

Inhaltsverzeichnis

Content

1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1 Eigenspannungen und deren Entstehung	5
2.1.1 Definition und Entstehungsmechanismen in der zerspanenden Bearbeitung	5
2.1.2 Initiale Eigenspannungsentstehung bei der Halbzeugherstellung von Ti-6Al-4V.....	8
2.1.3 Induzierte Eigenspannungsentstehung bei der Fräsbearbeitung von Ti-6Al-4V	12
2.1.4 Verfahren zur Messung von Eigenspannungen	16
2.2 Eigenspannungsbedingter Bauteilverzug	18
2.2.1 Erklärungsmodell zum eigenspannungsbedingten Bauteilverzug	18
2.2.2 Einfluss von initialen und induzierten Eigenspannungen auf den Verzug von Bauteilen aus Ti-6Al-4V.....	20
2.3 Modellbasierte Vorhersage von eigenspannungsbedingtem Bauteilverzug	23
2.3.1 Analytische Vorhersagemodelle.....	24
2.3.2 Numerische Vorhersagemodelle	25
2.4 Grundlagen der Finite Cell Method	29
2.5 Zwischenfazit	32
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	35
3.1 Problemstellung und Definition der Forschungsfragen.....	35
3.2 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit	36
4 Charakterisierung des Werkstoffs und der Eigenspannungen	39
4.1 Werkstoff und Wärmebehandlung	39
4.1.1 Ausgangszustand des Werkstoffs	39
4.1.2 Auswahl und Durchführung der Wärmebehandlung.....	40
4.1.3 Werkstoffcharakterisierung	41
4.2 Untersuchung von initialen Eigenspannungen	42
4.2.1 Durchführung und Ergebnisse der Contour Method.....	42
4.2.2 Thermomechanische Simulation der Wärmebehandlung.....	46
4.2.3 Vergleich der experimentellen und simulierten initialen Eigenspannungen	48
4.3 Untersuchung von induzierten Eigenspannungen.....	49
4.3.1 Versuchsplan und -aufbau	49
4.3.2 Ergebnisse der Röntgendiffraktometriemessung	51
4.3.3 Einflussanalyse und zugrundeliegende Effekte.....	53

4.4	Zusammenfassung und Zwischenfazit	56
5	Analyse des eigenspannungsbedingten Bauteilverzugs.....	59
5.1	Versuchsplan und -aufbau	59
5.2	Versuchsergebnisse.....	62
5.2.1	Versuchsreihe "Initiale Eigenspannungen"	63
5.2.2	Versuchsreihe „Induzierte Eigenspannungen“	65
5.3	Diskussion der Ergebnisse	68
5.4	Zusammenfassung und Zwischenfazit	73
6	Vorhersagemodell des eigenspannungsbedingten Bauteilverzugs	75
6.1	Ziele, Anforderungen und Systemgrenzen des Vorhersagemodells	75
6.2	Modellierung.....	76
6.2.1	Modellierung der initialen und induzierten Eigenspannungen	76
6.2.2	Modellierung der zeitlich-örtlichen Materialzerspanung	78
6.2.3	Implementierung und Modellparameter.....	80
6.3	Validierung anhand eines FEM- und eines analytischen Modells	82
6.4	Experimentelle Validierung.....	85
6.4.1	Eingangsgrößen und Modellparameter	85
6.4.2	Vergleich von simulativen und experimentellen Ergebnissen	87
6.4.3	Weiterführende modellbasierte Untersuchungen	93
6.5	Zusammenfassung und Zwischenfazit	97
7	Anwendung des Modells in der Fräsbearbeitung eines Strukturauteils ..	101
7.1	Fräsbearbeitung mit einem konventionellen Spannsystem	101
7.1.1	Experimentelle Untersuchungen	101
7.1.2	Eingangsgrößen und Modellparameter für die Verzugssimulation	105
7.1.3	Vergleich von simulativen und experimentellen Ergebnissen	107
7.2	Fräsbearbeitung mit einem modularen Spannsystem	110
7.2.1	Experimentelle Untersuchungen	110
7.2.2	Eingangsgrößen und Modellparameter für die Verzugssimulation	116
7.2.3	Vergleich von simulativen und experimentellen Ergebnissen	117
7.3	Zusammenfassung und Zwischenfazit	120
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	123
9	Literaturverzeichnis.....	129
A	Appendix	141