

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung.....	1
2	Stand der Wissenschaft und Technik.....	3
2.1	Hartmetalle auf Basis von Wolframcarbid und Kobalt.....	3
2.1.1	Aufbau und Eigenschaften.....	5
2.1.2	Herstellung.....	10
2.1.3	Verwendung.....	16
2.2	Löten von Hartmetallen.....	17
2.2.1	Grundlagen des Lötens.....	18
2.2.2	Lotwerkstoffe und Flussmittel.....	22
2.2.3	Mögliche Fehlerarten in der Fügeverbindung.....	31
2.3	Prüfung von Löt Nähten.....	33
2.3.1	Mechanische Prüfung.....	34
2.3.2	Metallographie.....	36
2.3.3	Optische Sichtprüfung.....	38
2.3.4	Durchstrahlende Prüfverfahren.....	39
2.3.5	Akustische Prüfverfahren.....	41
2.4	Messen von elektrischen Widerständen.....	44
2.4.1	Grundlagen der elektrische Leitfähigkeit von Werkstoffen.....	44
2.4.2	Physikalische Effekte auf den elektrischen Widerstand.....	46

2.4.3	Elektrische Widerstandsmessung mittels der 4-Leiter Technik.....	47
2.4.4	Anwendung .....	49
3	Zielstellung dieser Arbeit .....	51
4	Eingangsbetrachtung der 4-Leiter-Technik.....	54
4.1	Funktionsüberprüfung.....	55
4.2	Messtechnische Aspekte .....	56
4.3	Schlussfolgerungen .....	58
5	Analytische Untersuchungen .....	60
5.1	Probenherstellung.....	60
5.1.1	Werkstoffauswahl .....	61
5.1.2	Lötprozess.....	64
5.2	Elektrische Widerstandsmessung .....	67
5.2.1	Messwerte.....	68
5.2.2	Ergebnisdiskussion.....	70
5.3	Ultraschallprüfung.....	72
5.3.1	Aufbau.....	72
5.3.2	Messwerte.....	74
5.3.3	Ergebnisdiskussion.....	75
5.4	Durchstrahlungsprüfung .....	81
5.4.1	Aufbau.....	81
5.4.2	Messwerte.....	82
5.4.3	Ergebnisdiskussion.....	87
5.5	Mechanische Kennwerte und Fraktographie.....	89
5.5.1	Messwerte.....	90
5.5.2	Makroskopische Untersuchung der Bruchfläche.....	92
5.5.3	Ergebnisdiskussion.....	95
5.6	Metallographische Untersuchungen.....	101

5.6.1	Vermessung des Lötspalts .....	101
5.6.2	Analyse des Lötgutes.....	104
5.6.3	Ergebnisdiskussion.....	111
5.7	FEM-Analyse.....	113
5.7.1	FEM-Modellierung.....	115
5.7.2	Ergebnisse.....	116
5.7.3	Diskussion.....	122
5.8	Gegenüberstellung und Bewertung.....	123
6	Prüfung von Hammerbohrern.....	130
6.1	Hammerbohrer .....	130
6.2	Elektrische Widerstandsmessung .....	132
6.3	Ultraschallprüfung.....	135
6.4	Metallographische Untersuchung.....	136
6.5	Messvorrichtung mit berührender Kontaktierung.....	138
6.6	Ergebnisdiskussion .....	142
7	In situ Widerstandsmessung.....	144
7.1	Beschreibung des Messaufbaus .....	144
7.2	Untersuchung der Grundwerkstoffe.....	147
7.2.1	Reineisen .....	147
7.2.2	Hartmetall K20 .....	150
7.2.3	Ergebnisdiskussion.....	152
7.3	Untersuchung des Fügeprozesses.....	153
7.3.1	Reineisen an WC-Co mit 5 Min. Haltezeit.....	154
7.3.2	Reineisen an WC-Co mit 90 Min. Haltezeit .....	157
7.4	Diskussion .....	161
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	167
9	Literaturverzeichnis .....	174