

Scripts Precision and Microproduction Engineering – Band 5

Jan Edelmann

Mikrostrukturierung von Flachglas durch Heißprägen

Impressum

Mikrostrukturierung von Flachglas durch Heißprägen

Autor:

Jan Edelmann

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schubert

Wichtiger Hinweis:

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2012

Professur Mikrofertigungstechnik
Technische Universität Chemnitz

Verlag Wissenschaftliche Scripten
www.verlag-wiss-scripten.de

ISBN: 978-3-942267-54-0

Vorwort des Herausgebers

In der Schriftenreihe Präzisions- und Mikrofertigungstechnik werden in loser Folge Forschungsergebnisse und Veranstaltungsbeiträge zu aktuellen Entwicklungen auf den Gebieten der Präzisionsfertigung und der Herstellung mikrostrukturierter Bauteile und Oberflächen *aus der Professur Mikrofertigungstechnik der Technischen Universität Chemnitz und dem Fraunhofer Institut Werkzeugmaschinen und Umformtechnik – Abteilung Präzisions- und Mikrofertigungstechnik* - veröffentlicht.

Der Trend zu immer höherer Präzision in der Fertigung von Bauteilen bei gleichzeitig steigenden Anforderungen an die Prozesssicherheit stellt besonders vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität und Funktionalität von Bauteilen in verschiedensten Anwendungen eine Herausforderung an die Fertigungstechnik dar.

Der vorliegende fünfte Band der Schriftenreihe ist der Herstellung von Präzisionsteilen aus Glas gewidmet. Glas ist ein Werkstoff, der mit seinen optischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften für viele Anwendungen in der Mikrosystem- und Feinwerktechnik, aber auch der Solarindustrie und weiteren Branchen, neben traditionellen Anwendungen, eine große Rolle spielt. Gerade für die Herstellung der erforderlichen Funktionalität in der Mikro- und Feinwerktechnik ist es notwendig, geeignete Fertigungstechnologien zu entwickeln, die höchste Präzision und Oberflächengüte der erzeugten Bauteile mit geringem Fertigungsaufwand und hoher Produktivität ermöglichen.

Herr Edelmann hat dieses Thema aufgegriffen und die Möglichkeiten des Verfahrens Heißprägen bei der Herstellung flächiger, mikrostrukturierter Bauteile aus Glas untersucht und weiterentwickelt. Damit widmet sich Herr Edelmann einer Technologie, die sowohl die Fertigung vieler miniaturisierter Systeme im Batch auf einem Wafer als auch die Strukturierung größerer flächiger Gebilde ermöglicht.

Mit der Konzentration auf die Verbesserung des Prägeprozesses hinsichtlich des Verständnisses der Prozessführung sowie der Erhöhung der erreichbaren Abformgenauigkeit hat Herr Edelmann einen wesentlichen Aspekt zur technischen Umsetzung der Technologie bearbeitet. Mittels der von ihm vorgestellten Modellierung des Prägeprozesses ist eine sichere Prozessauslegung beim Heißprägen flächiger Glassubstrate möglich. Die ergänzenden Untersuchungen zu einer neuen Methode der Beherrschung der Klebeneigung zwischen Werkstoff und Werkzeug sind ebenfalls von hoher praktischer Bedeutung und tragen zum prozesssicheren Betrieb von Heißprägeanlagen durch eine gut reproduzierbare Trennschicht zwischen Werkzeug und Werkstück bei.

Prof. Dr. Andreas Schubert
Chemnitz, im August 2012

Mikrostrukturierung von Flachglas durch Heißprägen

Von der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz

genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von	Dipl.-Ing. Jan Edelmann
geboren am	13.12.1978 in Stollberg / Erzgeb.
eingereicht am	16. Januar 2012

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schubert

Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke

Chemnitz, den 12. Juli 2012

Bibliografische Beschreibung

Edelmann, Jan

Thema: Mikrostrukturierung von Flachglas durch Heißprägen

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 2012

158 Seiten, 74 Abbildungen, 19 Tabellen, 124 Literaturzitate

Referat

Die Prozessgestaltung und Prozessführung beim Heißprägen von Flachglas bilden das Kernthema dieser Dissertation. Primäres Ziel ist das Schaffen von Voraussetzungen für eine reproduzierbare, berechenbare und ressourceneffiziente Replikation von Mikrostrukturen in Glas, einhergehend mit der Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit. Ein Prozessmodell ermöglicht es, die erforderliche Presskraft und Prägezeit zum Realisieren eines definierten Umformweges zu berechnen. Die Optimierung der Prozessführung gestattet die prozesssichere Replikation mikrofluidischer und mikrooptischer Komponenten. Das sekundäre Ziel der Arbeit ist die Untersuchung einer neuartigen Beschichtungsstrategie zum Verringern von Haft- und Klebeerscheinungen zwischen Formwerkzeug und Glassubstrat. Das Beschichten des Glases wirkt sich positiv auf die Abformgenauigkeit sowie die Zykluszeit für das Heißprägen aus und erlaubt durch die Reduzierung der Haftkräfte die Abformung komplexer Geometrien zur großflächigen Mikrostrukturierung anorganischer Gläser.

