

7. týždeň

3.2.1.2 Typy vln v technológii spájkovania vlnou

a) Jednoduchá vlna

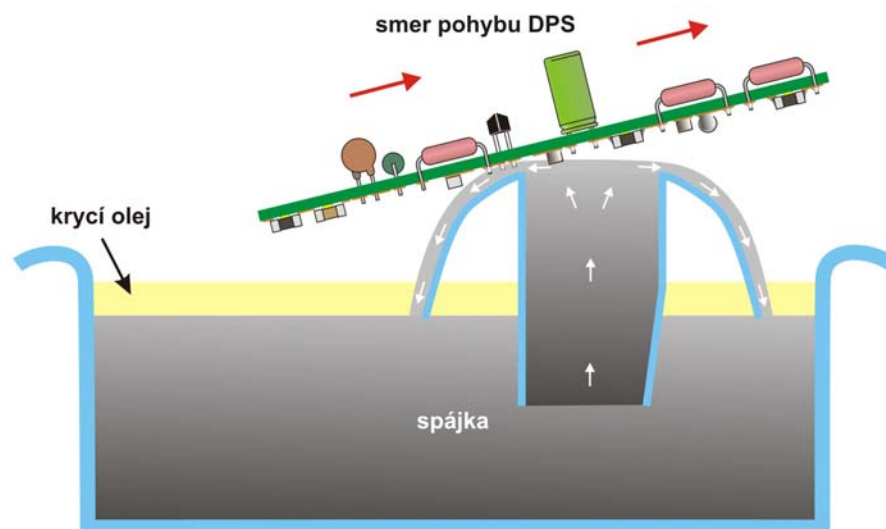
Vo všeobecnosti je spájkovanie vlnou najvýhodnejšia metóda pre sériovú výrobu. Spájkovanie jednoduchou vlnou je nenáročné a možno ho použiť aj pre mnohé súčiastky povrchovej montáže.

Zložitejšie DPS s vyššou hustotou osadenia, viacvývodové súčiastky povrchovej montáže a menšie rozstupy vodivých dráh môžu spôsobiť problém nedostatočného zmáčania a vzniku plôch nepokrytých spájkou (suchý spoj), resp. tiež vytváranie mostíkov (skratov).

Mostíky vznikajú spravidla medzi kontaktmi viacvývodových súčiastok s malým rozstupom, resp. priamo medzi susediacimi vývodmi súčiastok. Nedostatočné zmáčanie je spôsobené spravidla tzv. „tieňom“ súčiastok s relatívne veľkým plastovým puzdrom. Plast nie je zmáčaný spájkou a vytvára dutinu v roztavenej spájke, ktorá je ďalej rozširovaná vplyvom povrchového napätia. Vytváranie „tieňov“ za súčiastkami zabráňuje spájke zmáčať celý povrch spoja.

Pre kompletne pokrytie oblastí, ktoré sú inak ťažko zmáčateľné, je potrebná vysokotlaková turbulentná vlna. Aby sa zamedzilo vzniku mostíkov a umožnilo odtečenie prebytočnej spájky, je potrebná druhá, hladká laminárna vlna. Tieto požiadavky nie je možné dosiahnuť súbežne, len použitím jedinej vlny. Aplikácia dvojitej vlny ponúka riešenie protichodných predpokladov, a reprezentuje optimalizovanú technológiu.

