

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Kurzer Rückblick zu den Anfängen der Löttechnik	5
3	Grundlagen der induktiven Erwärmung	11
3.1	Einführung	11
3.2	Leistungsdichten	11
3.3	Induktionsgesetz	11
3.3.1	Stromeindringtiefe und Temperaturverteilung	13
3.3.2	Frequenzbereiche	18
3.3.3	Induktorwirkungsgrad	19
3.3.4	Leistungsumsatz	23
4	Induktoraufbau	35
4.1	Induktorformen	35
4.1.1	Außen- und Innenfeldinduktoren	38
4.1.2	Ein- und mehrwindige Induktoren	40
4.1.3	Flächeninduktoren	41
4.1.4	Haarnadelinduktoren	44
4.1.5	Linieninduktoren	45
4.1.6	Tunnelinduktoren	45
4.1.7	Gabelinduktoren	46
4.1.8	Löffelinduktoren	47
4.1.9	Konzentratoren	48
4.1.10	Magnetfeldkonzentratoren	49
4.1.11	Mehrfachinduktoren	54
4.1.12	Klappinduktoren	55
4.1.13	Schutzgasinduktoren	56
4.2	Induktorrohrdimensionen	58
4.3	Induktorpositionierung	59
4.4	Bau von Induktoren	60
4.4.1	Handwerklicher Induktoraufbau	60

5	Induktionserwärmungsanlagen	65
5.1	Energiequellen moderner Induktionserwärmungsanlagen	65
5.1.1	Arbeitsweise – Funktionsprinzip eines Umrichters	66
5.2	Anlagenkühlung	73
5.3	Aufbau der Induktionserwärmungsanlagen	75
6	Grundlagen der Löttechnik	77
6.1	Begriffe der Löttechnik	77
6.2	Benetzung, Ausbreitung, Diffusion, Bindung	79
6.2.1	Benetzung	79
6.2.2	Kapillarer Fülldruck p_K	82
6.2.3	Diffusionszonen	88
6.3	Löt- und erwärmungsgerechte Konstruktion	92
6.4	Lötprozess	99
7	Grundwerkstoffe, Zusatz- und Hilfsstoffe	103
7.1	Grundwerkstoffe	103
7.2	Zusatz- und Hilfsstoffe	103
7.2.1	Weichlote	105
7.2.2	Hart- und Hochtemperaturlote	106
7.2.3	Hilfsstoffe	108
7.2.3.1	Flussmittel	109
	Flussmittelauftrag	112
	Entfernung von Flussmittelresten	113
7.2.3.2	Schutzgase	113
7.2.3.3	Vakua	120
8	Lotzuführung	123
	Löten mit manuell zugeführtem Lot	123
	Löten mit eingelegtem Lot	123
	Löten mit Lotdepot	124
	Löten mit Lotbeschichtung	124
	Löten mit Lotdrahtzuführgerät	124
	Löten mit Lotpaste	124
9	Festigkeit von Lötverbindungen	127
9.1	Festigkeit von Weichlötverbindungen	128
9.2	Festigkeit von Hartlötverbindungen	129

10	Induktionslötteinrichtungen	131
10.1	Induktionslötanlagen	131
10.2	Steuerung von Induktionslötanlagen	136
10.2.1	Temperaturmess- und -regelgeräte	135
10.3	Komplettlötanlagen	138
	Beispiel: Schutzgaslöten von Saugrohr mit Saugglocke	138
11	Weitere Lötbeispiele aus der Praxis	145
11.1	Elektromaschinenbau	145
11.1.1	Überlappverbindungen von Kupferflachdrähten	146
	Anlagentechnik für einfache Überlappverbindungen	146
	Anlagentechnik mit Gripzangen-HHT	147
	Anlagentechnik mit Lötpistole	148
11.1.2	Stoßverbindungen von Kupferflachdrähten	151
	Anlagentechnik bei mittleren Werkstückabmessungen	151
	Anlagentechnik bei kleineren Werkstückabmessungen	153
11.1.3	Verbindungen von massiven Kupferprofilen	155
	Löten im Ständerbau	156
	Reparaturlöten im Ständerbau	158
	Löten im Läuferbau	159
	Anlagentechnik im Schleifringläuferbau	162
11.2	Elektrotechnische Bauelemente	165
	Hartlöten von Schaltstücken	165
	Hartlöten von CEE-Steckverbindern aus Messing	168
11.3	Maschinen- und Apparatebau	170
11.3.1	Hartlöten von Rohrsteckverbindungen	170
	Durchmesser 25 x 1,2 mm, Edelstahl, Beispiel 1	170
	Durchmesser 28 x 1,2 mm, Edelstahl, Beispiel 2	173
	Aluminiumrohr, Durchmesser etwa 10 mm, Beispiel 3	174
	Aluminiumrohr mit Kupferrohr, Beispiel 4	175
11.3.2	Aluminiumrohr in Aluminiumflansch	177
11.3.3	Aluminiumrohr seitlich an Aluminiumrohr	178
11.3.4	Aluminiumanschlußstülle an Aluminiummuffler	179
11.3.5	Stoßlötverbindung eines Aluminiumprofils	180
11.3.6	Kupferrohr in Kupfer-Wärmetauscher	182
11.3.7	Kupfer-Rohrbögen in Kupfer-Standrohre	183
11.3.8	Zwei Kupferrohre in ein Kupferblechteil	185
11.3.9	V2A-Stahl-Rohrbögen in V2A-Stahl-Standrohre	187
11.3.10	Rohr/Rohrenden-Lötverbindung	189
11.3.11	Stahlrohr/Fitting-Lötverbindung	191
11.3.12	Stahlrohr/Anschlussstück-Lötverbindungen	193
	Stahlrohr/Ringstück-Verbindung, Beispiel 1	194

