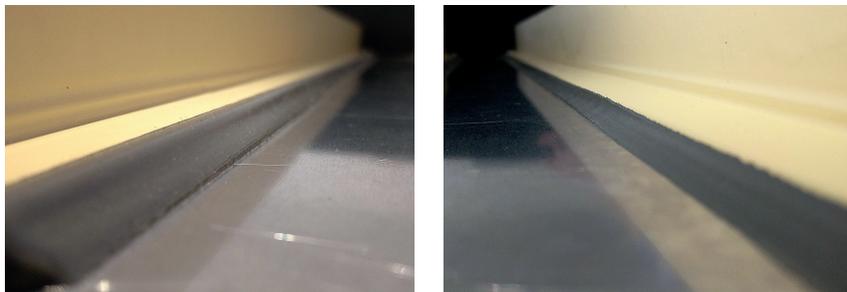


Bild 4: Direkt applizierte Nahtgeometrien an Versteifungsbauteil (Bild: Fraunhofer IFAM)

kann das neu befüllte Werkzeug wieder gelöst und der Abdichtvorgang nach Plan fortgesetzt werden.

Die Vermischung solcher Dichtstoffe erfolgt in den meisten Fällen über ein in Kartuschen integriertes Rührwerk und nimmt einige Minuten in Anspruch. Dies wird zum einen durch die bereits erwähnte hohe Viskosität verursacht und zum anderen durch die geringe Resistenz gegenüber Scherbelastungen. Zudem erfordert das sehr unterschiedliche Mischungsverhältnis der beiden Komponenten von 100:10 (gravimetrisch) einen besonders gründlichen Vermischungsprozess. Für ein Dosiersystem bieten sich hier statische Maschinenmischer an, die über eine Zwangsmischung auf definierter Strecke die Komponenten hinreichend vermengen. Da für ein solches Mischungsverhältnis ein Statikmischer entsprechend lang gestaltet sein muss, ergeben sich hieraus erschwerte Zugänglichkeiten des Roboterwerkzeugs und zusätzlich ein großes Materialvolumen innerhalb des Mixers. Bei einer kontinuierlichen Verarbeitung stellt dies keine große Herausforderung dar. Wenn jedoch die Dosierung nur in sehr kurzen Intervallen stattfindet, kommt es im Anschluss an den Dosiervorgang zu einer Druckentlastung innerhalb des Mixers. So entspannt sich die Grundmasse, welche den deutlich größeren Volumenanteil im Mixer darstellt, und sorgt so für eine Verschiebung des aktuellen Mischungsverhältnisses innerhalb der Mischstrecke. Bei einem erneuten Dosierstoß erfolgt eine erneute Komprimierung, verbunden mit einer Verzögerung des Dosieraustrags – so verschiebt sich das Mischungsverhältnis innerhalb des Systems immer weiter. Um diesen Effekt zu verhindern, wurde es angestrebt, den Druck innerhalb der Mischstrecke konstant zu halten.

Maskierungslose Applikation als Zusammenspiel vieler Variablen

Durch eine erfolgreiche Auslegung und Implementierung der Materialversorgung, der Materialbefüllstation sowie der Dosier- und Mischeinheit galt es, den eigentlichen

Auftrag des Dichtmaterials in einer automatisierten Anwendung zu realisieren. So ließen sich durch das exakte Zusammenspiel verschiedener Prozessparameter, wie Vordruck, Schließzeiten, Abstand und Geschwindigkeiten, unterschiedliche Applikationsprofile über ein anwendungsfallspezifisches Düsensetup umsetzen. Neben der präzisen, kontaktlosen Düsenführung über das Bauteil im Nahtbereich war es von besonderer Bedeutung, im Prozess gänzlich ohne den Einsatz von Maskierungen zu arbeiten. Auch die Nacharbeit und Formgebung wurde in das spezielle Düsendesign integriert (**Bild 4**). Durch die Verarbeitung des Dichtstoffs im Mix-on-Demand-Verfahren konnte das System mit konstanten Materialparametern arbeiten, ohne die Variablen des Dosierprozesses permanent an das Material anpassen zu müssen. Ebenfalls ließ sich der Effekt der Materialdekompression beim Düsenaustritt durch einen möglichst geringen Systemdruck soweit reduzieren, dass dieser Einfluss keine Auswirkungen auf das Applikationsbild zeigte.

Fazit

Für ein sehr anspruchsvolles Anwendungsszenario im Bereich Luft- und Raumfahrt wurde eine technisch weitgreifende Lösung erarbeitet, die zukünftig auch die Integration leichtbauoptimierter Kleb- und Dichtstoffe in vollautomatisierten Anwendungen in Branchen wie dem Nutzfahrzeugbau und dem Schienenfahrzeugbau ermöglicht. Dadurch, dass sie zudem eine sehr hohe Auftragsgüte und ressourcenschonende Verarbeitung gewährleistet, ermöglicht sie die signifikante Steigerung der Produktivität.

Die beschriebenen Ergebnisse sind Teil des Projekts ASAP (FKZ: 20W1311B), welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde.