

Neues automatisiertes Verfahren verringert den Aufwand

Fügen von Präzisionsbauteilen

Hassan Kalac, Benno Lammen, Oliver Kirbis und Wilhelm Prescher, Osnabrück

Das automatische Fügen von Präzisionsteilen mit Spieltoleranzen im Mikrometerbereich stellt hohe Anforderungen an die Montagesysteme. In der industriellen Produktion wird bei der Montage derzeit aufwendige Messtechnik zur Positionierung der Teile und eine Inprozess-Messung der aufzuwendenden Fügekräfte eingesetzt. An der Fachhochschule Osnabrück wurde ein Verfahren entwickelt, das mit Hilfe einer Schwingungsanregung des Werkstückträgers in der Ebene – bei zwei translatorischen Freiheitsgraden und zusätzlichem Unterdruck – eine Bauteil schonende Montage erlaubt.

Im Vergleich zu ähnlichen Verfahren kommt dieses Verfahren ohne eine messtechnische Erfassung von Kraft- und Wegparametern aus. Dadurch wird der Aufwand bei den Fügevorgängen im Mikrometerbereich deutlich reduziert. Mögliche Fehlerquellen bei der Positionierung oder durch aufzuwendende

Autoren

Prof. Dr.-Ing. **Hassan Kalac**, Jahrgang 1952, ist Leiter des Labors für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung der Fachhochschule Osnabrück und lehrt Produktions- und Qualitätsmanagement an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik.

Prof. Dr.-Ing. **Benno Lammen**, Jahrgang 1959, lehrt Mechatronik an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik.

Dipl.-Ing. **Oliver Kirbis**, Jahrgang 1975, studierte an der Fachhochschule Osnabrück Maschinenbau-Informatik und ist dort seit 2005 als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

Dipl.-Ing. **Wilhelm Prescher**, Jahrgang 1955, studierte Elektrotechnik und arbeitet seit 1991 als Laboringenieur im Labor für Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik des Bereichs Automatisierungstechnik an derselben Fakultät.

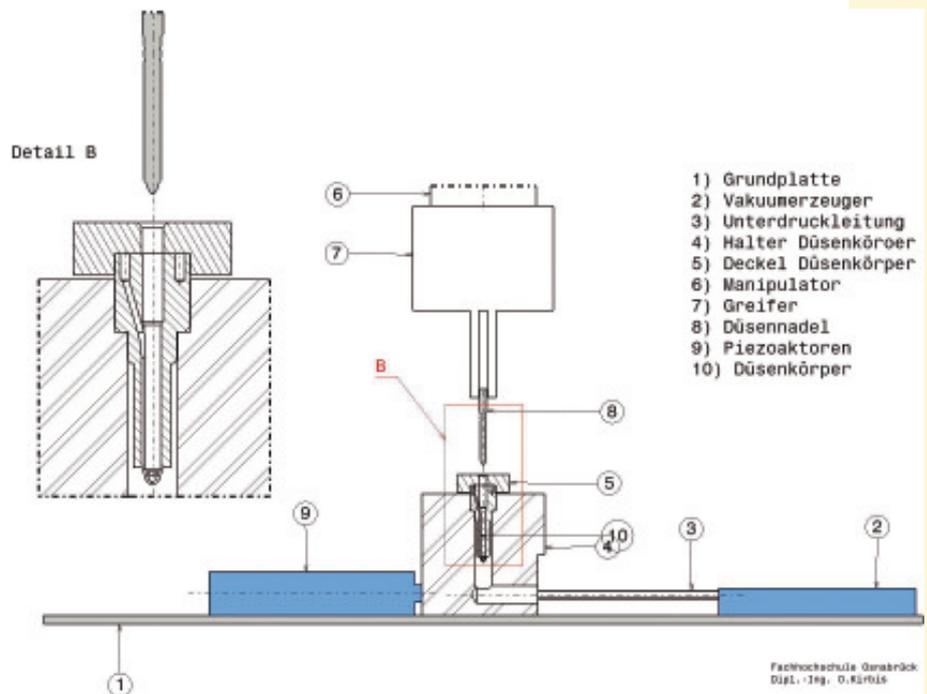


Bild 1

Funktions-skizze des Montagesystems zum Fügen von Präzisionsteilen wie Dieseleinspritzdüsen.

