

# Greifsysteme für das Fügen mit schmelzklebstoffvorbeschichteten Bauteilen zur Fertigung von MEMS und MOEMS

Sven Rathmann<sup>1</sup>, Annika Raatz<sup>1</sup>, Franz Dietrich<sup>1</sup>, Gregor Hemken<sup>2</sup>, Stefan Böhm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inst. f. Werkzeugmaschinen u. Fertigungstechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 19b, 38106 Braunschweig, Germany

<sup>2</sup> Institut für Füge und Schweißtechnik, TU Braunschweig, Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig, Germany

## Kurzfassung

Bei der Fertigung dreidimensionaler (MEMS/MOEMS)-Strukturen durch hybride Integration von Einzelbauelementen zu einem Gesamtsystem werden aus prozesstechnischen und wirtschaftlichen Gründen in der Regel batchfähige Prozesse verwendet. Als wichtige Aufbau- und Verbindungstechnik hat sich dabei das Kleben etabliert. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 516 wurde eine batchfähige Verbindungstechnik auf Basis von Schmelzklebstoffen entwickelt. Sie ermöglicht, Mikrobauteile vorzubeschichten und in einem anschließenden Fügeprozess diese Bauteile zu montieren. Dabei können auf Grund sehr schneller Abbindezeiten von Schmelzklebstoffen kurze Fügeprozesszeiten erreicht werden. Dieser Beitrag stellt Greifsysteme vor, mit denen mit Schmelzklebstoff vorbeschichtete Bauteile gefügt werden können. Dabei hängt die Wahl des einzusetzenden Greifsystems von der Prozessführung, der Wärmeleitung sowie von den thermischen Eigenschaften des zu fügenden Bauteils ab.

## 1. Einleitung

Die fortschreitende Miniaturisierung hybrider Mikrosysteme und die ansteigenden Stückzahlen fordern immer mehr batchfähige Verbindungstechniken [1]. Die am meisten eingesetzte und am viel versprechendsten einsetzbare Verbindungstechnik ist dabei der Einsatz von Klebstoffen [2]. Hierbei werden häufig viskose Klebstoffsysteme verwendet. Diese haben jedoch den Nachteil von langen Abbindezeiten und der nicht vorhandenen Batchfähigkeit [3]. Ein neuer und viel versprechender Ansatz für das batchfähige Verbinden von Bauteilen ist der Einsatz von Schmelzklebstoffen. deren Vorteile sind die extrem kurze Abbindezeit, die Möglichkeit der Vorapplikation und die daraus resultierende beliebig wählbare Zeitspanne zwischen Klebstoffapplikation und dem Fügen der Bauteile [3]. Aus diesen Gründen scheint die Verwendung von Schmelzklebstoffen eine sehr gute Alternative zu den viskosen Systemen bei der Montage hybrider Mikrosysteme.

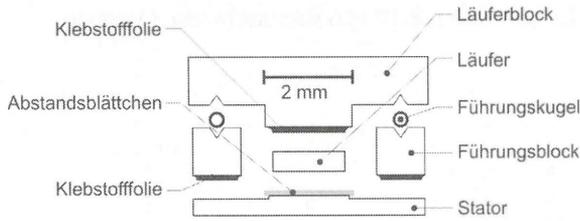
Um diese Technologie einsetzen zu können sind jedoch noch Entwicklungen im Bereich der Klebstoffformulierung, der Klebstofffraktionierung und der Vorapplikation nötig. Weiterhin muss für diese Füge-technik die Montageprozessgestaltung und Prozessparametrisierung untersucht werden. In diesem Zusammenhang ist die Art der Wärmeeinbringung in den Klebstoff von besonderer Bedeutung. Hierfür ist neben der Entwicklung spezieller Aufspan- und Greifsysteme auch die Entwicklung geeigneter Wärmeleitkonzepte nötig. Im Sonderforschungsbereich 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosys-

teme“ beschäftigt sich das Teilprojekt „Klebstoffverarbeitung in Batch-Technologie“ mit der Entwicklung und Modifizierung von Schmelzklebstoffsystemen sowie der Entwicklung und Erprobung von Montagekonzepten für mit Schmelzklebstoff vorbeschichtete Mikrobauteile. In diesem Beitrag wird im speziellen auf die entwickelten Montagekonzepte sowie die dafür benötigten Wärmeleitkonzepte als auch auf die benötigten Greifsysteme eingegangen. An einem Anwendungsbeispiel soll die Einsetzbarkeit der Montage- und Wärmeleitkonzepte und der Greifsysteme exemplarisch gezeigt werden.

