

Zvyšování mechanické odolnosti keramických kondenzátorů

Luděk Kadlček

Bakalářská práce
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Luděk KADLČEK**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Zvyšování mechanické odolnosti keramických kondenzátorů**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši v dané oblasti
2. Připravte zkušební kondenzátory pro mechanické zkoušky
3. Proveďte mechanické zkoušky formou ohybových testů
4. Získané výsledky vyhodnoťte z hlediska praktické aplikace do výroby



Rozsah práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

Příjmení a jméno: **Kadlček Luděk**

Obor: **Technologická zařízení**

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 27.5.2010


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledek obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být dříve nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Kvalitě si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁷ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, ušije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školské dílo).

²⁸ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpovídá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybného projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednána jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, a to podle okolností ať do jejich skutečné výše; přitom se přiměřeně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vylepšením mechanických vlastností MLC (vícevrstevných keramických) kondenzátorů s BME keramikou X7R. Teoretická část práce popisuje kondenzátor, design a materiály použité při výrobě, defekty při průhybu, uvádí příčiny vzniku defektů. Popisuje výchozí stav po zapájení kondenzátoru, průhybový test a metody detekování defektů. Praktická část práce se zabývá testováním změn procesu a materiálu. Hlavním hodnotícím testem byl 5mm průhybový test.

Klíčová slova: průhybový test, vícevrstvý keramický kondenzátor, průhybová prasklina, flexi polymer-stříbrná terminace.

ABSTRACT

Bachelor thesis occupy with improve of mechanical properties of MLC (multilayer ceramic) capacitors with BME ceramic X7R. Theoretical part describes capacitor, design and materials used durring manufacture, defects during bending, describes know rootcauses of defects uccurence. Describes state after mounting capacitor, describes bend test and methods how to detect defects. Practical part of work is about testing changes of material and manufacture process. Main testing metric was 5mm bend test.

Keywords: bend test, multilayer ceramic capacitor, flex crack, flexi polymer-silver termination.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CO JE KERAMICKÝ VÍCEVRSTVÝ KONDENZÁTOR - MLCC	11
1.1 ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE	11
1.2 KONCOVKA (TERMINACE).....	12
1.3 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	13
1.4 APLIKACE	14
2 POPIS PROBLÉMU	15
2.1 POPIS DEFEKTU (PRŮHYBOVÁ PRASKLINA)	16
2.1.1 Zbytkové napětí po schládnutí.....	18
2.2 ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ PŘI PRŮHYBU.....	20
2.3 PRASKLINY VZNIKLÉ V PRŮBĚHU MONTÁŽE	21
2.4 ZMĚNA DESIGNU PRO SNÍŽENÍ DOPADU PRASKLIN	23
2.4.1 Velikost pájecí plošky	23
2.4.2 Open-Mode design	23
2.4.3 Plovoucí elektroda	24
2.5 PRŮHYBOVÝ TEST (BEND TEST).....	24
2.6 ZJIŠŤOVÁNÍ DEFEKTŮ	28
2.6.1 Sledování kapacity	29
2.6.2 Sledování akustických emisí.....	29
2.6.3 Bend Test a Destrukčně-Fyzikální Analýza (DPA)	30
2.6.4 TPE test - test přilnavosti.....	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
3 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	34
4 VHODNÉ PART NO PRO TESTOVÁNÍ	35
4.1 PASSRATE A PPM V PRODUKCI	35
5 VYLEPŠENÍ FLEXIBILITY U STÁVAJÍCÍ TERMINACE	36
5.1 PŘEDPOKLAD.....	36
5.2 TESTOVÁNÍ – DESIGN OF EXPERIMENT (DOE)	36
5.2.1 Změna vytvrzovacích podmínek	36
5.3 ANALÝZA	37
5.4 ZÁVĚR.....	38
6 JINÁ TERMINACE POLYMER-STŘÍBRO	39
6.1 PŘEDPOKLAD.....	39
6.2 BENCHMARKING TERMINAČNÍCH MATERIÁLŮ	39
6.2.1 Průhybový test.....	40

6.2.2	Test přilnavosti.....	41
6.2.3	Životnostní testy.....	42
6.2.4	Tvar terminace.....	43
6.3	ROZŠÍŘENÉ TESTOVÁNÍ VYBRANÉHO MATERIÁLU.....	44
6.3.1	Pre-Qual, Full-Qual.....	44
6.3.2	Scale-Up.....	44
6.3.3	Održený plating - KT defekt.....	45
6.4	ANALÝZA.....	45
6.5	ZÁVĚR.....	46
7	ZAOBLENÍ HRAN KERMICKÉHO TĚLA.....	47
7.1	PŘEDPOKLAD.....	47
7.2	POPIS ZMĚNĚNY PROCESU A TESTOVÁNÍ.....	47
7.2.1	Výsledky testování.....	48
7.2.2	Zaoblení hran.....	49
7.3	ANALÝZA.....	49
7.3.1	Porovnání procesů na průhybovém testu.....	49
7.3.2	Průhybový test – Podle velikostí.....	50
7.4	ZÁVĚR.....	50
	ZÁVĚR.....	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	56
	SEZNAM TABULEK.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	60

ÚVOD

Defekty způsobené průhybem PCB desky (tzv. průhybové praskliny) nejsou nikterak novým problémem, který se při výrobě a montáži MLC kondenzátorů vyskytuje. Protože dochází k neustálému zlepšování ať už materiálů, pracovních postupů, testovacích procedur, dá se říct, že dřívější velmi časté problémy mizí do ústraní a je nutné řešit závady s nižší četností výskytu.

Existuje spousta doporučení týkajících se pracovních postupů a návrhů konstrukce PCB desky, aby se zamezilo jejímu průhybu a nebo, aby dopad na napájené komponenty byl minimální. Některé z doporučení budou zmíněny v teoretické části, aby bylo zřejmé že způsobů jak je možné docílovat zlepšení je vícero. Teoretická část se zaměří převážně na oblast terminace a pájeného spoje a pokusí se popsat síly, které v daném místě na kondenzátor působí a procesy, které dané síly způsobují. Informace budou čerpány z již provedených FEA analýz a dalších materiálů, které jsou k tématu dostupné.

Práce si bere za cíl navrhnout a ozkoušet změny koncovky (tzv. terminace) a zaoblení hran keramického těla a otestovat zlepšení, které změny způsobí.

V práci bude popsán test, simulující průhyb desky a způsoby jak je možné test vyhodnocovat. U každé provedené a testované změny je nutné ověřit, zda je zachována hlavní funkčnost kondenzátoru a to pomocí tzv. životnostních testů a testů pážitelnosti. U průhybového testu musí být dosaženy lepší výsledky (nižší ppm defektů) v porovnání se stávající kvalitou výroby a ověření funkčnosti kondenzátoru musí dosáhnout minimálně shodné výsledky se stávající výrobou, aby mohla být změna označena jako vhodné doporučení pro zlepšení mechanické odolnosti.

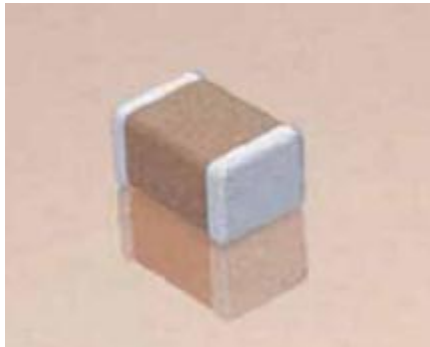
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CO JE KERAMICKÝ VÍCEVRSTVÝ KONDENZÁTOR - MLCC

1.1 Základní konstrukce

Kondenzátor je pasivní prvek, který je schopen uchovat elektrickou energii (náboj). Tento náboj je dán kapacitou kondenzátoru a velikostí přiloženého napětí. Uchovaný náboj lze uvolnit, což umožňuje nejrůznější aplikace použití kondenzátorů v praxi. Kapacita u MLC kondenzátorů se pohybuje v řádu pikofaradů až mikrofaradů.

Vícevrstvý keramický kondenzátor je monolitický blok keramiky obsahující dvě řady tenkých (vodivých) desek (elektrod), které střídavě vyústují vždy na jednom nebo druhém protilehlém konci keramického těla. Vícevrstvá technologie je znázorněna na Obrázku (Obr. 2.)

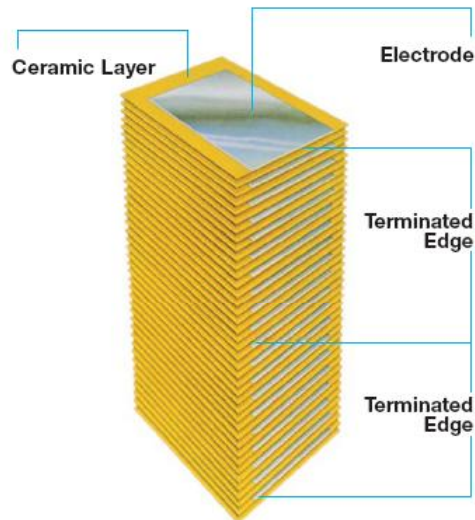


Obr. 1. MLC kondenzátor

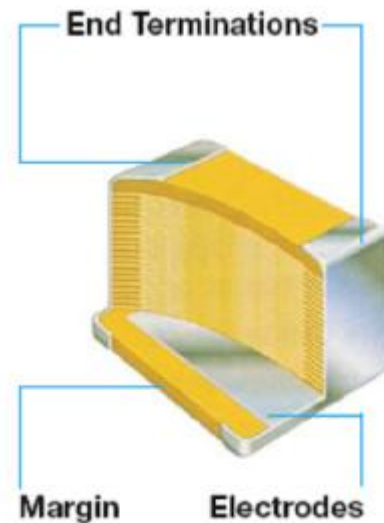
Kondenzátor může obsahovat 4 až stovky vrstev keramiky a elektrod, proto je tato technologie označována jako „multi-layer“ (vícevrstvá). Keramický materiál se skládá z komplexů titanitých sloučenin, hlavně Ba-TiO₃. Jedná se o sloučeniny oxidů kovů, synterizovaných za vysoké teploty. Kondenzátor je zakončen na dvou protilehlých stranách vodivou koncovkou (terminací).

Sítotiskem jsou nanášeny střídavě vrstva keramiky a vrstva elektrod, přičemž hlava tisknoucí elektrodový materiál se musí střídavě posunout o vyžadovaný ofset, aby bylo dosaženo odpovídající struktury a protilehlé konce keramického těla neměly vodivě propojené terminace. Při hromadné výrobě jsou ve formě na sebe skládány vrstvy pro několik stovek až tisíců kondenzátorů a po vysušení (ztvrdnutí materiálu) se deska z poskládaných vrstev rozřeže na jednotlivé kondenzátory. Nařezané kondenzátory se pak vypálí a kondenzátor získává své finální mechanické vlastnosti. V následujících operacích se nanáší vrstva(y) termi-

nace a na závěr se terminace galvanicky pokoví (plating). V tento okamžik je součástka dokončena a připravena na použití.



Obr. 2. Schéma jednotlivých vrstev MLC kondenzátoru před vytvořením monolitu [16]

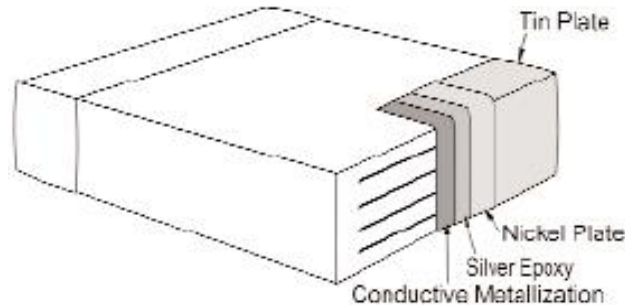


Obr. 3. Řez kondenzátorem s terminací [16]

1.2 Koncovka (Terminace)

Koncovka plní několik funkcí. Prvním úkolem koncovky je propojení jednotlivých elektrod se shodnou polaritou. Druhým úkolem, který musí koncovka plnit je pájitelnost. Další funkcí koncovky je zvýšení mechanické odolnosti komponentu (u polymer-silver koncovky). U MLC kondenzátorů se používá několik konstrukcí/materiálů koncovky v závislosti na typu elektrod. U keramiky X7R (BME) s niklovými elektrodami tvoří koncovku 3 nebo 4 vrstvy.

První vrstva (ze strany elektrod) je tvořena mědí, která vytvoří vodivý kontakt mezi terminací a elektrodou a propojí dohromady všechny elektrody s odpovídající polaritou. V případě standardního BME produktu je druhou vrstvou elektrolyticky vytvořená niklová bariéra. Závěrečnou vrstvou je pájecí cínová vrstva, která se opět nanáší galvanicky. U vylepšeného produktu je mezi měděnou a niklovou vrstvou vložena silver-polymer terminace. Ta zvyšuje mechanickou odolnost a odolnost při cyklickém tepelném namáhání kondenzátoru v porovnání s čistě měděnou koncovkou. Rozdíl ve skladbě mezi terminacemi je uveden v tabulce (Tab. 1.).



Obr 4. Schéma „epoxidové“ koncovky (jednotlivé vrstvy)

Tab 1. Složení standardní měděné a flexi polymer-stříbrné koncovky

<i>Terminační vrstva</i>	<i>Měděná koncovka</i>	<i>Polymer-stříbrná koncovka</i>
1.	Vypalovatelná měděná pasta	Vypalovatelná měděná pasta
2.	Niklová barriéra	Vytvrzovatelná Polymer-stříbrná pasta
3.	Cínová vrstva	Niklová barriéra
4.	-není-	Cínová vrstva

Pozn: Polymer-stříbrná pasta je tvořena mikroskopickými částicemi stříbra, které fungují jako vodivá složka terminace. Další složkou je epoxidové pojidlo, který po vytvrzení při vysoké teplotě drží materiál vcelku. Dalšími složkami u nevytvrzeného (nezreagovaného) materiálu jsou různá rozpouštědla, které dovolují upravovat viskozitu a při vytvrzování materiálu se odpaří.

1.3 Elektrické vlastnosti

Základními elektrickými vlastnostmi kondenzátoru jsou *Kapacita*, *Ztrátový faktor*, *Izolační odpor*. Z elektrického hlediska jsou keramické kondenzátory rozděleny do dvou tříd. Keramické dielektrika třídy 1 jsou také nazývány teplotně kompenzativní keramika. Izolační odpor je vysoký, ztráty jsou nízké, jednotlivé části nejsou zasaženy napětím nebo frekvencí a jsou obvykle používány k ladícím okruhům, načasování a dalším přesným okruhům.

