

Andreas Gebhardt

Rapid Prototyping

Werkzeug für die schnelle
Produktentwicklung

Mit 166 Bildern und 37 Tabellen



Carl Hanser Verlag München Wien

Inhalt

Vorwort	1
Definition	3
1 Von der Produktentwicklung zum Rapid Product Development	5
1.1 Neue Anforderungen - neue Verfahren	5
1.1.1 Veränderte Randbedingungen für die Produktentwicklung	5
1.1.2 Konsequenzen für die Produktentwicklung	7
1.1.3 Schlüsselfaktor „time to market“	8
1.1.4 Einfluß von Modellen auf die Produktentwicklung	11
1.2 Simultaneous Engineering - Concurrent Engineering	13
1.2.1 Klassische Produktentwicklungsstufen	13
1.2.2 Anforderungen an neue Produktentwicklungsstrategien	15
1.2.2.1 Motivation durch Modelle	16
1.2.2.2 Zum Prinzip des Simultaneous Engineering (SE)	18
1.3 Rapid Prototyping als Element des Simultaneous Engineering	20
1.3.1 Produktentwicklung und Modelltypen	20
1.4 Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing	23
2 Merkmale generativer Fertigungsverfahren	27
2.1 Verfahrensgrundlagen	27
2.2 Grundlagen der Generierung der Schichtinformation (Geometrie)	28
2.2.1 Erzeugung von 3D-Geometrien	28
2.2.1.1 Datenfluß	28
2.2.1.2 Modellierung dreidimensionaler Körper im Computer	32
2.2.2 Erzeugung der mathematischen Schichten	43
2.2.3 Erzeugung der Konturierung in der Schichtebene	47
2.3 Grundlagen der Generierung des physikalischen Schichtenmodells	48
2.3.1 Verfestigen flüssiger Materialien - Photopolymerisation - Stereolithographie (SL)	49
2.3.2 Generieren aus der festen Phase	59

2.3.2.1	Ausschneiden aus Folien - Layer Lamine Manufacturing (LLM)	59
2.3.2.2	Schmelzen und Verfestigen aus der festen Phase - Fused Deposition Modeling (FDM)	60
2.3.2.3	Schmelzen und Verfestigen von Pulvern und Granulaten - Selektives LASER-Sintern (SLS)	62
2.3.2.4	Verkleben von Granulaten mit Bindern - 3D-Printing	67
2.3.3	Abscheiden aus der Gasphase - LASER Chemical Vapor Deposition (LCVD)	67
2.3.4	Zusammenfassende Darstellung und sonstige Verfahren	68
2.4	Formende Elemente - LASER für Rapid Prototyping	70
2.5	Zusammenfassende Beurteilung der theoretischen Potentiale der führenden Rapid Prototyping Verfahren	79
3	Industrielle Rapid Prototyping Systeme	83
3.1	Datenaufbereitung und Datenübertragung	84
3.2	Industrielle Rapid Prototyping Verfahren	91
3.2.1	Photopolymerisation - Stereolithographie (SL)	91
3.2.1.1	StereoLithography Apparatus (SLA) - 3D Systems	97
3.2.1.2	STEREOS - EOS	105
3.2.1.3	Stereolithographie - Fockele & Schwarze (F&S)	109
3.2.1.4	Solid Ground Curing - Cubital	111
3.2.2	Selektives LASER-Sintern (SLS)	115
3.2.2.1	Selektives LASER-Sintern - DTM	118
3.2.2.2	LASER-Sintern - EOS	125
3.2.2.3	Three Dimensional Printing von Keramik-Gußformen - Soligen	130
3.2.3	Layer Lamine Manufacturing (LLM)	132
3.2.3.1	Hot-Plot - SPARX	134
3.2.3.2	Laminated Object Manufacturing (LOM) - Helisys	137
3.2.3.3	Stratified Object Manufacturing (SOM) - Klink/MEC	146
3.2.4	Extrusionsverfahren	148
3.2.4.1	Fused Deposition Modeling (FDM) - Stratasys	148
3.2.5	Konventionelle Prototypverfahren	157
3.2.6	Vergleich Rapid Prototyping Verfahren - konventionelle Verfahren	158
3.2.7	Modellgenauigkeit und Anwendungsgebiete	160
3.2.7.1	Einflüsse auf die Modellgenauigkeit	161
3.2.7.2	Oberflächen	163
3.2.7.3	Benchmark-Tests und User-Parts	166

