

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Erkenntnisse.....	3
2.1 Eigenschaften von Magnesium und Magnesiumlegierungen.....	3
2.1.1 Magnesiumlegierungen.....	4
2.1.2 Strukturelle Eigenschaften	7
2.1.3 Korrosionseigenschaften	9
2.2 Umformtechnisches Fügen von Magnesiumwerkstoffen.....	11
2.3 Umformtechnisches Fügen mit thermischer Unterstützung	13
2.3.1 Erwärmungsprinzipien	15
2.3.2 Grundlagen der Induktionserwärmung.....	18
2.4 Umformtechnisches Fügen mit hohen Setzgeschwindigkeiten	20
2.5 Fazit zum Stand der Erkenntnisse	23
3 Aufgabenstellung.....	26
4 Prüfverfahren und Prüfeinrichtungen	28
4.1 Charakterisierung der Fügeteilwerkstoffe	28
4.1.1 Quasistatische Zugversuche.....	28
4.1.2 Hochgeschwindigkeitszugversuche	29
4.1.3 Kleinlasthärteprüfung	30
4.1.4 Thermo-mechanische Analyse (TMA) der Fügeteilwerkstoffe.....	31
4.1.5 Dynamisch-mechanische Analyse (DMA) der Fügeteilwerkstoffe.....	32
4.1.6 Rasterelektronenmikroskopie.....	33
4.1.7 Erfassung der Fügeteilwerkstofftemperatur	34
4.2 Charakterisierung der Verbindungseigenschaften	36
4.2.1 Metallographische Untersuchung der Fügeelementausbildung	36

4.2.2	Prüfung unter quasistatischer Belastung	36
4.2.3	Prüfung unter schlagartiger Belastung	39
4.2.4	Prüfung unter zyklischer Belastung	39
4.2.5	Versagensanalyse	41
5	Fügeteilwerkstoffe und Fügesysteme	44
5.1	Fügeteilwerkstoffe	44
5.1.1	Chemische Zusammensetzung und Gefügebildung	45
5.1.2	Werkstoffverhalten unter quasistatischer Belastung	46
5.1.3	Werkstoffverhalten in Abhängigkeit von der Temperatur	47
5.1.4	Werkstoffverhalten in Abhängigkeit von der Verformungsgeschwindigkeit ..	50
5.1.5	Ergebnisse der thermo-mechanischen Analysen	52
5.1.6	Ergebnisse der dynamisch-mechanischen Analysen	53
5.2	Halbhohlstanzierte und Matrizen	54
5.2.1	Verwendete Halbhohlstanzierte	54
5.2.2	Verwendete Matrizen	56
6	Verwendete Fügeeinrichtungen	57
6.1	Versuchsstand zum umformtechnischen Fügen mit thermischer Unterstützung	57
6.1.1	Setzeinrichtung	58
6.1.2	Hochfrequenz-Generator	58
6.1.3	Arbeitsspule	59
6.1.4	Erwärmungsvorrichtung zur Aufnahme der Arbeitsspule	61
6.2	Versuchsstand zum umformtechnischen Fügen mit erhöhter Setzgeschwindigkeit	62
6.2.1	Beschleunigungseinheit	62
6.2.2	Reaktionsaufnahmesystem	63
6.2.1	Bestimmung der Effektivenergie des Fügeprozesses	64

7	Fertigung von halbhohlstanzengetieteten Verbindungen mit thermischer Unterstützung	66
7.1	Untersuchung der Einflussfaktoren auf das Erwärmungsverhalten von Fügeteilen und Werkzeugen	67
7.1.1	Einfluss der Generatorspannung auf das Erwärmungsverhalten der Fügeteile und der Werkzeuge	68
7.1.2	Einfluss der Induktoranordnung und –feldausrichtung auf das Erwärmungsverhalten der Fügeteile und Werkzeuge	70
7.1.3	Einfluss des Induktorquerschnitts auf das Erwärmungsverhalten der Fügeteile und Werkzeuge	72
7.1.4	Einfluss der Aufheizdauer auf die Fügeteiltemperatur	74
7.1.5	Einfluss des Induktorabstandes auf das Erwärmungsverhalten der Fügeteile	74
7.1.6	Visualisierung der Wärmeeinflusszone	75
7.2	Erwärmungsverhalten der Fügeteilwerkstoffe	77
7.3	Fügeelementausbildungen.....	79
7.4	Charakterisierung des Setzvorganges anhand von Fügekraft-Stempelweg-Verläufen.....	80
7.4.1	Einfluss der Füge­temperatur auf den Füge­kraft-Stempelweg-Verlauf	81
7.4.2	Einfluss des Fügeteilwerkstoffes auf den Füge­kraft-Stempelweg-Verlauf	82
7.4.3	Einfluss der Matrizen­geometrie auf den Füge­kraft-Stempelweg-Verlauf	83
8	Fertigung von halbhohlstanzengetieteten Verbindungen mittels erhöhter Setzgeschwindigkeit	85
8.1	Untersuchungen zum umformtechnischen Fügen mittels erhöhter Setzgeschwindigkeit	86
8.1.1	Charakteristische Verläufe der erfassten Messgrößen	86
8.1.2	Auswirkung der Treibladungsschwankungen auf die verfügbare kinetische Energie.....	87
8.2	Fügeelementausbildungen.....	88
8.3	Charakterisierung des Setzvorganges anhand von Setzgeschwindigkeit, Füge­energie sowie Reaktionskraft.....	90
8.3.1	Einfluss der Füge­energie auf Füge­elementausbildung und Reaktionskraft .	90
8.3.2	Einfluss des Fügeteilwerkstoffes auf benötigte Füge­energie und Reaktionskraft.....	91

8.3.3	Einfluss der Matrizengeometrie auf benötigte Fügeenergie und Reaktionskraft.....	92
8.3.4	Einfluss der Kolbenmasse auf die Fügeelementausbildung.....	93
8.4	Untersuchungen zur Temperaturentwicklung während des Setzprozesses.	94
9	Gegenüberstellung der mit thermischer Unterstützung und der mit hoher Setzgeschwindigkeit gefügten Verbindungen.....	96
9.1	Vergleich der Fügeelementausbildungen.....	96
9.2	Vergleich der Gefügestrukturen	98
9.3	Vergleich der Verfestigungen im Fügeelement	100
9.4	Vergleich der benötigten Fügeenergien	102
9.5	Vergleich der Reaktionskräfte	103
10	Trag- und Versagensverhalten halbhohlstanzengeteuer Magnesiumverbindungen.....	105
10.1	Verhalten von halbhohlstanzengeteuten Magnesiumverbindungen unter quasistatischer Belastung	105
10.1.1	Verhalten unter Zugscherbelastung	105
10.1.2	Verhalten in Abhängigkeit der Belastungsrichtung.....	113
10.2	Verhalten von halbhohlstanzengeteuten Magnesiumverbindungen unter schlagartiger Belastung	117
10.2.1	Verhalten unter Zugscherbelastung	117
10.2.2	Verhalten in Abhängigkeit der Belastungsrichtung.....	122
10.3	Verhalten von halbhohlstanzengeteuten Magnesiumverbindungen unter zyklischer Belastung	126
10.4	Einfluss einer Vorschädigung auf das Tragverhalten	130
11	Diskussion der Ergebnisse	134
12	Zusammenfassung	139
13	Literaturverzeichnis.....	143