

Forschungsberichte

iwb

Band 160

Josef Gartner

***Qualitätssicherung bei der
automatisierten Applikation
hochviskoser Dichtungen***

***herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart***

Herbert Utz Verlag

UTZ

Forschungsberichte iw**b**

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iw**b**)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2001

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2001

ISBN 3-8316-0096-1

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 - Fax: 089/277791-01

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Vor- und Nachteile hochviskoser Klebdichtstoffe	1
1.2	Ziel der Arbeit.....	7
2	Stand der Technik	9
2.1	Grundlagen der Dichtungstechnik	10
2.1.1	Überblick über Dichtungsarten	10
2.1.2	Funktionsweise statischer Dichtelemente	11
2.1.3	Werkstoffeigenschaften elastomerer Dichtungen	16
2.1.4	Unterscheidungsmerkmale flüssig aufgetragener, statischer Dichtungen.....	20
2.2	Anforderungsspektrum und Randbedingungen beim Einsatz von CIP-Dichtungen	23
2.2.1	Form- und Lagegenauigkeit	23
2.2.2	Form- und Lagefehler.....	26
2.2.3	Rheologische Randbedingungen	28
2.3	Applikation von Dichtungen	32
2.3.1	Anforderungen an die Steuerung des Handhabungsgerätes	35
2.3.2	Anforderungen an Dosiereinrichtungen zum Auftrag hochviskoser Medien	37
2.3.3	Sensorische Qualitätssicherung während des Auftragsprozesses.....	39
2.4	Schwachstellenanalyse.....	43
3	Dosierfehler als Ursache von Qualitätsproblemen.....	45
3.1	Ursachen von Qualitätsproblemen bei CIP-Dichtungen.....	45
3.2	Einflüsse auf die Qualität von Dichtungen	47
3.3	Ursachen der systematischen Fehldosierung	52
3.3.1	Einflussgrößen systematischer Fehldosierungen	56
3.3.2	Berechnung der systematischen Fehldosierung	57

3.4 Zusammenfassung und Konsequenzen für die Versuchsmethodik	63
4 Versuchsplanung	67
4.1 Eingesetzte Medien	69
4.1.1 Hochviskose Dichtmedien	69
4.1.2 Ersatzsubstanz	70
4.2 Beschreibung der Versuchsbauteile	72
4.3 Eingesetztes Handhabungsgerät und Steuerung	74
4.4 Simulationsumgebung	75
4.5 Datenerfassung und Auswertung	76
5 Systematische Dosierfehler und deren Beeinflussungsfaktoren	81
5.1 Qualifikation der Simulationsumgebung durch Vergleich der Geschwindigkeitsänderungen mit der realen Anlage	81
5.1.1 Geschwindigkeitsänderungen beim Bauteil mit trapezförmigen Konturelementen	82
5.1.2 Geschwindigkeitsänderungen beim Bauteil mit runden Konturelementen	83
5.1.3 Ergebnis	84
5.2 Einfluss der Bauteilgeometrie auf die systematische Fehldosierung	85
5.3 Einfluss der Bahngeschwindigkeit auf die systematische Fehldosierung	87
5.3.1 Fehldosierungen beim Bauteil mit trapezförmigen Konturelementen	88
5.3.2 Fehldosierungen beim Bauteil mit runden Konturelementen	89
5.4 Ergebnis	90
6 Strategien zur Verringerung systematischer Dosierfehler	95
6.1 Verringerung von Geschwindigkeitsveränderungen durch die antizipierte Orientierungsänderung	95
6.1.1 Darstellung der Strategie der antizipierten Orientierungsänderung	95

6.1.2	Einfluss der Bahngeschwindigkeit und des Vororientierungswinkels	97
6.1.3	Ergebnisse	103
6.2	Verringerung des Zeitversatzes zwischen Bahngeschwindigkeit und Signalausgabe mittels steuerungsinterner Algorithmen.....	107
6.2.1	Einsatz unterschiedlicher Bahnschaltfunktionen.....	107
6.2.2	Feststellung des zeitlichen Versatzes	110
6.2.3	Ergebnisse	112
6.3	Verringerung des Zeitversatzes durch automatisiert selbst optimierbare, bahndatenabhängige Parameterfunktionen	115
6.3.1	Erläuterung des Verfahrens	117
6.3.2	Anpassung der Koeffizienten	125
6.3.3	Ergebnisse	127
6.3.4	Kombination der antizipierten Orientierungsänderung mit selbst optimierbaren, bahndatenabhängigen Parameterfunktionen.....	132
6.3.5	Optischer Vergleich der Qualitätsverbesserung durch das entwickelte Kompensationsverfahren.....	137
6.3.6	Verbesserungspotential durch Spline-Interpolation	138
6.3.7	Verbesserungspotential durch Messung des aufgenommenen Dosierpumpenstromes	140
7	Bewertung der Strategien zur Verringerung systematischer Dosierfehler.....	143
7.1	Technische Bewertung und Potentiale der Methoden	143
7.1.1	Orthogonaler Auftrag mit geringer Bearbeitungsgeschwindigkeit.....	143
7.1.2	Antizipierte Orientierungsänderung.....	143
7.1.3	Steuerungsinterne Verzögerungsfunktion.....	144
7.1.4	Selbst optimierbare, bahndatenabhängige Parameterfunktionen...	144
7.2	Wirtschaftliche Bewertung der Methoden	146
8	Zusammenfassung und Ausblick	149
9	Literaturverzeichnis	153

1 Einleitung und Zielsetzung

Üblicherweise bestehen technische Produkte aus mehreren Einzelkomponenten, die miteinander verbunden werden müssen. Durch den zunehmenden Einsatz unterschiedlicher Materialkombinationen geraten bisherige Fügeverfahren an ihre Einsatzgrenzen. Neue, moderne Fügeverfahren wie beispielsweise das Laserstrahlschweißen oder das Kleben treten zunehmend in den Vordergrund [REINHART ET. AL. 2000, GARTNER & MOSANDL 2000].

1.1 Vor- und Nachteile hochviskoser Klebdichtstoffe

Die primäre Funktion einer Verbindung besteht in der Herstellung von Formstabilität und der Übertragung von Kräften. Zusätzlich müssen viele Verbindungen Dichtigkeit gewährleisten. Die Dichtigkeit kann durch den Einsatz geeigneter Fügeverfahren wie beispielsweise Schweißen, Löten und Kleben erreicht werden.

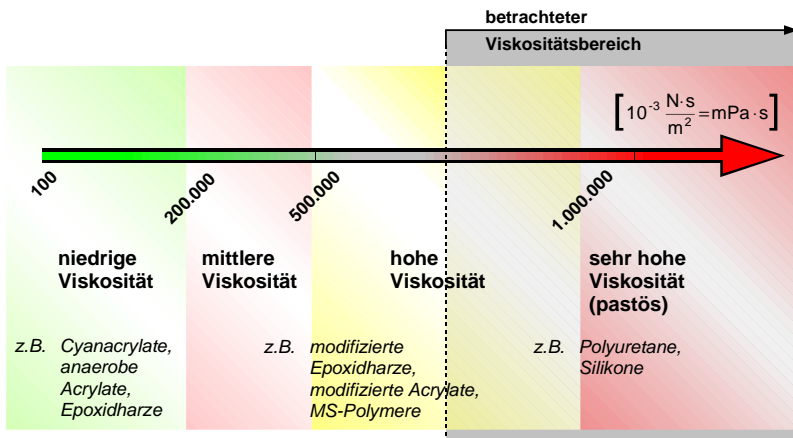


Abbildung 1-1: Schematischer Überblick über Viskositätsspektrum

1.1 Vor- und Nachteile hochviskoser Klebdichtstoffe

Bei der Verbindung unterschiedlicher Werkstoffkombinationen oder komplexer Bauteilgeometrien ist der Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen im Bereich mittlerer Drücke (< 200 bar) und gemäßigter Temperaturen (< 200 °C) häufig eine flexible und kostengünstige Alternative. Dies gilt insbesondere für Kleb- und Dichtstoffe mit hohen Viskositäten (vgl. Abbildung 1-1), da diese aufgrund ihrer hohen Formstabilität im noch unvernetzten Zustand weitere produktionstechnische Vorteile aufweisen (vgl. Abbildung 1-2).

Vorteile	Nachteile
+ Flexibilität gegenüber unterschiedlichen Bauteilgeometrien und Fertigungstoleranzen	− Ungenauigkeiten beim Auftrag werden nicht durch "Nachfließen" ausgeglichen
+ Formstabilität der aufgetragenen Raupe	− Starker Einfluss der rheologischen Eigenschaften auf das Prozeßergebnis
+ Transportstabilität im nicht ausgehärteten Zustand	− Umgebungstemperatur hat starken Einfluß auf die Qualität des Raupenauftrags
+ Geringe Verschmutzungsgefahr durch Fließen nach dem Auftrag	
+ Auftrag und Verbau auf schiefen Ebenen möglich	
+ Automatisierter Auftrag möglich	

Abbildung 1-2: Vor und Nachteile flüssiger, hochviskoser Dichtstoffe

Die Aufbringung dieser Substanzen kann dabei entweder manuell oder automatisiert mit geeigneten Handhabungs- und Dosiergeräten erfolgen. Dabei wird das in Behältern bereitgestellte Medium über Fördereinrichtungen durch einen Zuführstrang zur Dosiereinheit befördert. Durch die vom Handhabungsgerät erzeugte Relativbewegung zwischen der Dosiereinheit und dem Bauteil wird das Medium aufgetragen (vgl. Abbildung 1-3). Die Steuerung des Handhabungsgerätes übernimmt dabei häufig auch die Ansteuerung der Dosiereinrichtung.

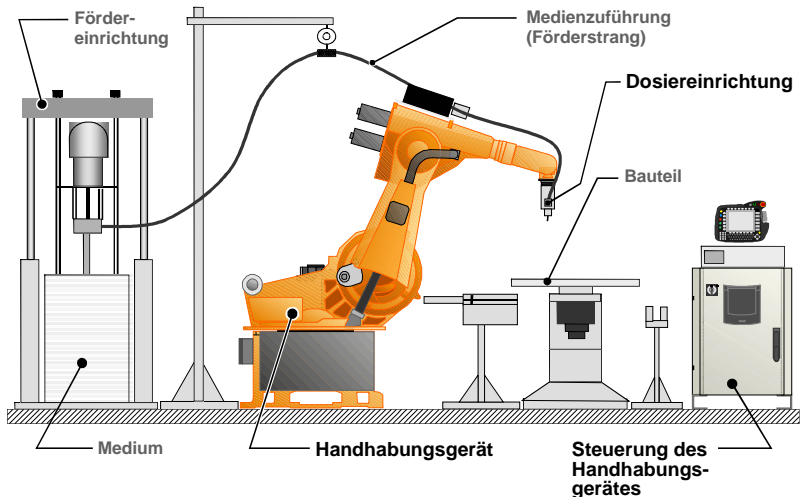


Abbildung 1-3: Schematische Darstellung der Komponenten beim automatisierten Medienauftrag

Durch adäquate Programmierung des Handhabungsgerätes und Abstimmung der Dosierparameter kann die Verteilung des Dichtmaterials auf unterschiedlichste Bauteilgeometrien angepasst werden.

Für den Auftrag der Dichtstoffe auf vorwiegend ebene Flanschgeometrien haben sich kartesische Handhabungssysteme durchgesetzt (Abbildung 1-4).

Für Bauteile mit komplexeren Geometrien kommen häufig Sechssachsen-Knickarmroboter zum Einsatz. Vor allem in der Automobilproduktion werden diese Handhabungsgeräte zum Auftragen von Klebdichtstoffen im Karosseriebereich (vgl. Abbildung 1-5) oder von Dichtstoffen für die Scheibenmontage (vgl. Abbildung 1-6) eingesetzt, da sich diese Handhabungsgeräte durch ein günstiges Verhältnis von Kosten zu Arbeitsraum auszeichnen.

