

STATISTICAL DESIGN OF EXPERIMENT FOR SOLDER JOINTS QUALITY EVALUATION

STATISTICKÉ PLÁNOVÁNÍ EXPERIMENTŮ PRO ÚČELY VYHODNOCOVÁNÍ KVALITY PÁJENÝCH SPOJŮ

Bc. Radim Havlásek

Magisterský studijní program, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně

E-mail: xhavla02@stud.feec.vutbr.cz

Odborný vedoucí práce: Ing. Radovan Novotný, Ph.D.

E-mail: novotnyr@feec.vutbr.cz

1. ÚVOD

Statistické plánování experimentů (DOE) je přístup využívaný zejména v předvýrobních etapách projektů, zvláště při prototypových zkouškách, analytických simulacích a testování. Své zastoupení má však i ve výrobních fázích, například pro zvyšování způsobilosti procesu a efektivnější používání statistické regulace procesů. Příspěvek se zabývá použitím DOE pro experimenty založené na simulacích využívajících metodu MKP, pomocí nichž je vyhodnocována kvalita pájených spojů z hlediska termomechanického namáhání.

2. ROZBOR

Koncepce DOE je založena na použití detailně popsaných plánů zkoušek, jejichž ovlivňující faktory jsou systematicky studovány. Úsilím je dosáhnout požadovaných či specifikovaných jakostních parametrů nastavením těchto faktorů. Oproti metodě multi-vari analýzy využívá DOE cílených změn vstupních faktorů a efektivně tak umožňuje dosáhnout odhadu odezvy pomocí dalších statistických metod.

2.1. FAKTOR

Faktorem je myšlena proměnná ovlivňující studovaný systém, jejíž úrovně jsou v průběhu experimentu nastavovány. V tomto případě hovoříme o říditelných faktorech. Druhým typem faktorů mohou být parazitní faktory, které jsou neříditelné (šumové).

2.2. ODEZVA EXPERIMENTU

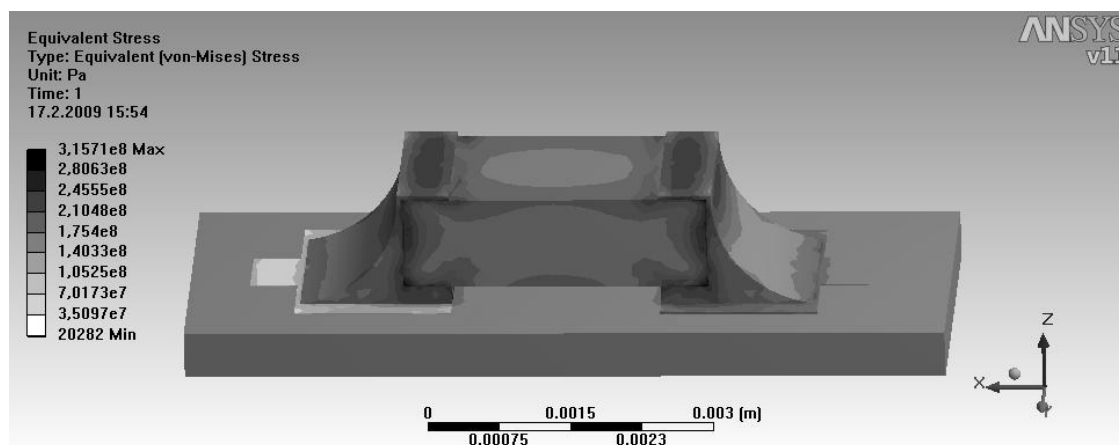
Odezva je veličina, pomocí které vyjadřujeme výsledky experimentu. Odezva je závislou proměnnou na vstupních proměnných (faktorech) a může obsahovat jednu nebo více jakostních charakteristik, které jsou středem pozornosti z technologického hlediska.

2.3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části byla vyhodnocována kvalita pájených spojů z hlediska termomechanického namáhání pomocí metody MKP. Jelikož nebyl experiment zaměřen na vyhodnocování a předpovídání spolehlivosti pájených spojů, nebylo zapotřebí do simulací zahrnout vliv tečení materiálu (creep), který tuto spolehlivost v delším časovém měřítku a během teplotního cyklování výrazně ovlivňuje. S ohledem na omezení variability vnášené do experimentu byly zkoušky prováděny v programu ANSYS Workbench, který byl zvolen pro svou efektivní metodu sběru hodnot. Jelikož má však systém omezenější možnosti než systém ANSYS, musely být provedeny srovnávací zkoušky. Pro experiment byl vybrán sekvenční přístup využívající použití plného faktorového plánu a analýza pomocí responzní plochy použitím faktorového plánu vyššího řádu (centrálně složeného).

