

Untersuchungen zum Lasersintern keramischer Suspensionen

**Von der
Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation**

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Christoph Ader

aus Gelsenkirchen

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Fritz Klocke

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Rainer Telle

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Mai 2006

Inhaltsverzeichnis

Contents

0	Abkürzungen und Formelzeichen	III
1	Einleitung	1
2	Grundlagen und Stand der Erkenntnis	5
2.1	Keramische Werkstoffe	5
2.1.1	Definitionen	5
2.1.2	Eigenschaften	6
2.1.3	Keramische Suspension	7
2.2	Formgebung keramischer Körper	11
2.2.1	Formgebung durch Verdichtung	12
2.2.2	Formgebung durch plastisches Verformen	14
2.2.3	Formgebung aus Suspensionen	15
2.2.4	Verfestigung durch Temperaturbehandlung	15
2.2.5	Formgebung durch spanabhebende Bearbeitung	18
2.3	Lasersintern keramischer Werkstoffe	19
2.3.1	Prozessgrundlagen	19
2.3.2	Pulverbasiertes Keramik-Lasersintern	21
2.3.3	Schlickerbasiertes Keramik-Lasersintern	24
2.4	Fazit	26
3	Zielsetzung, Lösungsansatz und Vorgehensweise	28
4	Systemanalyse	30
4.1	Prozessbeschreibung	30
4.2	Werkstoffspezifische Eingangsgrößen	31
4.3	Prozessspezifische Eingangsgrößen	37
4.4	Anlagenspezifische Eingangsgrößen	40
4.5	Ergebnisgrößen	41
4.6	Zusammenfassung	45

5	Modellierung des Suspensions-Lasersinterns	46
5.1	Trocknungsmodell	46
	5.1.1 Benetzung	46
	5.1.2 Trocknung/Verdampfung	49
5.2	Prozessmodell	54
	5.2.1 Optisches Teilmodell	54
	5.2.2 Thermisches Teilmodell	57
	5.2.3 Teilmodelle des Sinterprozesses	63
5.3	Zusammenfassung	68
6	Praktische Untersuchungen zum Suspensions-Lasersintern	70
6.1	Anlage und technische Rahmenbedingungen	70
	6.1.1 Umgestaltung des Arbeitsraums	70
	6.1.2 Gestaltung der Suspensionsförderung	72
	6.1.3 Technische Rahmenbedingungen	75
6.2	Trocknung keramischer Suspensionen	76
	6.2.1 Trocknungsvarianten	77
	6.2.2 Bestimmung der effektiven Schichtstärke	80
	6.2.3 Fazit zur Trocknung keramischer Suspensionen	82
6.3	Lasersintern von Siliziumoxid (SiO₂)	82
	6.3.1 Eigenschaften von Siliziumoxid	82
	6.3.2 Experimentelle Verifikation	84
6.4	Lasersintern von Aluminiumoxid (Al₂O₃)	94
	6.4.1 Eigenschaften von Aluminiumoxid	94
	6.4.2 Experimentelle Verifikation	95
6.5	Lasersintern von Zirkonoxid (ZrO₂)	105
	6.5.1 Eigenschaften von Zirkonoxid	105
	6.5.2 Experimentelle Verifikation	106
6.6	Fazit zum Suspensions-Lasersintern	118
7	Zusammenfassung und Ausblick	120
8	Literatur	126
9	Anhang	135
9.1	Technische Zeichnungen	135
9.2	Datenblatt des Suspensionsadditivs	137