1.1 Vor- und Nachteile hochviskoser Klebdichtstoffe



Abbildung 1-4: Kartesische Auftragsanlage für viskose Klebdichtstoffe [Hugo Kern & Liebers GmbH]



Abbildung 1-5: Sechsen-Knickarm-Roboter; Nahtabdichtung [Kuka Roboter GmbH]



Abbildung 1-6: Sechssachsen-Knickarm-Roboter; Dichtraupenauftrag auf Windschutzscheiben [Quelle: Kuka Roboter GmbH]

Ein automatisierter Dichtstoffauftrag bietet gegenüber einer manuellen Applikation dabei folgende Vorteile:

- Höhere Reproduzierbarkeit der Raupenform und deren Positionierung auf dem Bauteil
- Möglichkeit exakter Parameterangaben für den Applikationsvorgang
- Möglichkeit der Parameterüberwachung und Aufzeichnung

Ein Problem im Hinblick auf die Prozessqualität beim Auftrag hochviskoser Dichtstoffe (Viskosität ≥ 500.000 Millipascalsekunden; vgl. Abbildung 1-1) ist das Auftreten von Dosierfehlern. Dabei kann zwischen zufälligen Dosierfehlern, die zum Beispiel durch Inhomogenitäten des Dichtmediums hervorgerufen werden [WERN 1993, DILTHEY ET AL. 1998, DILGER ET AL. 2000] und systematisch bedingten [DILTHEY ET AL. 1998, REINHART & GARTNER 2001] Dosierfehlern unterschieden werden. Aufgrund des unvorhersagbaren Auftretens zufälliger Dosierfehler können diese nicht gezielt vermieden werden. Ihre Auswirkungen können gegebenenfalls durch

das Einstellen eines möglichst optimalen Prozessfensters begrenzt werden.

Systematisch bedingte Dosierfehler können beispielsweise durch eine fehlerhafte Abstimmung zwischen dem Handhabungsgerät und der Dosiereinheit hervorgerufen werden. Wegen ihres systematischen Charakters können diese Dosierfehler durch eine gezielte Ursachenvermeidung bekämpft werden. Ihre Auswirkungen können somit durch

- experimentelle Abstimmung zwischen Dosier- und Verfahrensparametern und
- eine Verringerung der Verfahrensgeschwindigkeit der Auftragsanlage

begrenzt werden. Auch im Hinblick auf das Vermeiden der Auswirkungen zufälliger Dosierfehler ist eine gezielte Bekämpfung systematischer Dosierfehler notwendig, um den Auftragsprozess innerhalb des gewünschten, optimalen Prozessfensters halten zu können.

Eine experimentelle Abstimmung zwischen Dosier- und Verfahrensparametern ist technisch aufwendig, da durch iterative Auftragsversuche und Veränderung der Parameterwerte versucht wird, ein möglichst gleichmäßiges Auftragsbild herzustellen. Bei geänderten Medieneigenschaften wie beispielsweise Viskositätsänderungen oder Temperaturschwankungen, müssen die Anlagenparameter in der Regel nachjustiert werden.

Eine alleinige Verringerung der Verfahrensgeschwindigkeit während der Mediendosierung ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll und erwünscht. Somit sind die beschriebenen Abhilfemaßnahmen technisch wie wirtschaftlich aufwendig, die Ergebnisse bleiben unbefriedigend.

Eine deutliche Verbesserung ist nur bei Methoden zu erwarten, die zielgerichtet die Fehlerursachen vermeiden. Diese präventive Fehlervermeidung in Kombination mit einer geeigneten On-line-Prozessregelung kann dann als qualitätssichernde Maßnahme eingesetzt werden. Diese weitergehenden Methoden müssen erst erarbeitet werden.

1.2 Ziel der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit werden Grundlagen zur Kontrolle und Überwachung des Auftragsprozesses hochviskoser Dichtmaterialien im Hinblick auf eine Qualitätssicherung erarbeitet und Möglichkeiten dargestellt mit denen die Auswirkungen systematisch verursachter Dosierfehler verringert werden können.

Mit der Verringerung der systematisch verursachten Dosierfehler wird die Prozesskontrolle verbessert. Die bessere Prozesskontrolle ermöglicht zusätzlich zu den erzielten Qualitätsverbesserungen deutliche Produktivitätssteigerungen.