## 2. Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt wird ein Montageprozess vorgestellt, der mittels der beschriebenen Verbindungstechnik auf Basis von Schmelzklebstoffen in dem in Abschnitt 3 vorgestellten Mikromontagesystem umgesetzt wurde. Für die Umsetzung des Montagekonzeptes sind zusätzliche Anforderungen an die Auslegung des Montageprozesses zu stellen. So darf das Aufspan- 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 1** zeigt das Montagekonzept 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.



**Bild 1:** Montagekonzept Mikrolinearaktor

Die einzelnen Montageschritte sind: Fügen der Führungsblöcke, Einlegen des Abstandsblättchens, Positionieren und Einsetzen des Läufers, Einsetzen der Führungskugeln und Fügen des Läuferblocks mit dem positionierten Läufer. Hierfür werden die Führungsblöcke und der Läuferblock mit einer ca. 50 µm dünnen Schmelzklebstoffolie (Vestamelt PA732) beschichtet. Der Klebstoff hat einen Schmelzbereich von ca. 100 °C bis 110 °C. Bei der Montage ist ein Fügespalt von 30 µm einzustellen. Im Folgenden wird der Montageprozess anhand des Fügens eines Führungsblocks beschrieben. Die Montage gliedert sich in folgende Schritte:

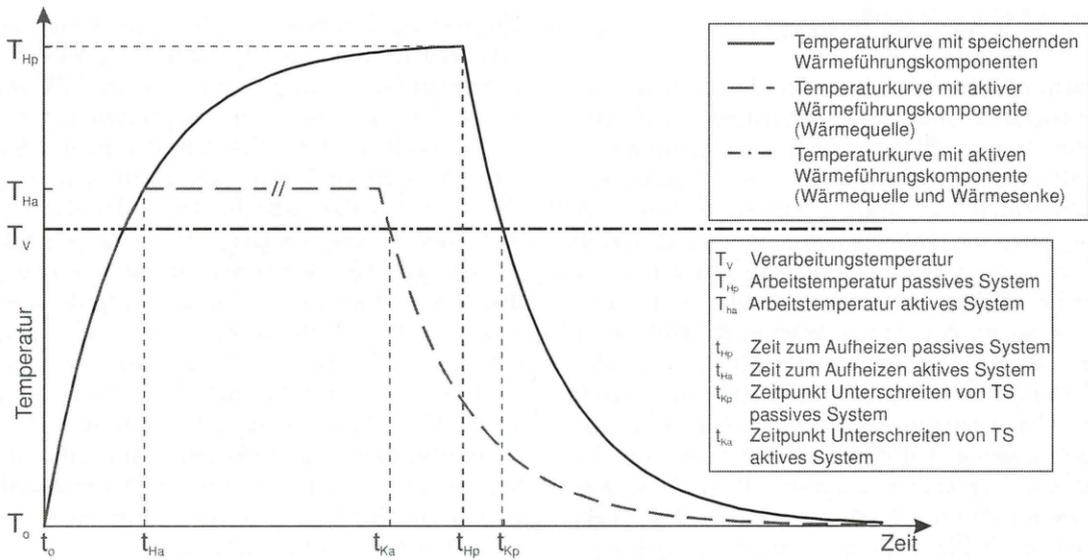
1. Messen der Statorposition
2. Messen der Führungsblockposition
3. Greifen des Führungsblocks
4. Erwärmen des mit Schmelzklebstoff beschichteten Führungsblocks
5. Ausrichten des Führungsblocks auf die relative Fügeposition
6. Fügen des Führungsblocks

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. Im folgenden Abschnitt werden zwei verschiedene Wärmeführungskonzepte vorgestellt und deren Vor- und Nachteile diskutiert.

