

## Meranie teplotného profilu v prostredí nasýtených pár

Livovský L., Pietriková A.  
FEI TU Košice

### Anotace

The process of soldering has to guarantee suitable temperature conditions for formation of metallurgical joint between leads of components and conductive pads on printed circuit board. The formation of reliable and quality joint depends on temperature profile, which guarantees transformation of solid alloy into "molten metal" and consecutive reformation of solid alloy. The alloy finally acts a conductive joint. The process is controlled by the temperature profile, which defines temperature change vs. time. The temperature profile is specified to form reliable joint. Recommendations for measurement of the temperature profile are presented in IPC-7530 "Guidelines for Temperature Profiling for Mass Soldering Processes (Reflow & Wave)". The recommendations in IPC-7530 for mass soldering assume application of solder wave or reflow oven (solder paste reflow). This article is aimed at obtaining experience with solder paste reflow in developed machine, which works on principle of saturated vapours condensation (VPS - Vapour Phase Soldering).

### ÚVOD

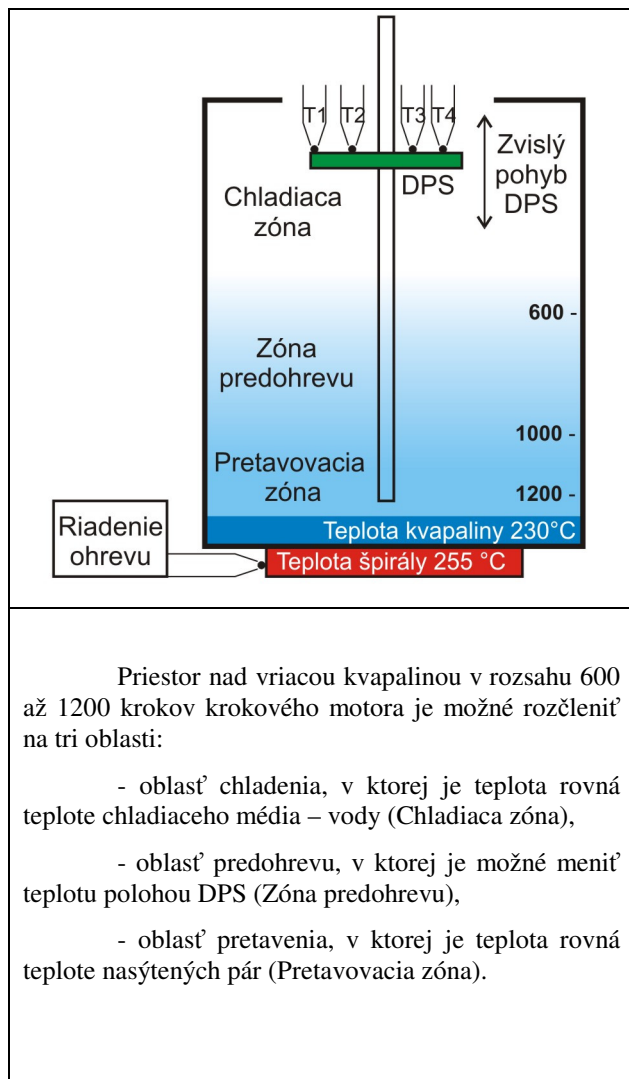
Úspešné nahradenie olova v spájkovacom procese je podmienené vhodnou bez olovnatou zliatinou a odpovedajúcim teplotným profilom, ktoré sú podmienkou vytvorenia kvalitného vodivého spoja zo spájkovacej pasty. K tomuto účelu je potrebné poznať teplotné pomery, za ktorých dochádza k vytvoreniu vodivého spoja medzi vývodom súčiastky, vodivou plochou dosky plošného spoja (DPS) a spájkovacou pastou, teda poznať reálny teplotný profil pretavenia, čo sa nezaobíde bez merania teploty v procese spájkovania. Existuje niekoľko spôsobov ako merať teplotu na DPS počas procesu spájkovania. Cieľom je získať presnú a spoľahlivú hodnotu teploty v požadovanej oblasti DPS.

