

**Vyšší odborná škola, Střední škola,
Centrum odborné přípravy**



Absolventská práce

Výroba desetivrstvého plošného spoje

Sezimovo Ústí, 2011

Autor: Miroslav Sova



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Miroslav Sova**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Výroba desetivrstvého plošného spoje**

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte plošné spoje, jejich význam, vývoj.
2. Popište vícevrstvé plošné spoje a jejich materiály používané pro moderní výrobu.
3. Ve firmě PCB Benešov zhotovte konkrétní výrobek desetivrstvého plošného spoje, podle přání zákazníka. Popište problematiku výroby.
4. Vytvořte učební materiál týkající se výroby vícevrstevných plošných spojů, který bude sloužit při výuce.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

Doporučená literatura:

[1] ŠANDERA, J., *Návrh plošných spojů*. Praha: BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-181-0.

Vedoucí práce: Ing. Jan Fuka, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Ing. Jana Pišvejcová, PCB Benešov
Oponent práce: Ing. Antonín Juránek, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **1.9.2010**

Datum odevzdání absolventské práce: **6.5.2011**

Ing. Jan Fuka
(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 3.12.2010

Ing. František Kamlach
(ředitel školy)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu.

V Sezimově Ústí dne 6.5. 2011

Jovca

Podpis

Poděkování:

Dovoluji si poděkovat panu Ing. Janu Fukovi a panu Ing. Antonínu Juránkovi za odborné vedení a za cenné rady při zpracování absolventské práce. Dále pak děkuji paní Ing. Janě Pišvejcové a zaměstnancům firmy PCB Benešov, kteří mi byli v průběhu vytváření absolventské práce nápomocni.

Anotace:

SOVA, M. *Výroba desativrstvého plošného spoje*. Sezimovo Ústí: Elektrotechnika-mechatronické systémy VOŠ, SŠ, COP 2011. 56 s. Absolventská práce, vedoucí: Ing. Jan Fuka.,

Absolventská práce řeší oblast technologické přípravy a postupu výroby vícevrstvého plošného spoje. V úvodu práce je čtenář seznámen s historií a materiály užívanými v této oblasti. Následně je rozebrána technologická příprava výroby, kde je kladen důraz na vytvoření technologických podkladů a postupů. Zpracované podklady jsou ověřeny při realizaci konkrétní zakázky. Pro zvýšení názornosti jsou teoretické informace a praktické postupy doplněny množstvím obrázků a vlastních fotografií. Materiál je možné využít jako učební text pro seznámení s průmyslovou výrobou vícevrstvých desek plošných spojů.

Annotation:

This graduate work deals with an area of the technology training and manufacturing process of the multiple layer board. At the beginning of this work the reader is learned about the history and materials used in this area. After that the technology training is described where the accent is put on the creation of technology documents. Then processed documents are verified by the realization of specific contract. Theoretical information and practical processes are completed for better illustration with a lot of pictures and own photos. This document can be used as teaching text for introduction with industrial production of multiple layer boards.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	VIII
Seznam obrázků	IX
Seznam tabulek	XI
1 Úvod.....	1
I. Teoretická část	2
2 Vývoj a význam plošných spojů.....	3
2.1 Vývoj sériové výroby	3
2.2 Vývoj a charakteristické vlastnosti vícevrstevných spojů	5
2.2.1 Vznik SMT technologií	5
3 Základní materiály pro výrobu DPS	7
3.1 Organické základní materiály	7
3.1.1 Neohebné základní materiály	8
3.1.2 Ohebné základní materiály	10
3.2 Anorganické základní materiály	11
3.3 Vlastnosti neohebného materiálu FR4 (flame retardant)	12
3.3.1 Vybrané metody testování základního materiálu FR4	13
3.4 Měděná fólie	14
3.4.1 Hlavní kritéria měděné fólie.....	15
3.5 Permanentní nepájitvá maska	16
3.5.1 Vybrané metody testování nepájitvé masky	17
II. Praktická část	18
4 Výroba plošného spoje - Přípravná část	19
4.1 Požadavky zákazníka	19
4.2 Technologické možnosti firmy	20
4.3 Technická příprava výroby	23
4.3.1 Zpracování vrtacích dat	23
4.3.2 Zpracování frézovacích dat.....	24
4.3.3 Příprava filmových dat	25

4.3.4	Příprava dat pro optický tester.....	27
4.3.5	Příprava dat pro elektrický tester	28
4.4	Stanovení technologického řádu	30
5	Výroba plošného spoje – výrobní část.....	33
5.1	Práce na vnitřních vrstvách plošného spoje.....	33
5.1.1	Dělení a čištění základního materiálu	33
5.1.2	Fotoprocesy vnitřních vrstev.....	34
5.1.3	Leptání vnitřních vrstev	35
5.1.4	Optický test vnitřních vrstev.....	37
5.1.5	Skládání vnitřních vrstev a prepregů.....	38
5.2	Vodivé spojení jednotlivých vrstev	41
5.2.1	Vrtání plošného spoje	41
5.2.2	Chemické prokovení otvorů	43
5.3	Povrchové úpravy vnějších vrstev	43
5.3.1	Vytvoření vnějších motivů.....	43
5.3.2	Galvanické mědění a cínování vnějších vrstev	44
5.3.3	Leptání vnějších vrstev	44
5.3.4	Ochranné povrchové úpravy.....	45
5.3.5	Elektrický test.....	47
5.4	Dokončení tvaru - frézování	48
5.5	Laserové značení.....	49
5.6	Výstupní kontrolní operace	50
5.6.1	Metalografický výbrus.....	50
6	Závěr.....	53
	Literatura.....	54
	Obsah příloženého CD.....	56
	Seznam příloh	56

Seznam použitých zkratk a symbolů

DPS	Deska s plošnými spoji
PCB	Printed Circuit Boards, Tištěné plošné spoje
PWB	Printed Wiring Boards, Tištěné plošné spoje
SMT	Surface Mounted Technology, Povrchová montáž součástek
FR	Flame retardant, Ohni vzdorný
Tg	Teplota skelného přechodu
PTFE	Polytetrafluoretylen
BT	Bismaleinimidová pryskyřice
CE	Kyanátesterová pryskyřice
PET	Polyethyléntereftalát
PEN	Polyetylénnaftalát
PI	Polyimid
Cu	Měď
Sn	Cín
CNC	Computer numeric control, Počítačově číslicové řízení
RTG	Radioizotopový termoelektrický generátor
Hal	Nanášení slitiny cínu a niklu.

Seznam obrázků

Obr. 1: První deska s plošnými spoji. [1].....	3
Obr. 2: První tranzistor. [1].....	4
Obr. 3: Druhy propojovacích technologií vícevrstvých spojů. [14].....	6
Obr. 4: Složení mědi podle kvality Grade 1. [6].....	15
Obr. 5: Složení mědi podle kvality Grade 2. [6].....	16
Obr. 6: Složení mědi podle kvality Grade 3. [6].....	16
Obr. 7: Práce na vrtacím výkresu v programu CAM 350 V 6.0.	24
Obr. 8: Zbytečné rozlité mědi v blízkosti spoje.[8]	25
Obr. 9: Nedodržení izolační mezery.[8].....	25
Obr. 10: Práce na skládání jednotlivých vrstev v programu CAM 350 V 6.0.	26
Obr. 11: Laminace fotopolymeru.	34
Obr. 12: Expozice fotopolymeru přes černé filmy.	35
Obr. 13: Nasvícený motiv před vyvoláním.	35
Obr. 14: Vyvolané vnitřní vrstvy před leptáním.	36
Obr. 15: Vyleptaná vnitřní vrstva.....	36
Obr. 16: Kontrola vyleptaného motivu.	36
Obr. 17: Smyté vnitřní vrstvy.	36
Obr. 18: Průběh testování motivu.	37
Obr. 19: Zjištěná chyba: vyzoublý spoj.	37
Obr. 20: Hněděné vrstvy založené ve svářeči.	38
Obr. 21: Vrstva s lepícím listem.	38
Obr. 22: Skládání paketu pro vakuový lis.	39
Obr. 23: Měděná fólie v paketu.	39
Obr. 24: Vakuový lis.	40
Obr. 25: Pakety ve vakuovém lisu.	40
Obr. 26: RTG snímek nulového bodu.	41
Obr. 27: Vyvrtané nulové body na desce.	41
Obr. 28: RTG snímek vrstev desky před vrtáním.	42
Obr. 29: Panel před vrtáním.	42
Obr. 30: RTG snímek kontroly po vrtání.	42
Obr. 31: Detail vrtaného kusu.	42

Obr. 32: Diazo filmy.	43
Obr. 33: Vyvolaný negativní motiv.	43
Obr. 34: Galvanicky pocínovaná deska.	45
Obr. 35: Deska po leptacích procesech.	45
Obr. 36: Průřez galvanicky pocínovaným povrchem mezikruží.[9]	46
Obr. 37: El. tester při práci.....	47
Obr. 38: El. tester	47
Obr. 39: Panel po vyfrézování.	48
Obr. 40: Vyfrézované kusy.	48
Obr. 41: Hotový kus po vypálení znaků.....	49
Obr. 42: Laserové zařízení.	49
Obr. 43: Průřez prokoveným otvorem. [9].....	50
Obr. 44: Metalografický výbrus.	51

Seznam tabulek

Tab. 1: Vybrané elektrické vlastnosti základního materiálu FR4. [4]	13
Tab. 2: Hoření základního materiálu FR4. [4]	14
Tab. 3: Parametry firmy pro určování konstrukčních tříd. [8].....	21
Tab. 4: Určování tlaku dle plochy materiálu. [11]	40
Tab. 5: Stanovení doby pro tavení desky. [10]	46

1 Úvod

Dnes žijeme v době vysokého technického pokroku. Stroje a elektrotechnika ulehčují práci a také za nás dokáží přemýšlet. Naštěstí ještě stroje neřídí nás, ale nemůžeme s klidným svědomím říci, že na nich nejsme závislí. Nevím jestli je to dobře nebo špatně, prostě je to fakt, že nás elektrotechnika obklopuje na každém kroku. A to v drtivé většině případů znamená že nás obklopují i desky plošných spojů. To co drží jednotlivé součástky uvnitř jednotlivých zařízení, co je navzájem propojuje, jsou právě tyto nenápadné a často opomíjené prvky. Kdyby jich nebylo, nebylo by reálné propojovat tisíce vývodů pouze pomocí měděných vodičů. Hlavně by se takovéto obvody zbytečně složitě vyráběly při sériové výrobě, což by bylo velice nákladné.