### 3. Wärmeführungskonzepte

Das Wärmemanagement ist ein wichtiger Bestandteil bei der Auswahl und Auslegung des Montageprozesses mit Schmelzklebstoffen. Aufgrund der geringen Klebstoffvolumina bei beschichteten Mikrobauteilen

und der damit einhergehenden geringen Wärmekapazität ist jedoch das direkte Erwärmen des Klebstoffes nicht sinnvoll. Das zu montierende Bauteil und das Greifsystem haben dagegen eine höhere Wärmekapazität. Daraus folgt, dass bei der Auslegung des Montageprozesses die greifer- und bauteilspezifischen Eigenschaften, wie das Volumen, die Wärmekapazität sowie die Wärmeleitfähigkeit, berücksichtigt werden müssen. Weiterhin ist die Wärmequelle ausschlaggebend für die Prozessgestaltung. Mögliche Wärmequellen zur Erwärmung des Greifsystems oder des Bauteils sind beispielsweise Heizplatten, Infrarot-Strahler, Laser, Heizfolien oder Peltierelemente sowie Kombinationen aus diesen. Bezüglich der Erwärmung wird zwischen zwei Wärmeführungskonzepten unterschieden: zum einen ein passives und zum anderen ein aktives. Beim passiven Wärmeführungskonzept wird die Eigenschaft der Wärmespeicherung für das Einbringen der benötigten Wärmeenergie beim Fügeprozess genutzt. Die durchgezogene Linie in **Bild 2** zeigt den typischen Temperaturverlauf eines Bauteils beim Einsatz des passiven Wärmeführungskonzeptes. Vor dem Fügeprozess wird der Greifer mit gegriffenem Bauteil durch eine Wärmequelle bis zur Arbeitstemperatur  $T_{Hp}$  erwärmt. Hierfür wird eine Zeit  $t_{Hp}$  benötigt, die sich deutlich auf die Prozesszeit auswirkt. Wenn keine Handhabungs- oder Messoperationen nach dem Greifen durchgeführt werden müssen, sollte daher das Erwärmen des Bauteils möglichst vor den Greifvorgang gelegt werden. Die zu erreichende Arbeitstemperatur muss dabei deutlich höher als der Schmelzbereich des Klebstoffes liegen, um bis zum Unterschreiten der Verarbeitungstemperatur (Temperatur kurz über dem Schmelzbereich) zum Zeitpunkt  $t_{Kp}$  eine ausreichend lange Zeit für den eigentlichen Positionier- und Fügevorgang zu haben. Der Zeitraum zwischen  $t_{Hp}$  und  $t_{Kp}$  wird als Verarbeitungszeit bezeichnet. Diese Zeit ist im Gegensatz zur in Abschnitt 2 beschriebenen Abbindezeit, welche die Fügezeit beschreibt, die Zeit, die für die Vermessung und vor allem die Positionierung zur Verfügung steht. Die Verarbeitungszeit ist dabei sehr stark von den Materialeigenschaften des Bauteils und des Greifers abhängig. Bei Kontakt des Fügebauteils mit dem Fügepartner fällt die Temperatur sehr stark ab, wodurch der Schmelzklebstoff abbindet und seine Endfestigkeit erreicht. Die Fügezeit liegt dabei bei Schmelzklebstoffen deutlich unter einer Sekunde. Aus **Bild 2** ist zu erkennen, dass die Arbeitstemperatur  $T_{Hp}$  deutlich höher ist als die Schmelztemperatur. So werden die Bauteile bei der Erwärmung starken thermischen Belastungen ausgesetzt, die gegebenenfalls zu einer Verschlechterung der Montagegenauigkeit führen können. Vorteil des passiven Wärmeführungskonzeptes ist die einfache Integration in vorhandene Montagesysteme. Nachteilig sind die lange Erwärmungszeit, eine unflexible Prozessgestaltung, die Bauteilbelastung und eine aufwendige Prozessbeobachtung. Hierbei ist vor allem die Temperaturüberwachung zu nennen.