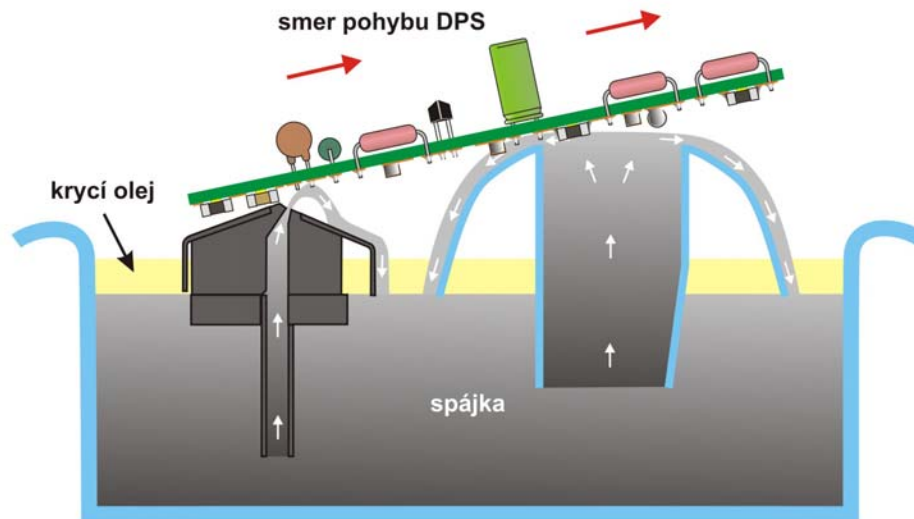
Jednoduchá široká vlna je najrozšírenejší typ vlny (Obr. 30). Používa sa pre klasické spájkovanie i spájkovanie v technológii povrchovej montáže (SMT), avšak je vhodná len pre malú integráciu súčiastok a pre väčšie súčiastky.



Obr. 30 Jednoduchá spájkovacia vlna

b) Dvojitá vlna

V zariadeniach s dvojitou vlnou (Obr. 31) DPS prichádza najskôr do kontaktu s turbulentnou vlnou, ktorá má relatívne vysokú vertikálnu rýchlosť.



Obr. 31 Dvojitá spájkovacia vlna

Zabezpečuje dobrý kontakt roztavenej spájky s vývodmi súčiastok a zároveň zabraňuje vzniku spájkovacích „tieňov“ - miest nepokrytých spájkou. Druhá, laminárna vlna završuje proces spájkovania, vyplňa priestor medzi vývodom súčiastky a otvorom, resp. kontaktnou ploškou, odstraňuje nadbytočnú spájkou aj nežiaduce „mostíky“.

Pri spájkovaní vlnou čipové súčiastky povrchovej montáže (SMD) sa prilepia na spodnú stranu DPS. Pre spájkovanie súčiastok povrchovej montáže sa používa dvojitá vlna. Prvá spájkovacia vlna je vysoká, pomerne úzka turbulentná vlna, ktorá sa zvyčajne vytvára mechanicky, buď pumpovaním spájky cez rad malých pevných, alebo pohybujúcich sa otvorov na výstupe trysky, alebo pomocou jednosmerne rozstrekovanej vlny. Prúdenie vlny je zvyčajne nasmerované súbežne s pohybom DPS. Za prvou turbulentnou vlnou nasleduje asymetrická laminárna vlna. Turbulentná vlna zabezpečuje, aby sa spájka dostala okolo všetkých čipových súčiastok a došlo k dôslednému zmáčaniu spájkovaného povrchu a vytvoreniu spájkovaných spojov. Zaručuje dobrý kontakt spájky s oboma spájkovanými povrchmi formovaného spoja a minimalizuje riziko tieňov – nepospájkovania. Druhá, hladká laminárna vlna, dokončuje vytváranie spoja, odstraňuje prebytočnú spájkou a zamedzuje vzniku mostíkov a „tieňov“ v smere pohybu DPS.