Jednou z možností ako merať teplotu na DPS je použitie termočlánku. Výhodné je použitie termočlánkov typu K, ktorých pracovná teplota je v rozsahu  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+1250\text{ }^{\circ}\text{C}$  s presnosťou  $\pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v celom rozsahu. Spôsob uchytenia termočlánku k DPS je kľúčový problém pre získanie presných hodnôt. Hlavnou podmienkou je, aby termočlánok mal priamy kontakt s miestom, v ktorom je potrebné merať teplotu. Nakoľko na reálnej DPS sú miesta s rôznou tepelnou kapacitou (veľkosť súčiastok, okraje DPS, stred DPS, miesta s veľkými medenými plochami), je potrebné použiť niekoľko termočlánkov. Snahou je merať „najteplejšie“ a „najchladnejšie“ miesto na DPS. Sledovaním týchto

kritických hodnôt sa zabezpečí jednak spoľahlivé pretavenie spájky a jednak sa predíde poškodeniu tepelne menej odolných súčiastok. Jednou z možností uchytenia termočlánkov k DPS je ich prichytenie k pomocou spájky s vyššou teplotou tavenia.

### MERANIE TEPLoty NA DPS

Princíp prenosu teploty pri použití nasýtených pár spočíva v kondenzovaní pár na chladnom povrchu objektu. Teplota pár je pritom závislá od typu použitej kvapaliny. Výhody pretavovania v parách sú: rovnomerné rozloženie teploty, spájkovanie bez prítomnosti kyslíka, maximálna teplota na DPS nemôže prekročiť teplotu pár, čo umožňuje použiť aj teplotne menej odolné súčiastky. Zmenu teploty v priestore nad kvapalinou, je možné využiť na generovanie procesu pretavenia spájkovacej pasty (Obr.1). Vznik a výška nasýtených pár nad kvapalinou je závislá od výkonu ohrievača. Ak kolíše teplota vyhrievacieho telesa, kolíše aj výška pár nad kvapalinou, čo má nepriaznivý vplyv na opakovateľnosť pretavovacieho procesu, pretože sa menia teplotné pomery pretavovacej komore. Preto základnou a nutnou podmienkou vytvorenia opakovateľných podmienok pretavovania je použitie regulátora teploty, ktorý udržiava teplotu ohrievača na konštantnej hodnote. V našom prípade teplota  $255\text{ }^{\circ}\text{C}$  udržiava výšku pár vo vzdialenosti 35 mm od hladiny kvapaliny.



Priestor nad vriacou kvapalinou v rozsahu 600 až 1200 krokov krokového motora je možné rozdeliť na tri oblasti:

- oblasť chladenia, v ktorej je teplota rovná teplote chladiaceho média – vody (Chladiaca zóna),
- oblasť predohrevu, v ktorej je možné meniť teplotu polohou DPS (Zóna predohrevu),
- oblasť pretavenia, v ktorej je teplota rovná teplote nasýtených pár (Pretavovacia zóna).

Obr. 1: Rozdelenie pracovného priestoru v komore VPS

## MERANIE TEPLoty NA DPS

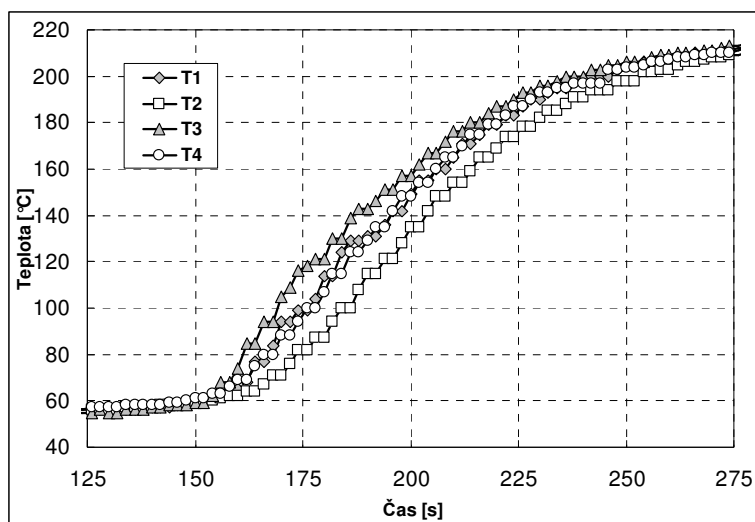
Na experimenty bola použitá jednostranná DPS o rozmeroch 8 x 8 cm, čo je maximálny rozmer použiteľný v pretavovacej komore. Termočlánky boli umiestnené v diagonále DPS tak, aby bolo možné merať rozloženie teploty v rovine DPS (Obr.2). Vložením predmetu do prostredia nasýtených pár dochádza ku kondenzácii, čoho dôsledkom je stekanie kvapaliny po povrchu predmetu. K tomuto javu

