

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	ix
Kurzfassung	xiii
Abstract	xvii
Abkürzungsverzeichnis	xxi
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	7
2.1 Hartmetalle	7
2.1.1 Hartmetalle auf WC-Co-Basis	8
Wolframkarbid	9
Kobalt als metallische Bindemittelphase	12
Mechanische Eigenschaften von WC-Co-Hartmetallen	15
Schneidstoffe auf WC-Co-Basis	17
2.2 Stahlwerkstoffe	21
2.2.1 Werkzeugstähle	22
Wärmebehandlung von Werkzeugstählen	23
2.2.2 Martensitaushärtende Stähle	28
Metallurgischer Härtemechanismus von Maraging-	
Stählen	28

Austenitbildung in Maraging-Stählen	34
Thermisches Fügen von Maraging-Stählen	36
2.3 Hartmetall-Stahl-Verbunde	38
2.3.1 Hartmetall-Stahl-Löten	41
Eigenspannungsproblematik	43
Lötverfahren	51
Lotwerkstoffe zum Fügen von Hartmetall an Stahl .	54
2.3.2 Löten von Diamant	63
Graphitisierung von PKD	65
3 Motivation und Zielstellung	67
3.1 Technischer Ansatz	68
3.1.1 Lötkonzepte	69
Lötkonzept 1: Benetzbarkeit durch Metallisierung	
der Fügefläche	70
Lötkonzept 2: Benetzbarkeit durch Verwendung eines	
Aktivlots	71
3.2 Forschungsfrage	72
3.3 Übertragung auf Werkzeuggeometrie	74
4 Werkstoffe	77
4.1 Verwendete Stahlwerkstoffe	77
4.1.1 Maraging-Stahl 1.2709	77
4.1.2 Referenzstähle 1.1730, 1.2063 und 1.2344	79
4.2 Hartmetall EMT 210	80
4.3 Verwendete Lotwerkstoffe	81
4.3.1 Kupferlot Copper OFHC	81
4.3.2 Kupferbasislot Gemco	83
4.3.3 Silberbasislot TB-651	84
4.3.4 Silberbasislot TB-629	84
5 Experimentelles	87
5.1 Probengeometrie	87

5.1.1	Lötgeometrie	87
	Labormaßstab	87
	Werkzeuggeometrie Hartmetall-Schaft	88
	Werkzeuggeometrie Wendeschneidplatte	89
5.1.2	Geometrie Zugproben	90
5.1.3	Geometrie Kerbschlagbiegeproben	91
5.2	Ofenprozesse	92
5.2.1	Lötprozesse	94
	Lötprozesse für kupferbasierte Lote	94
	Lötprozesse für silberbasierte Lote	97
5.2.2	Thermisches Zyklieren	99
5.3	Beschichtungsverfahren zur Nickelapplikation	101
5.3.1	Ionenplattieren mittels Arc-PVD	101
5.3.2	Elektroplattieren	103
5.3.3	Chemisches Beschichten	104
5.4	Metallographische Untersuchung	106
5.5	Scherversuch	107
5.6	Härteprüfung	109
5.6.1	Härteprüfung nach Vickers	109
5.6.2	Nanoindentation	110
5.7	Rasterelektronenmikroskopie	111
5.8	Röntgendiffraktometrie	112
5.8.1	Phasenanalyse	112
5.8.2	Qualifizierung von Verbundeigenspannungen	113
5.9	Ultraschallprüfung	116
5.10	Lichtmikroskopische Aufnahmen	117
5.10.1	Gefügecharakterisierung	117
5.10.2	Korngrößenanalyse	117
5.10.3	Bestimmung des Ausbreitungsfaktors	118
6	Ergebnisse und Diskussion	121
6.1	Technische Grundlage	121