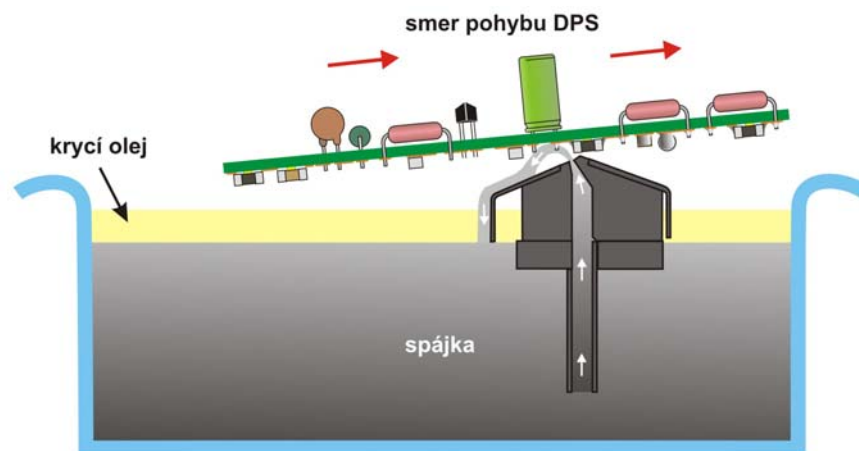
Úlohou prvej **turbulentnej vlny** je zmáčať povrch spájkou, pričom výskyt skratov je druhoradý. Prvá, turbulentná vlna (v ktorej dochádza ku kontaktu s povrchom DPS v menšej oblasti) vibruje, takže mechanicky zabezpečí dokonalé zmáčanie povrchu.

Druhá, **laminárna tzv. plochá Λ vlna**, odstraňuje prebytočnú spájkú a znižuje riziko vzniku mostíkov.

Turbulentná spájkovacia vlna eliminuje na minimum možnosť vzniku spájkovacích „tieňov“. Samotná turbulentná vlna však neumožňuje odtečenie prebytočnej spájky, vytvárajúcej nežiaduce zhluky a mostíky. Preto sa v procese spájkovania vlnou najčastejšie používajú strojné zariadenia s dvojitou vlnou (prvá je turbulentná, druhá je **laminárna**). DPS sa v spájkovacích zariadeniach pohybuje **proti smeru toku spájky**, pričom pri jej vstupe do vlny vzniká maximálna turbulencia. Keď **teplota základného materiálu** (spájkovacie plochy DPS a súčiastok) prekročí bod tavenia spájky, dochádza ku zmáčaniu, roztekaniu, vzĺnaniu a difúzii spájky do základného materiálu. Kritická oblasť pre kvalitu spájkovania je výstup z laminárnej vlny. Povrchové napätie udržuje spájkú v oblasti spoja a vlastná hmotnosť sa ju snaží oddeliť. Rovnováha týchto síl závisí od spájkovateľnosti základných materiálov a možno ju dosiahnuť iba v laminárnej časti vlny **optimálnym zladením rýchlosti dopravníka a rýchlosti prúdenia vlny**. Mechanizmus prečerpávania spájky zo zásobníka vlny a jeho riadenie môže byť ovládané mechanicky alebo elektromagnetickou pumpou. Najvhodnejší **nájazdový uhol** je pre obidve vlny (6-8)°. Najmodernejšie spájkovacie zariadenia majú bezprostredne za druhou vlnou umiestnený tzv. **horúcovzdušný nôž**, ktorý pod nastaviteľným uhlom (45 – 70)° a tlakom (200- 300) kPa z trysky fúka proti pohybu dopravníka horúci vzduch teploty 380°C, čím odstraňuje prebytočnú spájkú a eliminuje možnosť tvorby mostíkov a spájkovacích „tieňov“. Často sa povrch spájkovacieho kúpeľa pokrýva tenkou vrstvou oleja za účelom odstránenia spájkovacích tieňov, avšak následne je nutné tento olej odstrániť, čo predražuje výrobu. Doba styku s prvou vlnou predstavuje značné tepelné zaťaženie súčiastky, pretože je až (4 – 5) s.

c) **Dutá vlna**

Najväčšou výhodou dutej vlny (Obr. 32) je, že silný prúd pri spájkovaní súčiastok sťahuje DPS spolu so súčiastkami dolu. Prúd dutej vlny sa pohybuje rýchlosťou (1-2) m/s a prúdenie spájky okolo prekážok (vývody súčiastok) je laminárne. Pri obtekaní súčiastok vlnou sa uplatňuje Bernoulliho zákon o zmenách tlaku a rýchlosti, t.j. v mieste prekážky je zvýšená rýchlosť, klesá statický tlak a spájká je väčším tlakom z okolia tlačaná k súčiastke.