**Bild 2:** Temperaturprofile der verschiedenen Wärmeführungskonzepte (ohne Fügeprozess)

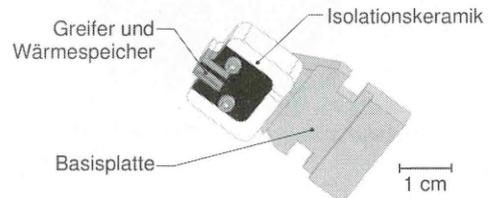
Im Gegensatz zum passiven Wärmeführungskonzept werden beim aktiven Konzept Wärmequellen direkt im Greif- oder Aufspannsystem verwendet. Dadurch kann während der Handhabung kontinuierlich Wärme in das Bauteil und somit den Klebstoff eingeleitet werden. Dies bedeutet gleichfalls, dass die temperatur- und materialabhängige Verarbeitungszeit des passiven Wärmeführungskonzeptes entfällt. Hierdurch kann die Verarbeitungstemperatur geringer, in den meisten Fällen kurz über dem Schmelzbereich, gewählt werden, was sich in einer geringeren Bauteilbelastung widerspiegelt. Durch die kontinuierliche Wärmezufuhr ist die Verarbeitungszeit des aktiven Wärmeführungskonzeptes beliebig wählbar. Dadurch kann der Montageprozess sehr flexibel gestaltet werden. Durch die Möglichkeit einer aktiven Kühlung der Fügepartner kann zusätzlich eine weitere Verkürzung der Fügezeit erreicht werden. Ein typischer Temperaturverlauf des aktiven Wärmeführungskonzeptes ist in Bild 2 durch die gestrichelte Linie dargestellt. Nachteil des aktiven Wärmeführungskonzeptes ist die aufwendige Gestaltung der Handhabungsgeräte im Montagesystem. Die Temperaturüberwachung ist aufgrund der aktiven Wärmezufuhr zwar deutlich vereinfacht, eine direkte Messung der Schmelzklebstofftemperatur aber ebenso aufwendig wie beim passiven Konzept.

## 4. Greifkonzepte

### 4.1. Passives Greifkonzept

Zur Erprobung der unterschiedlichen Wärmeführungskonzepte wurden verschiedene Greifsysteme entwickelt. Für die in Abschnitt 2 vorgestellte Montageaufgabe wurde zunächst ein passives Wärmegreifkonzept ausgelegt und erprobt. **Bild 3** zeigt den passi-

ven Wärmegreifer. Gegriffen wird ein Bauteil mittels Unterdruck. Der Greifer besteht aus einer Trägerplatte, die als Schnittstelle zum Roboter dient, einer Isolationskeramik, die um den Wärmespeicher angeordnet ist, und dem Wärmespeicher, der gleichzeitig als Greifer fungiert. Als Material für den Wärmespeicher wurde Kupfer verwendet, welches auf der Strahlungsseite mit Ofenlack schwarz angefärbt ist.

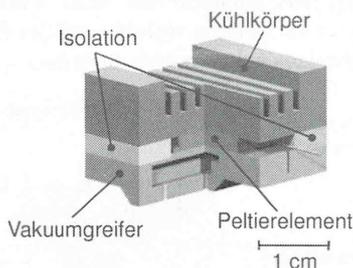


**Bild 3:** Greifkonzept für das passive Wärmeführungskonzept

Der Wärmeeintrag erfolgt bei diesem Konzept mittels eines Infrarot-Strahlers kurz vor dem Fügevorgang. Bei dem hier verwendeten Greifkonzept wurde der Wärmespeicher im Greifer großzügig ausgelegt, da das zu greifende Bauteil, der Führungsblock in Bild 1, aufgrund der Größe eine zu geringe Wärmekapazität aufweist. Weiterhin kommt hinzu, dass der Wärmeeintrag durch den Infrarot-Strahler in das Bauteil aufgrund der optischen Eigenschaften nur bei ca. 6 % liegt. Dies liegt daran, dass die vom Infrarot-Strahler emittierte Wärmestrahlung im Wellenlängenbereich von 2 bis 10  $\mu\text{m}$  liegt. Der aus Silizium bestehende Führungsblock reflektiert und transmittiert im Bereich von  $\lambda = 2 \dots 8 \mu\text{m}$  nahezu 100 % der Strahlung. Ab  $\lambda = 8 \mu\text{m}$  werden dann die beschriebenen 6 % im Bauteil absorbiert. Aus diesem Grund wird bei diesem Greifkonzept in Kombination mit dem passiven Wärmeführungskonzept das Bauteil indirekt mittels Wärmeleitung vom Greifer aus erwärmt.

