

# Obsah

## Kapitola 1.

Proč bezolovnaté pájení v elektrotechnice .....	11
1.1 Obecně .....	12
1.2 Celosvětový pohled .....	14
1.3 Evropa a Česká republika .....	15
1.4 Novela zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech .....	18
1.4.1 Hlavní principy .....	18
1.4.2 Základní povinnosti v oblasti elektroodpadu .....	18
1.4.3 Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu .....	19
1.4.4 Prevence vzniku elektroodpadu .....	20

## Kapitola 2.

Měkké pájení v elektrotechnice .....	21
2.1 Historie měkkého pájení .....	22
2.2 Teorie měkkého pájení .....	22
2.2.1 Pájitelnost .....	23
Nesmáčení .....	23
Smáčení .....	23
Odsmáčení .....	23
2.2.2 Pájecí tavidla .....	24
Tavidla rozpustná v rozpouštědle .....	24
Pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny .....	24
• typ R .....	24
• typ RMA (pryskyřičné tavidlo s aktivátory) .....	24
• typ RA (pryskyřičné tavidlo s větší účinností aktivátorů) .....	25
• typ RSA (pryskyřičné tavidlo velmi silně aktivované) .....	25
Syntetická tavidla .....	26
Syntetická aktivovaná tavidla (SA) .....	26
Tavidla rozpustná ve vodě .....	26
Tavidla bez čištění .....	27
Účinnost tavidla .....	27
2.2.3 Některé problémy pájitelnosti .....	28
Oxidace .....	28
Znečištění .....	28
Porézní povrch pájky .....	28
Nesprávné spojovací metalurgie .....	28
2.2.4 Zkoušky pájitelnosti .....	29
Ponořovací test .....	29
Metoda smáčecích vah .....	30
Odolnost proti rozpouštění metalizace .....	31
Kuličkový test .....	32
Test roztékavosti .....	32
2.2.5 Kritéria pro pájený spoj .....	32
Jakost pájeného spoje .....	33
Stárnutí materiálu .....	33
Mechanické namáhání .....	34

Tepelné namáhání .....	34
Životnost pájených spojů .....	35
<b>2.3 Ruční pájení .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.1 Běžná dílenská pájedla .....</b>	<b>36</b>
Konstrukce pájecího hrotu dílenského pájedla .....	38
Teplo .....	38
Namáhání a trhliny .....	39
Koroze .....	39
„Odsmáčení“ .....	40
Opotřebení a obrušování .....	41
Tavidlo je tavidlo, ale ne vždy .....	41
Přehled pokynů pro péči o pájecí hrot .....	41
Proč se pájecí hroty opotřebovávají tak rychle? .....	42
<b>2.3.2 Pájedla s vysokou obnovou tepla .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.3 Čištění pájecího hrotu .....</b>	<b>45</b>
<b>2.3.4 Pájení ostřeným proudem horkého vzduchu .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.5 Vysokofrekvenční pájení .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4 Strojní pájení vlnou .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4.1 Jednotlivé operace při pájení vlnou .....</b>	<b>47</b>
Připouštění oleje .....	49
Konstrukce vlny .....	49
<b>2.4.2 Jednoduchá vlna .....</b>	<b>50</b>
<b>2.4.3 Dvojitá vlna .....</b>	<b>51</b>
Vlastnosti dvojité vlny .....	52
Obecné: .....	52
Teplota: .....	52
<b>2.4.4 Dutá vlna .....</b>	<b>52</b>
Elektrodynamické čerpadlo .....	53
<b>2.4.5 Teplotní profil .....</b>	<b>54</b>
<b>2.4.6 Ochrana roztavené pájecí slitiny .....</b>	<b>55</b>
Použití pájecího oleje .....	55
Pájení bez oleje .....	55
Výhody: .....	55
Nevýhody: .....	55
Pájení bez oleje - pájecí olej kryje lázeň pájky .....	55
Výhody: .....	56
Nevýhody: .....	56
Pájecí olej připouštěn do vlny - pájení s olejem .....	56
Výhody: .....	56
Nevýhody: .....	56
Ochrana inertním plynem .....	57
Antioxidační přípravky a likvidace zoxidované pájky .....	57
<b>2.5 Strojní pájení přetavením .....</b>	<b>58</b>
<b>2.5.1 Pájecí pasty .....</b>	<b>58</b>
Velikost zrn .....	58
Tavidlo v pájecí pastě .....	59
Nanášení pájecí pasty .....	60
Nanášení pájecí pasty dávkováním .....	60
Tisk přes síto .....	61

