

Florian Weikert

Produktmodell für die Synchronisation von Teileverbunden der Mikroumformtechnik

Produktmodell für die Synchronisation von Teileverbunden der Mikroumformtechnik

Vom Fachbereich Produktionstechnik
der
UNIVERSITÄT BREMEN

zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Wi.-Ing. Florian Weikert

Gutachterinnen: Prof. Dr.-Ing. Kirsten Tracht (Universität Bremen)
Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. Birgit Awiszus (TU Chemnitz)

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Oktober 2018

Berichte aus dem Bremer Institut für Strukturmechanik und
Produktionsanlagen

Band 2/2019

Florian Weikert

**Produktmodell für die Synchronisation
von Teilverbunden der Mikroumformtechnik**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2019

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.: Bremen, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6567-1

ISSN 2196-2391

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

Die vorliegende Arbeit entstand während und nach meiner Tätigkeit am Bremer Institut für Strukturmechanik und Produktionsanlagen (bime). Grundlage bildete die Bearbeitung des Teilprojektes C5 des Sonderforschungsbereiches 747 Mikrokaltumformen (SFB 747). Das zentrale Anliegen des SFB 747 war die Bereitstellung von Prozessen und Methoden für die umformtechnische Herstellung metallischer Mikrokomponenten.

Frau Prof. Dr.-Ing. Kirsten Tracht danke ich für die fachliche und persönliche Betreuung und stetige Förderung der Forschungsarbeit sehr herzlich. Die von ihr gebotenen Freiräume sowie ihre konstruktiven Hinweise ermöglichten mir die Erstellung dieser Dissertation.

Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math. Birgit Awiszus danke ich für die Übernahme des Koreferats, die kritische Durchsicht und die fachliche Beurteilung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhfuß gilt mein Dank für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Bei meinen „alten“ Kollegen bedanke ich mich für die schöne gemeinsame Zeit am Institut. Herrn Dr.-Ing. Daniel Schneider spreche ich meinen Dank für die langjährige freundschaftliche Zusammenarbeit als Bürokollegen und die stets kritische Prüfung meiner wissenschaftlichen Arbeiten aus. Dipl.-Ing. Sebastian Högrevé danke ich für die intensive Durchsicht meiner Doktorarbeit und die ständige Diskussionsbereitschaft im Rahmen der Erstellung dieser. Herrn Dr.-Ing. Peter Schuh danke ich dafür, dass er mich am Abenteuer bime „partizipieren“ ließ, und für die ständige professionelle und freundschaftliche Zusammenarbeit. Herrn Dr.-Ing. Lars Funke danke ich ebenso für die stets professionelle und freundschaftliche Zusammenarbeit und dafür, dass er immer ein offenes Ohr für die Belange seiner Kollegen hatte.

Meinen studentischen Hilfskräften Tobias Hanke und Christian Perl danke ich für die Unterstützung beim Aufbau des Produkt- sowie Simulationsmodells.

Herrn Dr.-Ing. Christian Schenck, Herrn Dipl.-Ing Philipp Wilhelmi und Herrn Dr.-Ing. Eric Mouni danke ich für die stets enge, fruchtbare und vertrauensvolle Zusammenarbeit im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 747.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Eltern Ingrid und Christof Weikert bedanken, die mir meine Ausbildung ermöglichten und mir während meiner Dissertations- und gleichzeitigen Pendlerzeit so sehr den Rücken freigehalten haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner lieben Frau Ann-Kathrin für ihre uneingeschränkte Unterstützung, ständige Motivation und stetige Bereitschaft, eigene Interessen zurückzustellen. Gleiches gilt für meine Töchter Greta und Lilith, die ein für ihr Alter ungewöhnlich großes Verständnis dafür aufgebracht haben, dass ihr „Papa arbeiten“ musste.

Kurzfassung

Produktmodell für die Synchronisation von Teilverbunden der Mikroumformtechnik

Der wachsende Bedarf an miniaturisierten Produkten führt zu erhöhten Anforderungen an Fertigungseinrichtungen und Produktionsnetzwerke. In der derzeit nur als Massenproduktion wirtschaftlichen Mikrofertigung stehen sich Flexibilität und Produktivität diametral gegenüber. Neben technologischen Herausforderungen und Potenzialen der Miniaturisierung sind gängigen Fertigungsverfahren im Mikrobereich physikalische Grenzen gesetzt. Diese veränderten Bedingungen wirken sich auch auf die prozesstechnologische und -logistische Beurteilung der Mikrofertigung aus.

