

Wodara

# Ultraschallfügen und -trennen

**Band 1**  
der „Grundlagen der Fügetechnik“



Institut für Füge- und Strahltechnik  
der Otto-von-Guericke-Universität  
in Magdeburg

*Herausgegeben von:*  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. E. h. H. Herold

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen .....	VIII
Verzeichnis der Abkürzungen .....	XI
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ultraschallschwingungen .....	1
1.1.1 Ultraschallanwendungen .....	1
1.1.2 Ultraschallanwendungen in der Schweißtechnik .....	2
1.1.3 Fügen und Trennen mit Ultraschall .....	2
1.1.3.1 Ultraschallschweißen metallischer Werkstoffe .....	2
1.1.3.2 Ultraschallschweißen thermoplastischer Kunststoffe .....	3
1.1.3.3 Ultraschalllöten .....	4
1.2 Entwicklung des Ultraschallschweißens .....	5
1.2.1 Ultraschallmetallschweißen .....	5
1.2.2 Ultraschallkunststoffschweißen .....	7
<b>2 Physikalische Grundlagen des Ultraschallschweißens .....</b>	<b>8</b>
2.1 Spezifische Eigenschaften des Ultraschalls .....	8
2.2 Ultraschallerzeugung .....	12
2.2.1 Magnetostriktiver Effekt .....	12
2.2.2 Piezoelektrischer Effekt .....	13
2.3 Ultraschallausbreitung .....	15
<b>3 Ultraschallschweißmaschinen .....</b>	<b>18</b>
3.1 Ultraschallmetallschweißmaschinen .....	18
3.1.1 Maschinen für das Ultraschall-Punktschweißen .....	29
3.1.2 Maschinen für das Ultraschall-Litzenschweißen .....	31
3.1.3 Maschinen für das Ultraschall-Liniennahtschweißen .....	33
3.1.4 Maschinen für das Ultraschall-Rollennahtschweißen .....	34
3.1.5 Maschinen für das Ultraschall-Torsionsschweißen .....	36
3.1.6 Ultraschall-Sonderschweißmaschinen .....	40
3.2 Ultraschall-Mikroschweißmaschinen (Drahtbonder) .....	42
3.2.1 Schweißverfahren der Drahtbondtechnik .....	42
3.2.1.1 Warmpressschweißen (Thermocompression-, TC-Bonding) .....	43
3.2.1.2 Ultraschall-Drahtbonden (Ultrasonic Bonding) .....	43
3.2.1.3 Ultraschallwarmschweißen (Thermosonic-, TS-Bonding) .....	43
3.2.2 Drahtbondeinrichtungen .....	44
3.2.3 Werkzeuge zum Drahtbonden .....	44
3.2.4 Prozessabläufe beim Drahtbonden .....	46
3.2.4.1 Kugel-Keil-Verbindung (Ball-Wedge-Bond) .....	46
3.2.4.2 Keil-Keil-Verbindung (Wedge-Wedge-Bond) .....	48
3.2.5 Metallische Kontaktsysteme des Drahtbondens .....	50
3.3 Ultraschall-Drahtbonder .....	51
3.4 Ultraschallkunststoffschweißmaschinen .....	53
3.4.1 Aufbau und Wirkungsweise .....	53
3.4.2 Ultraschall-Schweißgeräte und -Anlagen .....	58
3.5 Maschinen zum Umformen und Einbetten mit Ultraschall .....	62
3.6 Sicherheitsmaßnahmen .....	63

