

Inhaltsverzeichnis

Content

1	Einleitung und Motivation	1
	Introduction and motivation	4
2	Stand der Technik	7
2.1	Herstellung mikrostrukturierter Oberflächen	7
2.2	Replikation von Mikrostrukturen	17
2.2.1	Galvanische Replikation	18
2.2.2	Spritzguss- und Spritzprägeverfahren	19
2.2.3	Heißprägeverfahren	20
2.2.4	Nanoimprint-Lithographie (NIL)	21
2.2.5	Kontinuierliche Folienstrukturierung	22
2.3	Mikrooptische Strukturen für flächige Lichtleiter	23
2.4	Rekombination von Mikrostrukturen	28
2.5	Fazit zum Stand der Technik in Industrie und Forschung	30
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	31
4	Maschinentechnisches Anforderungsprofil	33
4.1	Prozessbeschreibung	33
4.2	Verformungsmodell für den mehrschrittigen Heißprägeprozess	34
4.2.1	Rheologisches Verhalten von Polymeren durch Scherung	35
4.2.2	Betrachtung des thermo-rheologischen Verhaltens im Bereich des Mikrowerkzeugs	39
4.3	Überführung in Anforderungen für ein Maschinensystem zum mehrschrittigen Heißprägen	44
4.3.1	Prozessesseitige Anforderungen an die Prägekraft	44
4.3.2	Prozessesseitige Anforderungen an die Werkzeugtemperatur	44
4.3.3	Prozessesseitige Anforderungen an die Positioniergenauigkeit	45
4.3.4	Anforderungen an integrierte Messmittel	46
4.3.5	Allgemeine Anforderungen an das Maschinensystem	47
4.4	Anforderungsliste	49
5	Konzeption des Heißprägesystems	51

5.1	Funktionsbeschreibung	51
5.1.1	Erarbeitung geeigneter Prägestrategien	51
5.2	Prägesystem	56
5.3	Positioniersystem	62
5.4	Messmittelintegration	65
5.5	Zusammenfassende Darstellung des Maschinenkonzepts	68
6	Entwicklung des hochdynamischen Prägewerkzeugs	71
6.1	Auslegung der Prägeaktorik	71
6.1.1	Werkzeugführung	71
6.1.2	Linearantrieb	73
6.1.3	Rotatorische Werkzeugorientierung	75
6.2	Werkzeugentwicklung	76
6.2.1	Werkzeugtemperierung und Werkzeugspannvorrichtung	77
6.2.2	Makrogeometrie des Werkzeugs	80
6.3	Sensorintegration	82
6.3.1	Kraftmessung	83
6.4	Regelungssystem für den Prägevorgang	84
6.4.1	Steuerungsarchitektur	84
6.4.2	Realisierung des Temperaturreglers	85
6.4.3	Regelung der Prägebewegung	87
6.4.4	Simulation des Prägevorgangs	92
7	Entwicklung eines Präzisionspositioniersystems	97
7.1	Mechanische Maschinenkomponenten	97
7.1.1	Gestellbauteile	97
7.1.2	Maschinenaufstellung	99
7.1.3	Maschinenachsen	99
7.1.4	Messmittelintegration	102
7.2	Funktionstest der Prägeeinheit	105
7.3	Charakterisierung der Positioniergenauigkeit	107
7.4	Luftaufbereitung	108
8	Prozessanalyse	111
8.1	Festlegung von Teststrukturen	111

8.1.1	Verformungsverhalten der Mikrostrukturen im Heißprägeprozess	112
8.1.2	Einfluss der Stempelkraft	117
8.1.3	Einfluss der Prägegeschwindigkeit	118
8.1.4	Auflösungsvermögen des Prägeprozesses	119
8.1.5	Prägen von Strukturen innerhalb des Einflussbereichs benachbarter Strukturen	121
8.1.6	Zusammenfassung der Erkenntnisse der Prozessanalyse	122
9	Prozessvalidierung und Ergebnisbewertung	125
9.1	Definition von Testbauteilen	125
9.1.1	Festlegung der Auskoppelstrukturen	126
9.1.2	Bestimmung des Strukturmusters	126
9.1.3	Überführung in Maschinendaten	129
9.1.4	Prägevorgang	130
9.1.5	Messtechnische Untersuchung	130
9.2	Bewertung der Fertigungsergebnisse	131
10	Zusammenfassung und Ausblick	133
11	Literaturverzeichnis	135