

Eine batchfähige Verbindungstechnik auf Basis von Schmelzklebstoffen

G. Hemken¹, S. Böhm¹, K. Dilger¹, A. Raatz², S. Rathmann²

¹ Institut für Füge und Schweißtechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig

² Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 19b, 38106 Braunschweig

Kurzfassung

Die hier vorgestellten Arbeiten des Teilprojekts B8 aus dem SFB 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ befassen sich mit der Montage aktiver Mikrosysteme. Dabei werden sensorgeführte Montageprozesse sowie die Verbindungstechnik auf Basis von nicht-viskosen Klebstoffsystemen (Schmelzklebstoffen) entwickelt. Bei diesen Entwicklungen wird der Fokus auf die Automatisierbarkeit, die Prozessgeschwindigkeit und die Anwendbarkeit in Batchprozessen gelegt. In diesem Beitrag werden batchfähige Applikationstechniken für den Auftrag von Schmelzklebstoffen, ein System für die sensorgeführte Montage sowie ein Montageprozess von schmelzklebstoffbeschichteten Mikrobauteilen am Beispiel der Montage eines Mikrolinearaktors vorgestellt.

1 Einleitung

Derzeit werden in der Industrie bei der Fertigung von Mikrosystemen die meisten Montageaufgaben an Handarbeitsplätzen durchgeführt, wobei der niedrige Automatisierungsgrad zu einer deutlich schwankenden Produktqualität und einer nur geringen produzierbaren Stückzahl führt [6]. Die Erhöhung der Produktqualität sowie die Steigerung der Produktivität kann auch in der Mikrosystemtechnik (MST) durch Automatisierung von Einzelprozessen oder ganzen Prozessketten erreicht werden. So können durch Bestückautomaten oder Mikromontageroboter die erreichbaren Montagetoleranzen deutlich verringert und die Produktqualität, die Zuverlässigkeit sowie die Produktivität deutlich gesteigert werden. Einen sehr großen Einflussfaktor auf die Montageunsicherheit stellt das gewählte Fügeverfahren dar. Das Kleben unter Verwendung von viskosen Klebstoffen wird in der Mikrosystemtechnik und der Mikroelektronik immer häufiger eingesetzt. Hinsichtlich der Klebstoffapplikation allerdings bestehen vor allem bei sehr kleinen Klebstoffmengen und höheren Klebstoffviskositäten Defizite. Aufgrund der stetigen Miniaturisierung bei Komponenten und Produkten sowie durch die Vielzahl von möglichen Basissubstraten können Dosiervverfahren, die derzeit in der Mikrosystemtechnik eingesetzt werden, wie z. B. Stempeln, Kapillardispensen und Einzeltropfenerzeugung, die an sie gestellten Anforderungen oft nicht erfüllen.

Weitere zentrale Probleme beim Mikrokleben mit viskosen Klebstoffsystemen sind, neben den klebstoffeigenen Prozesszeiten bis zum Erreichen einer Handhabungsfestigkeit ($>>1$ s), die klebstoffabhängige Topf-

zeit, in der der aufgetragene Klebstoff ohne Eigenschaftsänderungen noch verwendet werden kann und die Erzeugung und Applikation der notwendigen sehr kleinen Klebstoffmengen für Fügegeometrien $<200 \mu\text{m}$ [1], [2], [3]. Für den Montageprozess mit viskosen Klebstoffsystemen existieren somit verschiedene Problemfelder: eine erhöhte Haltedauer der Bauteile bis zur Erreichung der Handhabungsfestigkeit, das Verlaufen des Klebstoffs sowie eine erhöhte Montageunsicherheit durch Verkippen von Bauteilen durch ungenügend ausgehärtete Klebstoffe [4].