Umformende Verfahren bieten bei einer erfolgreichen Überführung in den Mikrobereich Potenziale, die Anforderungen an Flexibilität und Produktivität zu erfüllen. Diverse Arbeiten befassen sich mit der Erforschung neuer Umformtechnologien für die Mikrofertigung. Arbeiten zur prozesstechnologischen Beurteilung von Mikroumformprozessketten sowie zur Erforschung der prozesslogistischen Integration der Ablauf-, Arbeits- und Prozessplanung in der Mikroumformung sind nicht gegeben. Fertigungstechnologische Arbeiten befassen sich nur am Rand mit der Thematik. Für die Integration umformtechnischer Verfahren in Prozessketten sowie für die Beurteilung dieser unter der Berücksichtigung qualitativer und logistischer Elemente existiert derzeit kein systematischer Ansatz.

Die methodengestützte kombinierte prozesstechnologische und -logistische Beurteilung der umformtechnischen Herstellung von Mikrobauteilen in Prozessketten birgt Potenziale, um für Prozesse der Mikroumformtechnik künftig schneller die Produktionsreife zu erreichen. In der vorliegenden Arbeit wird ein mehrstufiger Ansatz verfolgt, um eine strukturelle Grundlage für die kombinierte prozesstechnologische und -logistische Beurteilung zu schaffen. Zunächst wird die Identifizierung von technischen Elementen vorgenommen, welche im Detail Einfluss auf die Teilverbundfertigung ausüben. Die zweite Stufe fasst die ermittelten Elemente zu Gruppen und Sichten zusammen und verknüpft diese sachlogisch zu einem integrierten Produktmodell. Die Beurteilung der Logistik und Fertigung findet in der dritten Stufe statt, auch um Rückflüsse konkreter Daten in die Produkt- und Beschreibungsebene zu ermöglichen.

Ziel der Arbeit ist die Schaffung eines Modells für die Identifizierung und Untersuchung relevanter Parameter für die technische und logistische Beurteilung der Teilverbundsynchronisation. Ein auf der ISO Norm 10303 basierendes Produktmodell für die Fertigung von Mikrobauteilen in Teilverbunden ist das Ergebnis. Das Modell vereint mit der Geometrie-, Kinematik-/Dynamik-, Logistik- und Qualitätssicht die wesentlichen Sichten auf das Produkt. Im Einklang mit dem Modell werden Prozessketten gestaltet und simulationsunterstützt Szenarien der Teilverbundsynchronisationen untersucht, um die im Produktmodell abgebildeten Zusammenhänge zu analysieren. Das in den Mittelpunkt gestellte Produkt ist der Teilverbund. Dieser ermöglicht es, Skalierungseffekte zu umgehen, indem die Bauteile durch eine physische Verkettung gemeinsam als eine größere Einheit gehandhabt werden.

Abstract

Product Model for the Synchronization of Linked Parts in Micro Forming Technology

A rising demand of miniaturized products leads to increased requirements on production facilities and production networks. To date manufacturing of micro parts is only economical in mass production. There is a trade-off in productivity and flexibility. Apart from technological challenges and potentials of miniaturization, common procedures in micro manufacturing face physical limits. The changed conditions have an effect on the evaluation of micro manufacturing in regards to the process technology and the process logistics.

Forming procedures have the potential to meet the requirements on flexibility and productivity if they are successfully transferred to the micro range. Various works deal with the investigation of new forming technologies for micro manufacturing. Publications dealing with the process technological evaluation of micro forming process chains as well as for the investigation of the process logistical integration of operation scheduling, work planning and process planning in micro production do not exist. Production technological publications address this topic only marginally at best. There is no systematic approach for the integration of forming procedures into process chains or for evaluating those, taking into account qualitative and logistical features.