Tisk přes šablonu .....	62
2.5.2 Pájení v parách .....	64
2.5.3 Přetavení infračerveným zářením .....	64
2.5.4 Nucené proudění .....	66
2.5.5 Teplotní profil .....	67
2.6 Kontrola a testování osazených desek s plošnými spoji pájených olovnatými slitinami .....	68
Optické kontroly a testy .....	69
Elektrické kontroly a testy .....	69
Funkční test .....	69
Vnitroobvodový (in-circuit, MDA) test .....	70
Klimatické kontroly a testy .....	70
Mechanické kontroly a testy .....	71
2.6.1 Elektrické testovací systémy .....	71
MDA a Incircuit testovací systémy .....	71
Jehlová pole .....	71
Testovací adaptér (přípravek) .....	73
2.6.2 Optické testovací systémy .....	74
Základní rozdělení automatických optických testovacích systémů (AOI) .....	75
a) laserové .....	75
b) kamerové .....	75
Rozdělení zařízení AOI s CCD kamerou .....	76
1) Jednokamerové .....	76
a) jeden zdroj světla .....	76
b) více zdrojů světla .....	77
c) jednokamerový systém s použitím zrcadla .....	77
d) jednokamerový systém pracující jako skener .....	78
2) Vícekamerové .....	78
a) AOI s pěti kamerami .....	78
b) AOI se dvěma kamerami .....	79
Vyhodnocení kvality pájení v AOI .....	79
Způsoby kontroly pájení SMD v AOI .....	80
1) Jednotlivé barvy (vlnové délky) .....	80
2) Bílé světlo .....	80
Doporučené vybavení AOI .....	81
1) ATT (nástroj automatického učení) - import dat z CAD, osazovacího automatu ..	81
2) Vestavěný systém statistického řízení procesu (SPC) .....	81
3) Vestavěný systém provádění oprav .....	81
4) Systém knihoven .....	82
5) Mechanický značkovač .....	82
2.6.3 Porovnání kontrol a testů .....	82
<b>Kapitola 3.</b>	
<b>Pájecí slitiny .....</b>	<b>83</b>
3.1 Slitiny cín-olovnaté .....	84
3.1.1 Fázový diagram .....	84
3.1.2 Podvojné slitiny .....	85
3.1.3 Čistota pájecí slitiny .....	86
3.2 Slitiny bez olova .....	87
Kritéria bezolovnaté pájky .....	87

3.2.1 Životaschopné bezolovnaté slitiny .....	87
1. Sn96.5/Ag3.5 (Sn96/Ag4) .....	88
2. Sn99.3/Cu0.7 (Sn99/Cu1) .....	88
3. Sn/Ag/Cu .....	89
4. Sn/Ag/Cu/X .....	91
5. Sn/Ag/Bi/X .....	91
6. Sn/Sb .....	92
7. Sn/Zn/X .....	93
8. Sn/Bi .....	93
Cena .....	93
Olovo ve sloučeninách .....	94
Názor konsorcií .....	94
3.2.2 Zvolené slitiny .....	95
Shrnutí .....	95
3.2.3 Čistota pájecí slitiny .....	96
3.2.4 Rizika bezolovnatých pájecích slitin v extrémních pracovních teplotách .....	97
3.2.5 Mechanické vlastnosti bezolovnatých slitin .....	98
3.2.6 Další problémy .....	98
3.2.7 Bezolovnaté pájky na současném trhu .....	98
Circuit Chemical Products GmbH .....	99
Trubičková pájka CCP- Lead free .....	99
Pájecí pasta CCP SMD 630BF- No clean Pb free .....	99
Pájecí pasta CCP SMD 631 BF- No clean Pb free .....	99
Pájecí pasta CCP SMD 632 BF- No clean Pb free .....	99
Pájecí pasta CCP SMD 6021 BF- No clean Pb free .....	99
Kovohutě Příbram a.s. .....	100
Pájky tvářené .....	100
Pájky pro strojní pájení .....	100
Indium Corporation of America .....	100
Nízkoteplotní slitiny .....	100
Slitiny se střední teplotou tavení .....	100
Slitiny s vysokou teplotou tavení .....	101
AIM SOLDER .....	101
Pb-Free pájecí slitiny .....	101
Pb-Free pájecí pasty .....	101
Trubičkové pájky Pb-free .....	101
Multicore ® .....	101
STANNOL GmbH .....	102
KESTER ® .....	102
CYNEL UNIPRESS Sp. z o.o. ....	102

#### Kapitola 4.

Problematika bezolovnatého pájení .....	103
4.1 Ruční pájení .....	104
4.1.1 Základní problémy při pájení s bezolovnatými pájkami .....	104
Oxidace pájecího hrotu .....	104
Nezvyšovat zbytečně teplotu pájecího hrotu .....	105
Zvýšení tepelné kapacity pájedla .....	107
Proč se snižuje životnost běžného pájecího hrotu bezolovnatými pájkami? .....	110