2 Eigenschaften nicht-viskoser Klebstoffe

Die aufgeführten Einschränkungen viskoser Klebstoffe in der Mikrosystemtechnik werden durch den Einsatz von Schmelzklebstoffen, die als thermoplastische, physikalisch abbindende Klebstoffe bei RT einkomponentig, nicht-viskos und lösungsmittelfrei vorliegen, zu großen Teilen aufgehoben werden. Schmelzklebstoffe, die zu Beginn des Projektes noch nicht in der MST eingesetzt wurden, haben sich als viel versprechende Alternative zu viskosen Systemen gezeigt. Ein wichtiger Vorteil von Schmelzklebstoffen gegenüber viskosen Klebstoffsystemen ist die Möglichkeit, Schmelzklebstoffsysteme auf unterschiedliche Arten vorapplizieren zu können, z. B. als Pulver, Kugel, Folie oder als Dispersion, siehe Bild 1. Der Fügevorgang muss nicht direkt nach der Beschichtung des Substrates mit Klebstoff erfolgen, sondern dieses kann zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt geschehen.

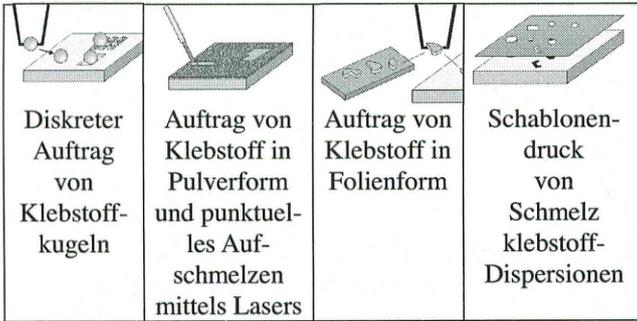


Bild 1 Unterschiedliche Schmelzklebstoffauftragsarten

Dies ist neben unterschiedlichen Möglichkeiten des automatisierten Klebstoffauftrags eine wichtige Eigenschaft für eine wirtschaftlich interessante Fertigung im Batch-Prozess. Der Klebstoff wird erst beim eigentlichen Fügeprozess durch einen Wärmestoß aufgeschmolzen und benetzt bei Kontakt mit dem anderen Substrat dessen Oberfläche. Durch Abkühlen bindet der Klebstoff ab. Die Möglichkeit der Vorapplikation besteht zwar auch bei speziellen viskosen Systemen wie z. B. verschiedenen UV- und VIS-vernetzenden Acrylat- und Epoxidharzklebstoffen, ist aber hier durch ein mögliches Verlaufen dieser Klebstoffe bei der Bauteilhandhabung eingeschränkt.

Bei geeigneter Wärmeleitung erstarren Hotmelt-Klebstoffe sehr schnell, d. h. eine Handhabungsfestigkeit (in der Regel bereits die Endfestigkeit) ist deutlich unter einer Sekunde realisierbar.

3 Klebstoffvorbeschichtung

Ein wichtiger Aspekt beim Einsatz von Schmelzklebstoffen in der MST ist die Herstellung von geeigneten vorapplizierbaren Schmelzklebstoffgeometrien. Die Herstellung von Kornfraktionen, Rundkörnern und Folien hat zum Ziel, Minimalklebstoffmengen für die unterschiedlichen Applikationsprozesse und den anschließenden Fügeprozess zur Verfügung zu stellen.

3.1 Herstellung von geeigneten Klebstoffgeometrien

Bei der Herstellung von *Pulverpartikeln* wurde mit Hilfe von Analysensiebmaschinen und Windsichtern eine Klassierung, d. h. exakte Trennschnitte von Pulverfraktionen erzeugt. So konnten z. B. kommerziell erhältliche Schmelzklebstoffpulver auf PA-Basis auf Fraktionen zwischen 1-32 μm ausgesiebt und gesichtet werden, siehe Bild 2.

Die Trocken-Feinstvermahlung von Pulver zur Erzielung kleinerer Kornpartikel wurde mit unterschiedlichen Mühlentypen ausgetestet. Mit einer Fließbettstrahlmühle konnten Trennschnitte erzielt werden, wobei die Partikelverteilung nach den Versuchsreihen im Bereich von $d(10) = 2,94 \mu\text{m}$ bis $d(99) = 43,78 \mu\text{m}$

lag. Weiterführende Versuche zur Herstellung von Kleinstpartikel durch Kryomahltechniken und dem Sprühtrocknen werden momentan durchgeführt.