Montagekräfte werden ausgeschlossen. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, dass durch eine Erweiterung des Montagesystems der Vorgang parallelisiert und damit mehrere Bauteile zeitgleich zusammengefügt werden könnten.

Die Automatisierungsaufgabe

In vielen Bereichen der Dieseleinspritz- und Getriebetechnik werden zusammengehörende Formteile mit sehr geringen Spielmaßen von zum Beispiel 2–3 µm gefertigt. Sowohl bei der Innenbearbeitung als auch bei der Außenbearbeitung ist in dieser Genauigkeitsklasse, bei der es um Toleranzen ≤ 1 µm geht, eine Absolutmaßfertigung nicht möglich. Daher müssen die Teile in einem aufwendigen „Paarungsprozess“ montiert werden. Dabei wird die Ausnahme beziehungsweise Bohrung des einen Formteils innen vermessen und mit dem passenden zweiten Formteil gepaart. Unter Berücksichtigung der Formabweichungen und Oberflächentoleranzen (0,5–1 µm) dieser Teile geraten auch die zugehörigen und automatisierten

Montageprozesse schnell an ihre Produktivitäts- oder sogar Funktionsgrenzen.

Eine exakte Position der Formteile zueinander ist bei den derzeit gebräuchlichen und automatisierten Fügeverfahren eine Voraussetzung für den reibungsfreien Ablauf der Montage. Außerdem darf nur eine geringe Fügekraft aufgewendet werden, damit die Formteile nicht beschädigt werden. Die derzeit verwendeten Montagesysteme mit Linearrobotern sind deshalb mit aufwendiger Messtechnik und Regelvorrichtungen ausgestattet, um beim Fügeprozess die Positionen der Formteile über eine direkte Wegmessung zu bestimmen und eine definierte Fügekraft zu gewährleisten.

Die Positionierung dieser Bearbeitungseinheiten geschieht mit Vibrationsvorrichtungen und Magnetsystemen [1], bei denen die Wiederholgenauigkeit unter 1 µm liegt. Nachteilig ist bei diesen Systemen der große Aufwand für die Messtechnik und die damit verbundenen Risiken durch Fehlereinflüsse. Außerdem lässt sich durch die aufwendige, formteilbezogene Messwerterfassung ei-

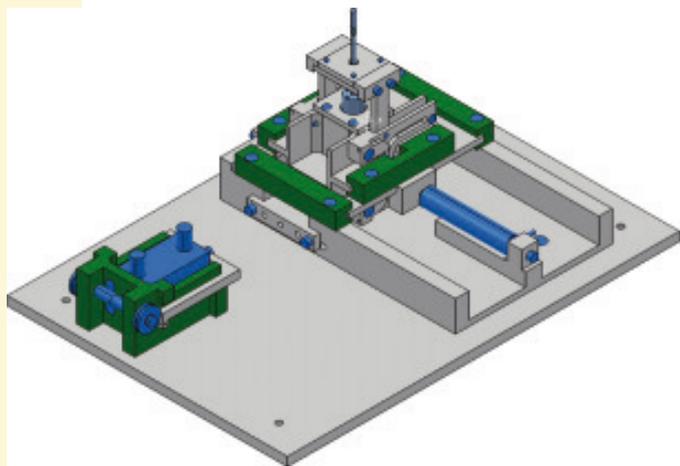


Bild 2
3D-CAD-Konstruktion der Montagevorrichtung.