Z těchto důvodů bude moje práce směřovat do oblasti vývoje, materiálů a výroby plošných spojů a to zejména vícevrstvých desek. Konkrétně se chci zabývat výrobou desetivrstvého plošného spoje na nějž jsou kladeny vysoké technologické nároky. U této výroby jsem byl osobně přítomen při odborné praxi ve firmě PCB Benešov. Prošel jsem celým výrobním procesem s konkrétní zakázkou od firmy Unicontrols, která si zde nechala vyrobit desetivrstvý plošný spoj. Na této zakázce jsem se podílel i aktivním pracovním nasazením. Z toho důvodu mi přišlo přirozené předat dál své zkušenosti z technologií výroby takto náročného spoje.

Cílem mé práce je provést čtenáře moderní výrobou desetivrstvého plošného spoje, tak aby tento materiál mohl sloužit jako případný učební text nebo jako dokument z něhož by bylo možné čerpat informace o této technologii. Kladem práce je fakt, že popisuje postup při realizaci konkrétní zakázky od zadání až po finální výrobek.

I. Teoretická část

2 Vývoj a význam plošných spojů

Vývoj desek plošných spojů je možná delší než by se na první pohled mohlo zdát. Již v padesátých letech devatenáctého století se objevují první prkénka, na kterých byly připevněny historicky první součástky. Vodivé propojení zajišťovaly kovové pásky nebo drátky. Časem byly kovové pásky nahrazeny vodiči připevněnými na šroubové vývody součástek a dřevěné desky nahradila kovová šasi. Dokud bylo součástek málo byly veliké, tak tato technologie postačovala. Ovšem technický pokrok nešel zastavit a proces minimalizace součástek byl již nastartován a bylo třeba vyvinout technologii, která by umožňovala sériovou výrobu. [1]

2.1 Vývoj sériové výroby

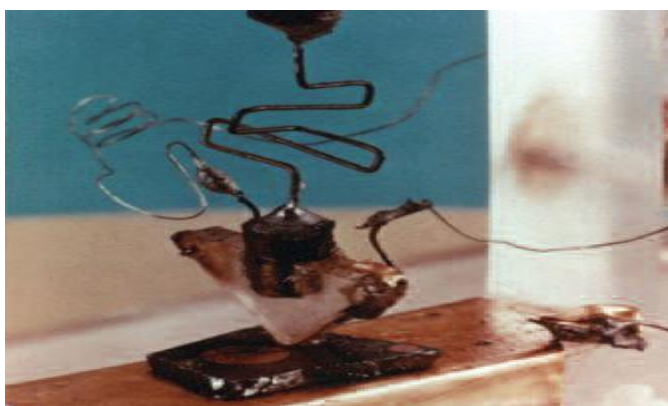
Skutečná historie plošných spojů, tak jak jí chápeme v dnešním slova smyslu se začala psát ve třicátých letech dvacátého století. Kdy v roce 1925 si nechal Charles Ducas patentovat metodu tisku vodivého materiálu na izolační podložku pomocí standardní tiskové planžety. Z této doby také pochází i název tištěné spoje neboli „tišťáky“. Dnes jim lépe sluší jméno leptané spoje nebo plošné spoje někdy se můžeme setkat i s názvy jako PCB (Printed Circuit Boards), PWB (Printed Wiring Boards).

Po pokusech z třicátých let byla první technologie leptání měděné folie použita v sériové výrobě a patentována v roce 1943, kdy Paul Eisler představil první výrobek a bylo to kupodivu rádio. Objevil se tak výrobek, ve kterém se objevila deska s plošnými spoji v takovém provedení, jaké známe dnes. [1]



Obr. 1: První deska s plošnými spoji. [1]

Zásadní zlom však přišel v roce 1947, kdy v Bellových laboratořích byl vyroben tranzistor. Dokud každá součástka měla své samostatné pouzdro, dokud se velikost tranzistorů počítala v centimetrech a jedno pouzdro obsahovalo pouze jeden tranzistor držely plošné spoje s vývojem elektroniky krok a jedna strana pro vodiče byla postačující, když se nepovedlo vše propojit pod součástkami, těch pár propojek se ještě sneslo. V té době bylo také možné ještě říci, co je strana spojů a co strana součástek. Ovšem tranzistory se začaly dramaticky zmenšovat. Velikost se již nepočítala v centimetrech na jeden tranzistor ale v mocninách desítky na jeden čtvereční milimetr. Tím pádem začaly vznikat první integrované obvody. [1]



Obr. 2: První tranzistor. [1]

První integrovaný obvod byl představen v roce 1957 Jackem Kilby z firmy Texas Instrument. Je zřejmé, že takovéto obvody přestaly být na jedné vrstvě propojitelné a ani výpomoc drátových propojek již nestačila. Teoreticky bylo samozřejmě možné vytvořit vodiče i na druhé straně pod součástkami, ovšem problém byl jak obě dvě vrstvy navzájem propojit. Objevily se technologie připájených drátků, pasty natlačené do otvorů, ovšem krom značné pracnosti byl jednou z vad i fakt, že takový prokov zaplnil otvor a do něho už nebylo možné vsunout součástkový vývod. [1]

V roce 1961 však byla americkou firmou Hazeltine patentována metoda prokovení otvorů, čímž začala nová éra desek plošných spojů. Součástky na stále menší ploše obsahovaly stále více tranzistorů a tyto tranzistory bylo nutno připojit k dalším podobně se rozvíjejícím součástkám. Propojitelnost rostoucího počtu vývodů na stále menší ploše mohl zajistit pouze další technologický skok, technologie vícevrstevných plošných spojů. [1]

2.2 Vývoj a charakteristické vlastnosti vícevrstvých spojů

Když na první pohled uvidíme vícevrstvou desku tak se nám naskytne otázka, kde jsou ty vrstvy a jak se liší tato deska například od oboustranné desky? Desku vícevrstvého spoje netvoří jen jedna izolační deska ze skelného laminátu se dvěma vnějšími vodivými vrstvami, nýbrž obrazně řečeno je tvořena jakýmsi sandwichem střídajících se vrstev. Můžeme si jí představit jako několik dvouvrstvých desek oddělených od sebe izolačním materiálem tzv. výztuž (preg, lepicí list) a za působení tepla slisovaných do jedné desky. Otvory pro součástky či prokovy se vrtají až nakonec a při prokovování stěny otvoru dojde k vodivému propojení i těch částí motivu vnitřních vrstev, které se dotýkají vyvrtaného otvoru. [1]

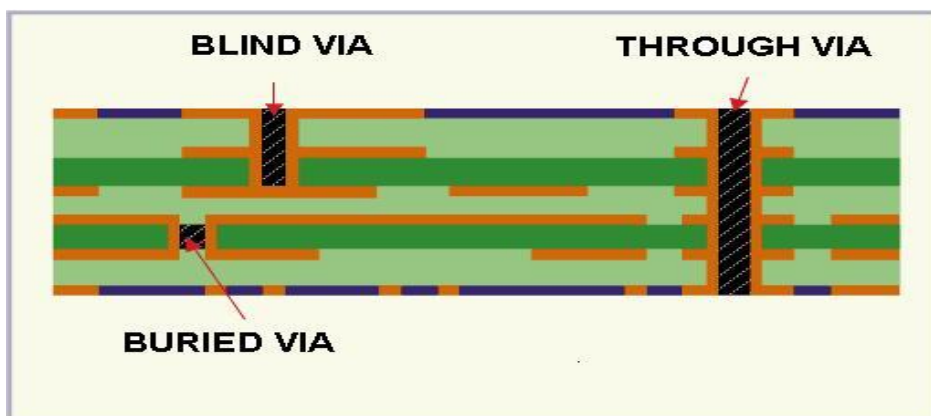
Brzy však došlo k situaci, že plocha čipu vůči velikosti celé součástky byla v obrovském nepoměru například integrovaný obvod 7404 v pouzdře DIL14 při rozměrech 19 x 7 milimetrů uvnitř skrývá čip o rozměrech pouhých 1,5 x 1,5 milimetrů. Rozhodujícím parametrem tohoto nepoměru byly součástkové vývody a možnost jejich připájení. Pro připojení jediného vývodu bylo nutné vyrobít otvor o průměru minimálně 0,5 mm (po prokovení většinou ještě větší) s pájecí ploškou o průměru přibližně 0,5 mm větším než je velikost otvoru, přičemž tyto otvory procházely celou deskou napříč, přes všechny vnitřní vrstvy. To vše pouze pro připojení jediné nožičky obvodu na jediný vodič v té době o šířce kolem 300 μm . [1]

2.2.1 Vznik SMT technologií

Prvním krokem k nápravě byla výměna pájecích vývodů. Uvedené plošky byly nahrazeny pájecí ploškou pouze na jedné vnější vrstvě, na níž dosedne vývod součástky bez nutnosti vytváření otvoru. K této plošce je tedy přiveden vodič a po zapájení je vytvořeno kvalitní propojení a součástka je dostatečně přesně a spolehlivě fixována v prostoru desky. Jen tato samotná technologie povrchové montáže součástek (Surface Mounted Technology) umožnila zmenšení pouzder součástek přibližně na polovinu, navíc součástky mohou být umístěny po obou stranách desek (označení vrstvy součástek a spojů tedy vzalo za své a začalo se používat označení horní a dolní vrstva).

Druhou úsporou byl prostor uvnitř desky, který již nebyl narušován tisíci otvorů pro montáž součástek a který slouží pro propojovací vodiče. Otvory nemusely být dimenzovány podle rozměrů pájecích nožiček obvodů a začaly sloužit jen k přenesení signálu z jedné s vrstvy do jiné. Proto bylo možno zmenšovat průměry těchto průchodů až na samotné limity technologií. Tím je jednak průměr mechanicky zhotovitelného otvoru (v dnešní době až 0,05 mm) a také je to poměr průměru otvoru vůči jeho délce (tzv. aspect ratio), který ještě umožní vytvoření prokovu a ten se pohybuje v řádech 1:10. Menší průměry (tzv. microvia) se již vyrábí jinými technologiemi např. pomocí laseru. [1]

Současně se snahami o zmenšování průměru průchodů a aspect ratio se začal řešit problém jak realizovat průchod pouze mezi nezbytně nutným počtem vrstev desky; zbývající vrstvy mohou obsahovat jiné vodiče případně i průchody. Průchody, které vedou z povrchu desky do některé z vnitřních vrstev se označují jako slepé průchody (Blind via), průchody, které realizují přenos signálu pouze mezi vnitřními vrstvami, jsou označovány jako ztracené průchody (Buried via). Pomocí uvedených technologií bylo možné ušetřit místo uvnitř vícevrstvých desek. [1]



Obr. 3: Druhy propojovacích technologií vícevrstvých spojů. [14]

Vzhledem k povaze přenášených signálů, tedy přenášeným frekvencím, strmosti náběžných a závěrných hran, přestává být DPS pouhým propojovacím elementem. Stále více se její vlastnosti a kvalita promítají i do přeneseného signálu a tak se vlastně DPS stává dalším aktivním prvkem elektronického zařízení. [1]

3 Základní materiály pro výrobu DPS

Základní materiál (substrát, nosná podložka) je tvořen dielektrickým materiálem nebo izolovaným kovovým jádrem a je jednou z hlavních složek desek plošných spojů. Na základní materiál bývá nanesen vodivý motiv, který je chráněn nepájivou maskou. Základní materiál dále slouží k montáži elektrických součástí a mechanických prvků. Dělí se na organické, anorganické, příp. kombinované báze (organický substrát s kovovým vyztuženým jádrem). [2]

3.1 Organické základní materiály

Skládají se z organických pryskyřic a výztuže (příp. bez výztuže). Na základní materiál je naplátována měděná fólie, na které je zhotoven vodivý motiv. Zhotovení vodivého motivu na základní materiál lze realizovat i bez měděné fólie pomocí speciálních složek umožňující aditivní procesy. [2]

Základní materiály dělíme podle tuhosti na ohebné a neohebné. Ohebné materiály používají jako pojivo termoplasty, u neohebných materiálů jsou používány termosety (epoxydy).