Bild 2 REM-Aufnahme einer 32 μm -Fraktion

Für die Herstellung von *Rundpartikeln* wurden kleinstfraktionierte Hotmelt-Pulver zur Verkuglung auf PTFE-Folien aufgebracht. Durch die Oberflächenspannung und die geringe Oberflächenenergie der PTFE-Folie ziehen sich die Partikel unterschiedlichster Geometrien zu Kugeln zusammen. Von entscheidender Bedeutung bei diesem Verfahren ist ein Pulverauftrag, der feinste Partikel vereinzelt auf der Folie erzeugt. Ist dies gegeben, können sphärische Rundpartikel mit geringen Durchmessern, wie in Bild 3 dargestellt, erzeugt werden.

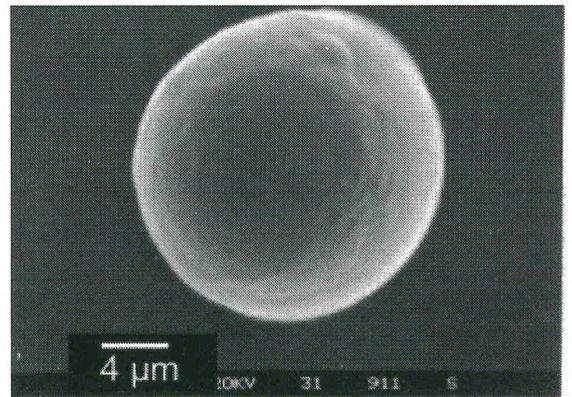


Bild 3 REM-Aufnahme einer Schmelzklebstoffkugel von 20 μm Durchmesser bei einem Volumen von 4 μl

Ein weiterer Ansatz ist das Umschmelzen von Hotmelts im freien Fall. Mit Hilfe eines Piezodosierers konnten Hotmelts mit niedriger Schmelzviskosität (in der Regel unter 1.000 mPas) so disperst werden, dass eine kugelförmige Struktur entstand. Unter optimierten Parametern (Förderdruck, niedrige Schmelzviskosität, Dosierer-Düsenquerschnitt von 150 μm und kurzen Dosierzeiten) konnten Kugeln im Durchmesserbereich von 300-500 μm reproduzierbar disperst werden.

Zur Herstellung von *Folien* wurden drei unterschiedliche Ansätze verfolgt, welche das Heißpressen, das Trocknen eines Dispersionsfilms und die Folienextrusion beinhalteten. Beim Heißpressen von Pulverpartikeln, aber auch beim Dispersionsfilmtrocknen sind Folien mit Luftsinschlüssen sowie inhomogenen Schichtdicken entstanden. Für die Herstellung von dünnsten Folien aus thermoplastischem Material ist das Chill-Roll-Verfahren Stand der Technik. Diese Flachfolienextrusion geschieht über eine Extruderanlage samt Kühlwalze (chill roll), auf deren Oberfläche die Schmelze verstreckt und abgekühlt wird. Die mit diesem Verfahren erzeugten Folien haben homogene Dickenverläufe von ca. $50\ \mu\text{m}$ sowie keinerlei Luftsinschlüsse. Allerdings müssen die thermoplastischen Materialien für eine Plastifizierung in einem Extruder modifiziert werden.

3.2 Aufbringen und Positionieren von Schmelzklebstoff

Der trockene Auftrag von Schmelzklebstoff kann in Form

- eines diskreten Auftrags von Klebstoffpartikeln,
- eines Auftrags von Klebstoff in Pulverform,
- eines Auftrags von Klebstoff in Folienform
- und eines Schablonendruckes von Schmelzklebstoff-Dispersionen

erfolgen. Um Schmelzklebstoffe in Partikelform oder als Folie in der Mikrosystemtechnik einzusetzen zu können müssen diese in Abmessungen kleiner $100\ \mu\text{m}$ gehandhabt werden. Das Handhaben von kleinsten Partikeln bereitet allerdings Probleme aufgrund der Tatsache, dass die Gewichtskräfte nicht – wie es z. B. bei makroskopischen Bauteilen der Fall ist – dominieren. Mit kleiner werdenden Teilen, die gehandhabt werden sollen, wird der Einfluss von Van-der-Waals-, elektrostatischen- und Adhäsionskräften immer größer. Dieser Einfluss macht sich in einem veränderten Teilverhalten bemerkbar. Die Teile neigen dazu, an Greifern oder Magazinen haften zu bleiben und üben darüber hinaus auch untereinander Kräfte aus, die zu Änderungen der Bauteilposen führen können [5]. So besteht bei kleinen Bauteilen weniger die Problematik, diese zu greifen, sondern vielmehr diese zu vereinzeln, gezielt zu positionieren und in der gewünschten Pose loszulassen.

