

Einsatz von Industrierobotern für die flexible Fertigung von flächigen Bauteilen aus Faserverbundwerkstoff

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 Patric Enewoldsen
aus Solingen

Referent: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. M. Weck
Korreferent: Universitätsprofessor Dr.-Ing. W. Michaeli

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Februar 1998

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
0 Abkürzungen und Formelzeichen.....	III
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Erkenntnisse.....	5
2.1 Geometriedatenerfassung.....	5
2.1.1 Mechanische Verfahren.....	5
2.1.2 Triangulation.....	7
2.1.3 Moire-Verfahren.....	10
2.1.4 Photogrammetrie.....	13
2.2 Mathematische Modelle zur Freiformflächenbeschreibung.....	16
2.2.1 Coons-Patches.....	17
2.2.2 Kubische Splines.....	18
2.2.3 Parameter-kubische Splines.....	19
2.2.4 Bezier-Splines.....	20
2.2.5 B-Splines.....	21
2.2.6 Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS).....	23
2.3 Fräsverfahren zur Herstellung von Formen und Modellen.....	24
2.3.1 5-Achsfräsen.....	25
2.3.2 Konventionelle Fräsbearbeitung im Formenbau.....	26
2.4 Fertigungsverfahren von flächigen Strukturbauteilen aus FVK.....	28
2.4.1 Handlaminierten.....	28
2.4.2 Faserspritzen.....	29
2.4.3 RTM-Verfahren.....	29
2.4.4 Legeverfahren.....	32
2.4.5 Preßverfahren.....	33
2.4.6 Diaphragmaverfahren.....	36
3 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	38
4 Formerfassung.....	41
4.1 Moirestreifenprojektion zur Geometriermittlung.....	43
4.1.1 Integration eines Moiremeßkopfes in das Portalsystem.....	44
4.1.2 Moirestreifenprojektion und Verfahrensgrenzen.....	47
4.2 Photogrammetrie zur Geometriermittlung.....	54

4.2.1	Integration eines Photogrammetriekopfes in das Portalsystem.....	56
4.2.2	Photogrammetrie bei flächigen Bauteilen und Verfahrens- gren zen.....	57
5	Faserverbundangepaßter Formenbau für Vakuumverfahren.....	61
5.1	Modularer Schichtformenbau.....	63
5.2	Formenbau aus Hartschaumstoff.....	69
5.3	Programmiersystem Formenbau.....	72
5.3.1	Programmierung Modularer Schichtformenbau.....	74
5.3.2	Programmierung Formenbau aus Hartschaumstoff.....	79
6	Integrierte Fertigung von flächigen FVK-Bauteilen.....	85
6.1	Individuelle Zuschnittgenerierung und automatisierte Tränkung.....	87
6.1.1	Schneideinheit.....	88
6.1.2	Tränkeinheit.....	91
6.2	Fertigung von Sandwichstrukturen.....	96
6.2.1	Thermoformen von Sandwichstrukturkernen.....	101
6.2.2	Konfektionieren von Sandwichstrukturkernen.....	108
6.3	Automatisiertes Verrippen.....	110
6.3.1	Funktionsbeschreibung des Rippeniegens.....	112
6.3.2	Prototyp eines Ablegekopfes.....	114
6.3.3	Magazinieren und Fördern der Stützwerkstoffbahnen.....	115
6.3.4	Schneideinheit für die Stützwerkstoffbahnen.....	116
6.3.5	Magazinieren des Deckschichtmaterials.....	117
6.3.6	Schneideinheit für das Deckschichtmaterial.....	118
6.3.7	Schwenkeinheit für das Ansetzen des Deckschichtmaterials.....	119
6.3.8	Programmierung.....	121
7	Funktionales Rapid Prototyping mit Faserverbundwerkstoffen.....	125
7.1	Funktionales Rapid Prototyping.....	125
7.2	Anwendungsbeispiele.....	130
8	Zusammenfassung.....	133
9	Literaturverzeichnis.....	135