Jestliže je keramika třídy 1 přesně určená, pak třída 2 je všeobecně plná překvapení pro nic netušící inženýry. Mění kapacitu s teplotou, střídavý proud způsobuje růst kapacity a stejnosměrný způsobuje ztráty kapacity. Změny frekvence vyvolají také změny kapacity a ztrátového faktoru.

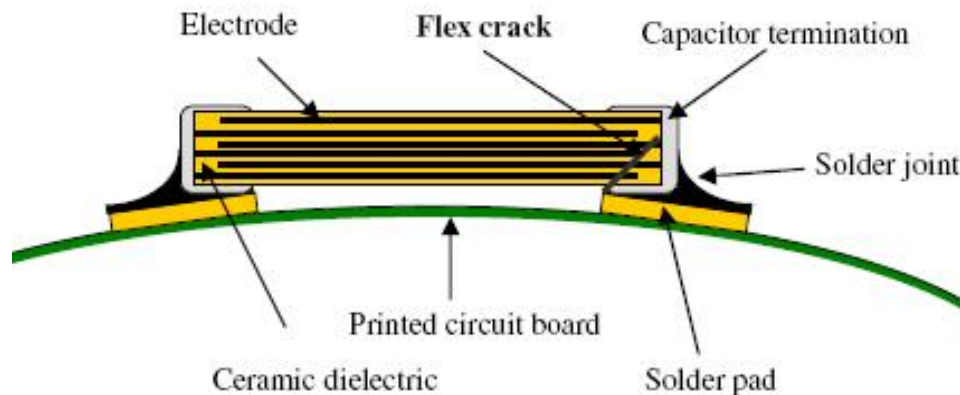
Fakt, že jsou více používány kondenzátory s keramikou třídy 2, více než jiné typy, nám dokazuje, že různorodost charakteristik může být v mnoha případech výhodná. BME produkty s teplotní charakteristikou X7R patří mezi dielektrika řídy 2 s teplotním rozsahem -50°C až 125°C a změnou kapacity $\pm 15\%$ [16].

1.4 Aplikace

MLC keramické kondenzátory nacházejí uplatnění u vstupních/výstupních filtrů rezonančních DC-DC nebo pulzně modulovaných DC-DC převodníků používaných pro pulsní zdroje (s vysokou frekvencí spínání). Vazební a blokovací, rezonanční a tlumící kondenzátory pro SMPS aplikace.

2 POPIS PROBLÉMU

MLC kondenzátory jsou při montáži na PCB desku stejně tak při následném užívání PCB desek s napájenými komponenty vystaveny různým druhům namáhání. Jedním z typů namáhání je napětí způsobené průhybem PCB desky, na které je kondenzátor napájený. K prohýbání dochází téměř ve všech procesech, kde jsou PCB desky používány. Dost často k pūhybu dochází nevědomky.



Obr. 5. Vznik defektu MLC kondenzátoru způsobeného prohnutím PCB desky

Prūhyb PCB desky, jak zobrazuje obr. 5 způsobí napětí, které je přenášeno prostřednictvím pájeného spoje do kondenzátoru. Část napětí je absorbována pájedlem, kde se přemění z části na plastickou a z části na elastickou deformaci a zbývající část napětí je přenesena do kondenzátoru. V případě že kondenzátor je na vnější straně prohýbané desky, napětí na kondenzátoru dosahuje maxima na spodní straně kondenzátoru, v místě, kde končí pás terminace. Pokud napětí působící na keramické tělo kondenzátoru překročí jeho pevnost, kondenzátor praskne, protože je křehký. Takto vzniklá prasklina se označuje jako průhybová prasklina nebo prasklina z průhybu desky (anglicky „Flex Crack“ nebo „Boardflex Crack“), zobrazeno na obrázku (Obr. 6).

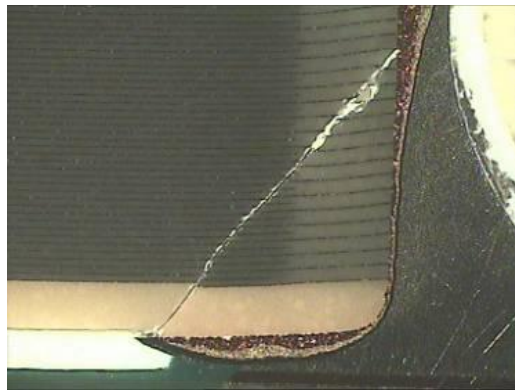
Deska s tištěnými spoji (PCB) je vyráběná ze skleněných epoxidových materiálů označovaných jako FR4. Její pružnost je výrazně vyšší při srovnání s kondenzátorem, který je tvrdý, nepružný.

2.1 Popis defektu (Průhybová Prasklina)

Průhybová prasklina může vzniknout při průhybu PCB desky s napájeným kondenzátorem.

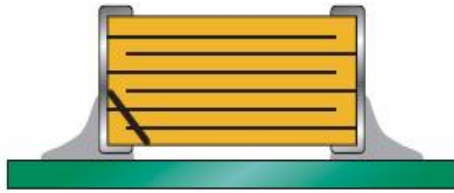
Zda dojde ke vzniku praskliny v komponentu závisí na těchto faktorech:

- Typ keramického materiálu
- Množství pájedla (materiál pájedla je měkký a malé množství se bude snázeji „hýbat“)
- Výška do jaké pájedlo navztlíná
- Materiál pájky
- **Terminačním materiál**
- Defekty a anomálie ve struktuře keramiky
- **Zaoblení hran keramického těla**
- Rychlost prohýbání (Síla aplikovaná pomalu dovolí pájedlu natáhnout se a absorbovat jisté napětí.)
- Teplota pájedla při prohýbání

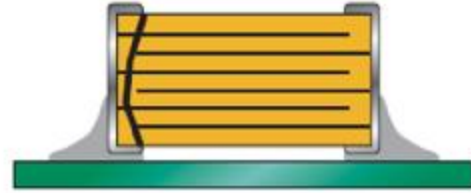


Obr. 6. Detail rohu rozbroušeného komponentu 1210 s Board Flex defektem.

Prasklina obvykle začíná poblíž okraje terminace, následně se šíří směrem nahoru k čelu terminace. Prasklina se šíří pod úhlem 30° až 70°. Prasklina se může rozšířit do terminace a způsobit tak úplné oddělení rohu komponentu. Další možností je, že prasklina směřuje k hornímu okraji terminace. Může tak dojít k úplnému oddělení konce kondenzátoru. Oba případy jsou znázorněny na obrázcích (Obr. 7a) a (Obr. 7b.).



Obr. 7a. Schéma (Board) Flex defektu.

(Oddělení rohu)

Obr. 7b. Schéma (Board) Flex defektu.

(Oddělení celého konce komponentu)

(Board) Flex prasklina nemusí jednoznačně vždy vést k defektu. Musí dojít k vniknutí iontů nebo vlhkosti do praskliny a dovolit tak proudu, aby začal protékat mezi obráceně polarizovanými elektrodami a až pak dochází k selhání součástky.

Jak bylo v kapitole 1.2 uvedeno, existují dva typy koncovek. U vylepšené „flexi“ koncovky doplněné o vrstvu Polymer-Silver materiálu, je část napětí, které je přenášeno prostřednictvím koncovky do keramického těla, absorbována v této „flexi“ vrstvě.

S přechodem na bezolovnaté materiály v elektronice je nutné rozumět vlivu pájecího materiálu na průhybové praskliny. Dlouhodobě prováděné experimenty [7] na obou typech pájecích materiálů, tj. eutektické cínové pájce s obsahem olova (Sn37Pb) a bezolovnaté pájce (Sn3.0Ag0.5Cu), pro ověření jejich vlivu na výskyt průhybových prasklin na keramických kondenzátorech, bylo zjištěno, že na některých velikostech dosahuje bezolovnatá pájka lepší výsledky v porovnání s olovnatou, zatímco na jiných velikostech je rozdíl zanedbatelný.

Podobné výsledky jsou uváděny i u další práce [8], která dokazuje, že kondenzátory pájené bezolovnatou pájkou jsou méně náchylné k průhybovým prasklinám v porovnání s „olovnatou“ pájkou. Jako důvod je uváděna rozdílná teplota tuhnutí pájky. V průběhu pájení metodou reflow se PCB deska a kondenzátor roztáhnou a smrští, jako důsledek tepelné změny. Pro teplotní rozsah 25-200°C bylo změřeno, že koeficient tepelné roztažnosti (CTE) kondenzátoru s keramikou tvořenou sloučeninou bariem-titanátu, má hodnotu 9.0 +/-0.6ppm/°C. PCB FR4 v rovině desky, pro teplotu pod úroveň T_g má CTE hodnotu přibližně 15 ppm/°C a pro teplotu nad T_g má CTE hodnotu kolem 20 ppm/°C. Proto se FR4 deska v průběhu nabíjecí (zahřívací) fáze Reflow pájení roztahuje víc než kondenzátor, obzvláště když teplota je nad hodnotou T_g. V průběhu poklesu teploty pájecího Reflow profilu se pájecí deska i kondenzátor smršťují. Před úplným zpevněním pájedla je do kondenzátoru přenášeno jenom

zanedbatelné množství napětí. Pod teplotou zpevnění pájedla, kdy se již v pájedle nenachází žádná tekutá fáze, se začne napětí přenášet prostřednictvím pájeného spoje do těla kondenzátoru.

Eutektická teplota pro Sn-Ag-Cu pájku je 217°C, zatímco pro Sn-Pb pájku je tato hodnota 183°C [5]. Proto v průběhu závěrečné fáze reflow profilu, kdy dochází ke snižování teploty, dokončuje bezolovnatá pájka fázi zpevnění přibližně 47°C nad teplotou skelného přechodu FR4 desky ($T_g = 170^\circ\text{C}$), zatímco olovnatá pájka zcela tuhne při 13°C nad teplotou skelného přechodu. Jako důsledek tohoto rozdílu, jsou kondenzátory pájené bezolovnatou pájkou namáhány více na tlak v porovnání s kondenzátory pájenými olovnatou pájkou. Znamená to tedy, že kondenzátory pájené bezolovnatou pájkou by musely být namáhány vyšším průhybovým napětím (vyšší namáhání na tah) v porovnání s olovnatou pájkou, aby došlo ke stejnému zatížení keramiky.

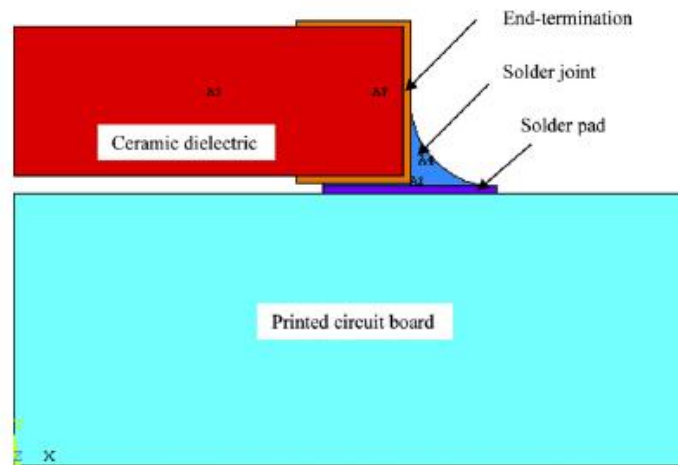
Ikdyž hlavními důvody přechodu z olovnatých na bezolovnaté materiály jsou ekologické a zdravotní hledisko, v tomto případě měla změna pozitivní vliv na mechanické vlastnosti spoje a bezolovnaté pájky přispívají ke snížení namáhání kondenzátoru při průhybu PCB desky a snížení pravděpodobnosti výskytu průhybových prasklin.

V případě, že by došlo k vyrelaxování zbytkového tlakového napětí v pájeném spoji, výhoda, kterou poskytuje bezolovnatá pájka by se vyrušila a oba typy pájecích materiálů budou dosahovat stejné úrovně defektovosti. K vyrelaxování může dojít vlivem dlouhodobého působení teploty blízko nebo nad teplotou skelného přechodu materiálu FR4 [4].

2.1.1 Zbytkové napětí po schládnutí

Pro výpočet zbytkových napětí, po ztuhnutí pájky a schládnutí PCB desky na pokojovou teplotu (25°C) byla aplikovaná metoda FEA. Jedná se o výchozí stav pro průhybový test.

V ANSYS® byl zkonstruován dvourozměrný model konečných prvků, zahrnující polovinu kondenzátoru a polovinu PCB desky při využití osové symetrie. Viz. Obrázek (Obr. 8).



Obr. 8. Geometrie kondenzátoru uchyceného na pcb desce, tak jak byla použita v FEA modelu.

V tabulkách (Tab. 2) a (Tab. 3.) jsou uvedeny termomechanické vlastnosti materiálů použitých v FEA modelu. Rozsah teploty, použité v modelu, se pohyboval od teploty tuhnutí pájky až po pokojovou teplotu (25°C). Vycházelo se z předpokladu, že při počáteční teplotě tuhnutí pájky na kondenzátor žádné napětí.