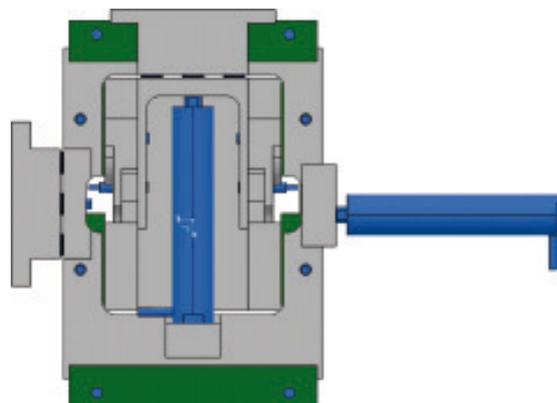


Bild 3
3D-CAD-Abbildung der Unterseite des Werkstückträgers mit den Piezoaktoren.

ne Parallelisierung des Fügeprozesses mit einer Einrichtung nur schlecht realisieren.

Ziel des Forschungsprojekts an der Fachhochschule Osnabrück ist es, ein automatisiertes Verfahren zum Feinfügen von zwei Formkörpern zu entwickeln, das einerseits ohne messtechnische Erfassung von Weg- und Kraftparametern auskommt und andererseits die Möglichkeit bietet, die Produktivität dieser Art von Montageprozess durch Modularisierung deutlich zu verbessern. Bei der Entwicklung des Fügeverfahrens stand im Vordergrund, die Formkörper nur im Bereich der Genauigkeit eines Standard-Industrieroboters zu positionieren, um dann durch Schwingungsanregung des Werkstückträgers und zusätzlichem Unterdruck die formschlüssige Montage zu erreichen. Durch diese Vereinfachung des Fügevorgangs werden eventuelle Risiken aufgrund von Fehlpositionierung und Beschädigungen durch Fügekräfte ausgeschlossen. Auch eine zeitgleiche Montage mehrerer Formteile mit einem Automaten wird möglich.

Versuchsaufbau

Um das Funktionsprinzip des Verfahrens zu untersuchen, wurden Dieseleinspritzdüsen verwendet, die bei einem Bohrungsdurchmesser von 4 mm ein Sollspiel von 2–3 µm haben, **Bild 1**. Für die Problemlösung musste eine Vorrichtung als Werkstückträger konstruiert werden, die den äußeren Teil der Formteile mit der Ausnehmung beziehungsweise der entsprechenden Bohrung aufnimmt, abdichtet, durch Schwingungsanregung mittels Piezoaktoren [2–4] eine Relativbewegung zum zweiten Formkörper erzeugt und einen Unterdruckanschluss enthält, **Bild 2**.

Um eine günstige Relativbewegung zwischen den Formkörpern zu erzeugen, geschah die Schwingungsanregung in zwei Achsen mit Hilfe von Piezoaktoren,

die um 90° versetzt waren, **Bild 3**. Diese werden von einem Funktionsgenerator und zwei Piezo-Leistungsverstärkern aktiviert. Zur Verbesserung des Montageprozesses sorgt eine Unterdruckpumpe bei einem Unterdruck von 300 mbar für unterstützende Saugkraft. Damit diese effektiv genutzt werden kann, wird das aufnehmende Formteil (in diesem Fall der Düsenkörper) in der Vorrichtung dertart abgedichtet, dass der Unterdruck nur innerhalb der Bohrung für die Düsennadel wirksam wird.

Als Basis für den automatischen Fügeprozess wurde ein im Labor für Mess-, Steuer- und Regelungstechnik vorhandener, 6-achsiger Industrieroboter von Kuka, Augsburg, eingesetzt, der eine Wiederholgenauigkeit von kleiner $\pm 0,05$ mm hat **Bild 4**. Damit wurden die Versuchsteile gegriffen, in der Mon-



Bild 4
Der eingesetzte Industrieroboter „Kuka KR3“ verfügt über sechs Achsen.

tagevorrichtung positioniert und nach der Montage wieder abgelegt. Sämtliche Versuchsteile – in diesem Fall Düsenkörper und Düsennadeln – waren in Paletten sortiert.

