

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Materialspezifische Grundlagen zum Verständnis von Werkstoffen auf Kohlenstoffbasis	3
2.1	Das Element Kohlenstoff: Polymorphie, Kristallstruktur und physikalische Eigenschaften	3
2.2	Systematik und Strukturvielfalt von Kohlenstoff	10
2.2.1	Nomenklatur unterschiedlicher sp^2 -hybridisierter Kohlenstoffe	10
2.2.2	Monolithische, partikel- und faserverstärkte Kohlenstoffe	11
2.3	Konzept der Faserverstärkung	14
3	Modellvorstellungen zu monolithischen Kohlenstoffgefügen und ihrer temperaturabhängigen Entwicklung (Review)	16
3.1	Schematische Strukturmodelle unterschiedlicher Kohlenstoffmaterialien	16
3.2	Die Temperaturabhängigkeit der Kohlenstoff-Strukturentwicklung	18
4	Experimentelle Durchführung	20
4.1	Untersuchte Kohlenstoffmaterialien: Monolithische, partikel- und faserverstärkte Kohlenstoffe	20
4.2	TEM-Probenpräparation von Kohlenstoff	20
4.3	Verfügbare Geräte für die Mikroskopie und Bildverarbeitung	24
4.3.1	Spezifikation der Licht- und Elektronenmikroskope	24
4.3.2	Möglichkeiten und Grenzen einer nachgeschalteten Bildauswertung	24
4.4	Möglichkeiten der hochauflösenden Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopie und der digitalen Bildverarbeitung	25
4.4.1	Grundlagen der Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopie	25
4.4.2	Reziprokes Gitter, Elektronenbeugung und Kontrastentstehung an Graphit und turbostratischem Kohlenstoff	28
4.4.3	Rechnergestützte Bildverarbeitung von elektronenmikroskopischen Aufnahmen	31
4.4.3.1	Vorbemerkungen	31
4.4.3.2	Optimierung der Bildwiedergabe	31
4.4.3.3	Bildtransformationen	32
4.4.3.4	Quantitative Auswertungen	35

5	Ergebnisse und Diskussion	36
5.1	Gefügebau monolithischer und partikelverstärkter Kohlenstoffe	36
5.1.1	Vorbemerkungen	36
5.1.2	Ruß	36
5.1.3	Feinkorngraphit	39
5.1.4	Pyrographit und Graphitfolien	44
5.2	Gefügebau von Glaskohlenstoff als Grundlage zum Verständnis des Matrixsystems in CFC	46
5.3	Gefügebau von Kohlenstoffasern als Grundlage zum Verständnis von CFC	49
5.3.1	Anisotropie des Kohlenstoffasergefüges	49
5.3.2	Strukturunterschiede zwischen unterschiedlichen Kohlenstoffasern auf PAN-Basis	51
5.4	Gefügebau von kohlenstoffaserverstärktem Kohlenstoff (CFC)	57
5.4.1	Pyrolyse unterschiedlicher Phenolharzsysteme in CFC	57
5.4.2	Strukturvariation der „intrabundle“-Kohlenstoffmatrix	61
5.4.2.1	Vorbemerkungen	61
5.4.2.2	Rißstrukturen in CFC	61
5.4.2.3	Quantitative Analyse der Matrixzusammensetzung	61
5.4.2.4	Bestimmung der Gitterkonstanten unterschiedlicher Kohlenstoffphasen	65
5.4.3	Die Gefügeentwicklung während der Herstellung unter Berücksichtigung der Grenzflächenwechselwirkungen	70
5.4.3.1	Entwicklung der Kohlenstoff-Matrix in Abhängigkeit von der Temperatur	70
5.4.3.2	Bedingungen für die Bildung von spannungsorientiertem Graphit	73
5.4.3.3	Hinweise auf Faser/Faser-Wechselwirkung in CFC	75
5.4.4	Folgerungen für das mikromechanische Verhalten von CFC	78
6	Erweiterte Modellvorstellungen zur Strukturentwicklung von Kohlenstoff in monolithischen Materialien und Verbundwerkstoffen	81
6.1	Strukturhierarchie des Gefügebbaus von Kohlenstoff	81
6.2	Temperaturabhängigkeit der Gefügeentwicklung von Kohlenstoff	83
6.2.1	Einfluß der Glühbehandlung und der Verunreinigungselemente	83
6.2.2	Beschreibung der Strukturentwicklung von Kohlenstoff in Analogie zu konventionellen Werkstoffen	85
6.3	Spezielle Aspekte der Gefügeentwicklung von CFC	89
7	Zusammenfassung	92
8	Literaturverzeichnis	96