



Inhaltsverzeichnis

Erklärung	v
Danksagung	vii
Kurzfassung	ix
Inhaltsverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xvii
Tabellenverzeichnis	xxi
Abkürzungsverzeichnis	xxiii
1 Einführung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Rahmen, Inhalt und Ziel der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Kornfeinung durch starke plastische Verformung	5
2.1.1 Methoden der starken plastischen Verformung	5
2.1.2 Accumulative roll bonding (ARB)	6
2.1.3 Accumulative swaging and bundling (ASB)	6
2.2 Mechanische (Eigen-)Spannungen	7
2.2.1 Definition von Spannung, Spannungstensor	8
2.2.2 Spannungen in verschiedenen Referenzsystemen	10
2.2.3 Hauptspannungen im Hauptspannungssystem	10
2.3 Eigenspannungsanalyse mittels RÖNTGENbeugung	11
2.3.1 Grundlegende Gleichungen der RÖNTGENografischen Spannungs- analyse: RÖNTGENphysikalische und elastizitätstheoretische Grund- lagen	11





2.3.2	Konventionelle RÖNTGENografische Spannungsanalyse: Zur $\sin^2 \psi$ -Methode	14
2.3.3	Zweidimensionale RÖNTGENografische Spannungsanalyse	16
2.3.4	Anmerkung zur Auswertung des allgemeinen Spannungszustandes	19
2.4	Kristallografische Textur	20
2.4.1	Definition der Orientierung und der Textur	20
2.4.2	Definition der Orientierungsverteilungsfunktion	21
2.5	Texturanalyse mittels RÖNTGENbeugung	24
2.5.1	Polfiguranalyse	24
2.5.2	Berechnung der Orientierungsverteilungsfunktion	25
2.5.3	Zweidimensionale RÖNTGENografische Texturanalyse	26
3	Experimentelles	27
3.1	Material	27
3.1.1	Ti/Al Verbundmaterial	27
3.1.1.1	ASB Prozess des Ti/Al Verbundmaterials	27
3.1.1.2	ARB Prozess des Ti/Al Verbundmaterials	29
3.1.2	Weitere untersuchte Materialien	30
3.1.2.1	ASB Ti/Ti, Al, Ti/Mg	30
3.1.2.2	ED Ni-Fe	30
3.1.2.3	HPT Pd-Au	30
3.2	Probenpräparation, Messstrategie und verwendete PKS	31
3.2.1	Ti/Al Verbundmaterial	31
3.2.2	Ni-Fe	31
3.2.2.1	Probenpräparation für Rasterelektronenmikroskopie	31
3.2.2.2	Probenpräparation für (in situ) Spannungsanalyse	32
3.2.3	Pd-Au	33
3.3	Experimentelle Methoden	33
3.3.1	Neutronenbeugung	34
3.3.2	Synchrotronbeugung	35
3.3.3	Zum zweidimensionalen RÖNTGENmikrodiffraktometer Messsystem (XR μ D ²) für die lokale zweidimensionale RÖNTGENografische Textur- und Spannungsanalyse	36
3.3.3.1	Ausstattungs-elemente	36





3.3.3.2	Anwendungen, Besonderheiten und spezielle Merkmale . . .	37
3.3.4	Zweidimensionale Texturanalyse	40
3.3.4.1	Globale Texturanalyse mittels Neutronen-/Synchrotron- beugung	40
3.3.4.2	Lokale Texturanalyse mittels XR μ D ²	41
3.3.5	Zweidimensionale Spannungsanalyse	41
3.3.5.1	Lokale Spannungsanalyse mittels XR μ D ²	41
3.3.5.2	Lokale in situ Spannungsanalyse mittels XR μ D ²	42
3.3.6	Mikrostruktur mittels Rasterelektronenmikroskopie	43
3.4	Mess- und Auswerteautomatisierung	43
4	Ergebnisse und Diskussion	45
4.1	Mikrostruktur des Ti/Al Verbundmaterials	45
4.1.1	Mikrostruktur des Ausgangsmaterials des Ti/Al Verbunds	45
4.1.2	Mikrostruktur der ASB prozessierten Zustände Ti/Al 0-2	46
4.2	Textur des Ti/Al Verbundmaterials	47
4.2.1	Globaltextur des Ausgangsmaterials des Ti/Al Verbunds	47
4.2.2	Lokaltextur der ASB prozessierten Zustände Ti/Al 0-2	49
4.2.2.1	Texturtyp	49
4.2.2.2	Texturgradienten	52
4.2.2.2.1	Al Texturgradient	53
4.2.2.2.1.1	Al Fasertextur	53
4.2.2.2.1.2	Al Referenzsystem	55
4.2.2.2.1.3	Übrige Al Texturkomponenten	56
4.2.2.2.2	Ti Texturgradient	59
4.2.2.2.2.1	Ti Fasertextur	59
4.2.2.2.2.2	Ti Referenzsystem	60
4.2.2.2.2.3	Übrige Ti Texturkomponenten	62
4.3	Mechanische Eigenspannungen des Ti/Al Verbundmaterials	64
4.3.1	Präliminarien	64
4.3.1.1	Vergleichsmessungen mittels cXRD und XR μ D ² Methoden	64
4.3.1.2	Lokale in situ Spannungsanalyse mittels XR μ D ²	67
4.3.1.2.1	Lokale Phasenanalyse des Ni-Fe	67
4.3.1.2.2	Lokale Texturanalyse des Ni-Fe	68