Výztuž – určuje mechanické vlastnosti DPS (pevnost v tlaku, tahu, ohybu), rozměrovou stálost v daném teplotním rozsahu, výrazně ovlivňuje elektrické, chemické teplotní charakteristiky. Výztuž tvoří kostru laminátu a ovlivňuje vyrobiteľnost a výslednou spolehlivost DPS.

Druhy výztuže:

- Skleněné vlákno – skleněná tkanina, skleněná rohož
- Tvrzený papír
- Aramidové vlákno

Pojivo – zrovnoměňuje působení vnějších vlivů na výztuž, chrání jí před mechanickým poškozením a chemikáliemi. Pojivo je vyrobeno na polymerní bázi. Pojivo musí vyhovovat dielektrickým požadavkům s malou hodnotou relativní permitivity a ztrátového činitele. Dále musí mít dobré tepelné, chemické a mechanické vlastnosti. [2]

3.1.1 Neohebné základní materiály

a) Fenolformaldehydová pryskyřice

Nejčastěji používanou výztuží je celulózový papír, který je naimpregnován fenolformaldehydovou pryskyřicí. U takhle naimpregnovaného papíru dojde při vytvrzení k chemické reakci, která zesílí a fixuje plnivo. Obsah pryskyřice bývá kolem 35 – 58%. S větším procentem pryskyřice se materiál stává tvrdší, ale více náchylný k praskání (křehčí). Používá se pro méně náročné aplikace (jednovrstvé DPS). Výhodou je snadné vrtání otvorů a dobrá opracovatelnost. Nevýhodou jsou horší mechanické vlastnosti a velká navlhavost. [2]

Typ:

FR2 (flame retardant) nehořlavý

b) Epoxidová pryskyřice

Její využití je pro náročnější aplikace. Oproti fenolformaldehydové pryskyřici má lepší mechanické, chemické a teplotní vlastnosti. Přidáním aditiv se zmodifikují vlastnosti epoxidové pryskyřice a dojde k zvýšení teploty skelného přechodu, sníží se teplotní součinitel délkové roztažnosti, a tím se zvýší aplikovatelnost těchto materiálů. Používá se 5 základních typů pryskyřice, které se liší jak plnivem tak i modifikací pojiva. [2]

Typ: FR3 se skládá z tvrzeného papíru a epoxidové pryskyřice.

Používá se v náročnějších aplikacích. Ve srovnání s FR2 má lepší mechanické, elektrické i tepelné vlastnosti, vyšší pevnost Cu fólie v odtrhu, menší navlhavost.

Typ: FR4 (flame retardant) se skládá ze skloepoxidového laminátu.

c) Kompozitní materiály

Kompozity jsou složené materiály představující soustavu složenou ze dvou či více materiálových složek, které se liší svými vlastnostmi. Tímto vznikne nová soustava materiálů nebo nový materiál s lepšími požadovanými vlastnostmi.

Typ: CEM-1

Tvořen dvojí výztuží, papír(jádro) a skelná tkanina (krycí vrstva).

d) Polyesterová pryskyřice

Konstantní dielektrické vlastnosti materiálu, zejména v oblasti vysokých frekvencí.

Typ: GPO kompozity

Tvořeny opět dvojí výztuží, skelnou tkaninou (jádro) a také skelnou tkaninou jako krycí vrstva.

Typ: FR6

Jádro je zhotoveno ze skelné rohože a jako krycí vrstva je použita polyesterová pryskyřice.

e) Polyimidová pryskyřice

Výztuž je tvořena nejčastěji skelnou tkaninou, aramidovým vláknem nebo aramidovým tkanivem. Tepelná odolnost nad 200 °C, teplota skelného přechodu Tg až 260 °C. Minimální délková roztažnost do teplot dosahujících 300 °C. Materiál má vyšší navlhavost, naopak lepší mechanické vlastnosti v rozsahu teplot 150 °C a s tím spojenou lepší přilnavost. Výhodou je že nedochází k delaminaci při vyšších teplotách, při vrtání otvorů nedochází k otřepům. Materiál má poměrně vysokou cenu. [2]

f) Polytetrafluoretylen (PTFE)

Vysoce odolný polymer. Při výrobě desek plošných spojů je jako výztuž používána skelná tkanina nebo skelné vlákno. Odolává teplotám v rozmezí -260 °C až 200 °C, má vynikající chemickou odolnost. Vysoká rezistentnost proti kyselinám, zásadám, solím a rozpouštědlům i za zvýšených teplot. Snížení chemické odolnosti se projeví pouze v případě úmyslného zavedení příměsí (např. grafit, sklo). Výborné elektrické i dielektrické vlastnosti, téměř nulová nasákavost vodou. Lze jej používat i při vysokých frekvencích až do 10 GHz. [2]

g) Bismaleinimidová pryskyřice (BT)

Jako výztuž je zde opět použita skelná tkanina nebo skelné vlákno. Vyznačuje se vynikajícími elektrickými a dielektrickými vlastnostmi a malou permitivitou. Vyšší tepelná odolnost vzdoruje teplotám nad 200 °C. Vhodná pro výrobu vícevrstvých desek plošných spojů a pro výrobu desek pracujících na vyšších frekvencích. [2]

h) Kyanátesterová pryskyřice (CE)

K výztuži je používáno tzv. E-sklo i aramidová vlákna. Kyanátesterová pryskyřice ve složení s aramidovým vláknem je často používaná jako náhrada za polytetrafluoretylen (PTFE). Aramidová výztuž je vhodná pro zhotovení otvorů pomocí plazmy nebo laseru u vícevrstvých desek plošných spojů. Má vysokou tepelnou odolnost a výborné dielektrické a elektrické vlastnosti. [2]

3.1.2 Ohebné základní materiály

Ohebné materiály jsou vyráběny bez výztuže, které díky použitému materiálu a absenci výztuže získají flexibilitu. Jako základní složky jsou používány materiály na bázi polyesterů a polyamidů, výjimečně jsou použity kompozitní materiály na bázi epoxidů.

Pro novodobé aplikace se nejčastěji používá polyamidový základní materiál, na kterém je naplátována měděná fólie. Tohle složení se využívá pro TAB aplikace, vícevrstvé flexibilní DPS, HDI aplikace i pro BGA substráty. [2]

a) Polyetyléntereftalát (PET)

Základem je polyetyléntereftalátová fólie, na kterou je nalaminována měděná fólie. Používá se v membránových spínačích, fóliových klávesnicích, dotykových displejích. Nevýhodou je malá tepelná odolnost dosahující maximálně 115 °C při trvalém pracovním nasazení.

b) Polyetylénnaftalát (PEN)

Základní materiál je tvořen na bázi polyetylénnaftalátové fólie, na který se opět nalaminuje měděná fólie. Použití materiálu PEN je stejné jako u předchozího materiálu PET. Jeho hlavní výhodou oproti materiálu PET je větší tepelná odolnost.

c) Polyimid (PI)

Základní materiál se skládá z polyamidové fólie a měděné fólie nalaminované na akrylátový film. Vyznačuje se vysokou tepelnou odolností, v interní atmosféře až do 500 °C, trvalé teploty kolem 300 °C . Je mrazuvzdorný do -269 °C. Výrobní název nejznámějšího druhu je kapton. Odolává většině chemikálií, odolnost proti většině druhů záření, neodolává v zásaditém prostředí. Nevýhodou je vyšší navlhavost. Lze jej opracovat chemickým frézováním. [2]

3.2 Anorganické základní materiály

Anorganické materiály (substráty) jsou elektroizolační keramické materiály, které ve srovnání s organickými materiály mají mnohem lepší elektrickou vodivost, dobrou chemickou odolnost nebo malou teplotní roztažnost. Naproti tomu mají vyšší pořizovací cenu, větší hmotnost, křehkost a některé keramiky jsou dokonce i toxické. [3]

Mezi základní anorganické materiály patří:

a) Korundový substrát

Základem je polykrystalický oxid hlinitý, pro dosažení optimálních fyzických vlastností je třeba přidat malé množství kovových oxidů. Tyto materiály se používají ve velké míře, hlavně v multičipových modulech. Nevýhodou je jejich rozměrová limitace a křehkost.

b) Beryliový substrát

Základem je polykrystalický oxid berylnatý s malým množstvím kovových oxidů. Oproti korundové keramice má tento materiál výrazně větší vodivost.

c) **Mezi další anorganické materiály patří:** Odvrstvené kovové jádro, křemenné a skleněné substráty, feritový substrát. [3]

3.3 Vlastnosti neohebného materiálu FR4 (flame retardant)

Materiál FR4 je nejpoužívanější materiál v dnešní výrobě plošných spojů. Proto jsou zde hlouběji uvedeny jeho vlastnosti. Konkrétně typ FR4 bude tvořit základ pro výrobu desetivrstvého plošného spoje o jehož výrobě bude pojednávat praktická část této práce.