Schlagworte: Mikrofertigung, Glas, Heißprägen, Glaspressen, Mikrofluidik, Mikrooptik

Abstract

The process design and control in hot embossing of flat glass forms the main topic of this thesis. The primary goal is the creation of conditions for a reproducible, predictable and resource-efficient replication of microstructures in glass, in conjunction with the improvement of accuracy. A process model allows the calculation of the necessary pressing force and time for the realization of a defined forming stroke. The process optimization guarantees the process reliable replication of micro fluidic and micro optic components. The secondary goal of the thesis is the examination of a new coating strategy for the decrease of adhesion and sticking between forming tool and glass substrate. The glass coating affects the accuracy as well as the cycle time for hot embossing positively. By the reduction of adhesive forces it is possible to realize complex geometries in large area micro structuring of inorganic glasses.

Keywords: micro production, hot embossing, glass pressing, micro fluidics, micro optics

Inhaltsverzeichnis

Bibliografische Beschreibung	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
Formelzeichen	11
Vorwort	13
1 Einleitung und Motivation	15
2 Formgebung technischer Gläser in der Mikrosystemtechnik	17
2.1 Überblick zu industriell eingesetzten technischen Gläsern	17
2.1.1 Eigenschaften von Glas	17
2.1.2 Wichtige Glasarten	19
2.1.3 Glasfertigungstechnik	24
2.2 Mikrostrukturierung von Glas	27
2.2.1 Definition der Mikrostrukturierung	27
2.2.2 Anforderungen zur Mikrostrukturierung von Glas	28
2.2.3 Abtragende Verfahren zur Mikrostrukturierung von Glas	29
2.2.4 Abformverfahren zur Mikrostrukturierung von Glas	35
2.3 Handlungsbedarf zur industriellen Nutzung der Glasheißformgebung	40
3 Zielsetzung	46
4 Versuchsvoraussetzungen	49
4.1 Versuchsanlagen zum Heißprägen	49
4.2 Prozessabfolge des Heißprägens	53
4.3 Werkzeugsystem Mikroheißprägen	55
4.4 Werkzeuge für das Heißprägen von Glas	58
5 Prozessfenster zur Mikrostrukturierung von Flachglas durch Heißprägen	60
5.1 Beeinflussbare Parameter zur Prozessgestaltung	60
5.2 Viskositäts-Temperatur-Verhalten von Glas	62
5.3 Prozessmodell des viskosen Flusses	67
5.4 Experimentelle Verifikation	76

5.4.1	Versuchsplanung und Fehlerbetrachtung	76
5.4.2	Versuchsdurchführung	78
5.4.3	Einsenkverhalten bei konstanter Viskosität	79
5.4.4	Viskositätskurven	84
5.4.5	Freie Formausbildung von Linsen	86
6	Prozessgestaltung zur Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit	91
6.1	Systematische Formabweichungen zwischen Werkzeug und Glas	91
6.1.1	Formabweichung bestimmende Parameter	91
6.1.2	Messmethodik und Genauigkeit	95
6.1.3	Rechnerische Ermittlung von Korrekturfaktoren	97
6.1.4	Experimentelle Ermittlung von Korrekturfaktoren	100
6.2	Einfluss der Prozessparameter auf die Abbildungsgenauigkeit	103
6.2.1	Abbildungsfehler durch Prozessgaseinschlüsse	103
6.2.2	Kantenverrundung durch unzureichende Pressung	109
6.2.3	Grenzen der Prozessgestaltung zur Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit	113
6.3	Entformung – Strategien und Grenzen	116
6.3.1	Neuartige Beschichtungsstrategie	116
6.3.2	Substrate und Beschichtungen	116
6.3.3	Haft- und Klebeverhalten beschichteter Gläser	118
6.3.4	Dehnbarkeit der Beschichtung und deren Grenzen	120
6.3.5	Heißgeprägte Mikrofluidikstrukturen	126
6.3.6	Einfluss von Werkzeugbeschichtungen im Prozess	128
7	Kostenstruktur zum Heißprägen von Glas	131
8	Zusammenfassung und Ausblick	134
	Literaturverzeichnis	139
	Abbildungsverzeichnis	151
	Tabellenverzeichnis	156
	Lebenslauf	157
	Danksagung	158