Obr. 32 Dutá vlna

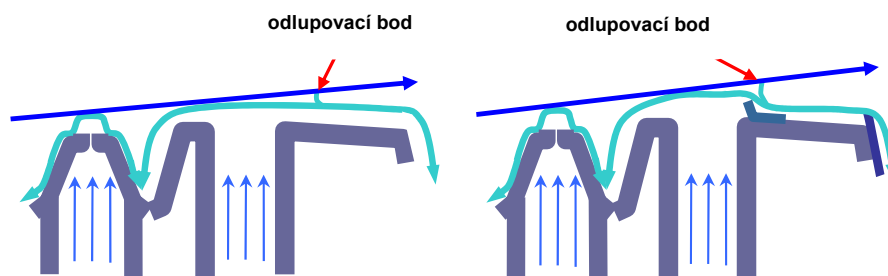
Celý povrch súčiastky (aj zadná plocha) je preto dobre zmáčaný spájkou. Doba styku DPS so spájkou v tvare dutej vlny je asi (1–2) s. Aby sa predišlo tvorbe mostíkov platí zásada, že rýchlosť dopravníka DPS a rýchlosť prúdu spájky sú rovnaké. Pri tejto technike nie je potrebný horúcovzdušný nôž a teplota spájky je 260°C (menšie nebezpečenstvo tvorby mostíkov - vhodné pre SMT).

Zariadenie pre spájkovanie vlnou pozostáva zo spájkovacej vane a dopravníka (Obr. 33).



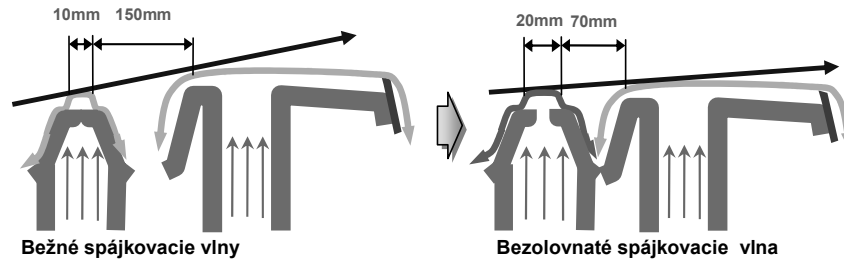
Obr. 33 Vaňa pre spájkovanie vlnou

Odlupovací bod vo vani pre spájkovanie vlnou súvisí s uhlom sklonu dopravníka, na ktorom sú pripevnené DPS. Dva rôzne sklony dopravníka pre spájkovanie vlnou pre olovnaté a bezolovnaté spájkovanie – dva rôzne odlupovacie body vo vani pre spájkovanie vlnou sú znázornené na obr. 34.



Obr. 34 Dva rôzne sklony dopravníka – dva rôzne odlupovacie body

Porovnanie vzdialeností medzi turbulentnou a laminárnou vlnou pre spájkovanie olovnaté a bezolovnaté vo vani vyplýva z obr. 35.