Bei der *Applikation von Klebstoffkugeln* wurden unterschiedliche Greifprinzipien überprüft. Klebstoffkugeln lassen sich mit Vakuum-Pipettensauggreifern, die bis zu wenigen Mikrometern Durchmesser herstellbar sind, handhaben. Backengreifer sind derzeit prozesssicher bis zu einer Kugelgröße von $200\ \mu\text{m}$ einsetzbar. Für die Handhabung von Klebstofflinsen ist der Einsatz von Backengreifern aufgrund der Geometrie der Linse nicht möglich. Das Absetzen mit diesen beiden

Greifertypen ist jedoch nur mit Wärmeunterstützung, die zu einer leichten Klebrigkeit der Kugel an der Bauteiloberfläche führt, möglich. Versuche mit aktiven elektrostatischen Greifern zeigten, dass es möglich ist, eine Klebstoffkugel aus einem Magazin aufzunehmen (Bild 4). Für das Halten der Kugeln wird eine Greiferspannung von $500\ \text{V}$ benötigt. Aber auch bei dem elektrostatischen Greifer verhindert die Klebrigkeit des Klebstoffs im Magazin und die im Gegensatz dazu sehr geringen materialspezifischen Haltekräfte von wenigen $100\ \mu\text{N}$ ein reproduzierbares und kontrolliertes Aufnehmen. Ebenso wie beim Backen- und Pipettengreifer ist das Absetzen der Kugeln auch nur mit Wärmeunterstützung möglich.

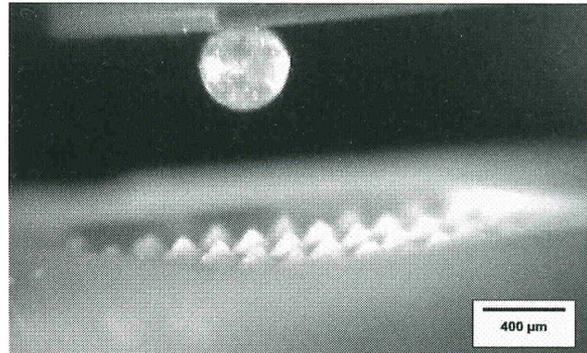


Bild 4 Elektrostatischer Kugelgreifer

Bei der *Applikation von Klebstoffpulvern* wird das Pulver auf eine Oberfläche aufgetragen und flächig mit einer Heizplatte oder lokal mit einem Laser angesintert. Grundvoraussetzung für die Ansinterung von Pulver ist der möglichst gleichmäßige Auftrag von Schmelzklebstoffpartikeln auf die Substratoberfläche. Für die Untersuchungen zum Lasersintern wurde ein Festkörper-Scheibenlaser dazu verwendet, das Schmelzklebstoffpulver aus dem Substrat lokal so zu erwärmen, dass das Pulver nur lokal ansintert und in anderen Bereichen wieder entfernt werden kann. Durch die Wellenlänge von $1064\ \text{nm}$ ist dabei nur eine indirekte Erwärmung des Schmelzklebstoffs über die Wärmeleitung des Siliziums möglich. Hierzu wird der Laser durch die für die Laserwellenlänge transparente Schmelzklebstoffschicht auf das darunter befindliche Substrat gerichtet. Für niedrig schmelzende Klebstoffsysteme konnten, wie in Bild 5 dargestellt, Strukturen im Größenordnungsbereich von $150\text{--}250\ \mu\text{m}$ erzeugt werden, wobei sich derzeit kleinste Klebstoffmengen im Bereich von ca. $300\ \text{pl}$ Volumen aufschmelzen lassen. Auch konnten gezielt geometrische Strukturen erzeugt werden. Da durch elektrostatische Effekte nicht nur an den angesinterten Stellen das Schmelzklebstoffpulver haften blieb, musste eine Kontamination durch ungewollt anhaftendes Pulver vermieden werden. Der notwendige Reinigungsprozess von überschüssigen Pulverbestandteilen wurde durch eine reine Druckluftreinigung, eine Kombination aus elektrosta-

tischer Pulverneutralisierung und Druckluft sowie einer nasschemischen Reinigung untersucht.

