

P. Zaremba

**Hart- und
Hochtemperaturlöten**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Allgemeines	1
1.1	Was ist Lötten?	1
1.2	Geschichtliche Entwicklung	1
1.3	Warum Lötten?	4
1.4	Löttechnische Begriffe und Bezeichnungen	5
1.4.1	Lötbarkeit	6
1.4.2	Löteignung	6
1.4.3	Lötmöglichkeit	7
1.4.4	Lötsicherheit	7
2	Löten und seine Abgrenzung gegenüber dem Schweißen	8
2.1	Diffusion	8
2.2	Legierungsbildung	8
2.3	Charakteristische Temperaturen	10
2.3.1	Schmelzbereich des Lotes	10
2.3.2	Arbeitstemperatur des Lotes	10
2.3.3	Maximale Löttemperatur	11
2.3.4	Benetzungstemperatur des Lotes	11
2.3.5	Bindetemperatur des Lotes	11
2.3.6	Wirktemperatur des Flußmittels	12
2.4	Charakteristische Zeiten	12
3	Bewährte Lötverfahren	13
3.1	Flammlöten	15
3.2	Induktionslöten	17
3.2.1	Generatoren zum Hartlöten	19
3.2.2	Induktor zum Hartlöten	20
3.2.3	Induktives Löten	22
3.3	Widerstandslöten	23
3.3.1	Löten mit Widerstandslötmaschine	23
3.3.2	Löten mit Innenwiderstandserwärmung	24
3.3.3	Löten mit Kontaktwiderstandserwärmung	24
3.3.4	Löten mit Kohlewiderstandserwärmung	25
3.4	Ofenlöten	25
3.4.1	Arten von Öfen	26
3.4.2	Ofenlötverfahren	27

3.4.2.1	Ofenlötten mit Flußmittel	27
3.4.2.2	Ofenlötten mit Flußmittel und Schutzgas	28
3.4.2.3	Ofenlötten in reduzierendem Schutzgas	28
3.4.2.4	Ofenlötten in inertem Schutzgas	29
3.4.3	Mechanisierung des Lötvorgangs	29
4	Hochtemperaturlöten	31
4.1	Allgemeines	31
4.2	Werkstoffe zum Hochtemperaturlöten	31
4.3	Vakuum-Lötöfen	32
4.3.1	Vakuum-Heißwandofen	32
4.3.2	Vakuum-Heißwandofen mit Druckentlastung	32
4.3.3	Vakuum-Kaltwandofen	32
4.3.4	Vakuumlöten	33
5	Lote	41
5.1	Allgemeines	41
5.2	Aufgabe des Lotes	41
5.3	Hartlote	41
5.4	Silber-Hartlote	42
5.4.1	Aufbau und Eigenschaften der Silber-Hartlote	42
5.5	Hartlote für Leichtmetalle	49
5.6	Hochtemperaturlote	50
5.6.1	Nickelbasislote	50
5.6.1.1	Bildung von Lötlegierungen auf Nickelbasis	50
5.6.2	Goldbasislote	50
5.6.3	Kupfer-Phosphor-Hartlote	52
5.7	Binden des Lotpulvers	52
5.8	Lotauftragung	53
6	Lötstopmittel	54
7	Flußmittel	55
7.1	Aufgaben und Eigenschaften der Flußmittel	55
7.2	Benetzungsfähigkeit	55
7.3	Entfernen von Oxiden	55
7.4	Verringerung der Oberflächenspannung	55
7.5	Wirktemperaturbereich	56
7.6	Flußmittel und Lötzeit	56
7.7	Flußmittel und ihre Auftragung	57
7.8	Entfernen von Flußmittelresten	57