Materiál se skládá z jednotlivých skleněných vláken, která jsou stáčena do svazků (nití), jež se pak spřádají do textilie. Nejobvyklejší textilie používá 408 vláken o průměru 9,6 μm , stáčených každých 5 cm. Hustota osnovy (běžící ve směru textilie) je 17 nití na cm, zatímco hustota útku (napříč textilií) je 13 nití na cm. [4]

Výztuž je tvořena pomocí skelné tkaniny, která je impregnována epoxidovou pryskyřicí rozpuštěnou pomocí rozpouštědel. V nevytvrzeném stavu je výztuž nazývána prepreg (lepící list). Po vysušení lze základní materiál dále opracovat (řezat, brousit). Řez materiálem se provádí pod úhlem 45° ve směru materiálu, z důvodu zrnitosti tkaniny ve směru řezu, díky čemuž lze omezit deformace. Materiál FR4 může být složen až z několika vrstev, které jsou laminovány s Cu fólií. Laminace probíhá ve vakuu za působení tepla a tlaku, při kterém díky přidaným katalyzátorům v pryskyřici dojde k jejímu vytvrzení. Základní materiál s označením FR4 je v současné době nejvíce používaným materiálem k výrobě desek plošných spojů. I přes velkou použitelnost má materiál své výhody i nevýhody. [4]

Výhody:

Výborné mechanické vlastnosti díky použitému materiálu (sklotextil), pryskyřice drží celou desku pohromadě a je velice odolná. Lze jej jen těžko zničit, vyjma některých kyselin a vysoké teploty. Snadno vyrobitelné ve velkých sériích. Dobré dielektrické vlastnosti díky pryskyřici. Výborně se materiál brání proti nasáknutí.

Nevýhody:

Horší mechanické opracování. Při vrtání otvorů dochází k tření díky němuž se taví epoxid a ten je dále rozmazáván po odhalené měděné ploše. To má za následek špatné vlastnosti při prokovování otvorů. K odstranění tohoto problému výrobci používají různá čisticí média, která stojí určité náklady a zvyšují tak cenu materiálu.

Teplota skelného přechodu T_g se pohybuje okolo 120 °C až 160 °C, což ovlivňuje měknutí pryskyřice působením tepla na DPS při procesu pájení a možné narušení inherentními mechanickými deformačními silami. Mohou vzniknout problémy s různými koeficienty délkové roztažnosti základního materiálu, měděných spojů a součástek při změnách teploty. Důsledkem je narušení měděných vodičů, vodivých spojů (jejich praskání, přerušování). Při mechanickém opracování (vrtání, řezání, obrábění) skelného materiálu s pryskyřicí vzniká pryskyřiční prach a skelné částice, které mohou způsobovat zdravotní potíže zaměstnancům ve výrobě. Cena je dvakrát vyšší než u FR2. [4]

Tab. 1: Vybrané elektrické vlastnosti základního materiálu FR4. [4]

Povrchová rezistivita po vlhkém teple v klimatické komoře.	$\geq 10000 \text{ M}\Omega$
Povrchová rezistivita	$\geq 50000 \text{ M}\Omega$
Vnitřní rezistivita po vlhkém teple v klimatické komoře.	$\geq 5000 \text{ M}\Omega$
Relativní permitivita	$\leq 5,4$
Ztrátový činitel po vlhkém teple a zotavení	$\leq 0,035$
Elektrická pevnost (tloušťka menší než 0,5 mm)	$\geq 30 \text{ kV/mm}$
Odolnost vůči oblouku	$\geq 60 \text{ s}$
Dielektrický průraz (větší nebo rovnající se tloušťce 0,5 mm)	$\geq 40 \text{ kV}$
Povrchová rezistivita při 125°C	$\geq 1000 \text{ M}\Omega$
Vnitřní rezistivita při 125 °C	$\geq 1000 \text{ M}\Omega$

3.3.1 Vybrané metody testování základního materiálu FR4

Hořlavost, zkouška vertikálního hoření neohebných materiálů

Tato zkouška by se měla používat pro materiály s dobrou odolností vznícení. Zkouška se provádí při použití malého zkušebního plamene, jehož intenzita se podobá intenzitě skutečného zdroje ohně. Při testování musí být zajištěna klimatizovaná místnost proti průvanu a také filtrace vzniklého dýmu. Jako zdroj vznícení je použit modrý plamen vytvářený laboratorním hořákem. Ke vzniku plamene se používá technický metan nebo lze použít i zemní plyn. Testuje se minimálně 10 vzorků stejného materiálu.[5]

Tab. 2: Hoření základního materiálu FR4. [4]

	FV-0	FV-1
Doba hoření po vzniku plamene pro každý zkoušený vzorek	≤ 10 s	≤ 30 s
Celková doba hoření po 10 násobném zapálení pro zkoušených vzorků	≤ 50 s	≤ 250 s
Doba hoření po druhém uhašení plamene	≤ 30 s	≤ 60 s

Odolnost vůči oblouku

Tato metoda popisuje schopnost materiálu odolávat plazivému výboji při působení vysokonapěťového nízkoproudového oblouku nad povrchem izolačního materiálu. K testování se používá soustava elektrod z wolframové oceli, vodní lázeň na udržování teploty, zařízení na měření odolnosti vůči oblouku.[5]

Izolační odpor materiálů desek s plošnými spoji

Zkušební metoda pokrývá postup pro stanovení izolačního odporu, což obsahuje objemový odpor a povrchový odpor kovem plátovaných základních materiálů. Používá se zkoušeč průrazu vysokým napětím (alespoň 50 kV) s mezním proudem 5 A v celém napěťovém rozsahu s motorizovaným napětím, které umožňuje zvyšování napětí s rychlostí V/s. Dále se používá olejová nádrž s izolačním olejem, vodní lázeň s konstantní teplotou a elektrodový systém.[5]

3.4 Měděná fólie

Fólie na níž je nanesen výsledný motiv desky pro elektrické signály. Plátuje se na jednu nebo na obě strany základního materiálu. Od toho je název jednostranně nebo oboustranně plátovaný materiál. Její výroba probíhá na nerezových bubnech pomocí elektrolýzy. Strana v kontaktu s bubnem je hladká a lesklá. Druhá strana je matná a zrnitá.[6]

3.4.1 Hlavní kritéria měděné fólie

Tloušťka fólie

Udává se v mikrometrech (μm) nebo v millech (mill). Standardní fólie mají většinou tloušťky (18 μm , 35 μm , 70 μm , 105 μm , 140 μm a 350 μm). Ultratenké fólie bývají od 5 do 9 μm . [6]

Obsah mědi

Obsah mědi je minimálně 99,85%, což je důležité pro dobrou vodivost a z čehož také plyne co nejnižší rezistivita. [6]

Požadavek na dobrou tažnost

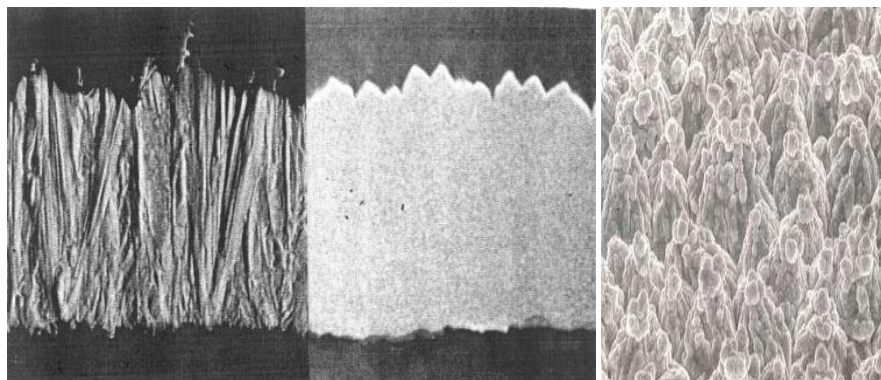
Díky tomuto kritériu se minimalizuje vznik trhlin při teplotních výkyvech, což vede ke zvýšení spolehlivosti zejména u vícevrstvých DPS. [6]

Vyšší požadavky na povrchovou úpravu pro laserové vrtání

Jedná se o zmenšení odrazivosti laserového paprsku a zabránění oxidace, která znesnadňuje laserové vrtání. [6]

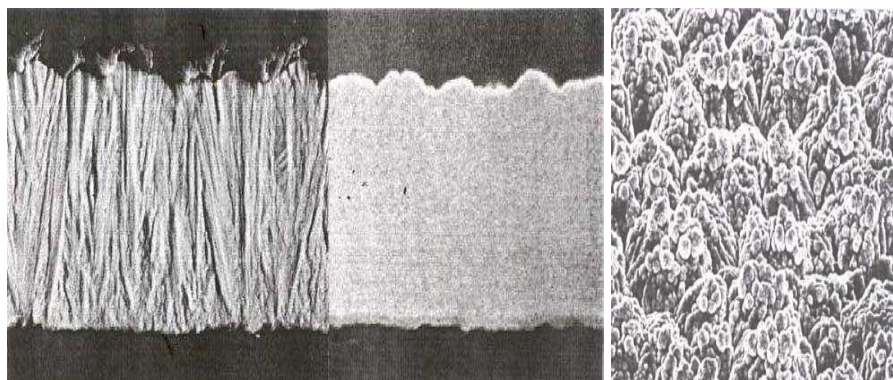
Rozdělení podle kvality mědi

a) **Grade 1** – Použití pro standardní aplikace i pro vícevrstvé neohebné desky plošných spojů. Je to nejlevnější varianta kvality mědi.



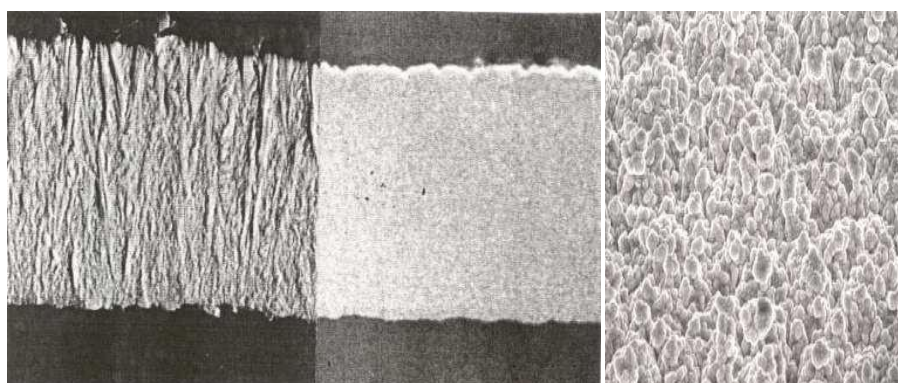
Obr. 4: Složení mědi podle kvality Grade 1. [6]

b) **Grade 2** – Vyznačuje se vysokou houževnatostí, díky které se používá u ohebných DPS. Měď v kvalitě Grade 2 je velmi drahá.



Obr. 5: Složení mědi podle kvality Grade 2. [6]

c) **Grade 3** – Využívá se pro vnitřní vrstvy u vícevrstvých desek, díky své výborné odolnosti proti praskání v otvorech. Tato měď má vysokou tažnost.