<b>4</b>	<b>Ultraschallschweißen metallischer Werkstoffe</b> .....	64
4.1	Stellung des Ultraschallmetallschweißens innerhalb der Pressschweißverfahren .....	64
4.2	Maschinenabhängige Einflussgrößen .....	65
4.2.1	Einfluss der Schweißparameter .....	65
4.2.1.1	Schweißenergie .....	67
4.2.1.2	Schwingungsamplitude .....	67
4.2.1.3	Sonotrodenkraft .....	67
4.2.1.4	Schweißzeit bzw. Schweißgeschwindigkeit .....	68
4.2.1.5	Press- und Schweißmaß als Größe für die Verformung der Fügeiteile .....	69
4.2.1.6	Arbeitsfrequenz .....	70
4.2.1.7	Auswahl der optimierten Schweißparameter .....	70
4.2.2	Einfluss der Schweißwerkzeuge .....	72
4.3	Bauteilabhängige Einflussgrößen .....	72
4.3.1	Bauteilmasse .....	73
4.3.2	Bauteilgeometrie .....	73
4.3.2.1	Bauteildicke .....	73
4.3.2.2	Bauteilbreite .....	74
4.3.2.3	Bauteillänge .....	76
4.3.2.4	Ort der Schwingungseinleitung .....	77
4.3.2.5	Schweißpunktabstand und -anzahl .....	78
4.3.2.6	Bauteilform .....	79
4.3.2.7	Ultraschallschweißgerechte Anordnung der Fügeiteile .....	80
4.3.3	Oberflächenzustand der Bauteile .....	81
4.3.4	Rauigkeit und Welligkeit .....	82
4.3.5	Natürlich entstandene Oberflächenschichten .....	82
4.3.6	Technisch erzeugte Oberflächen .....	83
4.4	Ultraschallschweißbeignung metallischer Werkstoffe .....	84
4.4.1	Einschätzung der Ultraschallschweißbeignung .....	84
4.4.2	Verbesserung der Ultraschallschweißbeignung .....	87
4.4.2.1	Schweißen mit Vorwärmung .....	87
4.4.2.2	Schweißen mit zwischengelegter Folie .....	88
4.4.2.3	Nutzung äußerer und innerer Reibungsvorgänge .....	90
4.4.3	Vorausbestimmung der Schweißbeignung und der erforderlichen Schweißenergie .....	92
4.4.3.1	Vorausbestimmung der Schweißbeignung .....	92
4.4.3.2	Vorausbestimmung der Schweißenergie .....	94
4.5	Verbindungsbildung beim Ultraschallschweißen metallischer Werkstoffe .....	96
4.6	Vor- und Nachteile des Verfahrens .....	102
4.7	Industrielle Anwendung des Ultraschallschweißens metallischer Werkstoffe .....	104
4.7.1	Anwendungsbeispiele für das Ultraschall-Punktschweißen .....	105
4.7.2	Anwendungsbeispiele für das Ultraschall-Litzenschweißen .....	106
4.7.3	Anwendungsbeispiele für das Ultraschall-Liniennahtschweißen .....	108
4.7.4	Anwendungsbeispiele für das Ultraschall-Rollennahtschweißen .....	110
4.7.5	Anwendungsbeispiele für das Ultraschall-Torsionsschweißen .....	111
<b>5</b>	<b>Ultraschallschweißen von Kunststoffen</b> .....	114
5.1	Verfahrensbeschreibung .....	114
5.2	Werkstoffeinfluss .....	116
5.3	Einfluss der Herstellungsbedingungen der Fügeiteile auf das Schweißverhalten .....	119

5.4	Konstruktive Gestaltung der Füge­teile .....	120
5.4.1	Allgemeine konstruktive Merkmale .....	121
5.4.2	Geometrie der Füge­flächen .....	127
5.4.3	Ultraschall-Punktschweißen von Kunststoffen .....	130
5.4.4	Ultraschall-Nahtschweißen von Kunststoffen .....	131
5.5	Optimieren der Schweißparameter .....	135
5.5.1	Wahl der Schweißbedingungen .....	135
5.5.2	Leistungsdaten .....	137
5.6	Industrielle Anwendung des Ultraschallschweißens von Kunststoffen .....	138
<b>6</b>	<b>Umformen mit Ultraschall</b> .....	<b>141</b>
6.1	Nieten mit Ultraschall .....	141
6.1.1	Verfahrensbeschreibung .....	141
6.1.2	Werkstoffeinfluss .....	143
6.1.3	Konstruktionshinweise .....	144
6.1.4	Nietkopfformen .....	146
6.2	Bördeln mit Ultraschall .....	148
6.2.1	Verfahrensbeschreibung .....	148
6.2.2	Konstruktionshinweise .....	148
6.3	Verdämmen mit Ultraschall .....	150
6.3.1	Verfahrensbeschreibung .....	150
6.3.2	Konstruktionshinweise .....	150
<b>7</b>	<b>Einbetten mit Ultraschall</b> .....	<b>153</b>
7.1	Verfahrensbeschreibung .....	153
7.2	Werkstoffeinfluss .....	154
7.3	Konstruktionshinweise .....	155
<b>8</b>	<b>Ultraschallschweißen harter biologischer Gewebe (Knochen)</b> .....	<b>159</b>
8.1	Verfahrensbeschreibung .....	159
8.2	Gerätetechnik .....	160
<b>9</b>	<b>Trennen mit Ultraschall</b> .....	<b>163</b>
9.1	Trennen von Kunststoffen .....	163
9.2	Trennen von biologischen Geweben .....	167
9.2.1	Grundlagen .....	167
9.2.2	Anwendungen .....	169
<b>10</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>174</b>
	Sachwortverzeichnis .....	176
	Schrifttum .....	181