4.3.1.2.3	Externe Lastbedingungen der lokalen in situ Spannungsanalyse mittels XR μ D ²	69
4.3.1.2.4	Ergebnisse der lokalen in situ Spannungsanalyse mittels XR μ D ²	71
4.3.1.2.4.1	Lastbedingungen parallel zur Achse \mathcal{S}_2	71
4.3.1.2.4.2	Lastbedingungen parallel zur Achse \mathcal{S}_1	72
4.3.1.2.5	Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Ni-Fe	73
4.3.2	Lokale Spannungsanalyse an Ti/Al 0-2 mittels XR μ D ²	75
4.3.2.1	Spannungsanalyse an Reflexen hoher 2θ Werte – zur Rückwärtsbeugung	75
4.3.2.2	Wahl der Peaklagen sowie Strategien zur Einzel- bzw. multiplen Peakauswertung	76
4.3.2.3	Lokale Spannungsgradienten in Ti/Al 0-2	77
4.3.2.3.1	Transformation in das der Symmetrie angepasste Koordinatensystem	77
4.3.2.3.2	Totalphasenspannungen in Al und Ti	78
4.3.2.3.3	Assessment der Ergebnisqualität	80
4.3.2.3.4	Abschätzung der σ^M und Korrelation mechanischer Eigenschaften	82
4.3.2.3.5	Scherspannungskomponenten	84
4.4	Simulationsergebnisse	85
4.4.1	Approximation der E-Modul Verbundwerte von ASB Ti/Al 0-2 mittels lokaler Textur	85
4.4.1.1	Modellbeschreibung	85
4.4.1.2	Interpretation	87
4.4.2	Textursimulation für Ti/Al 0	88
4.4.2.1	VPSC Formalismus	88
4.4.2.2	Modellspezifikationen	89
4.4.2.3	Al Simulationstextur	91
4.4.2.4	Ti Simulationstextur	95
4.4.3	Analytischer Ansatz zur Spannungsmodellierung für Ti/Al 0	105
4.4.3.1	Theoretischer Hintergrund und Motivation	105
4.4.3.2	Erweitertes Materialgesetz	106
4.4.3.3	Transformation in Zylinderkoordinaten	107





4.4.3.3.1	Kinematische Gleichungen für den Verzerrungstensor in Zylinderkoordinaten	107
4.4.3.3.2	Gleichgewichtsbedingungen für den Spannungstensor in Zylinderkoordinaten	109
4.4.3.4	Modellbeschreibung	109
4.4.3.5	Symmetrieansätze für den Verschiebungsvektor in Zylinderkoordinaten	110
4.4.3.5.1	Übersicht zu einer Auswahl von Symmetrieansätzen	110
4.4.3.5.2	Zum Lösungsschema	110
4.4.3.6	Analytische Lösungen ausgewählter Ansätze	112
4.4.3.6.1	Lösung für 2K	112
4.4.3.6.1.1	Allgemeine Lösung \vec{u} für 2K	112
4.4.3.6.1.2	Allgemeine Lösung $\sigma(\vec{u})$ für 2K	113
4.4.3.6.1.3	Spezielle Lösung $\sigma(\vec{u})$ für 2K	114
4.4.3.6.1.4	Numerisches Beispiel für die spezielle Lösung $\sigma(\vec{u})$ für 2K	115
4.4.3.6.2	Allgemeine Rotationssymmetrie: Zur allgemeinen Lösung \vec{u} für 9K	116
4.4.3.6.3	Lösung $u_z(r, z)$ für 6K	117
4.4.3.6.3.1	Analytische Methode	117
4.4.3.6.3.2	Visualisierung der Ergebnisse	118
4.4.3.6.3.3	Linearisierung der Lösung, Teil A	123
4.4.3.6.3.4	Linearisierung der Lösung, Teil B	125
4.4.3.7	Zusammenfassung der Spannungssimulationsergebnisse . .	126
5	Zusammenfassung und Ausblick	127
5.1	Ergebnisse der Texturanalyse	127
5.2	Ergebnisse der Spannungsanalyse	128
5.3	Offene Fragestellungen	130
5.4	Abschließende Bemerkungen	131
Literaturverzeichnis		133
	Liste eigener wissenschaftlicher Beiträge/Publicationen	153
Index		157