Obr. 6: Složení mědi podle kvality Grade 3. [6]

3.5 Permanentní nepájivá maska

Maska je tvořena na bázi epoxidů, akrylátů. Slouží jako elektroizolační ochranná vrstva nanosená na neosazenou desku plošných spojů. Nanáší se ve stanovených tloušťkách od 12,5 μm až do 100 μm . Účelem permanentní nepájivé masky je částečná ochrana před klimatickými a chemickými vlivy (zejména vlhkosti), zabraňuje tvorbě můstků a zkratů pod nepájivou maskou, dále mezi vodiči a pájecími ploškami. Chrání vodiče, zejména tenké, před mechanickým poškozením (při opravách, manipulaci, výrobě atd.). Maska může mít různé druhy barev nejčastěji se používá zelená barva. [2]

Rozdělení permanentní nepájivé masky

a) Tekuté

Sítotiskové – nanáší se sítotiskem s motivem, vhodné pro větší série. Menší přesnost natisknutí masky daná se souhlasením sítotisku (síta a motivu).

Fotocitlivé – získá se naexponováním, vyvoláním a následným vytvrzením nanesené definované tloušťky vrstvy na desku. Nanáší se clonou, sítotiskem, elektrostaticky nebo navalováním. [2]

b) Tuhé

Tuhá fotocitlivá nepájivá maska je složena z tzv. sendvičové struktury. Jsou dražší, nanáší se laminováním ve vakuovém laminátoru, aby nevznikaly vzduchové kapsy. [2]

3.5.1 Vybrané metody testování nepájivé masky

Testování nepájivé masky se provádí v mnoha typech zkoušek, které mají za úkol zjistit technické vlastnosti masky a odhalit její nedostatky.

a) Zkouška dielektrické pevnosti

Provádí se mezi dvěma kusy zkoušeného materiálu nebo mezi jedním kusem a zemí. Zkouška je zaměřena na odolnost proti vysokému a průraznému napětí, kdy ještě nedojde k porušení izolačních vlastností masky a ke zkratu.

Jako zkušební zařízení je používána elektroda položena shora na zkoušený materiál (hotová DPS) a položená na uzemněnou podložku. Velikost napětí se volí od 500 V DC až do velikosti 10000 V DC. [7]

b) Zkouška proti plísním, vlhkosti, minerálům a solím

Odolnost proti plísním a vlhkosti je testována při teplotě 36 °C a 95 % relativní vlhkosti cirkulace vzduchu okolo testovaného vzorku. Ve zkoušeném prostředí komory nesmi docházet ke kondenzaci a následnému odkapávání vodních kapek na testovaný vzorek. K tomuto testu jsou používány zařízení jako je sterilizátor, pH metr, inkubátor, myčka atd. [7]

II. Praktická část

4 Výroba plošného spoje - Přípravná část

V této části absolventské práce se budu prakticky zabývat přípravou výroby desetivrstvého plošného spoje. V průběhu odborné praxe ve firmě PCB Benešov jsem řešil konkrétní zakázku od firmy Unicontrols. Firma si nechala vyrobit desetivrstvý plošný spoj pod názvem Planární trafo DS1698B.1. Na tomto výrobku jsem se snažil pracovat, tak abych splnil všechny požadavky zákazníka. Výsledkem mé práce bylo stanovení technologického řádu pro výrobu zakázky v návaznosti na výrobní možnosti firmy.

4.1 Požadavky zákazníka

a) Typ plošného spoje

Zákazník požaduje vyrobit vícevrstvý plošný spoj obsahující deset vrstev. Vzor objednávky. Viz Příloha 1.

b) Základní materiál

Jako základní materiál bude použit typ FR4 (flame retardant). Výsledná tloušťka materiálu bude 2,50 mm. Síla měděné fólie je stanovena 70 μm .

c) Rozměr plošného spoje

Výsledný požadovaný rozměr jednoho kusu je 45,21 mm x 15,75 mm. Počet kusů je 35. Zákazník požaduje dodat jednotlivé frézované kusy bez panelu.

d) Otvory a šíře spojů

Počet otvorů na jednom panelu po 35 ks bude 525. Nejmenší vrtaný otvor bude 0,80 mm. Všechny otvory budou prokovené.

Minimální šířka spoje bude 0,2 mm, minimální izolační mezera 0,2 mm, minimální šíře mezikružích u vrtaných otvorů 0,2 mm.

e) Povrchové úpravy

Zákazník si přeje na měděné plošky spojů u vyvrtaných otvorů nanést slitinu cínu a niklu tzv. halování.

Dále povrch bude obsahovat permanentní nepájivou masku zelené barvy. Masku bude nanášena jak ze strany pájení tak ze strany součástek.

Další významnou úpravou je potisk desky, který bude pouze ze strany součástek. Potisk bude nanášen pomocí datového potiskového zařízení.

f) Kontrola a dodatečné operace

Zákazník požaduje elektrický test a laserové značení kusů s uvedením týdne a rok výroby.

g) Frézování

Frézovat se bude jednak na požadovaný čistý rozměr viz. c). Speciální požadavek zákazníka pro frézování je, že uprostřed každého kusu bude výřez o rozměrech 16,51 mm x 5,33 mm.

h) Elektronické podklady pro výrobu

Zákazník dodá:

- Elektronická data pro NC vrtačku ve formátu EXCELON s tabulkou průměrů otvorů.
- Data pro přípravu filmových předloh motivů plošných spojů ve formátu GERBER.
- Soubor s obrysem desky ve formátu GERBER, není-li v datech pro filmové předlohy.

4.2 Technologické možnosti firmy

V této podkapitole si ověříme možnosti naší firmy, jestli jsme schopni splnit požadavky zákazníka.

a) Typ plošného spoje

Nejnovější technologické vybavení pro výrobu vícevrstevných plošných spojů firmě umožňuje vyrobit až dvanáctivrstvý plošný spoj. Z tohoto hlediska jsme schopni vyhovět zákazníkovi.

b) Základní materiál

U vícevrstvých spojů můžeme vyrobit desku o maximální tloušťce 3,6 mm. Tloušťky měděných fólií jsou od 18 do 140 μm . [8] Z tohoto hlediska jsme schopni vyhovět zákazníkovi.

c) Rozměr plošného spoje

Tento požadavek je splnitelný. Všechny 35 kusů se vyrobí na jednom panelu. Jednotlivé kusy se z panelu odfrézují na požadovaný rozměr a dodají se bez panelu z dle přání zákazníka.

d) Otvory a šíře spojů

K celkovému počtu otvorů, kterých je tedy 525, přiřazuje firma 19 pomocných otvorů. Jestliže je nejmenší vrtaný otvor 0,80 mm, automaticky se počítá s tím, že výsledný prokovený otvor je 0,70 mm. S toho vyplývá že průměry všech otvorů jsou po prokovení o 0,1 mm užší.

Podle min. šíře vodice, izolační mezery, min. průměru vrtáku, které požaduje zákazník určíme konstrukční třídu vyráběného plošného spoje. Jak je patrné z tabulky pod textem, zařazujeme výrobek do konstrukční třídy 5.

Tab. 3: Parametry firmy pro určování konstrukčních tříd. [8]

Parametr	Konstrukční třída				
	4	5	6	7	8
	mm				
Min. šíře vodice / izolační mezery / mezikruží	0,3	0,2	0,15	0,125	0,1
Min. rozdíl ploška - vrták	0,6	0,4	0,3	0,25	0,2
Min. průměr vrtáku	0,8	0,5	0,3	0,25	0,2
Izolační vzdálenost prok. otvoru od motivu ve VV	0,3	0,3	0,25	0,25	0,2

e) Povrchové úpravy

Zákazník si zvolil jako povrchovou úpravu měděných plošek systém halování. Firma může nabídnout kvalitnější povrchové úpravy jako imersní cínování, imersní zlacení, celoplošné galvanické zlacení. Po diskuzi se zákazníkem jsme nakonec zůstali u systému halování, což je podle mého názoru škoda. Námí navrhované povrchové úpravy jsou sice dražší ale mají mnohem lepší vodivé vlastnosti.

Pro nanesení permanentní nepajivé masky zelené barvy musí být maximální šíře panelu maximálně 400 mm. [8] Náš panel však tuto šířku nepřesáhne.

Z datovým nanášením potisku desky firma nemá problém. Spíše bych zákazníkovi doporučil nanášení potisku pomocí sítotisku. Tato metoda je sice technologicky náročnější ale potisk bývá kvalitnější.

f) Kontrola

Od konstrukční třídy 5 automaticky kontrolujeme desky pomocí optických a elektrických testerů. Firma nedávno pořídila laser pro značení plošných spojů, tudíž požadavek na označení data výroby akceptujeme.

g) Frézování

Při frézování nejprve do jednotlivých kusů vyfrézujeme požadované výřezy a dále bude následovat frézování čistého rozměru.

h) Elektronické podklady pro výrobu

Všechny elektronické podklady zaslané zákazníkem budeme zpracovávat v technické přípravě výroby.

Zhodnocení

Porovnáním požadavků zákazníka s možnostmi firmy jsem došel k závěru, že firma je schopna vyrobit tento plošný spoj a to v některých případech máme i technologické rezervy.

4.3 Technická příprava výroby

V technické přípravě výroby zpracováváme elektronické podklady zasláné zákazníkem. Nejprve optimalizujeme vrtací data ve formátu EXELON, GERBER data pro frézování, data pro přípravu filmových předloh motivů plošných spojů ve formátu GERBER, vytváření dat pro optický a elektrický test. Pro práci s těmito daty využijí program pro přípravu výroby plošných spojů CAM350 V6.0.

První operaci v programu, bez níž nemůžeme začít pracovat se zaslánými daty je stanovení základního rozměru panelu. Toto provedeme u všech zasláných dat. Po zadání rozměrů jednoho kusu a podle celkového množství kusů program vygeneruje optimální rozměr panelu pro výrobu tzv. hrubý rozměr, který je 381 mm x 279,40 mm.