4.1.2 Hlavní zásady práce s bezolovnatými pájkami při ručním pájení .....	112
4.1.3 Pájení součástek bezolovnatými pájkami .....	115
<b>4.2 Pájení vlnou .....</b>	<b>115</b>
4.2.1 Základní odlišnosti při bezolovnatém pájení vlnou .....	115
4.2.2 Změny v konstrukci pájecích vln .....	116
4.2.3 Teplotní profil při pájení .....	121
4.2.4 Chyby při bezolovnatém pájení vlnou .....	122
Příklady vad pájených spojů .....	123
Kdy lze očekávat problémy a jak jim předcházet: .....	124
1. Pájení jemných roztečí. ....	124
2. Pájení sestav s hmotnými kovovými díly. ....	124
3. Pájení desek s plošnými spoji z tvrzeného papíru (FR-2, FR-3). ....	124
4. Pájení silnějších desek s plošnými spoji. ....	125
5. Pájení sestav s tepelně citlivými díly. ....	125
4.2.5 Optimalizace pájení vlnou pro bezolovnatou technologii .....	125
4.2.6 Specifika selektivního pájení .....	126
<b>4.3 Pájení přetavením .....</b>	<b>127</b>
4.3.1 Tisk bezolovnatých past .....	128
4.3.2 Tepelné zpracování bezolovnatých pájek .....	128
4.3.3 Přetavovací pece pro bezolovnaté přetavení .....	129
4.3.4 Teplotní profil pro pájení přetavením .....	133
4.3.5 Typické chyby při bezolovnatém pájení přetavením .....	136
4.3.6 Vodivá lepidla – alternativa standardních technologií .....	139
<b>4.4 Pájení v dusíkové atmosféře .....</b>	<b>140</b>
4.4.1 Dusík .....	140
4.4.2 Pájení pod dusíkem .....	141
4.4.3 Pájení vlnou pod dusíkem .....	143
4.4.4 Pájení přetavením pod dusíkem .....	144
4.4.5 Ruční pájení pod dusíkem .....	145
<b>4.5 Tavidla, čisticí a pomocné prostředky .....</b>	<b>146</b>
<b>4.6 Součástky .....</b>	<b>148</b>
4.6.1 Obecně .....	148
4.6.2 Projekty světových výrobců součástek .....	151
<b>PHILIPS .....</b>	<b>151</b>
Hlavní problémy .....	151
Vývody bez olova .....	152
Plán zavedení bezolovnatých technologií .....	152
Návrh procesu pájení bez olova .....	152
<b>ANALOG - DEVICES .....</b>	<b>153</b>
Cíl .....	153
Problémy .....	154
Vývodové prvky .....	154
<b>BGA .....</b>	<b>155</b>
Pozice .....	155
<b>MOLEX .....</b>	<b>157</b>
<b>MATSUSHITA .....</b>	<b>158</b>
<b>4.7 Desky s plošnými spoji .....</b>	<b>159</b>
4.7.1 Základní materiály .....	159
4.7.2 Pokovení .....	161

Hot Air Levelling (HAL): .....	162
Pájecí laky: .....	162
Organické povrchy: .....	162
Přetavení slitinou Sn/Pb v brodicím válcí: .....	162
Hot Air Levelling bezolovnaté: .....	162
Kovové imersní povrchy: .....	163
<b>4.8 Kontrola testování osazených desek s plošnými spoji pájených bezolovnatými slitinami .....</b>	<b>165</b>
<b>4.8.1 AOI v bezolovnatém pájení .....</b>	<b>165</b>
Proč je optická kontrola bezolovnaté pájky obtížnější? .....	165
Bezolovnatá pájka a automatická optická kontrola (AOI) .....	166
<b>4.8.2 Elektrické testovací systémy v bezolovnatém pájení .....</b>	<b>167</b>
1) Vliv tavidla .....	167
2) Vliv bezolovnaté pájky .....	167
a) Tvrnost pájky .....	167
b) Jiné složení pájky .....	168

## **Kapitola 5.**

<b>Zavedení bezolovnaté technologie .....</b>	<b>169</b>
<b>5.1 Postup .....</b>	<b>170</b>
5.1.1 Stanovení postupu .....	170
5.1.2 Výběr materiálů a vybavení .....	171
5.1.3 Odzkoušení technologie .....	171
5.1.4 Návrh procesu .....	172
5.1.5 Školení operátorů .....	172
5.1.6 Spuštění procesu a monitorování .....	173
5.1.7 Vyhodnocení .....	173
<b>5.2 Přechodné období .....</b>	<b>174</b>
5.2.1 Budou k dispozici součástky a desky s plošnými spoji „bezolovnaté“ i „olovnaté“. ...	174
5.2.2 Podstatně se rozšíří nabídka typů bezolovnatých pájecích slitin a past. ....	174
5.2.3 V jednom provozu mohou existovat souběžně dvě technologie pájení. ....	174
5.2.4 Opravy a servis starších výrobků pájených olovnatými pájkami. ....	175
5.2.5 Přibudou nové povinnosti vyplývající z legislativy. ....	175