

# Hartlötten und Hochtemperaturlötten

Grundlagen und Anwendung

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Lutz Dorn

Ing. (grad.) Klaus Iversen

Dipl.-Ing. Martin Stroiczek

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Tillmann

Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Weise

Mit 153 Bildern und 30 Tabellen



Kontakt & Studium  
Band 677

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz  
Dipl.-Ing. Elmar Wippler

**expert**  **verlag**®

# Inhaltsverzeichnis

---

## Vorwort

<b>1</b>	<b>Grundlagen des Hartlötens</b>	<b>1</b>
	Lutz Dorn	
	Abstract / Zusammenfassung	1
1.1	Einführung	1
1.1.1	Begriffe der Löttechnik	1
1.1.2	Einteilung der Lötverfahren	2
1.2	Ablauf des Lötvorganges	11
1.2.1	Benetzung	11
1.2.2	Adhäsion	14
1.2.3	Diffusion	16
1.2.4	Spaltfüllung	19
1.3	Gefügeausbildung von Lötverbindungen	21
1.4	Beseitigung von Fremdschichten	22
1.4.1	Flussmittel	23
1.4.2	Reduzierende Schutzgase	25
1.4.3	Vakuumlöten	25
1.5	Lote	27
1.6	Merkmale des Lötens	29
1.7	Schlussbemerkung	30
	Literatur	30
<b>2</b>	<b>Auswahl von Hartloten und Flussmitteln</b>	<b>32</b>
	Martin Stroiczek	
	Abstract / Zusammenfassung	32
2.1	Einführung	32
2.2	Art und Behandlungszustand der Grundwerkstoffe	33
2.3	Abmessung und Herstelltoleranzen der Werkstücke	33
2.4	Verfügbare Betriebseinrichtungen	34
2.5	Mechanische Belastung der Lötstelle	35
2.6	Betriebstemperatur	35
2.7	Betriebsdruck	35
2.8	Angreifende Medien	36
2.9	Weiterverarbeitung gelöteter Bauteile	37
2.10	Regeln der Technik	37
2.11	Arbeitssicherheit	37
2.12	Wirtschaftlichkeit der Lötung	38
2.13	Kostenerfassung	38
2.14	Lotgruppen	39
2.15	Flussmittel	40
	Literatur	41

<b>3</b>	<b>Applikation von Hartlotpasten</b>	<b>42</b>
	Martin Stroiczek	
	Abstract / Zusammenfassung	42
3.1	Einführung	42
3.2	Applikationstechniken	43
3.2.1	Dispensen	43
3.2.2	Tauchen	44
3.2.3	Sprühen	45
3.2.4	Siebdrucken	45
3.2.5	Rollen	47
	Literatur	49
<b>4</b>	<b>Gestaltung und Festigkeit von Lötverbindungen</b>	<b>50</b>
	Martin Stroiczek	
	Abstract / Zusammenfassung	50
4.1	Einführung	50
4.2	Passungen (Spaltbreiten)	50
4.3	Dimensionieren von Lötstellen	51
4.4	Bemessung der Lotmenge	53
4.5	Konstruktionsregeln	55
4.6	Konstruktionsbeispiele	62
	Literatur	63
<b>5</b>	<b>Spezielle Hartlötaufgaben</b>	<b>64</b>
	Martin Stroiczek, Wolfgang Weise	
	Abstract / Zusammenfassung	64
5.1	Einleitung	65
5.2	Löten von Werkzeugen	65
5.2.1	Hartmetalle	66
5.2.2	Fügepartner	67
5.2.3	Minimieren thermischer Spannungen	68
5.2.4	Hartlote	75
5.2.5	Flussmittel	79
5.2.6	Lötverfahren	79
5.2.7	Prüfverfahren	83
5.2.8	Schadensuntersuchungen	85
5.3	Löten in der Kälte- und Klimatechnik	88
5.4	Instandsetzungsloten	93
	Literatur	94
<b>6</b>	<b>Grundlagen der Hart- und Hochtemperaturlöttechnik</b>	<b>95</b>
	Wolfgang Tillmann	
	Abstract / Zusammenfassung	95
6.1	Einleitung	95
6.2	Metallurgische Aspekte	96
6.3	Benetzung	97
6.4	Diffusionslötprozesse	99
6.5	Lötverfahrenstechnik	102

<b>7</b>	<b>Löten von Sonderwerkstoffen</b>	<b>108</b>
	Wolfgang Tillmann	
	Abstract / Zusammenfassung	108
7.1	Einleitung	108
7.2	Löten von Ingenieurkeramik	109
7.3	Löten von Hartmetallen	113
7.4	Löten von Al-Werkstoffen	119
7.5	Löten von hochlegierten Fe-, Ni- oder Co-Werkstoffen	123
	Weiterführende Literatur	128
<b>8</b>	<b>Löten von Leichtmetallen</b>	<b>129</b>
	Wolfgang Weise	
	Abstract / Zusammenfassung	129
8.1	Einleitung	129
8.2	Technische Al-Legierungen	132
8.2.1	Einteilung und Kennzeichnung von Aluminiumlegierungen	132
8.2.2	Anwendungen und Eigenschaften	134
8.3	Grundlagen des Lötens von Aluminium	136
8.3.1	Hartlote	136
8.3.2	Weichlote	138
8.3.3	Lotapplikation	138
8.3.4	Flussmittel	139
8.3.5	Löteignung von Grundwerkstoffen	141
8.3.6	Temperaturführung	143
8.3.7	Lötverfahren	144
8.4	Anwendungsfall: Löten von Wärmetauschern	146
8.5	Löten von Magnesium	154
8.6	Löten von Titan	155
8.7	Ausblick	155
	Literatur	155
<b>9</b>	<b>Fehler beim Hart- und Hochtemperaturlöten</b>	<b>157</b>
	Klaus Iversen	
9.1	Unregelmäßigkeiten in hartgelöteten Verbindungen	157
9.1.1	Äußere Unregelmäßigkeiten	157
9.1.2	Innere Unregelmäßigkeiten	157
9.1.3	Nicht genormte Unregelmäßigkeiten	158
9.2	Die wichtigsten Lötparameter	158
9.3	Häufige Lötfehler	163
9.3.1	Typische Flussmittelfehler	163
9.3.2	Lötrissigkeit in Stählen	163
9.3.3	Beeinflussung des Grundwerkstoffes durch die Löttemperatur	164
9.4	Fallbeispiele von Hart- und Hochtemperaturfehlern	166
9.5	Beispiel aus der Praxis: Explodiertes Verdichterlaufrad	180
9.5.1	Aufgabenstellung	180
9.5.2	Konstruktion und Werkstoffe	180
9.5.3	Lötverfahren	181
9.5.4	Prüfung der gelöteten Laufräder	182
9.5.5	Schadensbeschreibung	182
9.5.6	Schadensursache	183

9.5.7	Schadensvermeidung	184
9.5.8	Schlussfolgerung für Lötaufsicht und Konstruktion	186
9.6	Die häufigsten Fehler beim Einsatz des Hart-Hochtemperaturlötens	186
	Schrifttum	187

## **Stichwortverzeichnis**

### **Die Autoren**