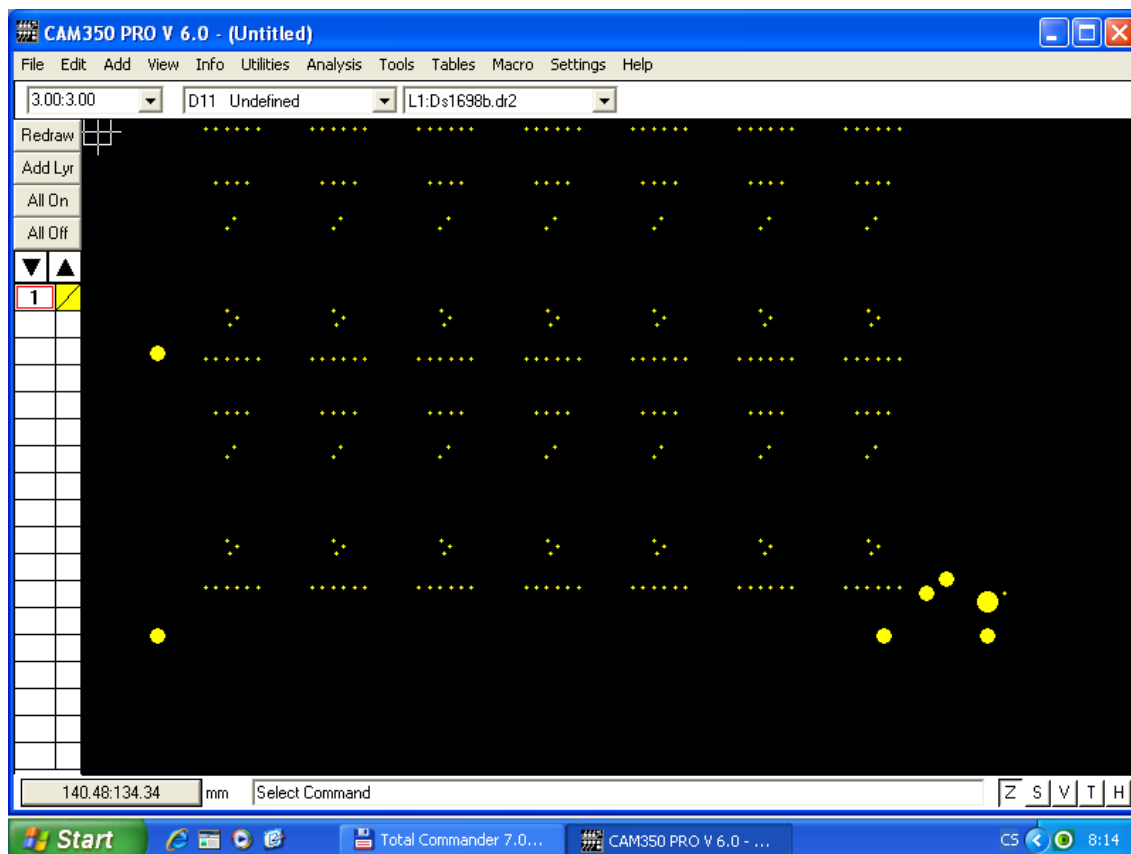
4.3.1 Zpracování vrtacích dat

Ke zpracování vrtacích dat ve formátu EXCELON potřebujeme program CAM. Pomocí něhož nejprve prohlédneme vrtací data zasláná zákazníkem a určíme si formát dat. Máme na výběr z těchto formátů (Metric, Such, Lz), my použijeme formát Metric.

Z vrtacích dat vytvořím výkres podle něhož bude obsluha CNC vrtačky kontrolovat správnost vrtání. Nejprve jsem provedl kontrolu průměrů vrtacích otvorů a do tabulky pod výkres jsem k nim přiřadil vrtáky o příslušných průměrech. Do výkresu jsem dopracoval zbylých 19 otvorů podle nichž se usazují vnější filmové motivy na desku. Nakonec musíme výkres okótovat. Viz. Příloha 2.

Na základě výkresu je vygenerován vrtací program. Je důležité kontrolovat pořadí vrtáků v programu dle velikosti od T1 do TN. Než pošleme vrtací program po podnikové síti na CNC vrtačku musíme ho pojmenovat např. DS1698B a uložit jako soubor DRL 2 pro vícevrstvé plošné spoje.

Pak řeším podle průměrů vrtáků, kolik panelů v jednom balení mohou vrtat. Budeme vrtat pouze jeden panel v jednom balení.



Obr. 7: Práce na vrtacím výkresu v programu CAM 350 V 6.0.

4.3.2 Zpracování frézovacích dat

Pro vytvoření frézovacího programu je třeba mít k dispozici okótovaný výkres tvaru v GERBER datech. Následně jsem provedl kontrolu správnosti rozměrů vnějších a vnitřních obvodů. Přiřadil jsem do tabulky pod výkres průměry nástrojů, které budou frézovat finální tvar výrobku. Vnitřní obvody se frézují frézou označenou jako T1 o průměru 1,20 mm a vnější obvody T2 - 2,40 mm. Viz. Příloha 3.

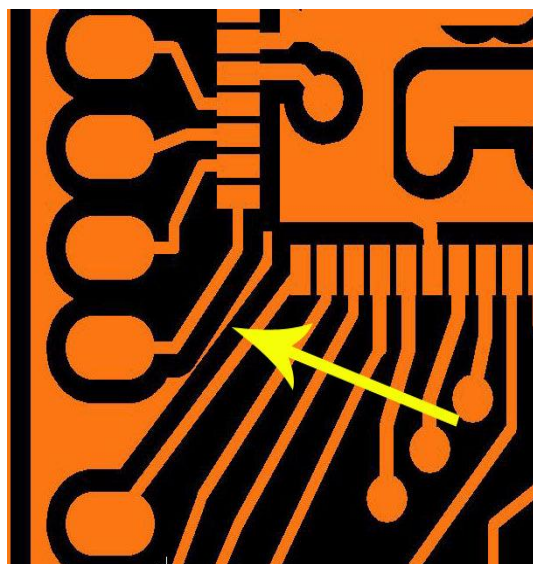
Dále následuje fáze vytvoření frézovacího programu. Pro kvalitu frézování jsem do programu nastavil, aby se vnější obvody frézovaly proti směru hodinových ručiček a vnitřní obvody naopak. Nejdříve se budou frézovat všechny vnitřní výřezy a po té vnější finální obvody. Na konci každého programovacího bloku je nutné zadat příkaz pro vyjetí stolu z důvodu odebrání jednak odpadů u vnitřního frézování a vyfrézované destičky u vnějšího frézování. Program pojmenujeme DS1698B a označíme jako soubor FR pro frézování a pošleme jej po podnikové síti pracovníkovi na CNC frézku.

4.3.3 Příprava filmových dat

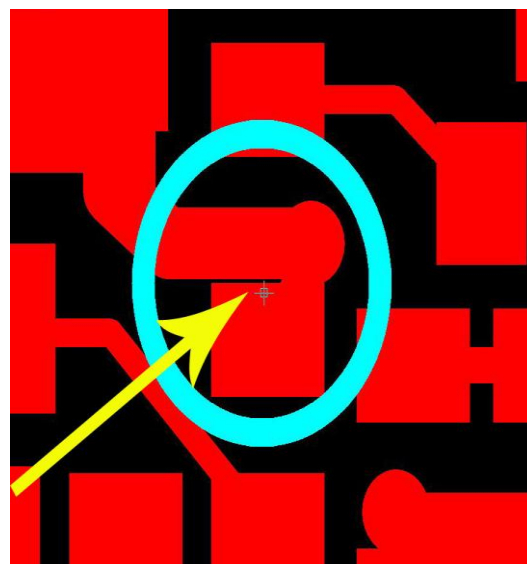
V tomto oddělení jsem pracoval na přípravě dat pro motivy vnitřních a vnějších vrstev vyráběného plošného spoje. A dále jsem se zabýval výrobou filmů s těmito motivy.

K přípravě filmových dat potřebujeme kompletní GERBER data s motivy vrstev. Nejprve jsem nastavil formát LZ používající se pro výrobu filmových dat a formát TZ pro datový potisk. Pro načtení dat je nutné zkontrolovat:

- Způsob zakreslení plošek (čára, flash, poligon).
- Minimální šířka a výška písma v mm.
- Minimální šířka spojů a izolačních mezer.
- Minimální vzdálenost mezi ploškami a zbytečné rozlití Cu v blízkosti plošek.
- U potisku min. a max. šířka čáry, zda potisk nezasahuje do pájecích obvodů.
- Všechny vnitřní vrstvy musí mít vyznačeny terčíky pro nulové body panelu a jejich registrační značky potřebné při vrtání a frézování .
- Zda jsou všechny spoje ukončené pájecí ploškou.
- Minimální vzdálenost motivu od hrany desky.



Obr. 8: Zbytečné rozlití mědi v blízkosti spoje.[8]



Obr. 9: Nedodržení izolační mezery.[8]

Všechny vrstvy je třeba označit popisem a barevně odlišit :

- Vnější vrstvy: A - BOT, Z -TOP, Pro výrobu je nutné spočítat plochu měděného motivu vnějších vrstev. $A = 1,16 \text{ dm}^2$, $Z = 1,17 \text{ dm}^2$
- Vnitřní vrstvy: BC, DE, FG, HI, již z rozložení těchto vrstev je patrné, že se panel bude vyrábět ze čtyř desek každá deska obsahuje dvě vrstvy.
- Nepájivé masky: MA, MZ
- Potisk: PZ, pouze ze strany Z



Obr. 10: Práce na skládání jednotlivých vrstev v programu CAM 350 V 6.0.

Po splnění všech těchto parametrů a kontrole jejich správnosti jsem takto zpracované a označené vnitřní a vnější vrstvy elektronicky poslal ve formátu LZ na zařízení plotr pro vyvolávání stříbrných filmů (černých filmů). Zpracovaná data ve formátu TZ pro potisk byla poslána na datové potiskové zařízení.

Pomocí plotru jsem vyvolal dvanáct filmů potřebných pro exponování motivů na Cu desky. Všechny tyto filmy jsou černé filmy tzn. pozitivní, které se používají k exponování vnitřních motivů a nepájivých masek. Tyto filmy jsou náchylné na změnu vlhkosti. Potřebujeme ale i vnější motivy, které se musí svítit jako negativní. Pro zhotovení negativních motivů se používají diazo filmy „žluťáky“. Filmy se exponují přes originální černý film a následně jsou vyvolány v amoniakalních parách. U diazo filmů je nutno po vytvoření nechat 2 hod odstávku před tím než se budou používat ke svícení motivů. Rozměry diazo filmů upravíme na rozměr 316 mm x 220 mm, tudíž než se budou svítit motivy vnějších vrstev, je nutné zastříhnout panel na požadovaný rozměr.

4.3.4 Příprava dat pro optický tester

Vyžaduje základní znalosti v programu CAM a probíhá ve dvou krocích:

Zpracování GERBER dat

Po načtení dat je nutné odstranit nepotřebné vrstvy jako frézování, potisk, nepájivé masky a vnější vrstvy A a Z. Pro opt. test jsou potřeba pouze vnitřní vrstvy a vrtačka ve formátu EXELON. Dále jsem provedl rotaci vrstev do správné polohy aby až se bude deska zakládat do testeru, byla vždy vodorovně.

Pojmenování a seřazení vrstev pro tester se provádí tak, aby odpovídalo označení vrstvy s pořadím vrstvy podle kterého tester testuje desky. V našem případě označení vypadá takto: B=1, C=2, D=3, E=4, F=5, G=6, H=7, I=8.

Dokončení pomocí programu CAMTEK

Zpracovaná GERBER data jsem poslal do programu opt. testeru CAMTEK kde se dokončují poslední úpravy dat před testem.