Tab. 2. Termo-mechanické vlastnosti materiálů použité při FEA[4]

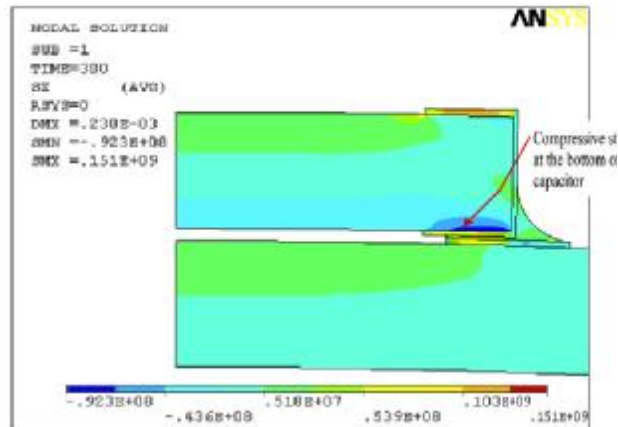
Materiál	Modul pružnosti E : Gpa	Poissonovo číslo (ν)	Odkaz na hodnoty modulu pružnosti a poissonovo číslo	Koeficient tepelné roztlačnosti (CTE:ppm/°C)	Odkaz na hodnotu CTE
Deska FR4	14	0,16	[6]	viz. tabulka 9	[5]
Měděná packa	117	0,35	[6]	17,6	[15]
Eutectická olovnatá pájka	36	0,38	[5,9]	24,7	[13]
Sn-Ag-Cu bezolovnatá pájka	40	0,35	[10,9]	22,4	[5]
Koncová terminace kondenzátoru	73	30	[11]	17,6	[15]
Dialektikum X7R	105	0,34	[12,11]	9,0	[3]

Tab. 3. Koeficient tepelné roztlačnosti (CTE) pro FR4 PCB použitý pro FEA [5]

FR4 PCB	CTE v ploše PCB (ppm/°C)	CTE v kolmé rovině k PCB (ppm/°C)
Pod teplotou Tg (=170°C)	15,8	85
Nad teplotou Tg	20	400

Obrázek (Obr. 9) ukazuje situaci po schlazení kondenzátoru pájeného Reflow procesem a za použití bezolovnaté pájky. Bylo zjištěno, že spodní část kondenzátoru je namáhána na tlak,

zatímco horní část kondenzátoru je namáhána na tah. Analýza byla prováděna na MLC kondenzátorech velikosti 0805. Pro kondenzátory této velikosti, pájené bezolovnatou pájkou bylo zjištěno, že tlakové napětí v podélném směru má hodnotu 92Mpa (pozn. totéž namáhání u olovnaté pájky má hodnotu 75Mpa).

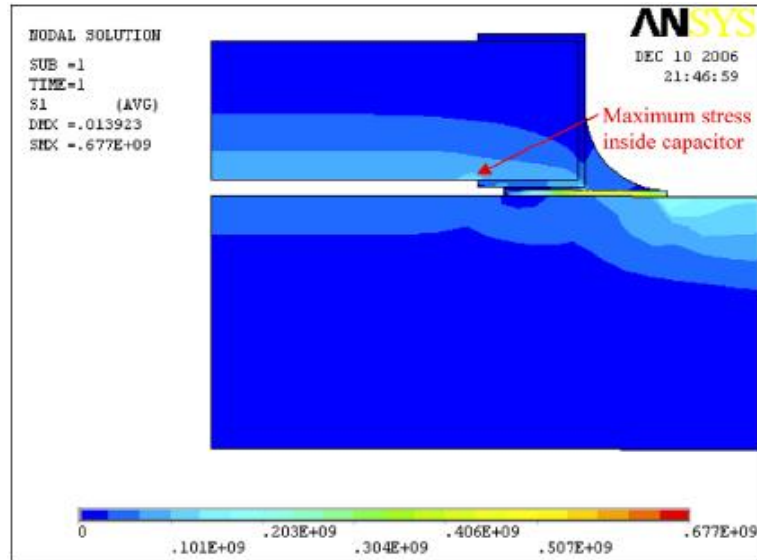


Obr. 9. Rozložení napětí po schládnutí kondenzátoru na PCB desce, pájeného bezolovnatou pájkou a REFLOW metodou.

2.2 Rozložení napětí při průhybu

Druhá FEA analýza (Obr.10) zobrazuje rozložení napětí uvnitř kondenzátoru při samotném průhybu desky 5mm v ose prohýbání. Model ukazuje, že průhyb PCB vytváří tahové napětí, které je největší podél spodní části kondenzátoru. Maximální tahové napětí je pak v místě zakončení terminace.

Tento výsledek je ve shodě s výsledky uváděnými v další literatuře [13,14]. Místo největšího namáhání uvnitř keramického těla kondenzátoru se nachází ve spodní části, poblíž okraje koncovky. Toto místo v těle kondenzátoru se shoduje s místem nejčastějšího počátku průhybových prasklin. (Obr. 6).

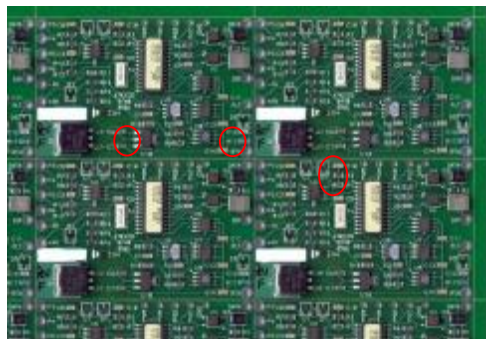


Obr. 10. Rozložení hlavního napětí na MLC kondenzátoru napájeného bezolovnatou pájkou na PCB desku. Průhyb 5mm v ose desky.

2.3 Praskliny vzniklé v průběhu montáže

V této podkapitole jsou uvedeny výrobní operace a faktory, které přispívají k vyšší pravděpodobnosti výskytu Flex prasklin.

- q *Dělení PCB desek* – Jedná se o operaci, kdy několik PCB desek je z výroby kompletováno jako jedna velká deska a je nutné je rozdělit. Problém se vyskytne hlavně když se MLC kondenzátor nachází blízko hrany desky (Obr.11a). Obvykle je vyžadována mezera minimálně 5mm mezi hranou desky a kondenzátorem. Také orientace kondenzátoru je důležitá. Paralelně umístěná součástka je méně náchylná k praskání.
- q *Montáž konektoru / Zapojení konektoru* – MLC kondenzátory umístěné blízko konektoru jsou hodně náchylné k průhybovému stresu (Obr.11b).
- q *Montáž PCB desky* – Utažení šroubů v montážních dírách na PCB desce může vést k vyvolání napětí (Obr.11c).
- q *Nevhodná manipulace při výrobě*

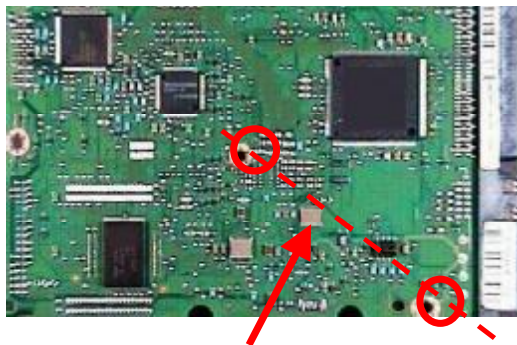


Obr. 11a. Dělení PCB desky



Obr. 11b. Montáž/Zapojení konektoru

Montáž PCB se vyvíjí a pečlivým zkoumáním a kontrolováním montážního procesu může být výskyt stresu omezen. Vzhledem ke složitosti zapojení není možné vždy zabezpečit, že se nevyskytne některá z výše uvedených situací, nebo další možné faktory které vedou k průhybu desky – a pak dochází ke skratu napájené součástky a následnému selhání celé PCB desky (nejkrytičtější případ).

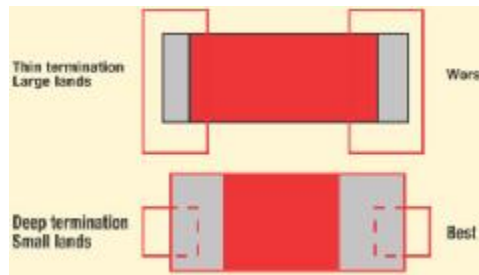


Obr. 11c. Defekt na komponentu mezi dvěma montážními dírami (červená čára), kde byl použitý pneumatický šroubovák

2.4 Změna designu pro snížení dopadu prasklin

2.4.1 Velikost pájecí plošky

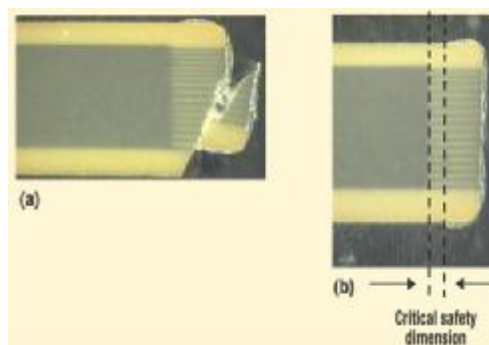
Regulace velikosti zatečení pájky může pomoci snížit napětí způsobující prasknutí kondenzátoru zmenšením exponované plochy (Obr.12). Je nutné tento faktor uvažovat při návrhu designu desky a výběru velikosti kondenzátorů, které se budou pájet.



Obr. 12. Zmenšení pájecí plochy pro dosažení nižšího výskytu prasklin [17]

2.4.2 Open-Mode design

Open-Mode design je podobný standardní MLC kondenzátoru s výjimkou překrytí (aktivní oblasti součástky). Překrytí je posunuto mimo oblast výskytu průhybových prasklin, tedy oblasti kolem zakončení terminace.



Obr. 13. Open-Mode design – ochranné pásmo [17]

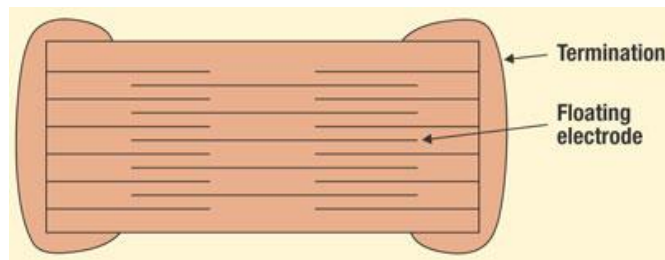
Pokud se vytvoří průhybová prasklina, nebude se šířit přes protilehlé elektrody (Obr. 13). Protože se prasklina nebude šířit přes aktivní oblast, nevytvoří se vodivá cesta, která by

způsobila propojení obráceně polarizovaných elektrod. Dojde k poklesu kapacity avšak bezpečné pásmo designu zaručuje že součástka nezpůsobí v obvodu zkrat.

2.4.3 Plovoucí elektroda

Sériová nebo též plovoucí elektroda může odolat průhybové prasklině z podstaty uspořádání elektrodového pole. Sériový desing, který má tzv. „plovoucí“ elektrody, které nejsou spojené s koncovkou, byly původně navrženy pro vysokonapětové součástky nad 500V (stejnoseměrné), (Obr.14). Podobně jako open-mode design nevzniká u plovoucí elektrody vodivá cesta, která by vytvořila zkrat.

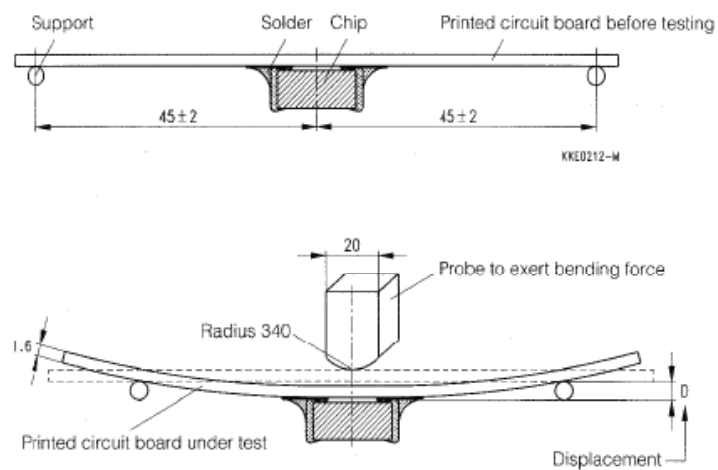
Nevýhodou tohoto designu je, že velikost aktivní plochy je malá, proto je zapotřebí více vrstev elektrod pro dosažení též kapacity. Proto je tento desing využíván převážně u vysokonapětových kondenzátorů.



Obr. 14. Sériový design – Plovoucí elektroda [17]

2.5 Průhybový Test (Bend Test)

Bend test byl zaveden pro simulování průhybu desky a zjišťování citlivosti kondenzátoru na tento typ zatížení. Zařízení pro průhyb součástek se skládá z pohyblivé části s hrotem a dvou pevných podpor pro PCB desku. Pohyblivý hrot působí konstantní silou na střed prohýbané desky. Deska je přidržována na krajích ve vzdálenosti 90mm, jak ukazuje (Obr. 15). Rychlost pohybu hrotu je 1mm/sec.



Obr. 15. Mechanismus Průhybového Testu [2]

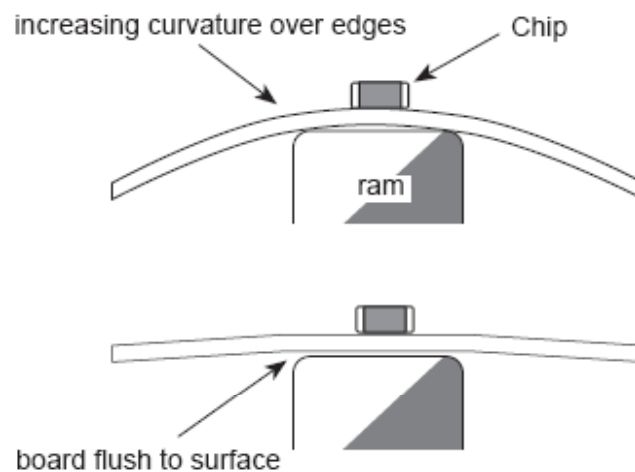
Specifikace EIA-J RC 3402 vyžaduje, aby hrot měl zaoblení 340mm a šířku 20mm. Hloubka hrotu musí přesahovat šířku desky. Původně byl podle specifikace EIA vyžadován průhyb desky 1mm (jednalo se o ověřovací test), ovšem tato hodnota nebyla pro jakoukoliv výrobu dostačující a neobjevovali se žádné defekty.



Obr. 16. Zařízení pro Bend Test

Radius 340mm omezuje maximální zakřivení desky, ke kterému může dojít při průhybu. Pokud se deska prohýbá rovnoměrně s podpěrami na krajích, vzdálenými od sebe 90mm, pak při průhybu 3mm (měřeno ve středu desky), bude prohýbací hrot přesně přiléhat k prohýbané desce (Obr.17).

