

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Katharina Klimscha

Einfluss des Fügespalts auf die erreichbare Verbindungsqualität beim Sinterfügen

Band 181

Einfluss des Fügespalts auf die erreichbare Verbindungsqualität beim Sinterfügen

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
der Fakultät für Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation
von

Katharina Klimscha
aus Karlsruhe

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Januar 2014
Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kraft

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2628-3

ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, in dem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als akademische Mitarbeiterin am wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Die Forschungsarbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Jürgen Fleischer für die Übernahme des Hauptreferats und die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit sowie die stets offene Diskussionskultur. Herrn Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kraft danke ich für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse und für die Übernahme des Koreferats. Zudem danke ich Herrn Prof. Dr. Marcus Geimer für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Dass mir die Möglichkeit zur Anfertigung dieser Arbeit geboten wurde, habe ich auch meinem Vorgänger Herrn Adam-Mwanga Dieckmann zu verdanken.

Ich danke allen Kollegen und Kolleginnen des wbk und des KIT, besonders meiner Gruppe der MAP für die ertragreichen fachlichen Diskussionen, die Hilfestellungen und das positive Arbeitsklima, die das gemeinsame Arbeiten und Forschen begünstigt haben. Ohne das tatkräftige Engagement zahlreicher Mitarbeiter und Studierender, die mich bei meinen Projekten unterstützt haben, wären mir die in der Arbeit durchgeführten Untersuchungen nicht möglich gewesen.

Den größten Dank richte ich an meine Freunde und meine Familie. Besonders danke ich meinen Eltern, Janina und Janusch Klimscha, dass sie mir diesen Weg ermöglichten und mir dabei zu jeder Zeit Rückhalt gegeben haben.

Karlsruhe, Februar 2014

Katharina Klimscha

Abstract

The increasing integration of functions into technical systems does not only require a miniaturizing of the individual components but also suitable ways within the production process to integrate individual parts into the overall system. Thereby, it is unavoidable to use joining processes. The MIM (metal injection moulding) sinter joining that was examined as part of this work represents an innovative joining method for connecting MIM components at reduced effort. With this method, MIM green parts are assembled already before the sintering process, and are joined in the anyway necessary sintering process.

A demand for research was derived from the state of the art and state of research that was systematically examined in this work regarding the requirements of the initial surface contact for producing high-quality joints. The studies were exemplarily carried out on rotationally symmetric samples of hollow parts made of carbonyl iron.

Objectives of the work are the identification of the relevant mechanisms during MIM sinter joining, the development of an adequate shape of the joining surfaces for rotationally symmetric hollow joining partners as well as the investigation of the relationships between the deviations in shape of the joining surfaces and the resulting quality of the joint.

At first, a sinter joining model is developed according to the objectives, on which the determination of the most important effects influencing the joining procedure is based.

After identifying conical joining surfaces as a suitable surface shape, the influence of the initial joining gap width on the joint quality before joining is systematically examined with this shape. By means of micrograph investigations and CT scans as well as tensile tests for the sinter joints, precision requirements for a high quality of the joint can be identified. The joint quality is evaluated on the basis of the following criteria: completeness of the sinter joint, shape accuracy of the samples in the joint area and the adjacent area and tensile strength.

The identified precision requirements are stored in a toleration tool for hollow rotationally symmetric joining partners of carbonyl iron that serves as a device for an automatic determination of the required tolerances in MIM sinter joining.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen und Abkürzungen	III
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 MIM-Sinterfügen	4
1.3 Wissenschaftliche Fragestellung und Herausforderungen	5
2 Grundlagen, Stand der Forschung und Technik	7
2.1 Das Pulverspritzgießen	8
2.2 Grundlagen und Verfahrensprinzip des MIM	10
2.3 Der Sinterprozess	12
2.4 Anwendungsbereich und Gestaltung von MIM-Bauteilen	21
2.4.1 Dimensionsbereich und erreichbare Toleranzen	22
2.4.2 Gestaltungsrichtlinien	22
2.4.3 Erreichbare Komplexität	23
2.4.4 Einsetzbare Werkstoffe	24
2.5 Industrieller Einsatz von MIM-Bauteilen	25
2.6 Aktuelle Forschung auf dem Gebiet des MIM	28
2.7 Fügen von MIM-Bauteilen	30
2.8 MIM-Verbundbauteile durch Sintern	36
2.8.1 Zweikomponentenpulverspritzgießen	37
2.8.2 Einlegeverfahren	40
2.8.3 MIM-Sinterfügen	42
2.9 Prozessautomatisierung beim MIM	50
2.10 Fazit aus dem Stand der Forschung und Technik	53
3 Ziel der Arbeit	56
4 Lösungsansatz und Vorgehensweise	57
4.1 Lösungsansatz	57
4.2 Vorgehensweise	58
5 Identifikation der Mechanismen beim Sinterfügen und Modellbildung	62
5.1 Mikroskopische Vorgänge	62

5.2	Makroskopische Einflüsse	68
6	Untersuchungen zur Gestaltung der Fügeflächen	70
6.1	Anforderungen an die Fügeflächengestalt	70
6.2	Teilung der Baugruppen und Gestaltung der Fügeflächen	72
6.3	Experimentelle Voruntersuchungen der Fügeflächengestalt	75
6.4	Untersuchung der Fügeflächengestalt am Demonstrator	89
7	Quantitative Parameteruntersuchungen	103
7.1	Versuchsvorbereitung	103
7.1.1	Ermittlung der Referenzfestigkeit	104
7.1.2	Zugprobengestaltung	106
7.1.3	Herstellungsprozess der sintergefügten Zugproben	108
7.1.4	Charakterisierung der Werkzeuge und grünen Proben	112
7.1.5	Untersuchung der Montagekraft	120
7.1.6	Gesamtprozessautomatisierung	124
7.2	Versuchsplanung	129
7.3	Versuchsdurchführung	141
7.3.1	Probenherstellung und -charakterisierung	141
7.3.2	Schliffbilduntersuchungen	145
7.3.3	Computertomografische Untersuchungen	145
7.3.4	Zugversuche	146
7.4	Versuchsauswertung	148
7.4.1	Auswertung der Schliffbilduntersuchungen	148
7.4.2	Auswertung der CT-Untersuchungen	150
7.4.3	Auswertung der Zugversuche	153
7.4.4	Interpretation der Ergebnisse	157
8	Ableitung von Genauigkeitsanforderungen	161
9	Validierung der Genauigkeitsanforderungen	166
10	Zusammenfassung und Ausblick	173
10.1	Zusammenfassung	173
10.2	Ausblick	176
Literaturverzeichnis		I
Anhang		XVII