Jako první úpravu provedeme v modulu SR setup pomocí něhož nastavíme panelizaci jednotlivých vrstev a určíme plochu testování. Jedná se o stanovení kamerovacích bodů na motivech vnitřních vrstev podle nichž tester začíná s kontrolou desek. Jsou to nulové body kontrolovaných motivů.

Nastavení panelizace jsem provedl tak, že jsem použil příkaz Use pattern automation. Tím to příkazem můžeme definovat 1 bod na krajním motivu a tentýž bod na vedlejším motivu a na spodním motivu. Po spuštění příkazu Matrix se doplní panelizace na všechny motivy a tím vlastně dostáváme testovanou plochu.

Nakonec je důležité upravit data v modulu Layer setup, kde pro každou vrstvu vyplníme tyto údaje:

- Thickness: tloušťka kontrolované desky v mills. Naše vnitřní desky mají tloušťku 0,2 mm = 8 mills
- Resolution: rozlišení pro měř se zadává 0,3
- NC data: zvolit vrtací soubor: testujeme nevrtanou desku takže tento údaj nepotřebujeme.
- Inspected material: zde máme na výběr jaký materiál budeme testovat (Artwork-film, diazo-žlutý film, fotorezist, Copper-měděná deska). Samozřejmě jsem vybral Copper.
- Scan area: touto volbou definujeme prohlíženou plochu, je-li definováno v SR, je vhodné tuto plochu zvětšit než je definovaný panel.
- OK: uložíme vrstvu.

Protože naše kontrolované vrstvy mají stejný charakter, můžeme po vyplnění těchto údajů u jedné vrstvy použít modul Copy setup, čímž vyplněné údaje z jedné vrstvy nakopírujeme do ostatních vrstev. Následně jsem použil modul Output používající se na export zpracovaných dat na optický tester.

4.3.5 Příprava dat pro elektrický tester

Elektrický test provádí kontrolu vodivosti vnějších vrstev a také kontrolu vodivosti mezi jednotlivými vrstvami. Jedná se o poslední kontrolu již slaminované desky před nanesením nepájivé masky a kontrolu po procesu halování.

Příprava dat pro El. tester vyžaduje znalosti v programech CAM, Adams, ATG a probíhá ve třech krocích:

Zpracování GERBER dat

Potřebujeme gerber data všech vrstev a vrtačky ve formátu excellon. Opět musím odstranit pro test nepotřebné vrstvy (frézování, potisk, masky) Potřebuji pouze vnitřní a vnější vrstvy, vrtačku.

Kontrola všech kontaktních plošek, pomocí rozdílného zbarvení plošek i čar. Plošky a jejich masky musí být vykreslené pomocí techniky FLASH, jsou-li některé kreslené pomocí lines, provedeme je. Kontrola, zda neexistují plošky větší než 4 mm, které program nahlásí jako chybu DPS.

Opět je důležité seřazení jednotlivých vrstev tak jak na sobě budou ležet. Je to hlavně z hlediska správnosti kontroly vodivosti mezi nimi. Vrstvy se seřazují v pořadí LC-vrtačka, A=L1-vnější vrstva, B=L2-vnitřní vrstva, C=L3-vnitřní vrstva, D=L4-vnitřní vrstva, E=L5-vnitřní vrstva, F=L6-vnitřní vrstva, G=L7-vnitřní vrstva, H=L8-vnitřní vrstva, I=L9-vnitřní vrstva, Z=L10-vnější vrstva.

Dále zkontroluji vrtání, abych zjistil, které vrstvy jsou spojeny. Protože se nejedná o slepé vrtání ale o vrtání klasické, jsou tedy propojeny pomocí otvorů všechny vrstvy společně.

Úprava dat v Adams

Do programu Adams převádíme data pouze s toho důvodu, že program CAM není kompatibilní s programem ATG. Z programu Adams tedy pošleme data na konečnou úpravu v ATG

Dokončení v programu ATG

Po spuštění programu se nám otevře menu se seznamem dostupných souborů, zelené jsou již hotové, červené znamenají chybu, oranžové jsou připraveny ke zpracování. Vyberu oranžový soubor, který byl exportován z Adams, pokud načtení proběhne bez chyb, pokračuji ve zpracování.

Dalším krokem je kontrola desky, panelizace a nastavení okraje v editoru ATG – vždy manuálně. Nastavují se podle rozměrů desky po odstříhu 316 mm x 220 mm. Zde také definujeme prohlíženou plochu.

Následující tři operace program provádí automaticky a já jako přípravce výroby s programem můžu souhlasit nebo vybrat jiné možnosti:

- Select tester: Zde program vybírá na jakém testeru se kontrola bude provádět. Program nabízí tester ATG A58, s čímž souhlasím.
- Select position: Automaticky vybere pozici desky v testeru aby obsluha věděla jakou stranou desku do testeru založit. Opět souhlasím z programem.
- Select antenna: Vybírá jaký typ testu bude provádět. Máme na výběr ze dvou typů a to z kontroly kapacitní a ohmické. Program mi nabídl metodu kapacitní, která se používá většinou u vícevrstvých desek se složitými motivy, což výrazně ulehčí dobu testu. Funguje to tak, že umístíme v programu elektronické antény (kapacity) do určitých bloků na motivu a každá anténa kontroluje svůj blok. Je to mnohem rychlejší než při ohmické metodě, kdy musíme proměřit všechny cesty mezi sebou. Já však nebudu souhlasit s tím, co mi program nabízí a zvolím metodu ohmickou z důvodu toho, že náš motiv není tak složitý a je zbytečné umísťovat antény.

Následuje výběr bodů pro kameru čímž stanovíme nulové body panelu (desky) aby tester věděl, kde má začít testovat. Tyto body se nastavují po předchozí domluvě z obsluhou. Takto zpracovaná data se nikam neexportují a zůstávají v programu ATG, kde si je obsluha před kontrolou načte.

4.4 Stanovení technologického řádu

Nyní mám zpracovaná všechna data potřebná pro výrobu desetivrstvého plošného spoje. Musím navrhnout technologický řád výroby aby pracovníci na jednotlivých pracovištích věděli, jakým způsobem mají postupovat. Technologický řád jsem navrhl tímto způsobem:

Úvod

Zákazník: Unicontrols

Název plošného spoje: Plan. Trafo DS1698B.1

Typ spoje: Desetivrstvý

Číslo tech. řádu: 10234

Termín: Zpracovatelnost 10 dní.

Technické údaje potřebné pro výrobu

Základní materiál: 4 x 70/ 70/ 0,2 FR4

Hrubý rozměr: 381 mm x 279,40 mm – 1 ks

Spotřeba materiálu: 10,6 dm²

Čistý rozměr: 45,21mm x 15,75 mm

Násobnost: 35 ks

Konstrukční třída: 5

Odstřih po vrtání 316 mm x 220 mm

Cu fólie: 70

Celková tloušťka: 2,50 mm +- 0,2 mm

Vrtací soubor: DS168B

Paket vrtání: 1

Paket frézování: 1

Počet otvorů: 544, Minimální vrt. Otvor 0,80 mm

Plocha Cu A/Z (dm²): 1,16 / 1,17

Složení: A-11-BC-11-DE-11-FG-11-HI-11-Z

Postup výroby

Stříhání základního materiálu

Kartáčování

Vytvoření vnitřních motivů, Kontrola vytvořeného motivu

Leptání a stripování

Optický test

Laminace vnitřních spojů

Vrtání registračních značek

Paketování

Vrtání, Odstřih dle vrtaných značek

Chemické pokovení

Vytvoření vnějších motivů, Kontrola vytvořených motivů

Cu-Sn-galvanické pokovení

Stripování fotorezistu, Leptání, Stripování Sn

Elektrický test po stripu

Tisk nepájivé masky A, Tisk nepájivé masky Z

Potisk Z Newprint

Aktivace Cu, Hal

Elektrický test po Hal

Frézování tvaru

Laserové značení

Výstupní kontrola, Metalografický výbrus

5 Výroba plošného spoje – výrobní část

Kapitola pojednává o praktické realizaci plošného spoje Plan. Trafo DS1698B.1 dle mnou navrženého technologického řádu. Využijeme zde také operace, které jsem navrhl v přípravě výroby a ukážeme si jejich využití v praxi. Na konci si ověříme kvalitu výrobku pomocí metalografického výbrusu.

5.1 Práce na vnitřních vrstvách plošného spoje

Už z obecného názvu vícevrstvý plošný spoj je patrné, že vnitřní vrstvy jsou nejdůležitější částí spoje. Je tedy nutné dát si záležet na jejich výrobě, což se nám vrátí v podobě kvalitní funkčnosti plošného spoje jako celku.

5.1.1 Dělení a čištění základního materiálu

Jak vyplývá z technologického řádu je dobré nejprve provést výběr a dělení základního materiálu. Použijeme materiál FR4 o síle měděné folie 70 μm z obou stran jehož celková tloušťka je 0,2 mm. FR4 jsem zastříhl pomocí strojních nůžek na hrubý rozměr 381 mm x 279,40 mm po čtyřech kusech. Spotřeba materiálu na jeden kus : 10,6 dm^2

Pro další zpracování materiálu určíme jakým směrem je orientována osnova a útek. Tento údaj se zjišťuje vizuálním prohlédnutím desky a podle hustoty jednotlivých skelných vláken spletených uvnitř desky. Osnova má větší hustotu vláken a na pohled jsou její vlákna výraznější. Prohlédnutím mého materiálu docházím k závěru, že osnova není obráceně, běží tedy ve směru textilie desky (na šířku) a útek běží napříč. Dost často se stává, že osnova bývá obráceně a také je někdy obtížné rozeznat na pohled její směr. Důležitost správnosti určení tohoto údaje si ukážeme v dalších částech výroby.

Jsou-li všechny čtyři desky správně zastřiženy, musím vyčistit jejich měděný povrch pomocí procesu kartáčování. Při něm se povrch měděné fólie se zbavuje zbytků organických nečistot a oxidů. Tím se vytváří optimální struktura povrchu zajišťující kvalitní nanesení motivu při fotoprocesech.

5.1.2 Fotoprocesy vnitřních vrstev

Vytváření motivů vnitřních vrstev lze charakterizovat označením Fotoprocesy, které se provádí ve třech krocích:

Laminace fotopolymeru

Ještě před tím než jsou desky laminovány, musí být sušeny v sušícím boxu po dobu deseti minut při teplotě 60 °C. Tato operace má dva důvody. Je to jednak správné proschnutí desek a za druhé, aby desky byly předeřáté na správnou teplotu, díky tomu se zvyšuje kvalita laminace.