The method-based, combined process technological and process logistical evaluation of the production of micro parts, using forming technologies, has potentials for achieving production maturity of micro manufacturing faster. In this thesis a multi-level approach is pursued to create a structural base for a combined process technological and process logistical evaluation. At first features influencing the linked parts production are identified in detail. The second step clusters the identified elements as well as views and links them logically to an integrated product model. The evaluation of the logistics and manufacturing takes place in the third step, enabling a flow of information to the product and description level.

The objective of this thesis is to create a model for the identification and investigation of relevant parameters for the technical and logistical evaluation of the linked parts synchronization. The result is a product model for manufacturing micro parts in linked parts, which is compliant with the ISO 10303. The model combines the most relevant views: geometry, kinematics/dynamics, logistics and quality. Process chains are built according to the model and simulation based scenario analysis of the linked parts synchronization is conducted. The goal is to investigate the coherences of the model. The focus is on the product linked parts, which prevent size effects. By physically connecting the micro parts, a larger unit is created and handling becomes more viable.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	1.1 Ausgangssituation.....	1
	1.2 Problemstellung	2
	1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2	Prozesse der Mikroumformtechnik	5
	2.1 Mikro(kalt-)umformen.....	6
	2.1.1 Blechumformverfahren Tief- und Streckziehen	6
	2.1.2 Blechvorbereitungsverfahren Stanzen.....	8
	2.1.3 Drahtumformverfahren Rundkneten.....	9
	2.1.4 Drahtvorbereitendes Verfahren Laserstoffanhäufen	11
	2.2 Größeneffekte der Mikroproduktion.....	12
	2.3 Handhabung von Mikrobauteilen.....	13
	2.3.1 Vereinzelte Handhabung metallischer Mikrobauteile	14
	2.3.2 Fertigung und Handhabung im Teileverbund	16
	2.4 Reparatur von Teileverbunden.....	18
	2.5 Statistische Grundlagen.....	20
	2.6 Prozessketten in der Mikroumformung.....	22
	2.6.1 Fertigung hochpräziser Mikrokomponenten in Prozessketten.....	22
	2.6.2 Wirtschaftliche und organisatorische Gestaltung von Mikroprozessketten	23
	2.7 Problembeschreibung und Forschungsbedarf.....	25
3	Auslegung, Abbildung und Beurteilung von Prozessketten	27
	3.1 Balancing automatisierter verketteter Systeme	27
	3.1.1 Kennwerte und Materialflusselemente in Materialflusssystemen	28
	3.1.2 Verfügbarkeit verketteter automatisierter Systeme	29
	3.1.3 Planung von Materialflusssystemen.....	30
	3.1.4 Beurteilung von Materialflusssystemen.....	31
	3.1.5 Modellierung und Simulation von Materialflusssystemen.....	32
	3.2 Produktmodellierung mit STEP	33
	3.3 Diskussion der beschriebenen Methoden	36

4	Technische Elemente	37
4.1	Geometrische Elemente und Geometrieanalyse	38
4.2	Technische Elemente mit Bezug zur Arbeitsplanung und Fertigung.....	39
4.3	Qualitätselemente	41
4.4	Technische Elemente für die Logistik und Kostenbestimmung.....	41
4.5	Beziehungen zwischen technischen Elementen.....	43
4.6	Erzeugung auf technischen Elementen basierender Modelle	44
4.7	Diskussion technischer Elemente für die Beurteilung der Teileverbundfertigung..	44
5	Analyse der Teileverbundprozessketten.....	47
5.1	Die Prozesskette Linienverbund für drahtförmige Teileverbunde	47
5.1.1	Geometrische Beschreibung des Linienverbundes	47
5.1.2	Prozess der Linienverbundherstellung.....	48
5.1.3	SADT/IDEF-Diagramm der Linienverbundfertigung	51
5.2	Die Prozesskette Leiterverbund für blechförmige Teileverbunde.....	53
5.2.1	Geometrische Beschreibung des Leiterverbundes.....	53
5.2.2	Prozess der Leiterverbundherstellung.....	55
5.2.3	SADT/IDEF-Diagramm für die Leiterverbundfertigung	57
5.3	Synchronisation von Linien- und Leiterverbund.....	59
5.3.1	Prozesstechnische Betrachtung der Teileverbundsynchronisation.....	60
5.3.2	SADT/IDEF-Diagramm für die Teileverbundsynchronisation.....	62
5.4	Zusammenfassende Bemerkungen zur Analyse der Teileverbundprozessketten.	64
6	Strukturelle Beurteilung der Teileverbundsynchronisation.....	65
6.1	Material- und Informationsstruktur der Teileverbundsynchronisation.....	65
6.2	Fertigungstechnische Beurteilung der Teileverbundsynchronisation	68
6.2.1	Bauteilbezogene Geometrielemente.....	68
6.2.2	Qualitäts- und Kontrollelemente der Teileverbundfertigung.....	69
6.2.3	Beziehung von Geometrie- und Qualitäts- und Kontrollelementen.....	70
6.3	Kinematische, dynamische und logistische Beurteilung der Synchronisationsprozesse	72
6.3.1	Kinematische und dynamische Elemente	72
6.3.2	Logistische Größen der Teileverbundsynchronisation.....	73