Funktionsweise

Zur Überwindung der Widerstandskräfte beim Fügen der Formteile sind zwei Verfahrensmerkmale charakteristisch: Erstens die Schwingungsanregung zur Überwindung der Reibungskräfte, zum Zweiten der Unterdruck, der eine beim Fügen der Teile entstehende Luftkompression im aufnehmenden Formteil (hier der Düsenkörper) verhindert. Für die im Versuch verwendeten Düsennadeln wurde in der Abdeckung des Werkstückträgers eine Bohrung vorgesehen, um die Nadeln aufzunehmen und den Düsenkörper abzudichten, **Bild 5**. Diese dient nur zur Fixierung der Düsennadel, bei der eine Vorpositionierung ausreicht. Hier zeigt sich ein weiteres Charakteristikum des entwickelten Verfahrens – die Lage der Formteile zueinander. Eine exakte Positionierung des zweiten Formteils zum ersten – Düsennadel zu Düsenkörper – ist nicht erforderlich. Dadurch entfällt die entsprechende Sensorik, was zu einer deutlichen Vereinfachung des Montageablaufs führt.

Nachdem die Düsennadel abgelegt ist, findet über die Piezoaktoren eine Schwingungsanregung des Werkstückträgers in den zwei Hauptachsen statt, die diese auf die Düsennadel überträgt und dabei eine günstige Relativbewegung zwischen den beiden Formteilen bewirkt. Die maximale Schwingungsanregung beträgt circa 300 Hz. Zur Begrenzung der Relativbewegung wird ein Anschlag eingesetzt. Dieser stellt eine zuverlässige Übertragung der Schwingungsanregung sicher. Gleichzeitig wird eine Bewegungsumkehr erreicht, die den Fügeprozess unterstützt. Zusätzlich erzeugt die Schwingungsanregung bei ro-

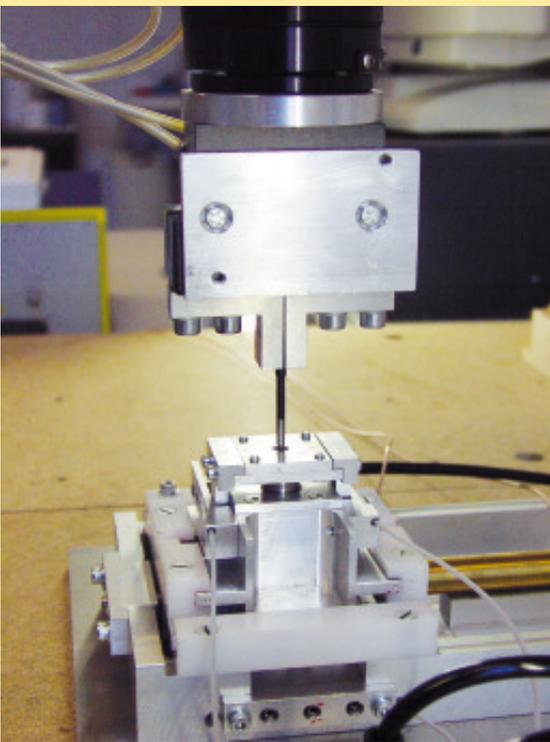


Bild 5

Die Positionierung der Düsenadel geschieht mit einer Aufnahmebohrung.

tationssymmetrischen Teilen noch eine relative Drehbewegung, das heißt eine Änderung der Winkelstellung der Formteile zueinander.

Für die Untersuchung der Relativbewegungen und des Fügevorgangs steht eine Hochgeschwindigkeitskamera zur Verfügung. Die Kamera liefert bis zu 900 Bilder in der Sekunde und gestattet es, Vorgänge darzustellen, die sonst nicht beobachtbar sind. So können verschiedene Parameter des Verfahrens optimiert werden.

Durch die Überlagerung der beiden Relativbewegungen werden die Formteile so positioniert, dass eine reibungs-

minimierte und verkantungsfreie Montage gewährleistet ist. Wegen der Schwingungsanregung mit unterstützendem Unterdruck ist eine zusätzliche Fügekraft nicht erforderlich, was für eine Bauteil schonende Montage sorgt. Für die verschiedenen Problemstellungen bei der Montage unterschiedlicher Präzisionsteile können die Amplituden, Frequenzen und Schwingungsmoden der Schwingungsanregung entsprechend angepasst werden, **Bild 6**. Das gilt insbesondere für die Resonanz und die Eigenfrequenz der Formteile. Außerdem können dadurch parallel in der Ebene oder im Raum auch mehrere Formteilpaarungen zur Schwingung angeregt werden.