3.2.7.4	Vergleichende Betrachtung	168
3.2.7.5	Entwicklungsziele	171
3.3	Folgeprozesse	171
3.3.1	Zielwerkstoff Kunststoff	174
3.3.2	Zielwerkstoff Metall	181
4	Anwendungen	191
4.1	Rapid Prototyping in der industriellen Produktentwicklung	191
4.1.1	Beispiel: Pumpengehäuse	191
4.1.2	Beispiel: Dauerform für Feingußmodelle	193
4.1.3	Beispiel: Büroleuchten	194
4.1.4	Beispiel: Einbauleuchtenfassung	199
4.1.5	Beispiel: Modellbaggerarm	200
4.1.6	Beispiel: Spritzgußform	204
4.1.7	Beispiel: PKW-Innenleuchte	205
4.2	Rapid Prototyping Verfahren zur Überprüfung von Rechenverfahren	207
4.2.1	Beispiel: Spannungsanalyse an einem Kipphel eines LKW Verbrennungsmotors	208
4.3	Rapid Prototyping Verfahren in Kunst, Archäologie, Medizin und Architektur	210
4.3.1	Modellbildung in Kunst und Design	211
4.3.1.1	Beispiel: Computer-Skulptur, Georg Glückman	211
4.3.1.2	Beispiel: Möbeldesign, Per Toppenberg	212
4.3.2	Modellbildung in der Medizin, Archäologie und Kunstgeschichte	213
4.3.2.1	Modellbildung in der Medizin	213
4.3.2.2	Beispiel: Abdeckung eines Schädeldefektes durch ein Titanimplantat	220
4.3.2.3	Beispiel: Büste der Königin Teje	224
4.3.3	Modellbildung in der Architektur	225
4.3.3.1	Beispiel: Frauenkirche Dresden	225
5	Sicherheitsvorschriften und Umweltschutz	227
5.1	Gesetzliche Grundlagen für die Herstellung und das Betreiben von Rapid Prototyping Anlagen und zugehörigen Werkstoffen	227
5.2	Anmerkungen für Anlagenbetreiber und Anwender von Rapid Prototyping Modellen	231
5.3	Gefahren bei der Benutzung von Rapid Prototyping Modellen	233

6 Aspekte zur Wirtschaftlichkeit	235
6.1 Wirtschaftlichkeit des Produktentwicklungszyklus	235
6.2 Wirtschaftlichkeit der Rapid Prototyping Verfahren	237
6.2.1 Zur Ermittlung des oder der optimalen Rapid Prototyping Verfahren	238
6.2.2 Zur Ermittlung der Kosten von Rapid Prototyping Verfahren	239
6.3 Service	243
7 Zukünftige Rapid Prototyping Verfahren	245
7.1 Direktversintern metallischer Werkstoffe	246
7.1.1 Mehrkomponenten-Pulver	246
7.1.1.1 Einfluß der Verfahrensparameter auf die Bauteildichte und Festigkeit	246
7.1.2 Einkomponenten-Pulver	248
7.1.2.1 Einfluß der Verfahrensparameter auf die Bauteilqualität	250
7.1.3 Beispiele: Werkzeugform aus Edelstahl	252
7.2 Generieren mit LASER-Strahl	253
7.2.1 Verfahrensprinzip	253
7.2.2 Einfluß der Leistungsdichteverteilung	254
7.2.3 Pulverdüsenskonzepte	255
7.2.3.1 Pulvereinbringung außeraxial zum LASER-Strahl	256
7.2.3.2 Pulvereinbringung koaxial zum LASER-Strahl	257
7.2.4 Prozeßregelung	259
7.2.5 Strategien zur Erzeugung verschiedener Bauteilgeometrien	262
7.2.5.1 Dünnwandige Bauteile	262
7.2.5.2 Schräge Bauteilkonturen	264
7.2.5.3 Vollvolumige Bauteile	264
7.2.6 Eigenschaften generierter Bauteile	266
7.2.6.1 Dichte	267
7.2.6.2 Festigkeit	267
7.2.6.3 Härte	268
7.2.6.4 Oberflächenrauigkeit	269
7.3 Beispiel: Tiefziehwerkzeug	270

Trademarks	273
Literaturverzeichnis	274
Im Buch verwendete Literatur	274
Empfohlene Literatur	276
Zeitschriften und regelmäßige Publikationen zum Thema Rapid Prototyping	278
Normen oder normenähnliche Empfehlungen	278
Sachverzeichnis	279
Anhang	284
A1 Werkstofftabellen	284
A2 Maschinendaten	299
A3 Definitionen	310
A4 Abkürzungen	313
A5 Ausgewählte Fachbegriffe der Werkstoffkunde (englisch, deutsch)	319