

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Erkenntnisse	3
2.1	Bolzenschweißen – Ursprung – Entwicklung	3
2.1.1	Varianten des Bolzenschweißens	4
2.1.2	Bolzenschweißen mit Gleichstromtechnik	6
2.1.3	Bolzenschweißen mit Wechselstromtechnik	7
2.1.4	Aluminium-Lichtbogen-Bolzenschweißen	10
2.2	Bolzenarten	11
2.3	Anwendungen des Bolzenschweißens mit Hubzündung	11
2.4	Grundlagen des elektrischen Lichtbogens	12
2.5	Plasmalichtbogen	15
2.6	CO ₂ -Schneestrahlinreinungsverfahren	16
2.7	Schmier – u. Hilfsstoffe zur Metallbearbeitung	17
2.8	Aluminium-Legierungselemente und deren Einfluss auf die Schweißbarkeit	19
2.9	Verwendete Schmierstoffe und deren Einfluss auf den Schweißprozess	21
3	Zielsetzung und Vorgehen	23
4	Versuchswerkstoffe und –Einrichtungen	25
4.1	Versuchswerkstoffe	25
4.1.1	Kennwerte der Werkstoffe	25
4.1.2	Kennwerte des Bolzenwerkstoffes	26
4.2	Verwendete Schweißbolzentypen	26
4.3	Nachweis inhomogener Beschichtungsmengen	27
4.4	Gerätetechnik	29
4.4.1	Bolzenschweißanlage TE 15 AC	29
4.4.2	Plasmaanlage Magic Wave 3000 Comfort	31
4.4.3	Plasmaanlage FG5001	33
4.4.4	CO ₂ – Schneestrahlanlage JetWorker P16	34
4.5	Mess- und Prüftechnik	35
4.5.1	Fluoreszenz-Messtechnik LUBRImini	35
4.5.2	Kontaktwiderstandsmessung System KOWI	35
4.5.3	Rasterelektronenmikroskop – Untersuchungen	36
4.5.4	Computertomographie – Untersuchungen	37
4.5.5	Zugversuch – Einspannvorrichtung	38
4.5.6	Drehmomentprüfung – Versuchseinrichtung	39
4.5.7	Messung von Plasmadruck, Wärmeleistung und Sauerstoffgehalt	39
4.5.8	Korrosionsprüfeinrichtung	40
5	Voruntersuchungen	41
5.1	Ausgangssituation	41
5.2	Anforderungen an das Reinigungsverfahren	41

5.3	Hochspannungsplasma	43
5.4	Hochstromplasma	44
5.5	CO ₂ – Schneestrahlen	45
5.6	Vergleich und Bewertung der Ergebnisse	47
5.6.1	Auswahl des favorisierten Reinigungsverfahrens	47
5.7	Anforderungen an das Messverfahren	50
5.8	Kontaktwiderstandsmessung	51
5.9	Fluoreszenzmessung	52
5.10	Bewertung der Ergebnisse	52
5.10.1	Auswahl des favorisierten Messverfahrens	53
6	Versuchsaufbau für den Plasmareinigungsbolzenschweißprozess	55
6.1	Plasmareinigung der Proben	55
6.2	Schweißen der Bolzen	56
7	Reinigungswirkung des Plasmalichtbogens	57
7.1	Bestimmung kritischer Wärmemengen und Plasmaparameter	57
7.2	Ermittlung optimierter Einstellungen mittels statistischer Versuchsplanung	59
7.3	Messung und Simulation der Bauteiltemperatur	63
7.4	TGA Analyse und Massenspektroskopie des Trockenschmierstoffes E1	65
7.5	Messung des Plasmadruckes bei unterschiedlichen Parametern	66
7.6	Messung der Sauerstoffkonzentration	68
7.7	Messung der Wärmeleistungsverteilung	69
7.8	Ermittlung des Wirkungsgrades	72
7.9	Visualisierung der Plasmareinigung	73
7.10	Beschichtungsmengen nach der Plasmareinigung	74
7.11	EDX – Mapping und REM – Aufnahmen Werkstoffoberflächen	74
7.12	Untersuchungen zu Wärmeeinflusszonen	77
7.13	Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit	77
8	Eigenschaften von Bolzenschweißverbindungen	79
8.1	Einfluss der Beschichtung auf das Tragverhalten	79
8.2	Untersuchungen zur Prozessfähigkeit	82
8.3	Vergleich von Wulstform und Schmauchanteil	88
8.4	Vergleichende computertomographische Untersuchungen	91
8.5	Auswertung von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Prozessvarianten	94
9	Ergebnisse der Dauerversuche zur Anlagentechnik	96
9.1	Beurteilung der Standzeit der Plasmatechnik	96
9.2	Temperaturmessungen am Plasmabrenner	98
10	Ansatz zur Integration von Reinigung- und Messtechnik	100
10.1	Konzept zur mechanischen Verknüpfung der Einzelverfahren	100
10.2	Weiterentwicklung des Plasmabrenners	106
10.3	Ansatz zur adaptiven Steuerung des Al-LB-Bolzenschweißens	107
11	Zusammenfassung	109
12	Literaturverzeichnis	1