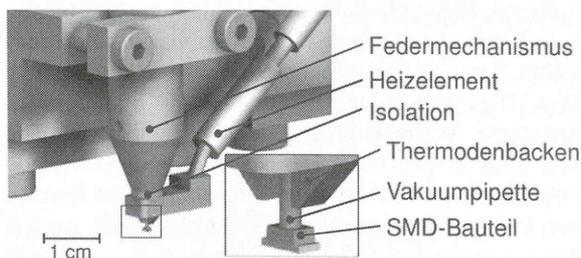
## 4.2. Aktives Greifkonzept

In diesem Abschnitt werden zwei aktive Greiferkonzepte vorgestellt. **Bild 4** zeigt ein aktives Greiferkonzept, bei dem die Wärme durch ein Peltier-Element zur Verfügung gestellt wird. Bei diesem Greifer wird ebenfalls mittels Unterdruck gegriffen. In dieser Anordnung kann das Peltier-Element sowohl als aktive Heizung, als auch durch Umpolen als aktive Kühlung verwendet werden. Durch diese Anwendung kann bei der Verwendung des aktiven Wärmeführungskonzeptes eine weitere Verkürzung der Abbindezeit (Zeit zum Unterschreiten der Schmelztemperatur) erreicht werden. Um den gut funktionierenden Wärmehaushalt beim Erwärmen und abkühlen zu erreichen, ist in den Greifer ein Kühlkörper integriert. Beim Erwärmen dient der Kühlkörper als Wärmequelle, indem er die Kaltseite des Peltier-Elementes mit der Umgebungstemperatur gleich hält. Beim aktiven Abkühlen wird über ihn die überschüssige Wärme an die Umgebung abgegeben. Zur Isolation zwischen Kühlkörper und wärmeführenden Greiferteilen sind parallel zum Peltier-Element Isolationsblöcke eingebaut. Der Vakuumgreifer dient zusätzlich noch als kleiner Wärmespeicher für den Moment des Kontaktes zwischen Bauteil und Substrat.



**Bild 4:** Greifkonzept für das aktive Wärmeführungskonzept

Beim zweiten Greifkonzept wird dem gegriffenen Bauteil die Wärme durch ein Heizelement welches in einem LötKolben integriert, ist zugeführt (**Bild 5**). Durch die standardisierte Kontrolleinheit eines Löt-systems kann so eine effiziente Wärmeregulierung des Greifers durchgeführt werden. Das Greifsystem wird für die Montage von SMD-Bauteilen eingesetzt.



**Bild 5:** Aktives Greifkonzept mit LötKolben-Heizelement

Die auf der Unterseite mit Schmelzklebstoff vorbe-schichteten SMD-Bauteile werden von dem Vakuum-Pipettengreifer gegriffen. Beim Absetzen des Bauteils gibt die Pipette durch den integrierten Federmecha-nismus nach und das SMD-Bauteil kommt in Kontakt mit dem warmen Thermodenbacken. Jetzt wird die Wärmeenergie durch das Bauteil in den Klebstoff ge-leitet und so geschmolzen. Durch das Heizelement steht genügende Wärmeenergie zur Verfügung, um den Schmelzklebstoff und kleine Bereiche des Sub-strates zu erwärmen. Hierdurch wird eine gute Be-netzung des Klebstoffs mit dem Substrat garantiert. Nach dem Loslassen des Bauteils kühlt der Klebstoff wieder ab und erreicht seine Endfestigkeit. Der Grei-fer ist über eine parallele Federführung mit dem Mon-tagesystem verbunden. Hierdurch können auftretende Fügekräfte abgefangen werden, ohne dass sich das Bauteil lateral verschieben kann.

## 5. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein alternatives Fügeverfah-ren für MEMS and MOEMS basierend auf Schmelz-klebstoffen vorgestellt. Hierbei wurde im speziellen auf die Auslegung des Montagekonzeptes und die Einbringung der benötigten Wärmeenergie eingegan-gen. In diesem Zusammenhang wurden ein aktives und ein passives Wärmeführungskonzept vorgestell-t und die jeweiligen Vor- und Nachteile diskutiert. Eine Kombination beider Wärmeführungskonzepte scheint bei der Auslegung der Montageprozesse ebenso sinn-voll. Dies muss jedoch noch weiter untersucht wer-den. Ausgehend von den Wärmeführungskonzepten wurden für spezielle Anwendungsfälle ein passives und zwei aktive Greifkonzepte vorgestellt.

## Danksagung

Besonderer Dank der Autoren gilt der Deutschen For-schungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung des Sonderforschungsbereiches 516.

## Literatur

- [1] Van Brussel, H.; *et al.*: Assembly of microsys-tems. CIRP Annals- Manufacturing Technology, 2000, Vol. 49(2): S. 451-472.
- [2] Zäh, M. F.; Schilp, M. und Jacob, D.: Kapsel und Tropfen – Fluidauftrag für Mikrosysteme. Evolutionäre und revolutionäre Verfahren in der Dispenstechnik. Wt-Werkstattstechnik online, 2002, Vol. 92(9): S. 428-431.
- [3] Böhm, S.; *et al.*: Micro Bonding with non-viscous adhesives. Microsystem Technologies, 2006, Vol. 12(7): S. 676-679.