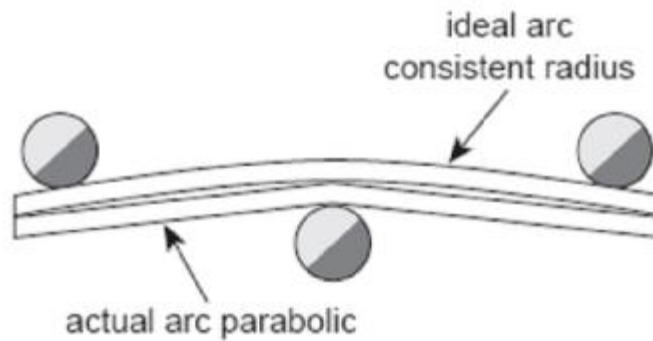
Průhyb přesahující 3mm způsobí nárůst zakřivení na vnějších hranách hrotu (ve vzdálenosti 20mm). Dojde k poklesu zakřivení pod prohýbanou součástkou a nejasnému a neurčitému pohybu hrotu. Specifikace EIA a pracovní verze EIA PN-2271 předepisují radius s hodnotou hrotu 140mm. Pokud je deska uchycena ve vzdálenosti 90mm na hranách, pak tento hrot při průhybu do 7,5mm perfektně dosedá na povrch desky. Proběhly a byly zveřejněny výsledky zkoušek s tímto typem hrotu při maximálním průhybu 12mm. U testů s průhybem nad 7,5 existují pochybnosti o správnosti dosažených výsledků. [3]



Obr. 17. Zakřivení desky kolekm hrotu[3]

Deska se neprohýbá rovnoměrně (Obr. 18). Deska má tendenci se více zakřivovat v místě působící síly a zakřivení klesá se vzrůstající vzdáleností od místa působení prohýbací síly. Průhyb desky je více parabolický v porovnání s rovnoměrně zakřivenou deskou.

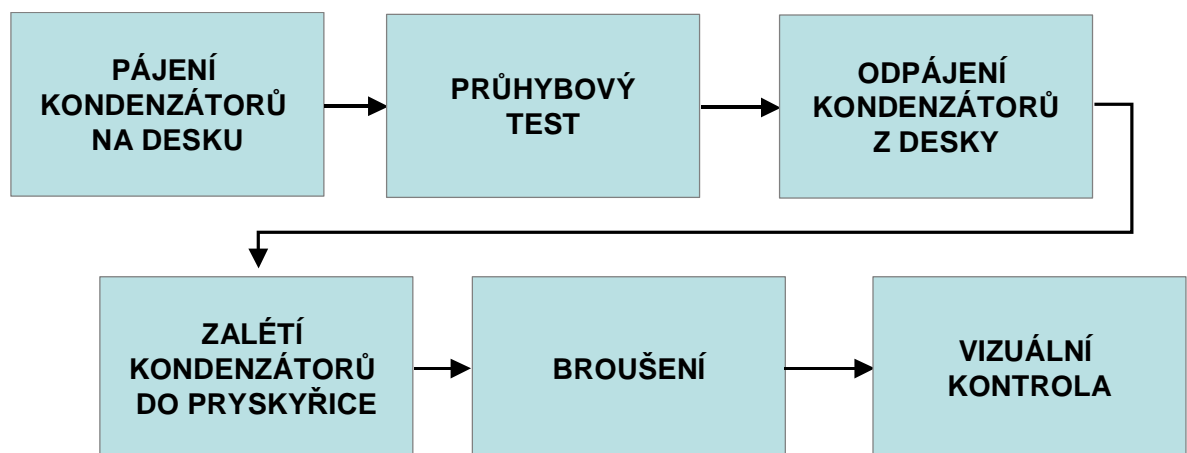
Vzhledem k těmto skutečnostem by bylo vhodné hrot s radiusem 340mm používat pro aplikace s průhybem do 3mm a hrot s radiusem 140mm pro průhyb do 7,5mm. Je zřejmé, že oba typy hrotů mají jistá omezení.



Obr. 18. Ideální průhybový oblouk oproti skutečnému[3]

Současný trh od MLC flexi produktů již očekává, že vydrží průhyb minimálně 5mm. 5mm bend test bude tedy hlavním ověřovacím testem pro měření v praktické části. Aby nedocházelo k případným nesrovnalostem, který hrot byl použitý pro jak velký průhyb, bude pro všechny Bend testy v praktické části použit hrot s rádiusem 340mm.

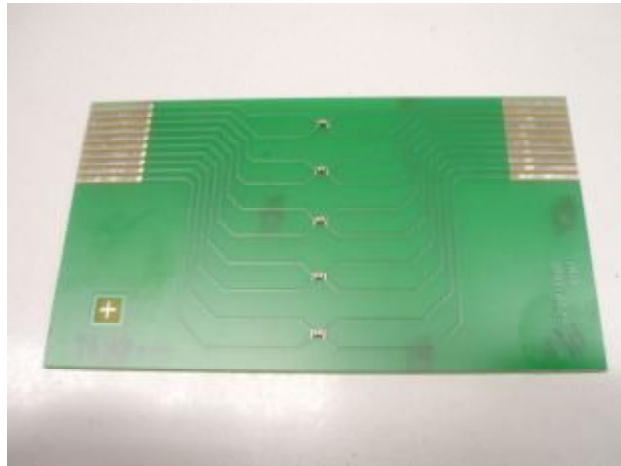
V následujícím blokovém schématu (Obr. 19) jsou uvedeny jednotlivé kroky Bend testu, tak jak bude prováděn v praktické části. Velikost vzorku je 20 náhodně vybraných kondenzátorů z testované skupiny. V případě nutnosti je samozřejmě možné vzorek navýšit nebo snížit. Na jedné PCB desce jsou kontakty pro 5 komponentů (kondenzátorů). Pro zjišťování přítomnosti defektů bude použita destrukčně-fyzikální analýza, která je popsána dále v textu.



Obr. 19. Blokové schéma postupu Bend Testu

Jako poslední součást testu je potřeba zmínit PCB desku vyráběnou z materiálu FR4, která je zobrazena (Obr. 20). Na desce je napájeno 5 kondenzátorů. Součástky jsou napájeny podél

osy desky. Jako pájedlo je používána olovnatá pájka. Tak jako u všech aplikací povrchově pájených součástek je pro dobré zapájení součástky důležité množství pájedla stejně jako rozměry a mezera pájecích pošek. Rozměry pájecích destiček se mění s velikostí pájených součástek, ale vždy jsou navrženy na destičce tak, aby pájená součástka byla ve středu desky.



Obr. 20. PCB deska s kondenzátory

Technické data k PCB desce:

- § **Mariál:** FR4, což je epoxidová pryskyřice vyztužená skelným vláknem. Teplota skelného přechodu pryskyřice $T_g=170^{\circ}\text{C}$.
- § **Rozměry:** 130mm x 75mm, tloušťka 1.6 +/-0.2 mm
- § **Pájecí kontakty:** měděná folie pokovená cínem s tloušťkou 35um +/-10um.

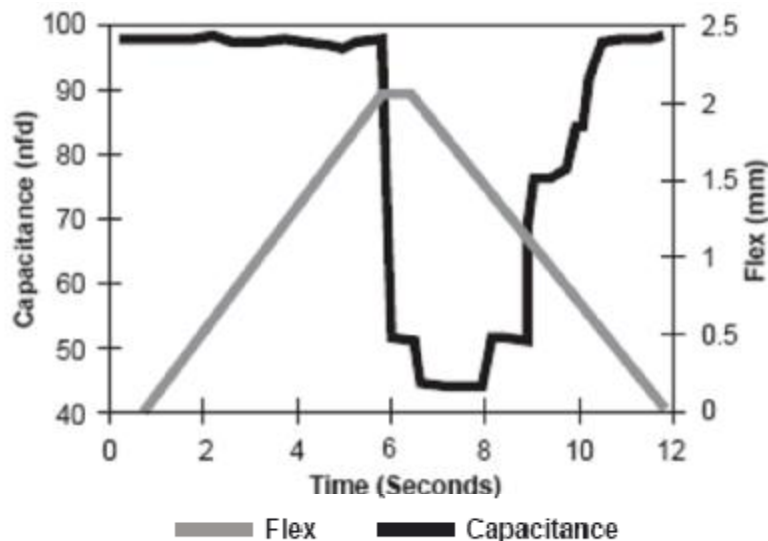
Další informace k desce FR4 jsou uvedeny v [1]

2.6 Zjišťování defektů

V této kapitole jsou popsány tři způsoby, kterými je možné detekovat, zda se u testované součástky objevila prasklina. První dvě metody jsou nedestruktivní a sledují fyzikální vlastnost v průběhu testu a následně vyhodnotí, zda došlo k defektu. Třetí metoda, která bude využívána v praktické části, je destruktivní a nesleduje žádnou fyzikální vlastnost v průběhu testu, ale probíhá po dokončení testu, kdy se rozbrousí všechny testované kondenzátory a vizuálně (pod mikroskopem) se kontroluje, na kterém komponentu se vyskytla prasklina.

2.6.1 Sledování kapacity

Dokument JIS-C- 6429 vyžaduje, aby byla deska prohnutá do vzdálenosti 1mm s výdrží 5 sekund v průhybu 1mm. Následuje měření kapacity a pak se testovací zařízení (hrot) vrátí do původní polohy. Změřená kapacita je porovnána s původní hodnotou kapacity a je vyhodnoceno zda se objevil defekt, tj. změnila se kapacita. Toto je jeden z možných způsobů jak zjišťovat, zda součástka selhala (objevil se board flex) nebo ne. Výhodou je, stejně jako u dalších nedestruktivních testů, že výskyt praskliny může být detekován velmi rychle. Nevýhodou tohoto způsobu zjišťování výskytu prasklin je, že prasklina nemusí zasáhnout elektrodové pole a nedojde tak k odpojení elektrod ani změně kapacity a defekt tak nebude detekován. Záleží pak na vnitřním designu a počtu elektrod v těle kondenzátoru.



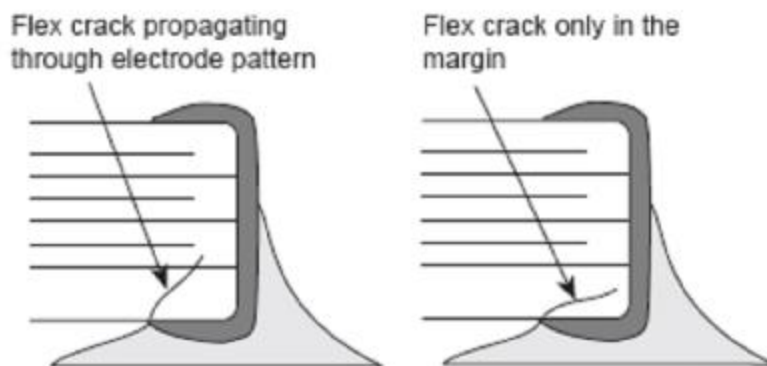
Obr. 21. Pokles kapacity při průhybu ~2mm [3]

U součásti s malým počtem elektrod k ovlivnění elektrických vlastností nemusí dojít a tato metoda není příliš vhodná pro tyto součástky. Kondenzátor se stejnými rozměry, ale vyšším počtem elektrod už může mít při prasknutí zasažené elektrodové pole a dojde k ovlivnění kapacity a takovém případě bude metoda fungovat.

2.6.2 Sledování akustických emisí

Další možnou metodou, jak zjišťovat výskyt závady je sledování akustických emisí. Prasklina generuje vysokofrekvenční, nízkoúrovňový skřípavý zvuk, při šíření dialektrikem. Při použití převodníku a odpovídajícího zesilovače je možné tyto akustické zvuky detekovat.

Tímto způsobem je možné detekovat praskliny bez ohledu na to jestli prochází elektrodo-
vým polem či nikoliv. Nevýhodou je, že může zachytit chybné signály a interpretovat je jako
inicializaci praskliny. (pozn.: Popisovaný nedostatek se týká konstrukce zařízení, kdy jsou
kraje PCB desky pevně uchyceny, aby se omezil případný pohyb desky v průběhu testu.)



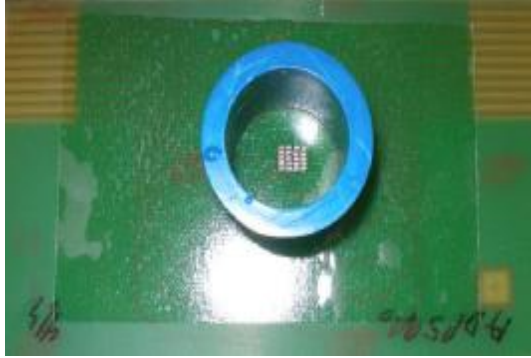
Obr. 22. V obou případech bude prasklina detekována [3]

Deska je uchycena na krají ve vzdálenosti 90mm. Délka oblouku se při prohýbání zvětšuje z
původní hodnoty 90mm až na 92,9mm v případě průhybu až do 10mm. V průběhu prohý-
bání bude deska na krajích klouzat, aby dovolila prohnutí desky ve středu. Klouzání nena-
stává kontinuálně, ale rázově. Tyto rázy se přenášejí jako změna napětí na testované sou-
částce a pokud má dielektrikum tendenci k piezoelektrickému šumu, výsledný zvuk uvnitř
keramiky může být interpretován jako akustický vzor praskliny.

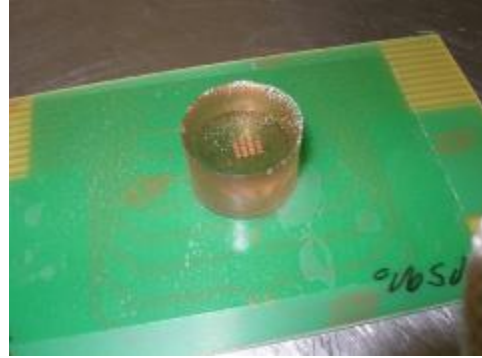
2.6.3 Bend Test a Destrukčně-Fyzikální Analýza (DPA)

Jak název napovídá, součástka bude v průběhu analýzy zničena. Součástky jsou zalíty do
pevného, ale brousitelného materiálu (pryskyřice) a postupným odbušováním materiálu (jak
z kondezátoru tak praskyřice) je možné pod mikroskopem sledovat a ověřovat přítomnost
závad - prasklin.

Po prohnutí na desky s kondenzátory jsou součástky postupně odpájeny a upevněny na
oboustranou lepicí pásku. Jako forma pro vytvoření válce z pryskyřice je používán gumový
prstenec (Obr. 23a).