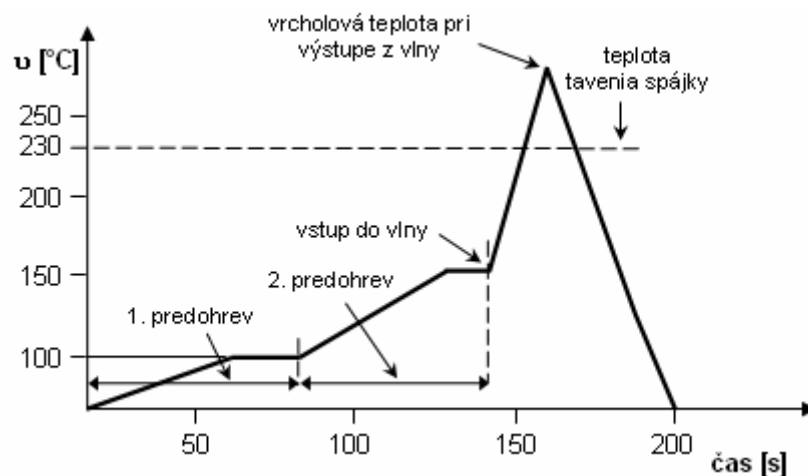


Obr. 35 Porovnanie zariadenia pre spájkovanie vlnou pre olovnaté a bezolovnaté spájkovanie

Typickými znakmi spájkovania vlnou sú:

- Zdvihnutá výška prvej vlny od 10 mm do 20 mm: dostatočný namáčací čas (4s -5 s.).
- Zmenšená vzdialenosť medzi prvou a druhou vlnou (od 150mm -70 mm).
- Redukcia poklesu teploty na minimum.
- Zvýšený tlak prietoku spájkovacej vlny. Väčší kontakt súčiastok THT a spájky s DPS.
- Pomáha obnoviť teplotu druhej spájkovacej vlny.
- Chladenie redukuje zdvih súčiastok. Musí sa aplikovať veľmi rýchly chladiaci systém: $> 5^{\circ}\text{C/s}$.

Teplotný profil spájkovania vlnou (Obr. 36) sa zásadne líši od teplotného profilu spájkovania pretavením.



Obr. 36 Teplotný profil spájkovania dvojitou vlnou

Po predohreve vstupuje osadená DPS do 1. spájkovacej vlny, čo má za následok prudký nárast teploty, spôsobujúci značné teplotné zaťaženie zostavy. Následne vstupuje horúca DPS do 2. vlny, ktorá však už nespôsobuje také veľké teplotné zaťaženie. Po prípadnej aplikácii horúcovzdušného noža sa naspájkovaná DPS ochladzuje.

Ako spájkovacie zliatiny sa používajú obyčajne spájky na báze SnAgCu, SnAg, SnCuNi, SnAgCuBi, SnZn, SnBi, SnZnBi.

Najväčšou výhodou spájkovania vlnou je možnosť efektívneho masového automatizovaného spájkovania, hlavné uplatnenie našla táto technológia najmä pri spájkovaní súčiastok prepojovaných pomocou pokovených otvorov, kde je táto metóda vhodnejšia ako spájkovanie pretavením.

Nevýhoda tejto technológie spočíva vo vysokej energetickej náročnosti – spájkovacia zliatina sa musí neustále udržiavať pri teplote okolo 250°C a tiež vo veľkej teplotnej záťaži osadenej DPS pri vstupe do spájkovacej vlny.

Aj keď spájkovacia vaňa produkuje minimum trosiek, pri spájkovaní je odporúčané používať dusík.

3.2.1.3 Problémy vznikajúce pri spájkovaní vlnou

1. Nedostatočné vyplnenie otvorov (Obr. 37):

- teplota spájky je príliš nízka,
- znečistenie spájky,
- nerovnomernosť spájkovacej vlny,
- teplota predohrevu je príliš vysoká/nízka,
- znečistenie tavidla alebo jeho nedostatočná merná hmotnosť (hustota),
- rýchlosť dopravníka je príliš vysoká alebo uhol nábehu do vlny je príliš malý,
- DPS alebo súčiastky majú zlú spájkovateľnosť,
- nedostatočná účinnosť tavidla.