6.1.1	Löten von gehärteten Kalt- und Warmarbeitsstählen	122
6.1.2	Integration der Wärmebehandlung von Werkzeugstählen in den Lötprozess	126
6.1.3	Lokale Wärmebehandlung einer gelöteten Kaltarbeitsstahlkomponente	129
6.1.4	Integration der Wärmebehandlung von Maraging-Stählen in den Lötprozess	132
6.1.5	Fazit und Schlussfolgerung	133
6.2	Hartmetall-Maraging-Stahl-Lötungen	135
6.2.1	Analyse der mit Copper OFHC gelöteten Verbunde .	135
	Benetzungsverhalten	135
	Lötung ohne Nickelapplikation der Maraging-Stahl-Fügefläche	137
	Einfluss der Nickelapplikation auf die Anbindung . .	139
	Einfluss der Nickelapplikation auf die Mikrostruktur	147
	Einfluss der Nickelapplikation auf die Scherfestigkeit	157
	Einfluss der Nickelapplikation auf den Bruchverlauf .	159
	Nachweis von η -Karbiden	163
	Fazit zum Kapitel Analyse der mit Copper OFHC gelöteten Hartmetall-Maraging-Stahl-Verbunde	175
6.2.2	Analyse der mit TB-651 gelöteten Verbunde	178
	Parametersatzbestimmung	179
	Parametervariation	181
	Mikrostrukturanalyse	182
	Bruchanalyse	194
	Verbundfestigkeitsanalyse	196
	Quantifizierung der Verbundeigenspannungen	200
	Fazit zum Kapitel Analyse der mit TB-651 gelöteten Verbunde	208
6.3	Übertragung auf den Anwendungsfall	210
6.3.1	Mechanische Analyse der mit TB-629 gelöteten Verbunde	211

6.3.2	Härteentwicklung der Stahlkomponente	213
6.3.3	Mikrostrukturanalyse der mit TB-629 gelöteten Ver- bunde	215
6.3.4	Einleitung Wendeschneidplatten	216
6.3.5	Belastungstest	217
	Probenherstellung und Belastungstest	217
	WSP aus 1.2709 mit H13A-Hartmetall-Schneide . .	220
	WSP aus 1.2709 mit CD10-PKD-Schneide	222
	WSP aus 1.2709 mit CB7025-kBN-Schneide	223
	WSP aus 1.2709 mit 6220-Keramik-Schneide	228
	Fazit zum Kapitel Belastungstest	230
6.4	Mechanische Eigenschaften der Stahlkomponenten	231
6.4.1	Zugfestigkeit und Härte	233
6.4.2	Kerbschlagarbeit	235
6.4.3	Entlöten und Wiederverwendung der Wendeschneid- plattenstahlträger	240
	Theoretische Grundlage für die Zyklierexperimente .	241
	Phasenanalyse	242
6.4.4	Mechanische Eigenschaften des thermisch zyklerten 1.2709-Stahls	246
	Fazit zum Kapitel Mechanische Eigenschaften der Stahlkomponente	248
6.5	Beantwortung der Forschungsfrage	251
	H1: Hohe Lötnahtqualität	251
	H2: Einstellung der mechanischen Eigenschaften . .	254
	H3: Quantifizierung von Verbundeigenspannungen .	255
	F: Beantwortete Forschungsfrage	256
7	Zusammenfassung und Ausblick	257
7.1	Lotsystem Kupfer	258
7.2	Lotsysteme Silber-Kupfer-(Indium)-Titan	260
7.3	Wärmebehandlung Maraging-Stahl	263

7.4	Verbesserung der Produktionstechnik	267
8	Nachsatz: Steigerung der Nachhaltigkeit	269
8.1	Kobalt	269
8.2	CO ₂ -Emissionen	271
8.3	Nachhaltige Ansätze	271
8.3.1	Nachhaltige Prozessführung	272
8.3.2	Substitution des Hartmetalls	273
8.3.3	Wiederverwendung des Trägermaterials	274
8.4	Nachhaltigkeitsbetrachtung	275
9	Normen	317
10	Publikationsliste	319
10.1	Patente	319
10.2	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	320