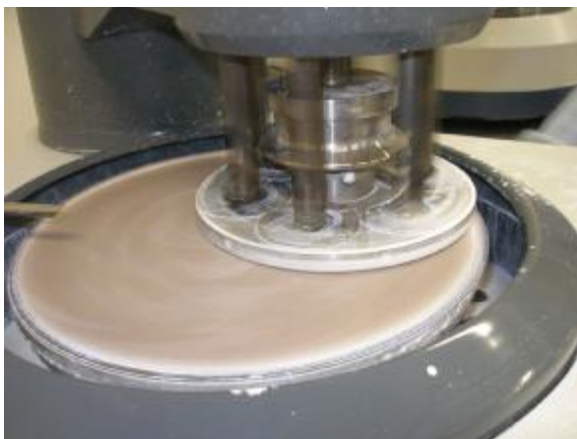
Obr. 23a. Odpájené kondenzátory připravené pro zalití pryskyřicí



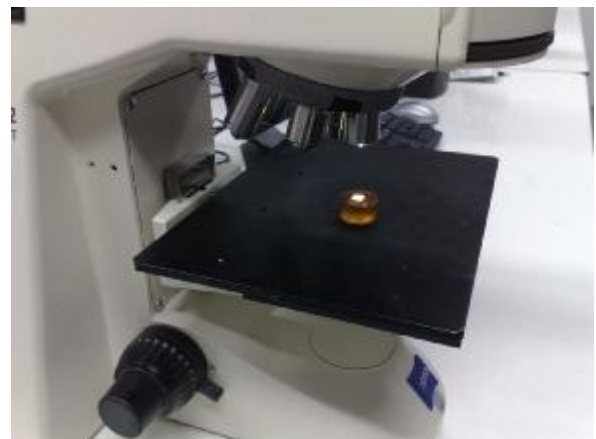
Obr. 23b. Váleček z pryskyřice (po vytvrzení) s kondenzátory uvnitř

Do gumového prestence, který obklopuje odpájené součástky se vleje tekutá pryskyřice. Prstenec s pryskyřicí se vloží do statické pece, na 15-20minut při teplotě 75°C, kde dochází k vytvrzení pryskyřice. Po ztuhnutí se odstraní gumový prstenec a váleček s kondenzátory je připravený pro broušení (Obr. 23b).

Standarní postup vyžaduje provést dvě broušení, a to do $\frac{1}{4}$ a do $\frac{3}{4}$ tloušťky součástky. Broušení probíhá v brousící hlavě (Obr. 23c). Po každém zbroušení je pod mikroskopem překontrolován každý kondenzátor, zda neobsahuje charakteristickou prasklinu. (Obr. 23d).



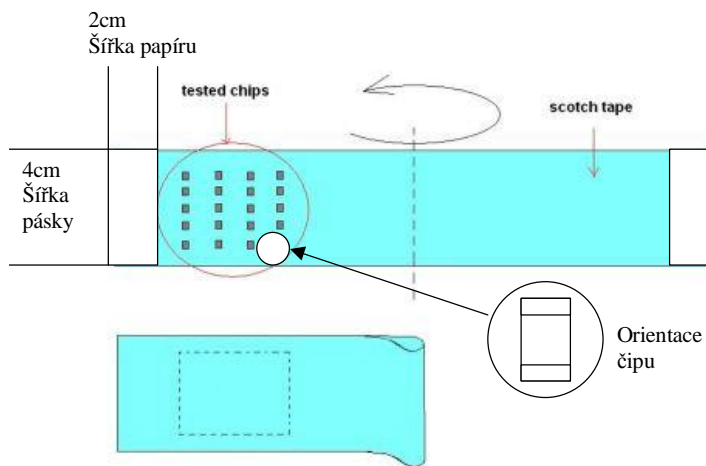
Obr. 23c. Odbrušování/Leštění



Obr. 23d. Kontrola pod mikroskopem

2.6.4 TPE test - test přilnavosti

Jednostranná lepicí páska je rozdělena na dvě části. Na jednu polovinu jsou nalepeny kondenzátory při stejné orientaci součástek na pásce jak ukazuje obrázek (Obr. 24). Následně je páska přehnuta a přilepena na kondenzátory z druhé strany. Po přilepení jsou obě strany pásky prudce odtrženy. Následná vizuální kontrola ověřuje, zda došlo k oddělení některé části koncovky kondenzátoru. V případě, že se nezjistila žádná odtržená část (plating nebo plating s terminací), test je považovaný za projitý (pass).



Obr. 24. Schéma rozmístění testovaných součástek na lepicí pásce

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Praktická část práce má ukázat, zda je možné úpravou výrobního procesu, změnou materiálu nebo změnou tvaru keramického těla dosáhnout zlepšení při průhybovém testu. Pokusy budou prováděny na součástkách firmy AVX s.r.o., kde budou také probíhat jednotlivé změny a následné testování.

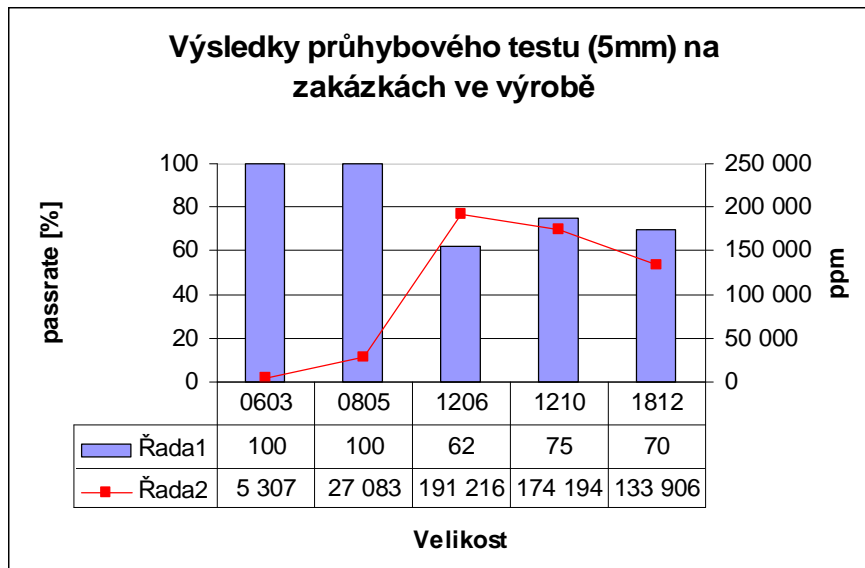
Změnu každého faktoru bude nutné ověřit na průhybovém testu. Základní vzdálenost, kterou součástky musí vydržet při průhybu je 5mm. (Větší průhyb má informativní charakter)

V případě, že změna parametru povede ke zlepšení výsledků na průhybovém testu, bude následovat ověření pájitelnostních testů, testování přilnavosti a testu životnosti. Pokud budou výsledky i v těchto testech minimálně shodné (minimální rozdíl ppm a passratu) se standardní produkcí flexi produktů, dá se daná změna považovat vhodnou a vedoucí k vylepšení mechanických vlastností kondezátoru.

4 VHODNÉ PART NO PRO TESTOVÁNÍ

4.1 Passrate a PPM v produkci

Výsledky průhybového testu do 5mm na zakázkách ve výrobě ukazují, že existují rozdíly dle velikostí. Jako velikosti vhodné pro pokusy se ukazují součástky od velikosti 1206 až do velikosti 1812. U těchto velikostí je vyšší úroveň defektů a jakýkoliv podstatný vliv bude vykazovat výraznější rozdíly mezi použitými procesy.



Graf 1. Passrate průhybového testu (5mm) a ppm defektů podle velikosti součástek ve výrobě

5 VYLEPŠENÍ FLEXIBILITY U STÁVAJÍCÍ TERMINACE

5.1 Předpoklad

Ověřme, zda se dají se vylepšit mechanické vlastnosti (pružnost) stávajícího polymeru změnou podmínek vytvrzování (časem, teplotou). Pro testování použijme epoxi materiály, které jsou v k dispozici ve výrobě – SE_D1 a SE_D2. Jedná se o materiály od stejného dodavatele určené pro BME produkty s niklovými elektrodami.

5.2 Testování – Design of experiment (DOE)

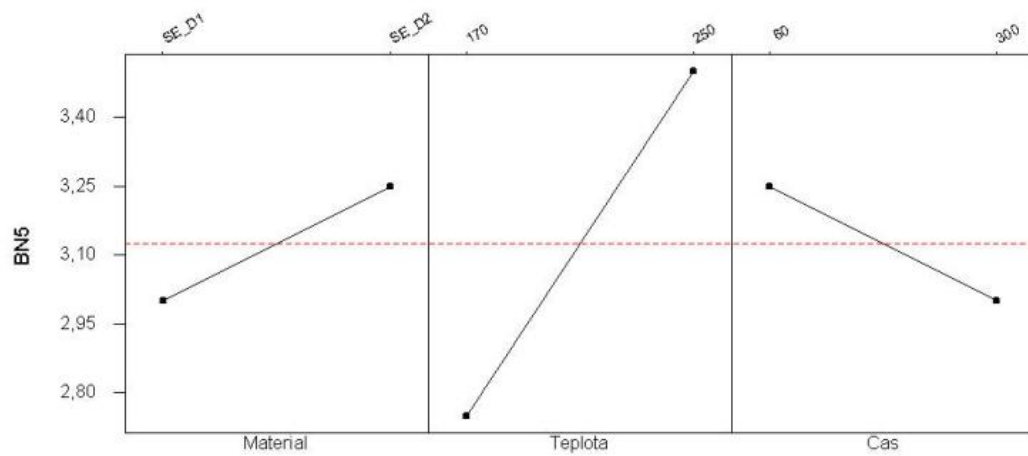
Standarní vytvrzovací podmínky jsou 220°C po dobu 3hodin. Pokus ověří zda změna vytvrzovacích podmínek bude mít výraznější dopad na výsledky při průhybu 5mm, tj.flexibilitu materiálu. Jako faktory jsou vybrány vytvrzovací čas, teplota a budou porovnávány dva materiály polymer-stříbro, které se nacházejí ve výrobě a jsou určené pro MLC BME produkty. Experiment bude prováděn pouze na velikosti 1206.

5.2.1 Změna vytvrzovacích podmínek

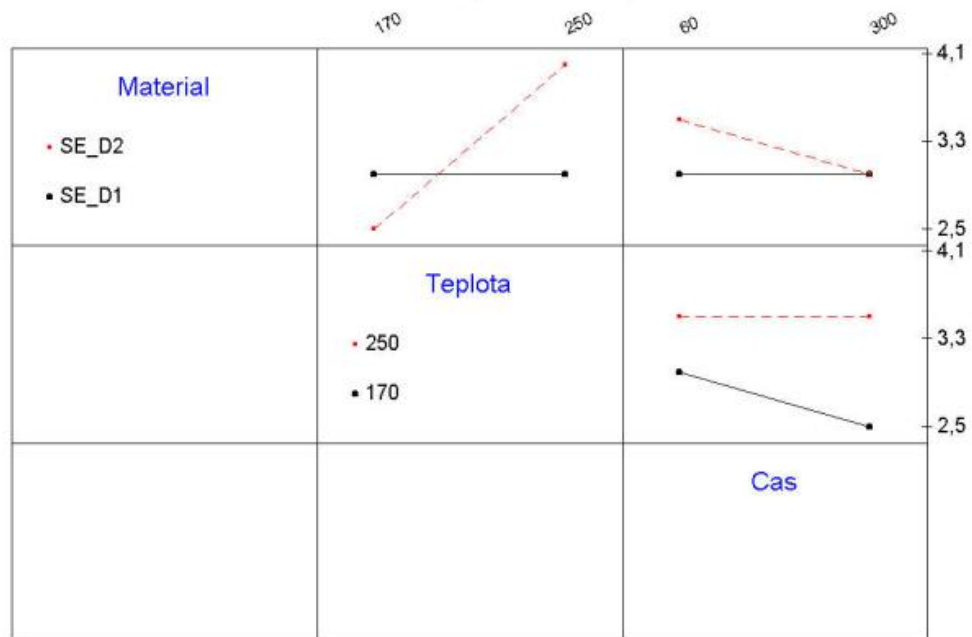
Tab. 4. Výsledky průhybového testu při různých vytvrzovacích podmínkách polymer-stříbro terminace

Velikost kondenzátorů	Číslo vzorku	Materiál	Teplota vytvrzování terminace	Doba vytvrzování terminace	Poč.defektů při průhybovém testu
			[°C]	[min]	ks
1206	5	SE_D1	170	300	3
	7	SE_D1	170	60	3
	2	SE_D1	250	300	3
	8	SE_D1	250	60	3
	1	SE_D2	170	300	2
	4	SE_D2	170	60	3
	6	SE_D2	250	300	4
	3	SE_D2	250	60	4

5.3 Analýza



Graf 2. Hlavní účinky testovaných faktorů pro průhyb 5mm



Graf 3. Interakce testovaných faktorů pro průhyb 5mm

5.4 Závěr

Pokud se podíváme na diagram „Hlavních účinků“, jde vidět, že teplota může mít vliv na úroveň defektů na bend testu. Pokud se podíváme na další diagram znázorňující interakce mezi jednotlivými faktory, zjistíme že hlavním důvodem proč první diagram ukazoval teplotu jako možný významný faktor byly rozdíly naměřené na materiálu SE_D2.

Pokud nižší teplota u materiálu SE_D2 zlepšuje výsledky na bend testu, pak se tyto změny nejeví jako příliš výrazné a nebudou v tento okamžik hlouběji zkoumány. Je potřeba ověřit zda jiné změny (faktory) neukáží významnější zlepšení.

6 JINÁ TERMINACE POLYMER-STŘÍBRO

6.1 Předpoklad

Ověřme, zda na trhu existují jiné materiály, které budou plnit lépe požadavky na vyšší pružnost polymer-stříbro terminace.

Úkolem je kontaktovat dodavatele/výrobce materiálů typu polymer-stříbro a získat vzorek materiálů navržených pro výrobu BME MLC komponentů. U každého materiálu je nutné znát podmínky skladování, přípravy před použitím v terminačním stroji (Palomar Diperu), podmínky vytvrzení.