## EXPERIMENT

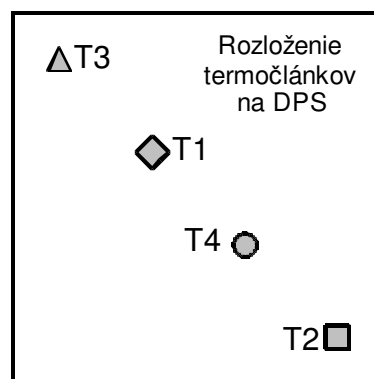
Snahou realizovaných experimentov bolo získať informácie o teplotných pomeroch v oblasti pretavovania, teplotnej kapacity zariadenia a skúsenosti s meraním teploty v prostredí, ktoré je charakteristické dvoma skupenstvami – para a kvapalina. Nakoľko sa pretavovacie zariadenie používa na skúmanie kvality a spoľahlivosti bezolovnatých spájk, ktorých teplota tavenia je približne 205 °C, na generovanie pár bola použitá pracovná kvapalina GALDEN LS/230 s maximálnou teplotou 230 °C.

Meranie teploty (teplotného profilu) v prostredí nasýtených pár bolo realizované pomocou 4 termočlánkov typu K GTF300 (NiCr-Ni) s rozsahom pracovných teplôt -85 °C až +300 °C. Termočlánky boli pripojené k 4 kanálovému meraciemu prístroju VOLTcraft K204, ktorý bol prepojený s počítačom cez USB zbernicu. Zmenu polohy DPS v pretavovacej nádobe zabezpečuje krokový motor, ktorý je ovládaný procesorom a údaje o polohe DPS sú posielané do počítača cez USB zbernicu. Zobrazovanie teplôt jednotlivých termočlánkov a polohy DPS v závislosti od času zabezpečuje špeciálny program napísaný vo vývojovom prostredí LabWindows/CVI. Program zobrazuje získané hodnoty v grafickom tvare v reálnom čase, čo umožňuje užívateľovi (zatiaľ len) manuálne meniť polohu DPS a tým aj regulovať teplotu DPS. Takýmto postupom je možné manuálne vytvárať ľubovoľný teplotný profil na DPS v medziach zariadenia.

dochádza aj na samotných termočlánoch a prejavuje sa to ako kolísanie teploty na meracích koncoch termočlánkov. Tento neželaný jav spôsobuje skreslenie meraných hodnôt a je možné ho odstrániť vhodným umiestnením termočlánkov. Na základe testov bolo zvolené umiestnenie termočlánkov do otvorov v DPS, pričom konce boli spájkované k medi DPS za účelom zabezpečenia lepšieho prestupu tepla. Plocha DPS zabraňuje stekaniu kvapaliny na termočlánky.



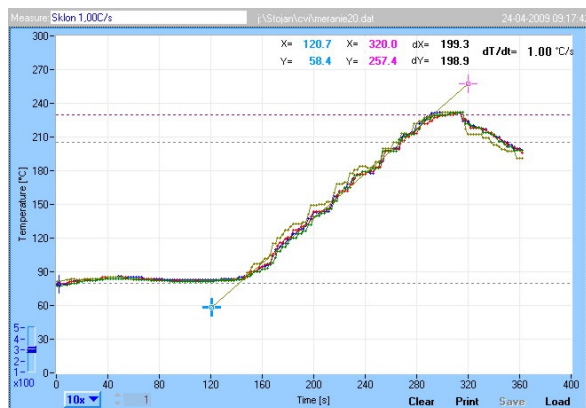
Obr. 2. Meranie teploty na DPS a odpovedajúce rozloženie termočlánkov



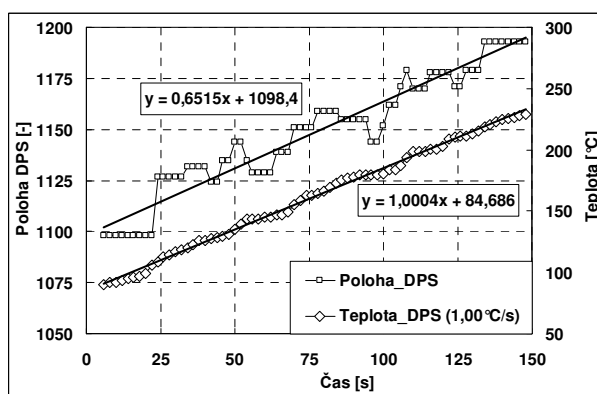
Merania ukázali, že rozdiel teplôt medzi okrajom a stredom DPS sa pohybuje v rozsahu 10 °C až 15 °C. Tento rozdiel vyplýva z postupného ohrievania DPS smerom od okraja dosky do stredu dosky. Výhoda použitia nasýtených pár je v tom, že po určitom čase sa teploty vyrovnajú a DPS je rovnomerne ohrievaná na celej ploche (Obr.2).