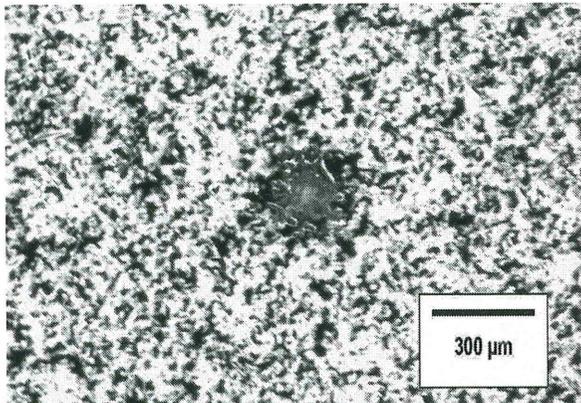


Bild 5 Mittels Laser aufgeschmolzenes Pulver

Klebstofffolien sind gut geeignet, um sie mit flächig wirkenden Greifkonzepten greifen zu können. Es wurde das Greifen der Folien mittels Vakuum-Pipettengreifer und elektrostatischen Greifkonzepten untersucht. Das Greifen von Folienstücken mit mechanisch wirkenden Greifern wie Backengreifern ist nicht möglich, da Folien biegeschlaff sind und in Greifrichtung keine Kräfte aufnehmen können. Mit einfachen Vakuum-Pipettengreifern konnten erfolgreich Folienstücke bis zu einer Größe von $4 \times 4 \text{ mm}^2$ gegriffen und abgesetzt werden. Mit Pipettengreifern mit einem Bohrungsdurchmesser von bis zu 100 µm können auch kleinere Folienstücke mit Abmaßen von $150 \times 150 \text{ µm}^2$ gehandhabt werden. Bild 6 zeigt ein Folienstück der Größe $2 \times 5 \text{ mm}^2$, das mit einem aktiven elektrostatischen Greifer gegriffen wurde. Mit einer Greiferspannung von 600 V kann die Folie sehr gut gegriffen und wieder abgesetzt werden. Vorteil dieses Greifsystems gegenüber dem Vakuum-Pipettengreifer ist die Möglichkeit, auch Folienstücke, die in einem hohen Detailgrad konturiert sind, zu handhaben.

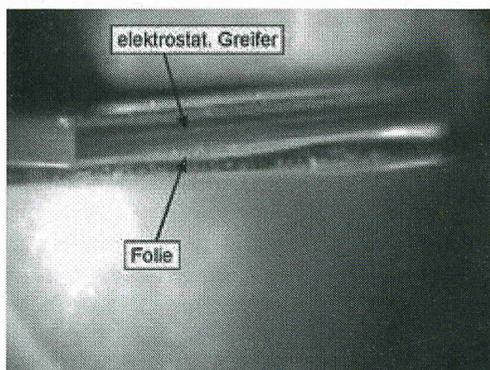


Bild 6 aktiver elektrostatischer Foliengreifer

Eine neue Auftragstechnik ist der **Schablonendruck von dispergierten Schmelzklebstoffpulvern**. Hierzu werden Feinstfraktionen ($< 32 \text{ µm}$) eines Schmelzklebstoffs so dispergiert, dass sich eine thixotrope druck-

bare Dispersion ergibt. Diese wird dann mit einem Sieb oder Schablonendrucker gedruckt, das Lösemittel (in der Regel werden wässrige Dispersionen verwendet) dampft ab und es bleibt eine exakt dosierte Menge Klebstoff mit hoher örtlicher Auflösung übrig, siehe Bild 7. Entweder wird nun ein zusätzlicher „Sinterprozess“ angeschlossen oder es kann direkt gefügt werden. Wie auch beim Pulversintern mittels Laser kann der so aufgebraute Klebstoff nahezu beliebig lange gelagert werden, bevor er dem eigentlichen Fügeprozess zugeführt wird.