Tabulka 1: Vybrané vstupní faktory a jejich nastavované úrovně

Faktor	Úroveň +1	Úroveň -1
Výška součástky nad substrátem - A	200 μm	100 μm
Materiál substrátu - B	FR-4	Al_2O_3
Velikost pájecí plošky - C	1,65x2,05mm	1,85x2,25mm



Obrázek 1: Ukázka simulace pájeného spoje (kondenzátor v pouzdře 1206)

Po provedení experimentu podle faktorového plánu a po vyhodnocení byl jako faktor nejvýznamněji ovlivňující odezvu určen faktor A. (viz. obr. 2), což je v souladu s rovnicí [1]:

$$\Delta\chi = \frac{L}{h} \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta\vartheta \cdot E_p \quad (1)$$

Faktor B (materiál substrátu) nebyl označen jako významný, do experimentu byly však zahrnuty pouze dva materiály (FR-4 a Al_2O_3), které mají TCE blízké TCE baryum titanátu. Tento faktor se výrazněji projevil spíše v rozložení termomechanického namáhání.

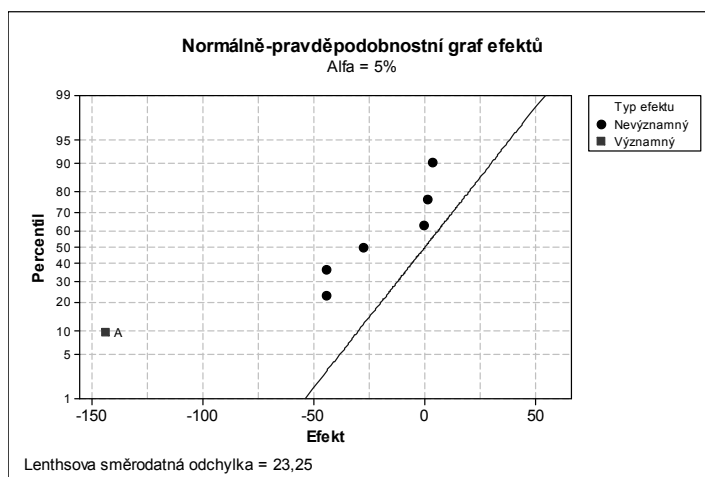
Dále byl sestaven lineární model experimentu pomocí lineární regrese. Model experimentu je uveden níže:

$$Y = 298 - 71,75A - 22,25B - 22,25C \text{ [MPa]} \quad (2)$$

Provedena byla i analýza na základě zkoušek získaných pomocí plánu vyššího řádu (centrálně složeného plánu) a byla vytvořena responzní plocha, která zobrazuje odhad odezvy v daném intervalu hodnot.

Tabulka 2: Centrálně-složený plán experimentu

Pořadí při zkoušce	Blok	Faktor A	Faktor B	Odezva Y [MPa]
1	1	-1	-1	358
2	1	1	-1	246
3	1	-1	1	343
4	1	1	1	174
5	1	-1,41	0	246
6	1	1,41	0	219
7	1	0	-1,41	249
8	1	0	1,41	220
9	1	0	0	255
10	1	0	0	255
11	1	0	0	255
12	1	0	0	255
13	1	0	0	255



Obrázek 2: Normálně pravděpodobnostní graf efektů

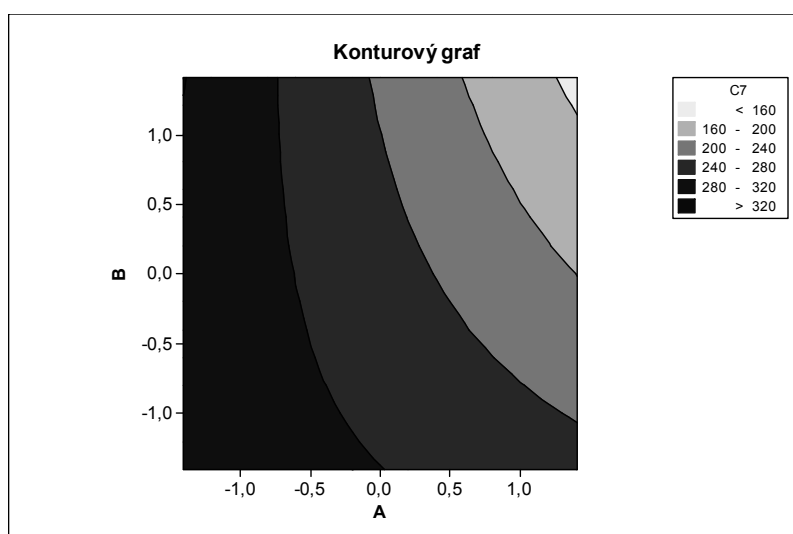
Níže je uvedena tabulka ANOVA získaná analýzou responzní plochy v programu MINITAB. Protože centrálně-složený plán neobsahoval opakované zkoušky odezvy (jelikož se neprojevovala experimentální variabilita), nemohl být proveden test Lack of Fit, pomocí kterého bychom ověřili adekvátnost lineárního modelu.