## MERANIE TEPLOTNÉHO PROFILU ZARIADENIA

Aby bolo možné určiť tepelnú kapacitu komory, boli vykonané merania teploty na DPS od hodnoty 80 °C po hodnotu 230 °C s piatimi strmostami nárastu teploty: 1,00 °C/s; 1,25 °C/s; 1,50 °C/s; 2,00 °C/s a 2,50 °C/s.



a



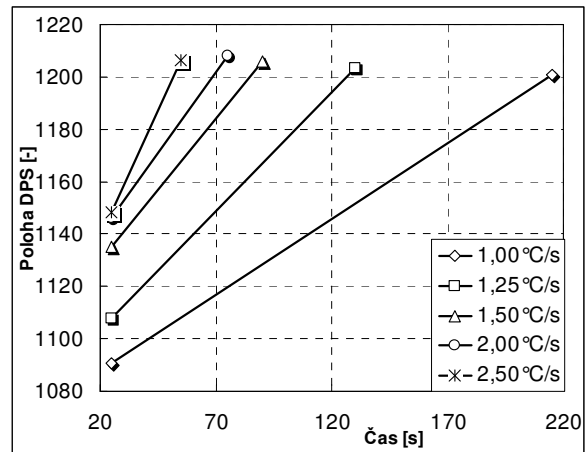
b

Obr. 3: Meranie teploty na DPS: a – zobrazuje meranie teploty v počítači, b – pohyb DPS a odpovedajúce hodnoty teploty. Sklon nárastu teploty je 1,00 °C/s

Pre každý profil (sklon nárastu teploty) boli vytvorené priebehy, ako je uvedené na Obr.3-b. Z týchto priebehov boli lineárnou aproximáciou určené závislosti zmeny polohy DPS na čase

v oblasti pretavenia. Z grafu je možné určiť zónu pretavenia v rozsahu 1080-1200 krokov krokového motora, čo po prepočte zodpovedá vzdialenosti (výške) 37,5 mm. Výsledky sú zhrnuté na Obr.4

| Sklon<br>[°C/s] | Rýchlosť pohybu DPS |        |
|-----------------|---------------------|--------|
|                 | [krok/s]            | [mm/s] |
| 1,00            | 5,80                | 0,18   |
| 1,25            | 9,10                | 0,28   |
| 1,50            | 10,9                | 0,34   |
| 2,00            | 12,4                | 0,39   |
| 2,50            | 19,3                | 0,60   |



Obr. 4: Pohyb DPS v oblasti pretavenia pre lineárny nárast teploty (Ramp to Spike)

## ZÁVER

Realizované merania poskytli upresňujúce poznatky z oblasti merania teplotného profilu pretavovacieho zariadenia pracujúceho na princípe nasýtených pár. Zariadenie, na ktorom boli realizované merania, je vyvíjané za účelom pretavovania vzoriek pre potreby výskumu metalurgických spojov. Získané výsledky pohybu DPS v zóne pretavenia umožnia realizáciu riešenia automatizovaného ovládania polohy krokového motora na základe vopred zadaného teplotného profilu pretavenia. Meranie parametrov teplotného profilu v reálnom čase umožňuje okamžitú kontrolu nad procesom pretavenia, čo je výhodou oproti meracím systémom, ktoré spolupracujú so zariadeniami na zber údajov v priebehu procesu pretavenia (datalogger) a analýza teplotnej závislosti sa vykonáva až následne po ukončení procesu a zobrazení dát z dátového zapisovača.

## POĎAKOVANIE

Autori ďakujú za finančnú pomoc agentúre projektov VEGA 1/0298/09, KEGA 3/6465/08 a SK-CZ 0065-07, vďaka ktorej mohol vzniknúť tento článok.

## LITERATÚRA

- Livovský, L., Pietriková, A., Ďurišin, J.: Monitoring of the Temperature Profile of Vapour Phase Reflow Soldering, 31st International Spring Seminar on Electronics Technology, 7-11 May, 2008, Budapest. ISBN 978-963-06-4915-5.
- IPC-7530 Guidelines for Temperature Profiling for Mass Soldering Processes (Reflow & Wave). www.ipc.org 2001.
- Rowland R.: Temperature Profiling Per IPC-7530

## AUTORI

Ing. Ľubomír Livovský, Ph.D.; Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach; Park Komenského 2, 04389 Košice, Slovenská republika; e-mail: [lubomir.livovsky@tuke.sk](mailto:lubomir.livovsky@tuke.sk)

prof. Ing. Alena Pietriková, Ph.D.; Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach; Park Komenského 2, 04389 Košice, Slovenská republika; e-mail: [alena.pietrikova@tuke.sk](mailto:alena.pietrikova@tuke.sk)