6.2 Benchmarking terminačních materiálů

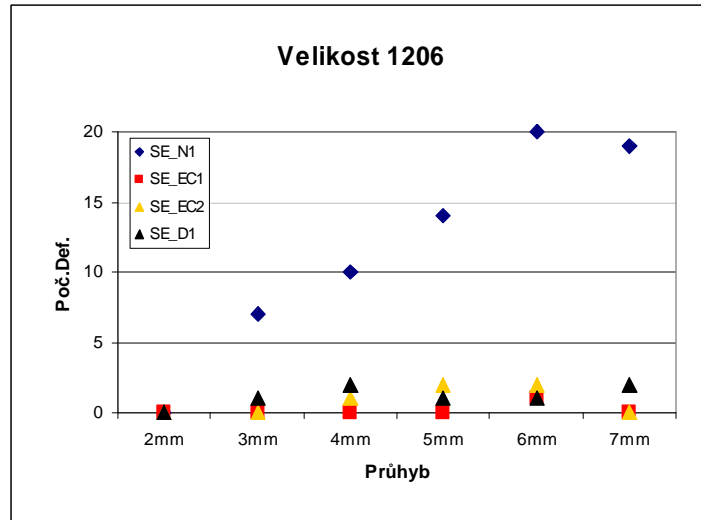
U dodaných materiálů bude provedeno testování a bude vybrán nejvhodnější z materiálů pro rozšířené testování. Ke každé skupině terminovaných součástek bude přidán srovnávací vzorek oterminovaný stávajícím materiálem. Stávající materiál je označen jako SE_D1.

Kritéria pro výběr:

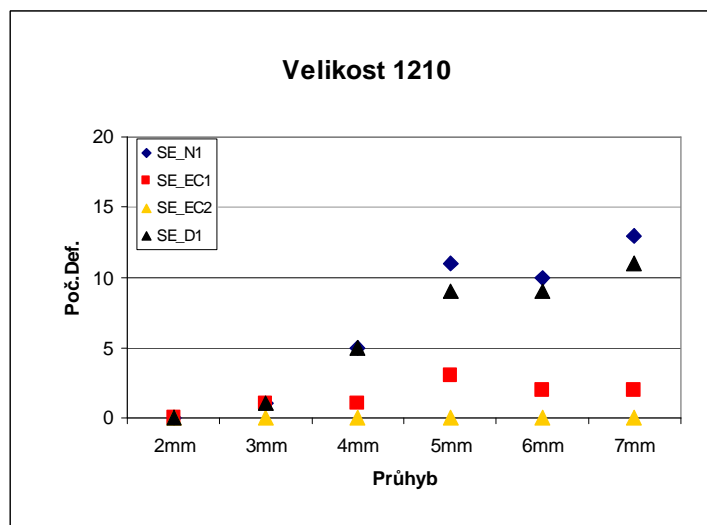
- § nejnižší počet CK defektů na bend testu
- § přilnavost materiálu a platingu a životnostní testy srovnatelné se stávajícím materiálem

6.2.1 Průhybový test

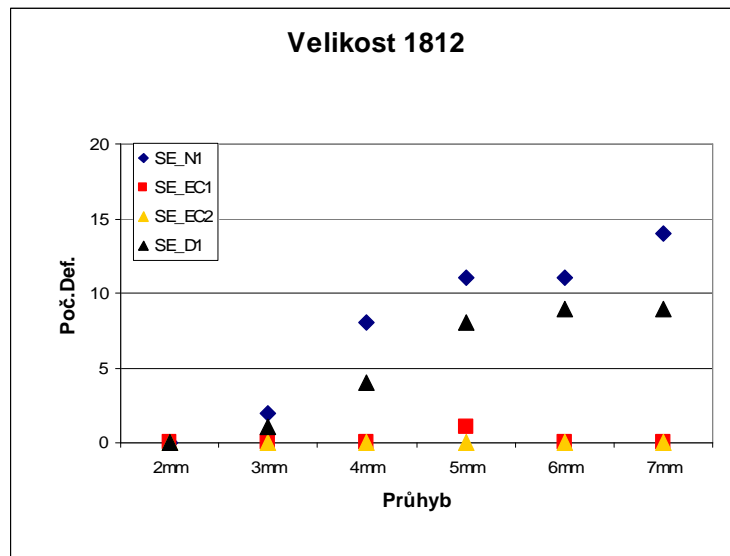
Z každé skupiny kondenzátorů (dané velikosti) bylo odebráno 6 vzorků. Každý vzorek měl velikost 20ks kondenzátorů. Na vzorcích byl po zapájení postupně proveden průhybový test 2mm až 7mm. (viz kapitola 2.5 Průhybový test).



Graf. 4. Bend test na velikosti 1206



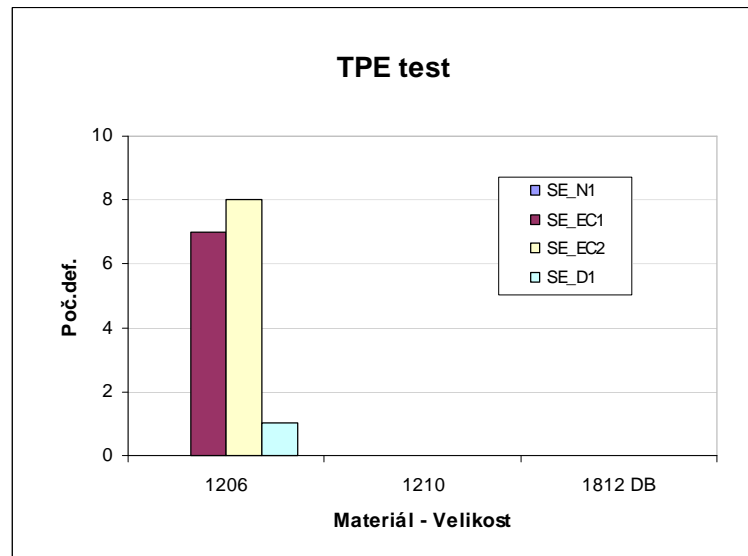
Graf. 5. Bend test na velikosti 1210



Graf. 6. Bend test na velikosti 1812

6.2.2 Test přilnavosti

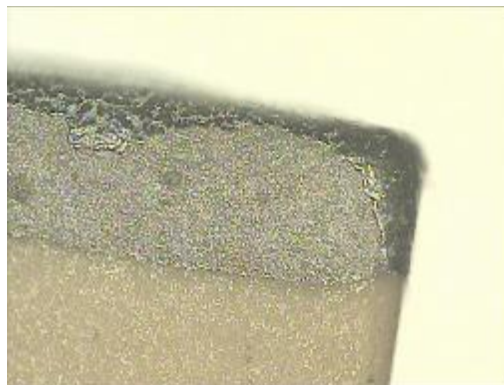
Při ověřování soudržnosti koncovky (přilnavosti vrstev mezi sebou) se u materiálů SE_CE1 & 2 objevily na velikosti 1206 defekty. U obou materiálů došlo k oddělení platingové vrstvy od epoxidové terminace. Na velikostech 1210 ani 1812 se po testu nevyskytly defekty.



Graf. 7. Výsledek testu přilnavosti koncovky na kondenzátoru



Obr. 25a. Oddělená platingová vrstva od polymer-stříbrné terminace– Materiál SE_EC2



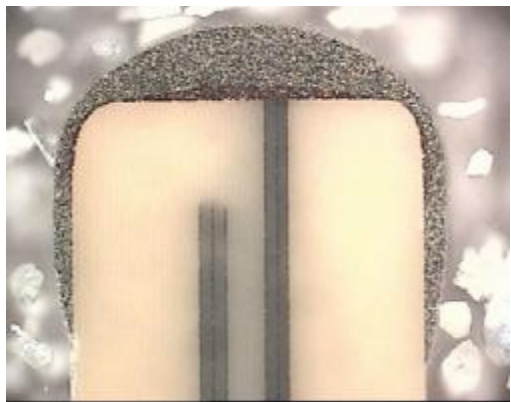
Obr. 25b. Oddělená platingová vrstva od polymer-stříbrné terminace– Materiál SE_EC1

6.2.3 Životnostní testy

Tab. 5. Výsledky pájitelnostních a životnostních testů u kondenzátorů terminovaných testovanými materiály

Velikost	Materiál	Test	Pájení -	Test životnosti - LIFE	Test životnosti zvýšené vlhkosti HUM
		Delka testu v hodinách	1h	168h	168h
		Počet testovaných součástek	500	125	375
1206	SE N1		Pass	Pass	Pass
	SE EC1		1SF	Pass	Pass
	SE EC2		Pass	Pass	Pass
	SE D1		Pass	Pass	2DF
1812	SE N1		Pass	Pass	Pass
	SE EC1		Pass	Pass	Pass
	SE EC2		Pass	Pass	Pass
	SE D1		Pass	Pass	Pass
Poznámka (použité					
SF	defekt				
DF	vysoká hodnota ztrátorvého				
Pass	test prošel				
Fail	test byl				

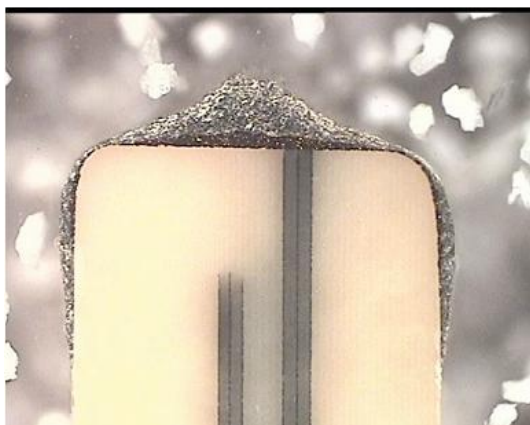
6.2.4 Tvar terminace



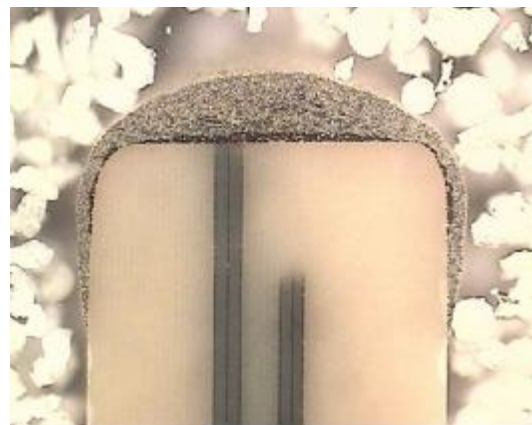
Obr. 26a. Řez terminací – Material SE_N1



Obr. 26b. Řez terminací – Material SE_EC1



Obr. 26c. Řez terminací – Material SE_EC2



Obr. 26c. Řez terminací – Material SE_D1

Pro rozšířené testování byl vybrán materiál SE_EC1, který vykazuje nízkou úroveň defektů na bend testu. Tvar a pokrytí u materiálu SE_EC2 vytváří špičku uprostřed, což není jak z vizuálního tak rozměrového hlediska akceptovatelné. Daný nedostatek je nejspíše důsledkem vyšší viskozity materiálu SE_EC2 (v porovnání s SE_EC1) a případné snížení viskozity by snížilo nebo zcela odstranilo „špičku“ na terminaci. Vzhledem k dobrým výsledkům na jiném materiálu toto není dále zkoumáno. Materiál SE_N1 není vhodný vzhledem k vysokému počtu defektů na Bend testu.

I když na TPE testu u velikosti 1206 vykazuje materiál SE_EC1 horší výsledky než současný materiál SE_D1, vzhledem k tomu, že nebyly shledány žádné další nedostatky, je nižší adheze v této fázi pro kvalitu akceptovatelné.

6.3 Rozšířené testování vybraného materiálu

6.3.1 Pre-Qual, Full-Qual

Tab. 6. Výsledky průhybového testu, pájecích testů a testů životnosti kvalifikace první a druhé úrovně (PQ, FQ)

Velikost	Vzorek	Part No	Úroveň kvalifikace	Test	Pájení - PLG	Pájení - IR REFLOW	Průhybový test 5mm	Test životnosti - LIFE 125C			Test životnosti ve zvýšené vlhkosti - HUM 85C/85%		
				Počet testovaných součástek	500	250	20	125			375		
				Délka testu v hodinách	1h	1h	1h	168h	500h	1000h	168h	500h	1000h
1206	1.	12061C102	PQ	Pass	x	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	
1812	2.	18125C105	PQ	Pass	x	Pass	Pass	x	x	Pass	x	x	
1206	3.	12061C102	FQ	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	x	
1812	4.	18125C105	FQ	Pass	Pass	Pass	Pass	1xCI	Pass	Pass	Pass	x	
1210	5.	12105C224	FQ	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	x	

Poznámka (použité kódy):

CI	complete ir - skrat po zátěži
DF	vysoká hodnota ztrátového faktoru
Pass	test prošel
Fail	test byl zamítnut
x	test není vyžadován

6.3.2 Scale-Up

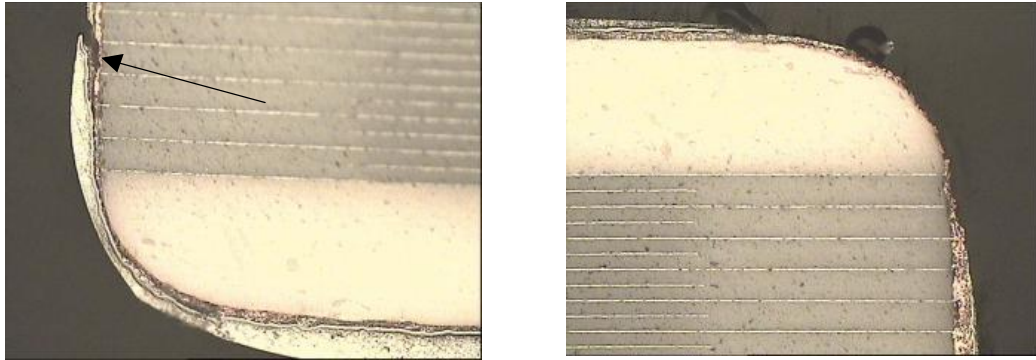
Tab. 7. Výsledky průhybového testu, pájecích testů a testů životnosti kvalifikace třetí úrovně (SQ)

Velikost	Vzorek	Part No	Úroveň kvalifikace	Test	Pájení - PLG	Průhybový test 5mm	Test životnosti - LIFE 125C	Test životnosti ve zvýšené vlhkosti - HUM 85C/85%
				Počet testovaných součástek	500	20	125	375
				Délka testu v hodinách	1h	1h	168h	168h
1206	6.	12062C223	SQ	Pass	1KT-Acc	Pass	Pass	
1206	7.	12065C104	SQ	Pass	Pass	Pass	1CI	
1206	8.	12065C104	SQ	2RM-Fail	3KT-Acc	Pass	1CI	
1206	9.	12065C223	SQ	Pass	2KT-Acc	Pass	Pass	
1210	10.	12101C104	SQ	1RM-Fail	Pass	Pass	Pass	
1210	11.	12105C224	SQ	3LE, 1RM	8KT-Fail	Pass	Pass	
1210	12.	12105C224	SQ	Pass	Pass	Pass	1LI	
1210	13.	12105C474	SQ	Pass	1KT-Acc	1CI	Pass	
1210	14.	12105C474	SQ	Pass	2KT-Acc	Pass	Pass	
1812	15.	18121C334	SQ	Pass	2KT-Acc	1CI	Pass	
1812	16.	18125C105	SQ	Pass	2KT-Acc	Pass	Pass	
1812	17.	18125C105	SQ	Pass	5KT-Fail	2LI	Pass	
1812	18.	18125C105	SQ	Pass	Pass	Pass	Pass	
1812	19.	18125C684	SQ	Pass	1KT-Acc	Pass	Pass	
2220	20.	22205C106	SQ	Pass	Pass	Pass	Pass	
				passrate	80,0%	86,7%	80,0%	80,0%
				ppm	778	71 053	1 684	421

