

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Schnelle Modellierung des Freiformschmiedens.....	3
2.1.1	Einsatz der FEM und schneller Berechnungsmodelle.....	3
2.1.2	Beschreibung der Geometrie.....	3
2.1.3	Beschreibung der Vergleichsformänderung.....	7
2.1.4	Beschreibung der Temperaturverteilung.....	13
2.1.5	Beschreibung der Mikrostruktur.....	16
2.2	Einsatz schneller Modelle beim Freiformschmieden.....	19
2.2.1	Schnelle Offline-Modelle zur Bestimmung globaler/integraler Größen..	19
2.2.2	Schnelle Offline-Modelle zur Bestimmung lokaler Größen.....	21
2.2.3	Schnelle Online-Modelle.....	22
2.3	Lösung von Optimierungsproblemen beim Freiformschmieden.....	26
2.4	Messtechnik zur Geometrieerfassung beim Freiformschmieden.....	31
2.5	Fazit zum Stand der Technik.....	36
3	Ziel und Weg.....	38
3.1	Problemstellung.....	38
3.2	Ziel.....	39
3.3	Weg.....	39
4	Modellentwicklung und Implementierung.....	41
4.1	Aufstellen eines FEM-Referenzmodells.....	41
4.2	Schnelle Berechnung der Geometrie.....	43
4.3	Schnelle Berechnung der Vergleichsformänderung.....	46
4.3.1	Auswahl eines Modells und Anpassung an Werkstoffe (Modell 1).....	46
4.3.2	Anpassung für größere Bissverhältnisse (Modell 2).....	48
4.3.3	Anpassung für Breite/Höhe-Verhältnisse > 1 bzw. < 1 (Modell 3).....	51
4.3.4	Anpassung bezüglich der Blockabkühlung (Modell 4).....	54
4.3.5	Anpassung zum Schmieden von Achtkant-Blöcken (Modell 5).....	57
4.3.6	Betrachtung der Vergleichsformänderungs-Geschwindigkeit.....	59
4.3.7	Fazit zur schnellen Berechnung der Vergleichsformänderung.....	60
4.4	Schnelle Berechnung des 3D Temperaturfeldes.....	60
4.4.1	Aufstellen eines FDM-Temperaturmodells.....	60
4.4.2	Kalibrierung des FDM-Temperaturmodells.....	62
4.4.3	Überprüfung des FDM-Temperaturmodells mittels FEM.....	63
4.4.4	Einfluss temperaturabhängiger Stoffwerte.....	64
4.4.5	Einführung einer Dissipationsberechnung.....	66
4.4.6	Fazit zur schnellen Berechnung des 3D Temperaturfeldes.....	68
4.5	Schnelle Berechnung der Evolution der Mikrostruktur.....	68

4.6	Implementierung des schnellen Modells.....	69
4.6.1	Offline-Prozessauslegung.....	69
4.6.2	Online-Prozessvisualisierung.....	74
4.6.3	Offline-Prozessoptimierung.....	76
4.6.4	Online-Prozessoptimierung.....	84
4.6.5	Fazit zur Implementierung des schnellen Modells.....	89
5	Überprüfung und Anpassung des schnellen Freiformschmiedemodells.....	90
5.1	Überprüfung und Anpassung mittels FEM-Simulation.....	90
5.1.1	Überprüfung bezogen auf Prozessmodellierung.....	90
5.1.2	Überprüfung bezogen auf Prozessauslegung.....	96
5.1.3	Untersuchung der Abweichung zwischen Modell und FEM.....	99
5.1.4	Anpassung des VFÄ-Modells durch eine Breitungsfunktion.....	103
5.1.5	Fazit zur Überprüfung und Anpassung mittels FEM-Simulation.....	105
5.2	Überprüfung anhand eines Schmiedeversuchs am IBF.....	106
5.2.1	Auslegung der Schmiedung.....	106
5.2.2	Neue Methode zur Messung der Längenänderung je Hub.....	107
5.2.3	Messtechnische Auswertung der Schmiedung.....	111
5.2.4	Berechnung der Schmiedung mittels schnellem Modell.....	112
5.2.5	Fazit zur Überprüfung mittels eines Schmiedeversuchs.....	116
6	Anwendung des schnellen Freiformschmiedemodells.....	117
6.1	Schnelle Offline-Prozessauslegung.....	117
6.2	Aufbau von Prozessverständnis in der Lehre.....	122
6.3	Online-Prozessvisualisierung.....	125
6.4	Schnelle Offline-Prozessoptimierung.....	129
6.5	Online-Prozessoptimierung.....	134
7	Diskussion.....	139
8	Zusammenfassung.....	142
9	Ausblick.....	145
10	Literatur.....	146
11	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis.....	161
12	Anhang.....	168
12.1	Durchgeführte Simulationen für 1.4301 und 1.7225.....	168
12.2	Modellparameter für den Werkstoff 1.0503.....	169
12.3	q_{xd} -Parameter für das VFÄ-Modell.....	169
12.4	Berechnung von Knoten im Temperaturmodell.....	169
12.5	Metallographie des geschmiedeten Blockes aus 1.4301.....	172
12.6	Parameter zur Online-Prozessvisualisierung.....	174
12.7	Einstellungen zur Optimierung.....	175