6.3.3	Verknüpfung von Kinematik und Dynamik mit der Zeit und Kapazität	74
6.3.4	Beispiel für die Umsetzung der Integration von Logistik und Kinematik/Dynamik	75
6.4	Beziehung zwischen logistischer und fertigungstechnischer Sicht	76
6.4.1	Zusammenführung von Logistik- und Qualitätssicht.....	76
6.4.2	Beispiel für die Umsetzung der Zusammenführung von Logistik und Qualität	77
6.4.3	Verknüpfung von Geometrie- und Kinematik-/Dynamikssicht	78
6.5	Prozesskettenübergreifende Synchronisation	79
6.5.1	Beziehung zwischen den Logistikelementen zweier Teileverbundarten	80
6.5.2	Integration der Qualitätssichten der beteiligten Teileverbunde	80
6.6	Integriertes Produktmodell	81
6.7	STEP Produktmodell für die Teileverbundsynchronisation	82
6.7.1	Geometrische Repräsentation eines Teileverbundes.....	85
6.7.2	Repräsentation der Fertigungstechnik in STEP	86
6.7.3	Repräsentation der Handhabungstechnik in STEP	87
6.8	Zwischenfazit zur Produktmodellierung	88
7	Simulative Beurteilung der Teileverbundsynchronisation	91
7.1	Simulationsumgebung	91
7.2	Aufbau und Arbeitsweise des Teileverbundsynchronisationsmodells	92
7.3	Synchronisationsszenarien	96
7.3.1	Variationsmöglichkeiten für die Synchronisationsszenarien	96
7.3.2	Evaluierung der Synchronisationsszenarien	97
7.4	Parametrisierung der Elemente für die Synchronisationssimulation	100
7.4.1	Parametrisierung von Qualitätselementen der Prozesskette Linierverbund	100
7.4.2	Parametrisierung von Qualitätselementen der Prozesskette Leiterverbund	104
7.4.3	Parametrisierung von Logistikelementen der Prozesskette.....	104
7.4.4	Abstraktion der Daten für die Verwendung in der Simulation	105

7.5	Simulationsergebnisse der Synchronisationsszenarien.....	108
7.5.1	Ergebnisse unbalancierter Basisszenarien	108
7.5.2	Ergebnisse balancierter Basisszenarien	111
7.5.3	Ergebnisse unbalancierter Basisszenarien unter der Berücksichtigung einer ersten Fehlerkorrektur.....	113
7.5.4	Ergebnisse balancierter Basisszenarien unter der Berücksichtigung einer ersten Fehlerkorrektur.....	115
7.5.5	Ergebnisse für die Szenarien bei einer ausbalancierten [n:n] Verkettung bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualität auf 90 % Gutteile	116
7.5.6	Ergebnisse für die Szenarien bei einer ausbalancierten [n:n] Verkettung bei gleichzeitiger Anpassung der Qualität auf 95 % Gutteile	119
7.5.7	Ergebnisse für die Szenarien bei einer ausbalancierten [n:n] Verkettung bei gleichzeitiger Hochskalierung der Qualität auf 99 % Gutteile	121
7.6	Quervergleich zwischen 3er, 4er und 5er Szenarien	123
7.7	Erweiterung der Szenarienanalyse.....	124
8	Zusammenfassung	127
	Literaturverzeichnis	129
	Anhang	139