Stahlrohr/Ringstück-Verbindung, Beispiel 2	195
Stahlrohr/Ringstück-Verbindung, Beispiel 3	199
Stahlrohr/Flansch-Verbindung, Beispiel 4	201
Stahlrohr/Flansch-Verbindung, Beispiel 5	202
Stahlrohr/Flansch-Verbindung, Beispiel 6	203
Zwei Stahlrohre an Blechteil, Beispiel 7	205
Stahlrohr/Winkelstück-Verbindung, Beispiel 8	207
...Edelstahlrohr/Kugelbuchse-Verbindung, Beispiel 9	209
11.3.13 Welle in Absperrventilscheibe	210
11.3.14 Heizstab in Messingbuchse	212
Beispiel 1	212
Beispiel 2	213
Beispiel 3	215
11.3.15 Stahlstift in Stahlblechteil	216
11.3.16 Kleinteile unter Schutzgas löten	216
11.3.17 Buchse an Rohrteil unter Schutzgas löten	219
11.3.18 Federstößel in Federteller unter Autoschutzgas löten	220
11.3.19 Buchse an Flansch unter Schutzgas löten	223
11.3.20 V2A-Kapillarrohr in V2A-Grundkörper unter SG löten	224
11.3.21 Kupferröhrchen und Kupferrohr in Ms-Grundkörper	225
11.3.22 Messingnapf an Kupferrohr	227
11.3.23 Zwei V2A-Faltenbälge an V2A-Grundkörper	229
11.3.24 V2A-Faltenbalg an zwei Messing-Grundkörper	230
11.3.25 Einfüllstutzen an Tank unter Schutzgas löten	231
11.3.26 Weichlöten eines Thermostatregelteils	233
11.3.27 Weichlöten von Einzelteilen eines Thermostatsystems	234
Federteller mit Metallbalg	234
Verbindungsstück mit Metallbalg und Kapillarrohren	236
11.3.28 Weichlöten von Blechbehältern	237
Löten von Boden in Kappe	237
Entlöten eines Deckels von Gehäuse	239
11.4 Werkzeugbau	240
11.4.1 HM-Plättchen auf Kreissägeblätter	240
11.4.2 HM-Einsätze in Bergbauwerkzeugen	243
11.4.3 Diamantboart-Segmente an Granit-Trennscheibe	244
11.5 Turbinenbau	245
11.5.1 HM-Segmente an Eintrittskanten	246
11.5.2 Reparaturlöten und -schweißen von Schaufelblättern	247
11.6 Auftragslöten von Verschleißschichten	249
11.6.1 Panzern von aufgetragenen Pulverschichten	250
11.6.2 Panzern von Roderädern	252
11.6.3 Panzern von Spurkränzen	253
11.6.4 Panzern von Hohlstempeln	255

12	Lötfehler – Prüfung von Lötverbindungen	261
12.1	Lötfehler	261
	Bindefehler	263
	Füllgradfehler	263
	Fehler durch interkristalline Korrosion	263
	Fehler durch Lötbruch	264
12.2	Kontrolle der Lötverbindungen	264
12.2.1	Prüfverfahren	265
12.2.1.1	Zerstörungsfreie Prüfung	265
	Maß- und Sichtprüfung	265
	Ultraschallprüfung	266
	Durchstrahlungsprüfung	266
	Eindringprüfung	266
	Dichtheitsprüfung	266
12.2.1.2	Zerstörende Prüfung	267
	Aufschälprüfung	267
	Metallographische Prüfung	268
13	Arbeitssicherheit u. Umweltschutz	269
	Induktionserwärmungsanlagen	269
	Lötprozess	270
	Umweltschutz	271
14	Wirtschaftlichkeit des induktiven Lötens	273
15	Normung	275
	Abbildungshinweise	277
	Zusätzliche Literaturhinweise	279
	Sachwortverzeichnis	281