Tabulka 3: Tabulka ANOVA pro nelineární model

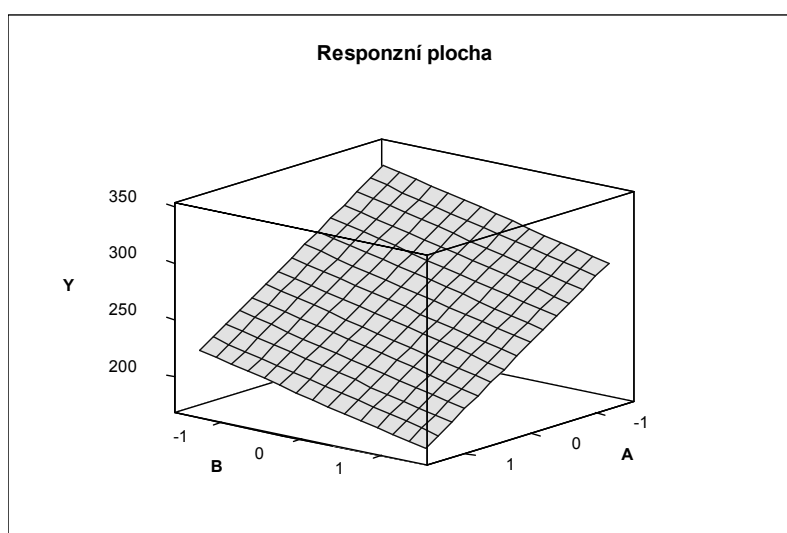
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	15610,2	15610,2	3122,05	1,82	0,228
Linear	2	14783,2	14783,2	7391,59	4,31	0,06
Square	2	14,8	14,8	7,41	0	0,996
Interaction	1	812,3	812,3	812,25	0,47	0,513
Residual Error	7	12005,5	12005,5	1715,06		
Lack-of-Fit	3	12005,5	12005,5	4001,82	*	*
Pure Error	4	0	0	0		
Total	12	27615,7				

Dále byl kvadratickou regresí sestaven model experimentu 2. řádu ve tvaru:

$$Y = 255 - 39,9A - 16,0B + 0,4A^2 + 1,4B^2 - 14,25AB \text{ [MPa]} \quad (3)$$



Obrázek 3: Konturový graf



Obrázek 4: 3D graf responzní plochy

3. ZÁVĚR

Přestože u experimentů založených na analytických simulacích nelze plně využít všechny nástroje metodiky DOE, jako jsou např. některé statistické testy využívající experimentální variabilitu (která se u tohoto typu simulací neprojevuje), má metoda značný přínos pro efektivní návrhy a provádění experimentů, které vede ke snižování počtu potřebných zkoušek, které může vést k obrovským úsporám zejména v předvýrobní fázi.

LITERATURA

- [1] Russkikh O.: *Reliability of lead-free solder joint in SMT assembly*. Sborník konference EEICT 2007, magisterské projekty. [online]. Volně dostupné z: http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2007/sbornik/02-magisterske_projekty/06-mikroelektronika_a_technologie/14-Rolya.pdf
- [2] BOX G. E. P., HUNTER J. S., HUNTER W. G.: *Statistics for experimenters*. Wiley Series in Probability and Statistics, Second edition. Hoboken, New Jersey, USA 2005, 640 stran. ISBN 0-471-71813-0
- [3] DEAN A., VOSS D.: *Design and analysis of experiments*. Springer texts in statistics. Springer Science + Business Media, Inc. USA 1999. ISBN 0-387-98561-1. 741 stran.
- [4] BEEEX L.A.A.: Warpage of printed circuit boards [online]. Dostupné z WWW: www.mate.tue.nl/mate/publications

Oznámení

Příspěvek vznikl v návaznosti na řešení projektu Grantové agentury ČR 102/07/P493 – „Development in the Area of Technological Procedures Characterization“

Lektoroval:

Prof. RNDr. Josef Tošenovský, CSc.