Poznámka (použité kódy):

CI	complete ir - skrat po zátěži
KT	oddělená vrstva platingu nebo plating+terminace při průhybovém testu
Pass	test prošel
Acc	Test byl akceptován - úroveň defektu v přijatelné míře (kritéria definovaná kvalitou)
Fail	test byl zamítnut
RM, LE	chybějící část materiálu koncovky - mechanicky setřeno v nevytvrzeném stavu (obecně chyba manipulace před vytvrzením)

6.3.3 Održený plating - KT defekt

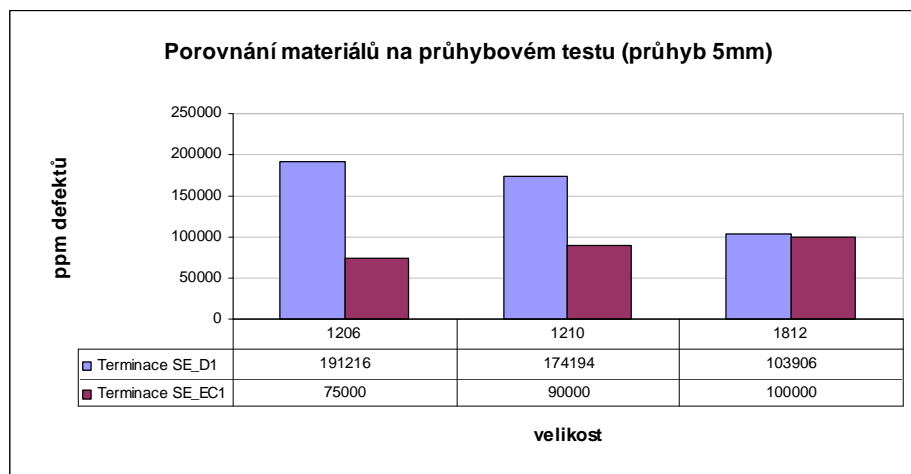


Obr. 27. Održený plating - KT defekt

V průběhu rozšířené kvalifikace byly zjištěn nový typ „defekty“, který se po bend testu může objevit, tzv KT defekt – održený plating od epoxidu. Z pohledu fungování součástky se jednalo o variantu méně závažného defektu. Keramika kondenzátoru zůstává neporušená (nehrozí skrat) a součástka funguje bez výrazného ovlivnění parametrů a nebo dojde k rozpojení obvodu.

6.4 Analýza

Porovnání ppm defektů u stávající terminace a terminace SE_EC1 vybrané na základě benchmarkingu. Je zřejmé, že u velikosti 1206 a 1210 došlo k viditelnému snížení defektů. U velikosti 1812 není rozdíl v úrovni defektu téměř žádný.



Graf. 8. Porovnání ppm defektů mezi dvěma polymer-stříbrnými terminacemi na průhybovém testu (5mm)

6.5 Závěr

Z výsledků měření je zřejmé, že změna typu polymer-stříbrné terminace měla vliv na zlepšení výsledků na průhybovém testu. Jako další vylepšení se dá považovat i typ defektu. U terminace SE_EC1 nedochází k porušení těla součástky, ale poruší se nebo se zcela oddělí plating od polymer-stříbrné terminace a dochází tak k rozpojení obvodu. Defekty nalezené po životnostních testech mely charakter výrobních vad. Nejednalo se tedy o selhání v důsledku změny použitého terminačního materiálu.

7 ZAOBLENÍ HRAN KERMICKÉHO TĚLA

7.1 Předpoklad

AVX keramické kondenzátory mají na hranách keramického těla malý radius (malé zaoblení) při srovnání s jinými dodavateli. Může tento malý radius zvyšovat napětí při průhybu součástky? V případě, že zvýšíme radius na hraně, povede to k snížení prasklin keramického těla při zachování stávajícího složení terminace?

7.2 Popis změny procesu a Testování

Od každé velikosti (1206 – 1812) se připravilo 5 vzorků z různých dávek (zakázek). Polovina vzorku zůstala bez jakékoliv úpravy keramického těla a u druhé poloviny se vzorek nechal „mlít“ v bubnu (s médii, pískem a vodou), aby došlo k obroušení hran keramického těla. Následně byly obě poloviny oterminovány a oplatovány a podrobeny testování.

Tab. 8. Podmínky použité pro dodatečný omílací proces na jednotlivých velikostech

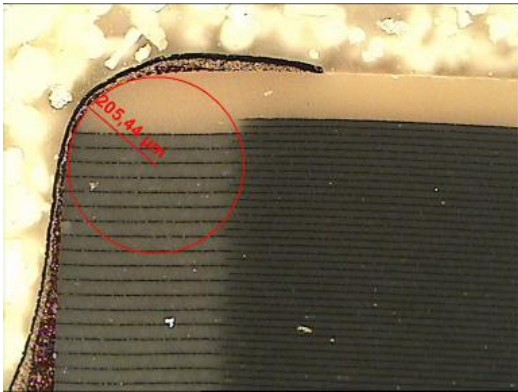
Velikos	Podmínky omílací				
	Množstv přášku [ml]	Množstv součástek [ml]	Množstv médií v [ml]	Rychlos otáčení	Doba omílacích [min]
1206	300	200	600	130	150
1210	300	200	600	100/12	60/3
1812	300	200	600	100/12	60/3

7.2.1 Výsledky testování

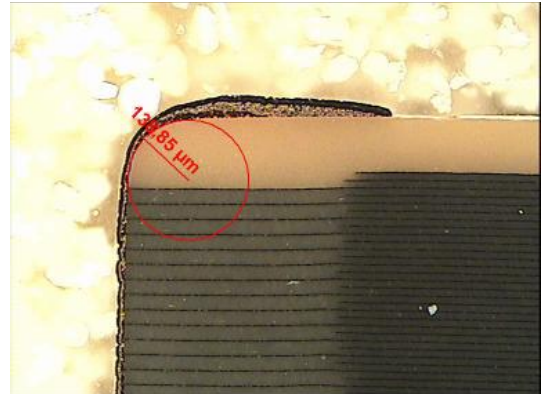
Tab. 9. Výsledky průhybového a životnostních testů a hodnota zaoblení dosažená při omílacím (harpovacím) procesu

Velikost	Vzorek	Typ zaoblení - použitý proces	Průhybový test 5mm	Test životnosti - LIFE 125C	Test životnosti ve zvýšené vlhkosti - HUM 85C/85%	Průměrné zaoblení hrany součástky [um]
			20	standardní vzorek	standardní vzorek	5
		[ml]	1h	168h	168h	1h
1206	1.	Zvýšené	1KO-Acc	Pass	Pass	128
	1.	Standardní	5KO-Fail	Pass	Pass	120
	2.	Zvýšené	1KO-Acc	1LI	Pass	123
	2.	Standardní	4KO-Fail	Pass	Pass	115
	3.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	125
	3.	Standardní	5KO-Fail	Pass	Pass	118
	4.	Zvýšené	1KO-Acc	Pass	Pass	129
	4.	Standardní	2KO-Acc	Pass	1CI	120
1210	5.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	120
	5.	Standardní	7KO-Fail	Pass	Pass	113
	6.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	166
	6.	Standardní	3KO-Fail	Pass	Pass	132
	7.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	167
	7.	Standardní	1KO-Acc	1CI	Pass	135
	8.	Zvýšené	1KO-Acc	Pass	Pass	160
	8.	Standardní	4KO-Fail	Pass	Pass	129
1812	9.	Zvýšené	Pass	2CI	Pass	170
	9.	Standardní	Pass	Pass	1CI	136
	10.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	162
	10.	Standardní	2KO-Acc	Pass	Pass	135
	11.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	184
	11.	Standardní	1KO-Acc	Pass	Pass	138
	12.	Zvýšené	Pass	1LI	Pass	182
	12.	Standardní	3KO-Fail	Pass	Pass	139
1812	13.	Zvýšené	1KO-Acc	Pass	Pass	180
	13.	Standardní	Pass	1CI	Pass	138
	14.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	185
	14.	Standardní	5KO-Fail	Pass	Pass	132
	15.	Zvýšené	Pass	Pass	Pass	190
	15.	Standardní	Pass	Pass	Pass	140
	Poznámka (použité kódy):					
CI/LI	complete ir/low ir - skrat po zátěži/snížený izolační odpor					
KO	prasklina v keramickém těle - důsledek průhybového zatížení					
Pass	test prošel					
Acc	Test byl akceptován - úroveň defektu v přijatelné míře (kritéria definovaná kvalitou)					
Fail	test byl zamítnut					

7.2.2 Zaoblení hran



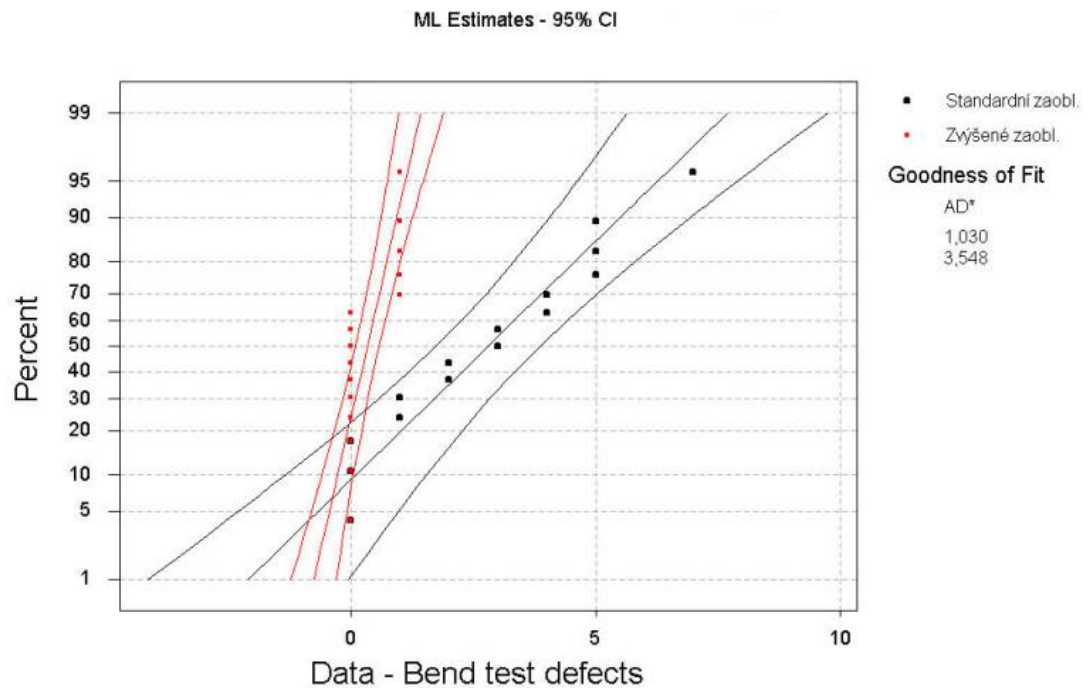
Obr. 28a. Velikost 1812 – harpovaný vzorek



Obr. 28b. Velikost 1812 – standardní zaoblení

7.3 Analýza

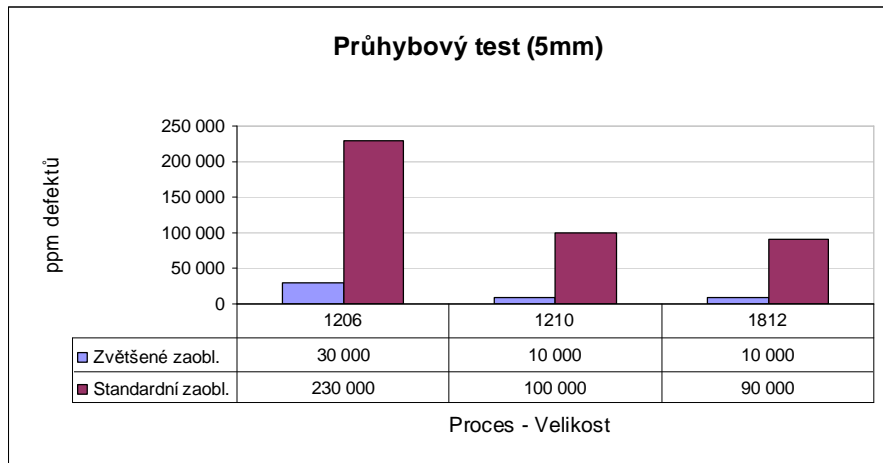
7.3.1 Porovnání procesů na průhybovém testu



Graf 9. Graf pravděpodobnosti výskytu defektů podle typu procesu (všechny velikosti)

7.3.2 Průhybový test – Podle velikostí

Výsledky testování na průhybovém testu ukazují rozdíly mezi standardním a zvýšeným poloměrem zaoblení hrany součástky.



Graf 10. Porovnání ppm defektů mezi standardním poloměrem a zvýšeným poloměrem zaoblení na průhybovém testu (5mm)

7.4 Závěr

Vzájemné porovnání použitých procesů, tedy harpované součástky versus standardní radius bez extra harpování vykazuje při 5mm průhybu jasný rozdíl. Součástky se zvětšeným radiusem (zaoblením) mají nižší úroveň defektů. Totéž je možné vidět při rozdělení na výsledků po jednotlivých velikostech.

V rámci daných výsledků se sice neprojevily nějaké výraznější problémy na životnostních testech, ale dá se předpokládat u produktů s vysokým počtem elektrod (vysoké kapacity) zvýšená pravděpodobnost prasklin v místě terminace způsobená extra omíláním. Tento předpoklad by vyžadoval další zkoumání na kondenzátorech s vysokými kapacitami.

