

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Aluminium-Stahl-Verbindungen	3
2.2 Widerstandspunktschweißen von Aluminium-Stahl-Mischverbindungen	5
2.2.1 Metallurgische Vorgänge	7
2.2.2 Einfluss der Fügepartner	12
2.2.3 Einfluss der Bauteiloberfläche	14
2.3 Gezielte Beeinflussung der Verbindungsbildung	17
2.3.1 Thermo-physikalische Maßnahmen	17
2.3.2 Chemisch-physikalische Maßnahmen	19
2.4 Qualitätssicherung beim Aluminium-Stahl-Widerstandspunktschweißen	19
2.4.1 Gefügeausbildung	20
2.4.2 Unregelmäßigkeiten	21
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	23
4 Versuchsrandbedingungen	25
4.1 Versuchswerkstoffe	25
4.1.1 Aluminiumwerkstoff AA6016	25
4.1.2 Stahlwerkstoffe	26
4.1.3 Klebstoff	28
4.2 Anlagentechnik	29
4.2.1 Schweißeinrichtung	29
4.2.2 Prozessbänder	31
4.2.3 Konventionelle Elektrodenkappen	32
4.2.4 Klebstoffapplikation	34
5 Prüfverfahren und -methodik	35
5.1 Versuchsplan	35
5.2 Schweißstrombereichsermittlung	35

5.3	Tragfähigkeitsuntersuchung.....	36
5.4	Fertigungstechnische Störgrößen	39
5.4.1	Fügespalt	40
5.4.2	Zangenschrägstellung	40
5.4.3	Randabstand.....	41
5.4.4	Ausgleichsfunktion des Roboters	42
5.5	$\Delta\alpha$ -Untersuchungen	44
5.5.1	Doppelhutprobe.....	44
5.5.2	Optische Verformungsmessung mit GOM ARAMIS 5M.....	45
5.6	Metallografische Untersuchung.....	47
5.7	Zerstörungsfreie Prüfung	48
5.7.1	Durchstrahlungsprüfung	48
5.7.2	Ultraschallprüfung	48
5.8	Strom-Kraft-Programm.....	48
6	Qualitätssicherung beim Aluminium-Stahl-Widerstandspunktschweißen	51
6.1	Qualitätskriterien zur Bewertung der Verbindungsqualität.....	51
6.1.1	Phasensaumausbildung	51
6.1.2	Charakteristische Bruchfläche	58
6.2	Zerstörungsfreie Prüfung	63
6.2.1	Ultraschallprüfung	63
6.2.2	Radiographie.....	67
7	Tragverhalten von Aluminium-Stahl-Widerstandspunktschweißverbindungen	71
7.1	Tragverhalten bei quasistatischer Belastung.....	71
7.1.1	Scherzugbelastung.....	71
7.1.2	Kopfzugbelastung	74
7.1.3	Schälzugbelastung	76
7.2	Tragverhalten von Punktschweißklebverbindungen	78
7.3	Tragverhalten bei dynamischer Scherzugbelastung.....	84
7.4	Tragverhalten in Abhängigkeit der Elektrodenstandmenge	87
7.5	Tragverhalten unter thermo-mechanischer Beanspruchung.....	92

7.5.1	Mechanisch-technologische Eigenschaften.....	94
7.5.2	Ermittlung der freien Fügelänge in Abhängigkeit des Punktdurchmessers	97
7.5.3	Verformungsverhalten unter thermo-mechanischer Belastung	101
7.5.4	Ermittlung der wirkenden Belastung durch die $\Delta\alpha$ -Problematik.....	109
8	Prozesssicherheit beim Aluminium-Stahl-Widerstandspunktschweißen.....	115
8.1	Einfluss fertigungstechnischer Störgrößen.....	115
8.1.1	Randabstand.....	115
8.1.2	Fügespalt	118
8.1.3	Schweißzangenschrägstellung	121
8.1.4	Ausgleichsverhalten des Roboters	124
8.2	Einfluss werkstoffspezifischer Charakteristika	132
8.2.1	Einfluss des Stahlwerkstoffes.....	132
8.2.2	Oberflächenzustand des Aluminiums	138
8.2.3	Umformgrad	141
8.3	Konstruktive Einflussgrößen	143
8.3.1	Blechdicken.....	143
8.3.2	Klebstoffapplikation	150
8.4	Einfluss der Prozessspezifikationen.....	153
8.4.1	Prozessbänder	153
8.4.2	Elektrodenkappengeometrien.....	157
8.4.3	Anlagentechnik.....	160
9	Zusammenfassung.....	167
10	Schlussbetrachtung	173
11	Literaturverzeichnis	175