Obr. 37 a) Nedostatočné vyplnenie otvorov v dôsledku predčasného stuhnutia,
b) Opakované ohriatie stuhnutého spoja

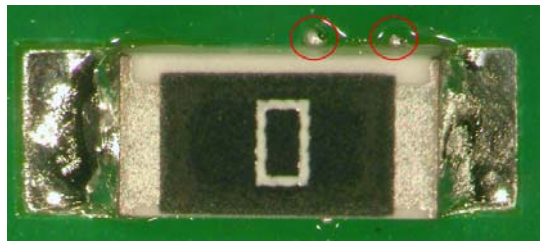
2. Vznik spájkovacích mostíkov a „kvapľov“

Možné príčiny:

- teplota roztavenej spájky je príliš nízka,
- spájkovacia vlna je príliš veľká alebo nerovnomerná,
- znečistenie spájky,
- nesprávne nastavená teplota predohrevu (príliš vysoká/nízka),

- znečistenie tavidla alebo jeho príliš nízka hustota (merná hmotnosť),
- parametre nanášania tavidla sú nesprávne nastavené,
- príliš vysoká rýchlosť dopravného pásu alebo príliš malý nájazdový uhol,
- zlá spájkovateľnosť DPS alebo súčiastok,
- vývody súčiastok sú príliš dlhé,
- nadmerná naplavovanie spájky,
- nedostatočná účinnosť tavidla.

3. Vznik guľôčok spájky (Obr. 38):



Obr. 38 Výskyt guľôčok spájky v dôsledku nesprávnej rýchlosti toku vlny

Možné príčiny:

- nesprávne nastavená teplota predohrevu (príliš vysoká/nízka),
- príliš vysoká teplota spájky,
- spájkovacia vlna je príliš vysoká alebo nerovnomerná,
- znečistenie tavidla alebo jeho príliš nízka hustota (merná hmotnosť),
- nadmerné množstvo tavidla,
- príliš veľká rýchlosť dopravného pásu,
- nekvalitná spájkovacia maska – neúčinné vytvrdzovanie.

4. Odlupovanie spoja

Typickým problémom, ktorý vzniká pri spájkovaní vlnou je úkaz, ktorý sa prejavuje „odlúpnutím“ spájkovacieho spoja od DPS v dôsledku zmršťovania spoja počas chladnutia. Hlavným dôvodom je rozdielny koeficient teplotnej rozťažnosti spájky, medenej spájkovacej plôšky a materiálu samotnej DPS. Existujú tri rozdielne spôsoby „odlupovania“ spoji:

1. spájka sa odlupuje od spájkovacej plôšky,
2. spájkovacia plôška sa odlupuje od podložky,
3. dochádza k vzniku trhliny v spájkovacom spoji.

5. Vynechané a nespájkované miesta

Možné príčiny sú:

- spájkovacia vlna je nerovnomerná alebo príliš nízko,
- príliš vysoká teplota predhrevu,
- tavidlo je znečistené alebo má príliš veľkú mernú hustotu,
- tavidlo nevytvára kontakt s DPS, t.j. nanášanie tavidla je nerovnomerné, alebo príliš malé,
- nadmerné prefukovanie tavidla pri jeho nanášaní tryskou,
- príliš vysoká rýchlosť dopravného pásu,
- spájkovacie tiene – nutnosť použitia duálnej vlny.

6. Chyby vzhľadu

Možné príčiny:

- nadmerné naplavenie tavidla,
- príliš nízka teplota predohrevu,
- príliš krátky čas pôsobenia spájkovacej vlny,
- neúčinný proces čistenia,
- dlhší čas od spájkovania po čistení DPS od zvyškov tavidla,
- nekvalitná spájkovacia maska – neúčinné vytvrdzovanie.

7. Elektrochemická a termálna migrácia a znížené hodnoty povrchového izolačného odporu

Možné príčiny:

- zvyšky chloridov alebo iných iónov na DPS a/alebo súčiastkach,
- hygroskopické znečistenie DPS a/alebo súčiastok,
- nevhodná úprava DPS vo výrobe, alebo neúčinné čistenie po spájkovaní,
- použitie bezoplachového spájkovacieho tavidla s nevhodným zložením,
- neúčinný proces čistenia.