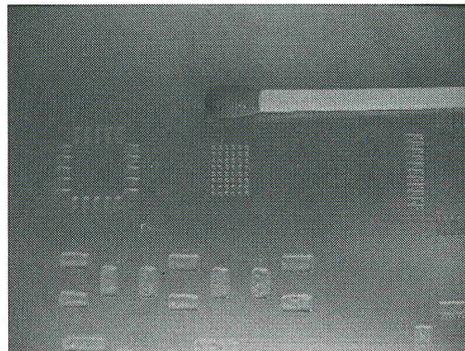


Bild 7 Teststrukturen von gedruckten Schmelzklebstoff-Dispersionen

Momentan erfolgt eine Modifikation der Schmelzklebstoffdispersionen in Richtung des leitfähigen Kontaktierens. Erste Versuche zeigen, dass durch die Zugabe von Silberpartikeln annähernd gleiche spezifische Widerstände erreicht werden, wie sie bei kommerziell erhältlichen Leitklebstoffen (1×10^{-3} bis $5 \times 10^{-5} \text{ Ωcm}$) üblich sind.

4 Fügen Klebstoffvorbeschichteter Bauteile

4.1 Montageanlage

Das im Projekt eingesetzte Montagesystem für aktive Mikrosysteme (Bild 8) besteht aus einem Montageroboter, einem 3D-Bildsensor, aufgabenspezifischen

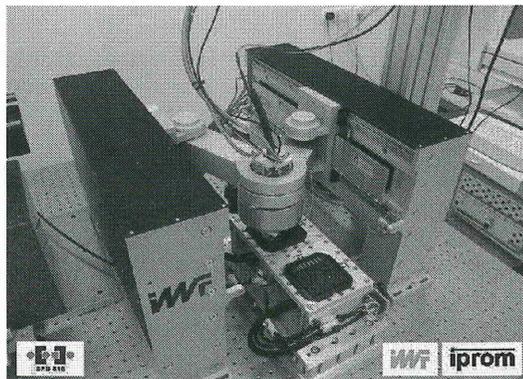


Bild 8 Montagesystem mit Roboter micabo-f2

Mikrogreifern, einer Spannvorrichtung für zwei Bauteilmagazine sowie einem Infrarot-Strahler für das Erwärmen von Bauteilen.

Der Montageroboter (micabo-f2) verfügt über vier Freiheiten zur Bauteilhandhabung sowie eine Freiheit für die Fokuseinstellung eines mitgeführten 3D-Bildsensors. Zwei parallele Linearachsen realisieren die Bewegung in der xy-Ebene und bilden die Grundstruktur des Roboters. Diese besteht aus zwei gekoppelten Armen mit einer drehbaren Hohlachse, in die ein als Patrone ausgeführter Roboterkopf integriert ist. Darin befinden sich zwei hochgenaue Spindelantriebe, von denen einer den Greifer bewegt und ein zweiter die Nachführung des im Kopf integrierten 3D-Bildsensors ermöglicht. Ein Arbeitsraum von $160 \times 400 \times 15 \text{ mm}^3$ ermöglicht die flexible Montage von verschiedenen Mikrosystemen. Hierzu können in der Spanneinrichtung alternativ ein 3“-Wafer und ein Bauteilmagazin oder zwei Bauteilmagazine der Größe 4 nach DIN 32561 bereit gestellt werden. Die Pose-Wiederholgenauigkeit des micabo-f2 beträgt $0,6 \mu\text{m}$ bei 3σ , gemessen nach EN ISO 9283.

