

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen und Formelzeichen .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Grundlagen des Bolzenschweißens .....</b>	<b>2</b>
2.1.1 Entstehung .....	2
2.1.2 Definition und Eigenschaften .....	3
2.1.3 Verfahrensvarianten .....	3
<b>2.2 Lichtbogenbolzenschweißen nach DIN EN ISO 14555 .....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Spitzenzündung .....	5
2.2.2 Hubzündung .....	6
<b>2.3 Herausforderungen beim Schweißen von Aluminium .....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Physikalische Eigenschaften .....	7
2.3.2 Aluminium-Oxidschicht .....	8
2.3.3 Affinität zum Wasserstoff .....	9
2.3.4 Schutzgase .....	11
2.3.5 Lichtbogenarten .....	12
2.3.6 Aluminiumlegierungen .....	13
2.3.7 Verfestigungsmechanismen und Einfluss der Schweißwärme .....	13
<b>2.4 Bolzenschweißen im Karosseriebau .....</b>	<b>16</b>
2.4.1 Herausforderungen im Großserienprozess .....	16
2.4.2 Beispiel S-Klasse .....	18
2.4.3 Prozessvergleich zwischen Stahl- und Aluminium-Bolzenschweißen ..	19
2.4.4 Qualitätskennzahlen von Stahl- und Aluminium-Bolzenschweißen .....	20
<b>3 Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen .....</b>	<b>21</b>
<b>4 Versuchswerkstoffe und -einrichtungen .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Versuchswerkstoffe .....</b>	<b>23</b>
4.1.1 Knetlegierungen der Werkstoffgruppe 5000 .....	23
4.1.2 Knetlegierungen der Werkstoffgruppe 6000 .....	25
4.1.3 Oberflächenvorbehandlungen .....	26
<b>4.2 Probengeometrie .....</b>	<b>27</b>
4.2.1 Schweißbolzen .....	27
4.2.2 Schweißproben .....	28
<b>4.3 Anlagentechnik .....</b>	<b>28</b>
4.3.1 Schweißanlage TE 15 AC .....	29
4.3.2 Schweißkopf TH 519 .....	30
4.3.3 Schutzgasmundstück .....	31

<b>4.4</b>	<b>Anlagentechnik zur Prozessbeobachtung .....</b>	<b>32</b>
4.4.1	Thermographiekamera .....	32
4.4.2	Hochgeschwindigkeitskamera .....	33
<b>4.5</b>	<b>Anlagentechnik zur quasistatischen Kopfzugprüfung .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Konstruktive Maßnahmen zur Entlastung der Schweißverbindung ..</b>	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Charakterisierung der Fügeverbindung .....</b>	<b>35</b>
5.1.1	Bolzenschweißverbindung .....	35
5.1.2	Montageprozess .....	37
<b>5.2</b>	<b>Systemanalyse und Optimierungsansätze .....</b>	<b>38</b>
5.2.1	Messaufbau zur Ermittlung der resultierenden Belastungsgrößen .....	38
5.2.2	Variation des Anzugsmomentes $M_A$ .....	40
5.2.3	Bohrungsdurchmesser $D_B$ .....	41
5.2.4	Resultierender Durchzug $x_r$ .....	45
5.2.5	Optimierungspotential .....	46
<b>5.3</b>	<b>Modifikation der Bolzengeometrie .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Prozessoptimierung zur Steigerung der Schweißnaht-Güte .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1</b>	<b>Geometrische Merkmale der Schweißverbindung .....</b>	<b>48</b>
6.1.1	Versagensarten .....	49
6.1.2	Mindesteinbrandtiefe .....	50
6.1.3	Anbindungsdurchmesser .....	51
<b>6.2</b>	<b>Schweißparameter .....</b>	<b>52</b>
6.2.1	Polarität .....	52
6.2.2	Schweißzeit .....	55
6.2.3	Schweißstrom .....	56
6.2.4	Abfallzeit .....	58
6.2.5	Hubhöhe .....	60
6.2.6	Schweißimpulse .....	62
<b>6.3</b>	<b>Schutzgas .....</b>	<b>64</b>
6.3.1	Schutzgasmenge .....	64
6.3.2	Schutzgaszusammensetzung .....	66
<b>6.4</b>	<b>Werkstoffe .....</b>	<b>71</b>
6.4.1	Blechdicke und Blechwerkstoff .....	71
6.4.2	Wechselwirkung zwischen Bolzen- und Blechwerkstoff .....	74
<b>6.5</b>	<b>Kurzschlusserschweißungen .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>Schweißparametrisierung und Ergebnisverifizierung .....</b>	<b>81</b>
<b>7.1</b>	<b>Schweißparametrisierung .....</b>	<b>81</b>
<b>7.2</b>	<b>Ergebnisverifizierung .....</b>	<b>81</b>
7.2.1	Dünnblech .....	82

---

7.2.2	Mittlere Blechdicke .....	83
7.2.3	Variierender Bolzenwerkstoff .....	84
7.2.4	Dickblech .....	85
7.2.5	Prozessgrenzenerweiterung.....	87
<b>8</b>	<b>Leitfaden zur Anwendung von Al-Schweißbolzen-Verbindungen .....</b>	<b>89</b>
<b>8.1</b>	<b>Konstruktion und Auslegung.....</b>	<b>89</b>
8.1.1	Bolzengeometrie .....	89
8.1.2	Bolzenwerkstoff .....	90
8.1.3	Blechdicke.....	90
8.1.4	Blechwerkstoff.....	91
<b>8.2</b>	<b>Schweißtechnische Verarbeitung.....</b>	<b>91</b>
8.2.1	Schweißnahtgeometrie .....	91
8.2.2	Schweißenergieverteilung.....	92
8.2.3	Einstellsystematik für Schweißparameter .....	92
8.2.4	Ursache - Wirkungs - Zusammenhänge beim Al-Bolzenschweißen....	93
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>95</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>98</b>
	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>107</b>