7.9	Flußmittel-Einteilung	57
7.9.1	Flußmittel zum Hartlöten von Leichtmetallen	59
7.9.2	Flußmittel-Bezeichnung	59
7.9.3	Flußmittel-Formen	60
7.9.3.1	Flußmittel in Pastenform	60
7.9.3.2	Pulverförmige Flußmittel	61
7.9.3.3	Flußmittelumhüllte Hartlote	61
7.9.3.4	Gasförmige Flußmittel	61
7.10	Flußmittel – Verpackung und Lagerung	62
7.11	Schutz des Lötlers beim Arbeiten mit Flußmittel	62
8	Möglichkeiten der Lotzuführung	63
8.1	Löten mit angesetztem Lot	63
8.2	Löten mit Lotformteilen	63
9	Gestaltung von Lötverbindungen	66
9.1	Art und Ausbildung der Werkstückoberflächen	66
9.2	Kapillarer Fülldruck	68
9.3	Lötspalt	69
9.4	Art der Löterwärmung	70
9.4.1	Direkte Erwärmung	71
9.4.2	Indirekte Erwärmung	71
9.4.3	Deutung der Erwärmungskurven	72
9.4.4	Spalt- und Fugenlöten	73
9.4.5	Formänderungen bei Erwärmung auf Löttemperatur	73
9.4.6	Wärmedehnung	73
9.4.7	Wärmeleitfähigkeit	75
9.5	Einfluß der Löterwärmung auf den Grundwerkstoff	75
9.5.1	Lötbrüchigkeit	75
9.5.2	Grobkornbildung	76
9.5.3	Rekristallisation	77
9.5.4	Verzunderung	78
10	Konstruktionsbeispiele	79
11	Lötvorrichtungen und mechanisierte Lötanlagen	83
11.1	Lötvorrichtungen	83
11.1.1	Vorrichtungskonstruktion	83
11.1.2	Werkstoffe für Lötvorrichtungen	84
11.1.3	Lötvorrichtungen vor dem Einsatz	85

11.2	Lötanlagen	85
11.2.1	Rundtisch-Lötanlagen	85
11.2.2	Fahrwagen-Lötanlagen	86
11.2.3	Förderband-Lötanlagen	87
12	Festigkeit von Spaltlötverbindungen	90
12.1	Einflußfaktoren auf die Festigkeit von Hartlötverbindungen	90
12.1.1	Chemische Zusammensetzung des Lotes	90
12.1.2	Zusammensetzung und Zustand des Flußmittels	91
12.1.3	Chemische Zusammensetzung und Festigkeit des Grundwerkstoffs	91
12.1.4	Lötspaltbreite	91
12.1.5	Beschaffenheit der Lötfläche	91
12.1.6	Größe der Lötfläche	91
12.1.7	Löttemperatur	92
12.1.8	Füllgrad	92
12.1.9	Lötverfahren	92
13	Zugfestigkeit von Lötverbindungen	93
13.1	Zugproben	93
13.2	Zugversuch	94
13.3	Zugfestigkeit einiger Hartlötverbindungen	94
14	Scherfestigkeit von Lötverbindungen	97
14.1	Scherproben	97
14.2	Scherversuch	98
14.3	Scherfestigkeit einiger Hartlötverbindungen	98
15	Prüfbarkeit der Lötverbindung	100
15.1	Prüfverfahren	100
15.1.1	Maß- und Sichtprüfung	100
15.1.2	Farbrißprüfung	100
15.1.3	Durchstrahlungsprüfung	102
15.1.4	Ultraschallprüfung	103
15.1.5	Metallographische Prüfung	103
16	Palladiumhaltige Lote zum Hochtemperatlöten	106
16.1	Allgemeines	106
16.2	SCP-Lote	106
16.3	SPM-Lote	106
16.4	NPM 1-Lote	107
16.5	PN 1-Lote	107
16.6	Lötverfahren	107

17	Hartlöten von Hartmetallen	108
17.1	Allgemeines	108
17.2	Löteignung der Hartmetalle	108
17.3	Hartmetall-Lote	108
17.4	Flußmittel	109
17.5	Spannungen bei der Abkühlung	109
18	Prüfung von Handlötern	110
18.1	Allgemeines	110
18.2	Voraussetzungen	110
18.3	Fachkundlicher Teil	110
18.4	Praktischer Teil	111
18.5	Prüfung	112
19	Arbeitsschutz beim Löten	114
19.1	Unfallschutz	114
19.2	Feuerschutz	115
19.3	Gesundheitsschutz	115
19.3.1	Haut- und Körperschutz	115
19.3.2	Augenschutz	116
19.3.3	Atemschutz	116
	Schrifttum	117