4.2 Montagekonzept eines Mikro-Linear-Schrittmotors

In diesem Abschnitt wird ein Montageprozess vorgestellt, der mittels der beschriebenen Verbindungstechnik auf Basis von Schmelzklebstoffen in dem in Kapitel 4.1 vorgestellten Mikromontagesystem umgesetzt wurde. Für die Umsetzung des Montagekonzeptes sind zusätzliche Anforderungen an die Auslegung des Montageprozesses zu stellen. So darf das Aufspann- und Greifsystem nicht die mit Schmelzklebstoff beschichteten Bauteilflächen berühren, wenn sich der Klebstoff im aufgeschmolzenen Zustand befindet. Ebenso darf die Klebstoffbeschichtung die für die sensorgeführte Montage benötigten Bauteilgeometrien und -marken nicht verdecken oder verzerren. Die wichtigste Anforderung an die Auslegung des Montageprozesses ist jedoch die Möglichkeit des Einbringens der für das Aufschmelzen des Klebstoffs und das Fügen der Bauteile benötigten Wärmeenergie. Um die verschiedenen Konzepte zur Einbringung der Wärmeenergie besser beschreiben zu können, soll hier zunächst das zu montierende Mikrosystem vorgestellt werden. Bild 9 zeigt das Montageszenario eines linearen Mikroschrittmotors. Dieser besteht aus einem Stator, zwei Führungsblöcken, dem Läufer, dem Läuferblock und den Führungskugeln. Für die Montage wird weiterhin ein Abstandsblättchen benötigt.

Die einzelnen Montageschritte sind: das Fügen der Führungsblöcke, das Einlegen des Abstandsblättchens, das Positionieren und Einsetzen des Läufers, das Einsetzen der Führungskugeln und das Fügen des Läuferblocks mit dem positionierten Läufer.

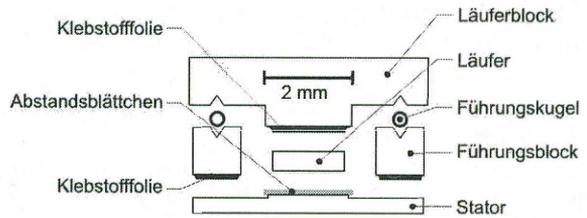


Bild 9 Montagekonzept des Mikrolinearaktors

Hierfür werden die Führungsblöcke und der Läuferblock mit einer ca. $50 \mu\text{m}$ dünnen Schmelzklebstoffolie (VESTAMELT® 732) beschichtet. Der Klebstoff hat einen Schmelzbereich von ca. 100 °C bis 110 °C . Bei der Montage ist ein Fugespalt von $30 \mu\text{m}$ einzustellen. Im Folgenden wird der Montageprozess anhand des Fügens eines Führungsblocks beschrieben. Die Montage gliedert sich in folgende Schritte:

1. Messen der Statorposition
2. Messen der Führungsblockposition
3. Greifen des Führungsblocks
4. Erwärmen des mit Schmelzklebstoff beschichteten Führungsblocks
5. Ausrichten des Führungsblocks auf die relative Fügeposition
6. Fügen des Führungsblocks

Das Erwärmen des Schmelzklebstoffs ist in unterschiedlichen Varianten möglich. Dabei spielen sowohl die Wahl der Wärmequelle, als auch der Zeitpunkt und die Art der Energieeinbringung eine entscheidende Rolle bei der Prozessgestaltung. Dies hat ebenfalls einen Einfluss auf die Bauteilbelastung während des Erwärmens und die erreichbare Montageunsicherheit beim Fügen.

Bild 10 zeigt mit Hilfe der Montageanlage gefertigte mikrosystemtechnische Komponenten.

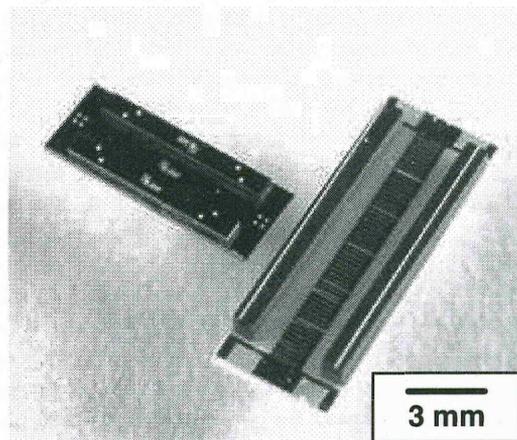


Bild 10 Aktorbauteile

Zur Erweiterung dieses speziellen Fügeprozesses wurde die Steuerung des Roboters angepasst. Dazu wurde ein parametrisierbares Programm in die Robotersteuerung implementiert. Es erlaubt die Einstellung des Fügespaltes, die Variation der Nachheizzeit über dem IR-Strahler, die Kontrolle der maximal zulässigen Fügekraft und die Protokollierung der wichtigsten Prozessparameter. Außerdem wurden spezielle Greifsysteme zur Montage der vorbeschichteten Bauteile entwickelt, siehe Bild 11.