ZÁVĚR

Z výsledků provedených pokusů je zřejmé, že možnosti jak vylepšovat mechanické vlastnosti keramických kondezátorů existují.

Změna vytvrzovacího procesu na stávacím polymer-stříbrném materiálu SE_D1 nevedla k žádnému výraznějšímu snížení defektů na průhybovém testu. Nemá smysl hlouběji prověřovat tento faktor vzhledem k mnohem lepším výsledkům u dalších změn.

Jako účinné se ukázalo zvýšení poloměru zaoblení na hranách keramického těla kondezátoru, kde ovšem u vyšších kapacit hrozí riziko zvýšeného výskytu praklin na životnostních testech. Pro přesnější hodnocení možných rizik by bylo potřeba zkoumání na součástkách s vyššími kapacitami, které mají ztenčené krajní vrstvy keramiky a taktéž sníženou tloušťku dielektrika.

Další zajímavou možností je použitý materiál typu SE_EC1, kde sice nedochází k porušení těla čipu, ale vazba mezi platingem a epoxidovou terminací vykazuje sníženou přilnavost. Sám o sobě tento fakt není z pohledu aplikace zásadní problém, při nízké úrovni defektů, ovšem hrozí další nebezpečí jako různé pážitelnostní problémy, které mývají příčinu v několika vrstevném složení terminace.

Nezkoumaným, ale zřejmým pokračováním pokusů by byla kombinace zaoblení hran a polymer terminace SE_EC1 nebo nalezení jiné polymer-stříbrné terminace, která bude vykazovat podobné výsledky na průhybovém testu, ovšem se zlepšenou přilnavostí platingu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EIA-J RC 3402, December 1983, Multilayer Ceramic Capacitors (Chip Type).
- [2] AEC-Q200-Rev C, June 17 2005, Stress test qualification for passive components.
- [3] J.Bergenthal, J.D.Prymak, Kemet August 1997, *Capacitance Monitoring While Flex Testing*.
- [4] M.Keimasi, M.H.Azarin, M. Petch, *Isothermal aging effects on flex cracking of multilayer ceramic capacitors with standard and flexible terminations*, Microelectronics Reliability, volume 47 December 2007.
- [5] Siewert T, Liu S. Smith DR, Madeni JC, *Database for solder properties with emphasis on new lead-free solders*. National Institute of Standards and Technology & Colorado Scholl of Miones, Release 4.0, CO, USA; February 2002.
- [6] Dasgupta A. Oyan C. Barker D. Pecht M. *Solder creep-fatigue analysis by an energy-partitioning approach*. Transactions of the ASME 1992; 114:152-60.
- [7] Long B, Prevallet, Prymak J. *Effects of lead-free solders on flex performance*. In: Proceeding of capacitor and resistor technology symposium. Palm Springs, California (USA); March 2005. p.97-101
- [8] Keimasi M, Azarian MH, Pecht M. *Comparison of flex cracking of multilayer ceramic capacitors assembled with lead-free and eutectic tin-lead solders*. In: Proceeding of capacitor and resistor technology symposium, Orlando, Florida (USA); April 2006. p. 15-25.
- [9] Blattau N, Barker D, Hillman C. *Lead free solder and flex cracking failure in ceramic capacitors*. In: Proceeding of capacitor and resistor technology symposium. San Antonio, Texas; 29 March - 1 April 2004. p.101-5.
- [10] Wiese S, Rzepka S, Meusel E, *Time-independent plastic behaviour of solder and its effect on FEM simulations for electronics packages*. In: Proceeding of the eighth international symposium on advanced packaging materials; 3-6 March 2002. p. 104-11.
- [11] Wereszezak AA, Breder K, Ferber MK, Bridge RJ, Riester L, Kirkland TP. *Failure probability prediction of dielectric ceramics in multilayer capacitors*. In: Jean JH, Je-

- an TK, Nair KM, Niwa K, editors. Ceramic Transactions. Multilayer Electronic Ceramic Devices, vol. 97. Westerville (OH): American Ceramic Society; 1999. p. 73-83.
- [12] White GS, Nguyen Č. *Young's modulus and thermal diffusivity measurements of barium titanate based dielectric ceramics*. AVX Corporation, Technical Information, www.avxcorp.com.
- [13] Franken K, Maier HR, Prume K, Waser R. *Finite-element analysis of ceramic multilayer capacitors: failure probability caused by wave soldering and bending loads*. Journal of American Ceramic Society 2000; 83(6):1433-40.
- [14] Hillman C, Blattau N, Barker D. *Design guidelines for avoiding flex cracking in ceramic capacitors*. Global SMT and Packaging 2003; 3(1):18-21.
- [15] Maxwell J. *Surface mount soldering techniques and thermal shock in multilayer ceramic capacitors*. AVX Corporation. Technical Information, www.avxcorp.com
- [16] *AVX SMPS caps/high voltage caps tip & ring/cap arrays/discoidals advanced applications*, ver. 1.1, AVX Corporation, Technical Information, www.avxcorp.com.
- [17] Gormally P., Bultitude J., and Coppola V. *Coping with the Risk of Board Flexure Damage to Multilayer Ceramic Capacitors*, Vishay Intertechnology Inc. Technical Information, www.vishay.com.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

X7R	Teplotní charakteristika keramického těla kondenzátoru
PCB	Deska s vodivými tištěnými spoji určená pro napájení elektronických součástek. Zkratka z anglického „Printed Circuit Board“.
FR4	Kompozit, ze kterého je tvořena PCB deska.
BEND, BND	Průhybový test. Z anglického „Bend Test“.
MLCC	Vícevrstvý keramický kondenzátor. Z anglického „Multi-Layer Ceramic Capacitor“.
FEA	Metoda konečných prvků.
Material_X_X	Označení materiálu, jehož složení bude uvedeno v příloze. V úloze nejsou uváděné obchodní názvy materiálů ani dodavatele daného materiálu. Viz. příloha P 1.
PASS/FAIL	Závěrečné zhodnocení testu. PASS – součástky prošly testem (vydržely použité zatížení), FAIL – souč. neprošly a test je zamítnutý (součástky nevydržely požadovanou zátěž)
HUM 85C/85%	Zátěžový test prováděný v peci při 85% vlhkosti a teplotě 85°C. Součástky jsou napájeny na PCB desky a po specifikovanou dobu jsou připojeny na nominální napětí a nechány v agresivním prostředí.
LIFE 125C	Zátěžový test prováděný v peci při teplotě 125°C a pokojové vlhkosti. Součástky jsou napájeny na PCB desky a po specifikovanou dobu jsou připojeny na 1.5x až 2x nominální napětí a nechány v agresivním prostředí.
PLUNGE nebo PLG	Pájení cínovou vlnou. Vrchol teplotního profilu při pájení může být 260°C nebo 280°C.
Pass/Fail	Výsledek testu. Pass – test prošel, Fail – test neprošel, je zamítnut.

PQ, FQ, SQ	Zkratky pro jednotlivé úrovně kvalifikace procesních změn. PQ-Pre qualification (úvodní testování), FQ-Full(plný rozsah testu) qualification, SQ-Scale-up(změna implementována do výroby pod dohledem).
Part No	15ti místná kombinace čísel a písmen, udávající typ kondenzátoru. První 4 znaky udávají velikost.
Epoxidová terminace	Jiný název pro polymer-stříbrnou terminaci.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. MLC kondenzátor.....	11
Obr. 2. Schéma jednotlivých vrstev MLC kondenzátoru před vytvořením monolitu[16]...	12
Obr. 3. Řez kondenzátorem s terminací [16].....	12
Obr. 4. Schéma „epoxidové“ koncovky (jednotlivé vrstvy).....	13
Obr. 5. Vznik průhybové praskliny MLC kondenzátoru způsobené prohnutím PCB desky.....	14
Obr. 6. Detail rohu rozbroušeného komponentu 1210 s Board Flex defektem.....	16
Obr. 7a. Schéma (Board) Flex defektu. (Oddělení rohu).....	17
Obr. 7b. Schéma (Board) Flex defektu.(Oddělení celého konce komponentu).....	17
Obr. 8. Geometrie kondenzátoru uchyceného na pcb desce, tak jak byla použita v FEA modelu.....	19
Obr. 9. Rozložení napětí po schládnutí kondenzátoru na PCB desce, pájeného bezolovnatou pájkou a REFLOW metodou.....	20
Obr. 10. Rozložení hlavního napětí na MLC kondenzátoru napájeného bezolovnatou pájkou na PCB desku. Průhyb 5mm v ose desky.....	21
Obr. 11a. Dělení PCB desky.....	22
Obr. 11b. Montáž/Zapojení konektoru.....	22
Obr. 11c. Defekt na komponentu mezi dvěma montážními dírami (červená čára), kde byl použitý pneumatický šroubovák.....	22
Obr. 12.Zmenšení pájecí plochy pro dosažení nižšího výskytu prasklin [17].....	23
Obr. 13. Open-Mode design – ochranné pásmo[17].....	23
Obr. 14.Seriový design –Plovoucí elektroda [17].....	24
Obr. 15. Mechanismus Průhybového Testu [2].....	25
Obr. 16. Zařízení pro Bend Test.....	25
Obr. 17. Zakřivení desky kolekm hrotu [3].....	26

Obr. 18. Ideální průhybový oblouk oproti skutečnému [3].....	27
Obr. 19. Blokové schéma postupu Bend Testu.....	27
Obr. 20. PCB deska s kondenzátory.....	28
Obr. 21. Pokles kapacity při průhybu ~2mm [3].....	29
Obr. 22. V obou případech bude prasklina detekována [3].....	30
Obr. 23a. Od pájené kondenzátory připravené pro zalití pryskyřicí.....	31
Obr. 23b. Váleček z pryskyřice (po vytvrzení) s kondenzátory uvnitř.....	31
Obr. 23c. Odbrušování/Leštění.....	31
Obr. 23d. Kontrola pod mikroskopem.....	31
Obr. 24. Schéma rozmístění testovaných součástek na lepící pásce.....	32
Obr. 25a. Oddělená platingová vrstva od polymer-stříbrné terminace– Materiál SE_EC2.....	42
Obr. 25b. Oddělená platingová vrstva od polymer-stříbrné terminace– Materiál SE_EC1.....	42
Obr. 26a. Řez terminací – Material SE_N1.....	43
Obr. 26b. Řez terminací – Material SE_EC1.....	43
Obr. 26c. Řez terminací – Material SE_EC2.....	43
Obr. 26c. Řez terminací – Material SE_D1.....	43
Obr. 27. Odtržený plating - KT defekt.....	45
Obr. 28a. Velikost 1812 – harpovaný vzorek.....	49
Obr. 28b. Velikost 1812 – standardní zaoblení.....	49
Graf 1. Passrate průhybového testu (5mm) a ppm defektů podle velikosti součástek ve výrobě.....	35
Graf 2. Hlavní účinky testovaných faktorů pro průhyb 5mm.....	37
Graf 3. Interakce testovaných faktorů pro průhyb 5mm.....	37
Graf 4. Bend test na velikosti 1206.....	40

Graf. 5. Bend test na velikosti 1210.....	40
Graf. 6. Bend test na velikosti 1812.....	41
Graf. 7. Výsledek testu přilnavosti koncovky na kondenzátoru.....	41
Graf. 8. Porovnání ppm defektů mezi dvěma polymer-stříbrnými terminacemi na průhybo- vém testu (5mm).....	45
Graf 9. Graf pravděpodobnosti výskytu defektů podle typu procesu (všechny velikosti)...	49
Graf 10. Porovnání ppm defektů mezi standardním poloměrem a zvýšeným poloměrem zaoblení na průhybovém testu (5mm).....	50

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Složení standardní a flexi koncovky.....	13
Tab. 2. Termo-mechanické vlastnosti materiálů použité při FEA[4].....	19
Tab. 3. Koeficient tepelné roztažnosti (CTE) pro FR4 PCB použitý pro FEA [5].....	19
Tab. 4. Výsledky průhybového testu při různých vytrvzovacích podmínkách polymer-stříbro terminace.....	36
Tab. 5. Výsledky pájitelnostních a životnostních testů u kondenzátorů terminovaných testovanými materiály.....	42
Tab. 6. Výsledky průhybového testu, pájecích testů a testů životnosti kvalifikace první a druhé úrovně (PQ, FQ).....	44
Tab. 7. Výsledky průhybového testu, pájecích testů a testů životnosti kvalifikace třetí úrovně (SQ).....	44
Tab. 8. Podmínky použité pro dodatečný omílací proces na jednotlivých velikostech.....	47
Tab. 9. Výsledky průhybového a životnostních testů a hodnota zaoblení dosažená při omílacím (harpovacím) procesu.....	48

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: KÓDY, REOLOGIE A SLOŽENÍ MATERIÁLŮ

PŘÍLOHA P I: KÓDY, REOLOGIE A SLOŽENÍ MATERIÁLŮ

<i>Kód materiálu používaný v textu</i>	<i>Jednotka</i>	<i>SE_EC1</i>	<i>SE_EC2</i>	<i>SE_D2</i>	<i>SE_D1</i>	<i>C_S1</i>	<i>SE_N1</i>
<i>Typ materiálu terminace</i>		<i>polymer- siver</i>	<i>polymer- siver</i>	<i>polymer- siver</i>	<i>polymer- siver</i>	<i>coopper</i>	<i>polymer- siver</i>
Solids	%	46,9	53,0	65,5	56,7	75,3	87,2
Viscosity (10 rpm)	Pa.s	5,3	14,7	35,7	25,2	28,1	13,4
Static		52	434	286	139	267	312
Dynamic		37	352	283	125	256	298
Ti		0,022	0,001	0,01	0	XRF Data nejsou k dispozici	XRF Data nejsou k dispozici
Fe		0,015	0,012	0,01	0,01		
Ni		0,002	0,002	0	0		
Cu		0	0	0	0		
Zn		0,005	0	0	0,01		
Zr		0,002	0	0	0		
Pt		0	0	0	0		
Pb		0	0	0	0		
Pd		0	0	0	0		
Ag		96,991	98,484	99,15	99,4		
Ba		0,03	0,076	0,01	0,02		
Mg		1,742	0,623	0,54	0,32		
Al		0,199	0,176	0,08	0,08		
Si		0,99	0,626	0,19	0,15		
Poznámka:							
Uvedené reologické hodnoty mají informativní charakter. Naměřené hodnoty dodávaných materiálů se u různých dávek mohou lišit.							