Alle verwendeten Düsen wurden unter den beschriebenen Bedingungen in vielen Versuchsreihen ohne Probleme montiert, obwohl die verschiedenen Einstellparameter noch nicht optimiert und deren Wechselwirkung noch nicht untersucht wurden. In weiteren Versuchen soll nun ermittelt werden, welche Einstellungen beziehungsweise welche Kombination der Eingangsgrößen zum besten Montageergebnis führen.

Fazit

Das vorgestellte Verfahren gestattet das Fügen hochpräziser Formteile ohne

Einsatz von Kraft-, Moment- und Lage-sensoren. Stattdessen sorgen Schwingungsanregung und Unterdruck für eine schonende Montage der Bauteile. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass neben den Schwingungsparametern auch die Formabweichungen der Fügeteile zu den wichtigsten Einflussparametern beim Fügen von Präzisionsteilen gehören.

Die zum Verfahren zugehörigen Drehbewegungen eines der Formkörper wirken unterstützend auf den Montageprozess und tragen zur einer Prozessoptimierung und Produktivitätsverbesserung bei. Hinsichtlich der Bestrebungen zu einer Absolutmaßfertigung und anschließender Montage in dieser Genauigkeitsklasse würde damit ein wichtiger Beitrag geleistet. Auch in der Möglichkeit einer Modularisierung des Systems, bei der zeitgleich mehrere Teile gefügt werden können, liegt ein großes Produktivitätspotential.

Literatur

- [1] Offenlegungsschrift DE 101 59 482 A1 des Deutschen Patent- und Markenamts, 2003.
- [2] Brand, S.; Laux, Th.: Einsatzmöglichkeiten und -bereiche von piezokeramischen Aktoren. VDI/VDE-TI GmbH, Berlin, Band 1, 1990.
- [3] Witt, S.; Steiner, D.; Wieck, M.: Einsatz von Parallelkinematiken in der Praxis. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre, RWTH Aachen, 2003.
- [4] Spath, D.: ACCOMAT – Die genauigkeitsgeregelte Maschine. Teilprojekt: Bildverarbeitung/Mikropräzisionsmontage. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, 2002.

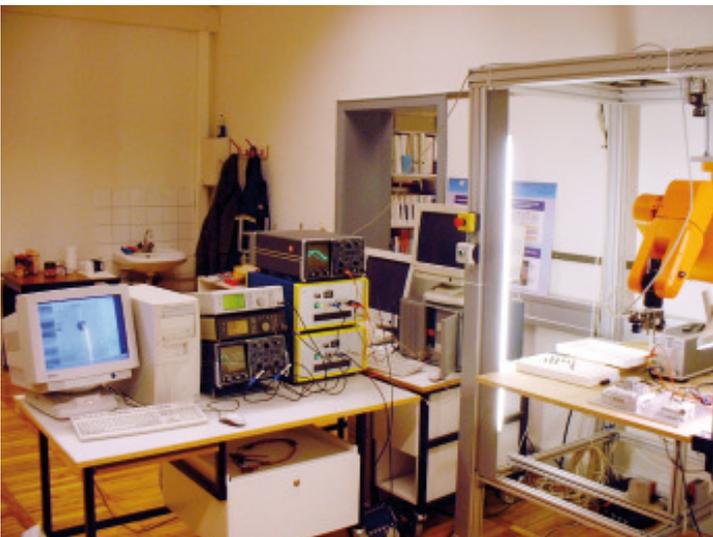


Bild 6

Am Versuchsstand sorgt eine Hochgeschwindigkeitskamera für eine präzise Darstellung der ablaufenden Vorgänge beim Fügen.