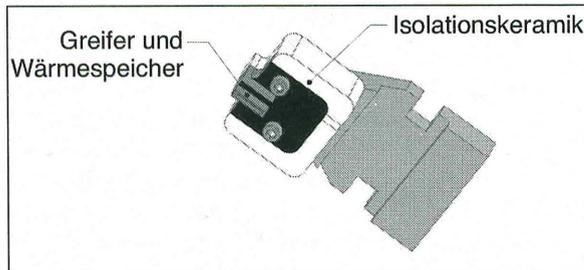


Bild 11 Passiver Temperaturgreifer

Der Temperaturgreifer besteht aus zwei Teilen: Zum einen aus einer Isolationskeramik, welche die Verlustwärme des Greifers minimieren soll, zum anderen aus dem Wärmespeicher. Dieser Wärmespeicher ist aus Kupfer. Da Kupfer zwar eine gute Wärmekapazität, aber ebenso einen hohen Reflektionsindex und demzufolge einen schlechten Absorptionsgrad besitzt, wird die Unterseite des Greifers zusätzlich schwarz angefärbt. Durch Verwendung dieses Greifersystems wird nicht nur die nutzbare Prozesszeit zwischen Aufwärmen und Fügen erhöht, sondern zusätzlich die Aufheizzeit und die Bauteiltemperatur verringert.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden eine neue Verbindungstechnik auf Basis von Schmelzklebstoffen sowie ein sensorgeführtes Montagesystem vorgestellt. Die bisherigen Versuche zeigen das große Potenzial von Schmelzklebstoffen beim Kleben in der Mikrosystemtechnik auf. Ein deutlicher Vorteil dieses Klebstoffsystems liegt im Fügen kleinster Bauteilgeometrien ($<200 \mu\text{m}$). Die dafür erforderlichen Minimalklebstoffmengen im pI -Bereich sind reproduzierbar herstellbar. Einen weiteren signifikanten Vorteil stellen die aufgezeigte Batchfähigkeit der Prozesse und die bei geeigneter Wärmeleitung im Bereich einer Sekunde erreichte Endfestigkeit dar. Somit ist eine echte Alternative zu den bisher in der MST eingesetzten viskosen Klebstoffsystemen gefunden worden, die neben prozesstechnischen Vorteilen auch wirtschaftlich sehr interessant ist.

Künftige Arbeiten liegen in der Weiterentwicklung des batchfähigen Klebstoffauftrags, der Herstellung kleinster nicht-viskoser Klebstoffgeometrien im Sub- μI -Bereich sowie weiterführende Untersuchungen und Verbesserungen von aktiven und passiven Wärmeleitkonzepten.

6 Danksagung

Besonderer Dank der Autoren gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, durch deren Finanzierung des Sonderforschungsbereiches „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ SFB516 diese Arbeiten ermöglicht wurden.

7 Literatur

- [1] Götz, J.; Gesang, T.; Hennemann, O.D.: Gefüllte Klebstoffe: Mikrodispensen ohne Aussetzer. Adhäsion - Kleben & Dichten, Band 47, Heft 7/8, S. 38-42, 2003
- [2] Hartwig, A.; Hennemann, O. D.: Besonderheiten beim Mikrokleben mit ungefüllten Klebstoffen, Schweißen und Schneiden. Band 52, Heft 11, S. 685-687, 2000
- [3] Hartwig, A.; Hennemann, O.D.: Mikrokleben mit ungefüllten Klebstoffen - Dosierung, Härungsverhalten und Klebeigenschaften. VTE - Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik, Band 11, Heft 5, S. 254-258, 1999
- [4] Van Brussel, H.; et al.: Assembly of microsystems. In: Annals of the CIRP, Vol. 49 (2), 2000, pp. 451-472
- [5] Hesselbach, J., Graf, C.: A Tool to Estimate the Adhesive Forces between Microcomponents and Grippers or Magazines. In: Proc. of 10th International Conference on Precision Engineering, S. 619-623, Yokohama, 2001
- [6] Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion – Ein Handbuch für die Praxis. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2006, ISBN 3-540-21413-5