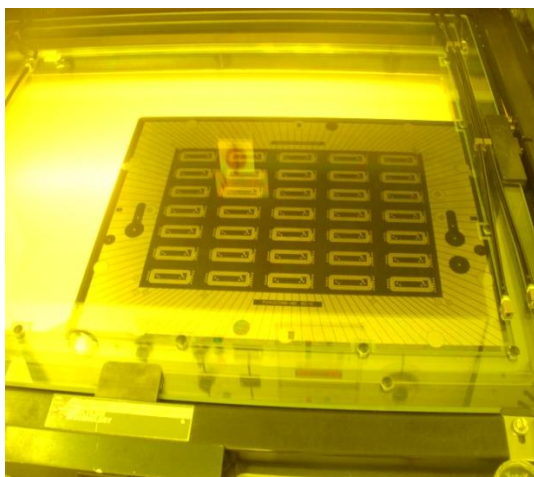
Na očištěné a předeřáté měděné povrchy čtyř polotovarů se po vložení do navalovacího zařízení laminuje světlocitlivá vrstva fotopolymeru tzv. Fotorezist. Válce s fotorezistem navalovacího zařízení jsou předeřáté na teplotu 120 °C a rychlost dopravníku je nastavena na 0,7 m /min, čímž zvyšujeme kvalitní nanesení fotorezistu na desky. Po dokončení procesu jsem provedl kontrolu laminace, zda nejsou pod fotorezistem vzduchové bubliny nebo jiné vady způsobené špatnou laminací. Kontrola nezjistila žádné chyby a tak proces proběhl správně.



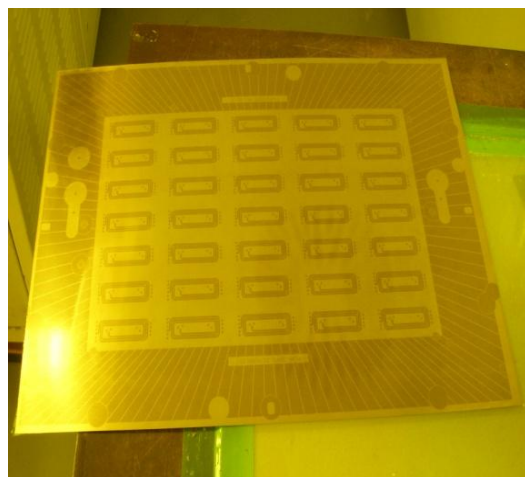
Obr. 11: Laminace fotopolymeru.

Exponování fotopolymeru

V této fázi využiji vyrobené černé negativní filmy (BC, DE, FG, HI) používající se pro exponování vnitřních motivů. Filmy přiložíme na desky s nalaminovaným fotorezistem a vložíme je do vakua osvitového zařízení, kde na ně působí UV záření v oblastí 320 až 450 nanometrů. Fotocitlivý materiál, který nebyl zakryt černou vrstvou filmu polymeruje a vytváří na polotovarech motiv pro vyvolávání.



Obr. 12: Expozice fotopolymeru přes černé filmy.



Obr. 13: Nasvícený motiv před vyvoláním.

Vyvolávání fotopolymeru

Pomocí vyvolávání si ověřím správnost exponování fotopolymeru. Vložením desek do vyvolávacího stroje se pomocí uhličitanu sodného rozpouští neexponovaný fotorezist. Tím dostávám pozitivní motivy obsahující exponovaný fotopolymer u všech vnitřních desek. Nakonec musím provést kontrolu motivů vyvolaných desek, jestli nejsou zeslabené šířky vodivých drah. A hlavně musí být správné pojmenování vrstev na jednotlivých deskách podle tech. řádu. Nesmí se stát, že bude např. na desce vyvolán z jedné strany motiv B a z druhé motiv E, které k sobě nepatří.

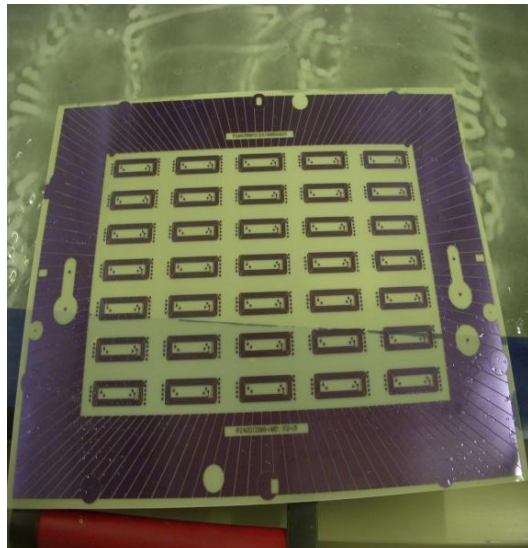
5.1.3 Leptání vnitřních vrstev

Motivy vnitřních vrstev jsou vyvolány, je tedy žádoucí vyleptat přebytečnou měď zbývající po rozpuštění fotorezistu. Rozhodující faktor pro leptání je síla mědi v našem případě 70 μm .

Podle tohoto údaje nastavím rychlost leptací linky na 0,62 m/min a teplotu na 50 °C. Linka umožňuje leptat jednu desku z obou stran, dochází zde k rozpouštění mědi pomocí kyselého roztoku.

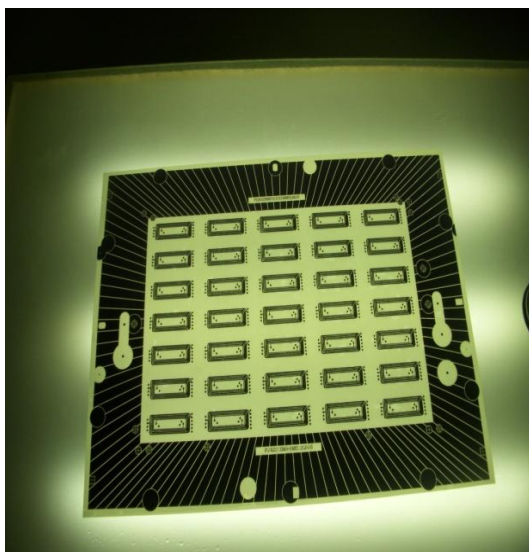


Obr. 14: Vyvolané vnitřní vrstvy před leptáním.

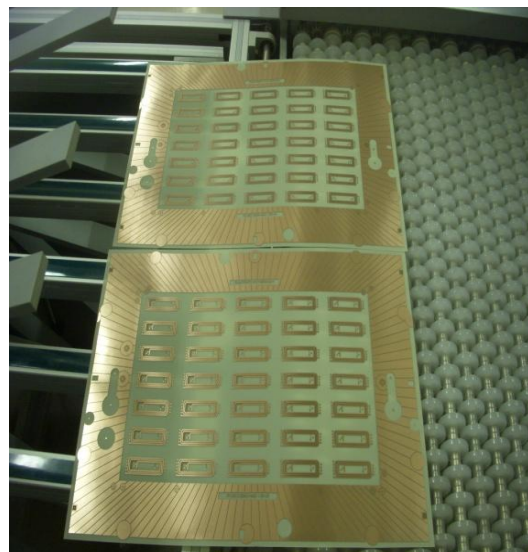


Obr. 15: Vyleptaná vnitřní vrstva.

Když mám vyleptáno zkontroluji, zda není podleptán motiv pokrytý fotorezistem nebo jestli někde nezůstává neodleptaná měď. Kontrola proběhla v pořádku, zbývá tedy smýt z měděných motivů fotorezist, který je chránil před rozleptáním. Po smytí dostávám měděné motivy všech osmi vnitřních vrstev.



Obr. 16: Kontrola vyleptaného motivu.



Obr. 17: Smyté vnitřní vrstvy.

5.1.4 Optický test vnitřních vrstev

Využívá připravených dat z technické přípravy. Provádí se ve třech krocích. Kontroluje zúžení spojů, přerušení, zkratky, „vzoubliny“.

Kamerování testované plochy desky

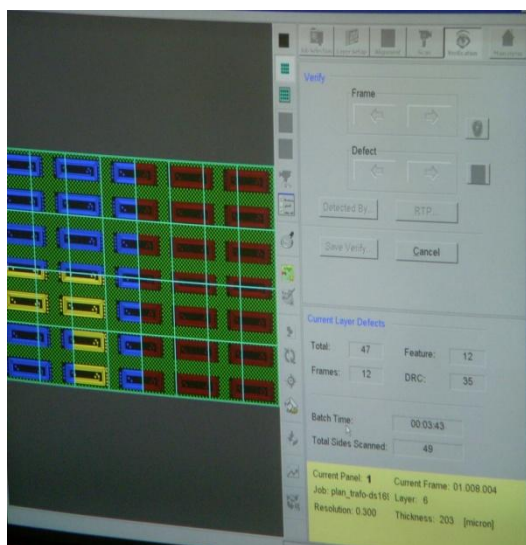
Optický tester podle stanovených snímacích bodů zaznamená testovanou plochu příslušné desky do své paměti.

Testování plochy desky

Nadefinováním plochy spouštíme test a pomocí monitoru sledujeme průběh testu. Tester porovná data z přípravy výroby s daty desky, kterou právě snímal, data musí souhlasit přesně na sobě. Modré zbarvení části motivu znamená, že kontrolovaná část je v pořádku. Viz Obr. 18. Nachází-li se na motivu žlutě zbarvená část, znamená to, že v tomto místě je chyba. Část skutečného motivu se neshoduje s elektronickými daty.

Vyhodnocení chyb

Při dokončení testu prohlédneme chyby vygenerované testerem a to pomocí druhého monitoru, kde je opticky přiblížena kontrolovaná deska. Ze všech našich osmi kontrolovaných motivů jsme zjistili tři chyby: zkrat, vzoublý spoj, přerušení. Po odstranění chyb provedeme frézování otvorů pro zakládání desek pro bodové sváry.



Obr. 18: Průběh testování motivu.



Obr. 19: Zjištěná chyba: vzoublý spoj.

5.1.5 Skládání vnitřních vrstev a prepregů

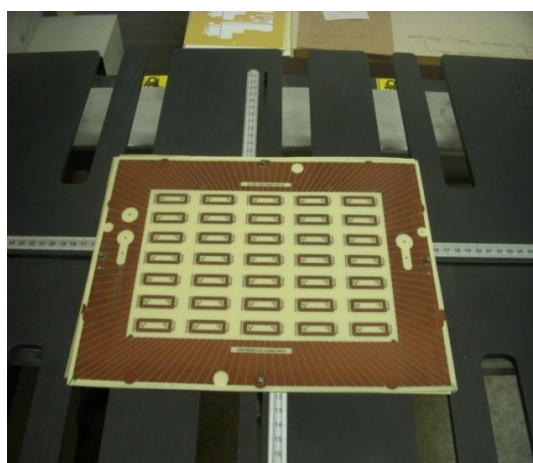
Jedná se o spojení vnitřních vrstev do jednoho celku o tloušťce 2,50 mm. Pro správnou skladbu je nutné provést tyto operace:

Hnědění vnitřních vrstev

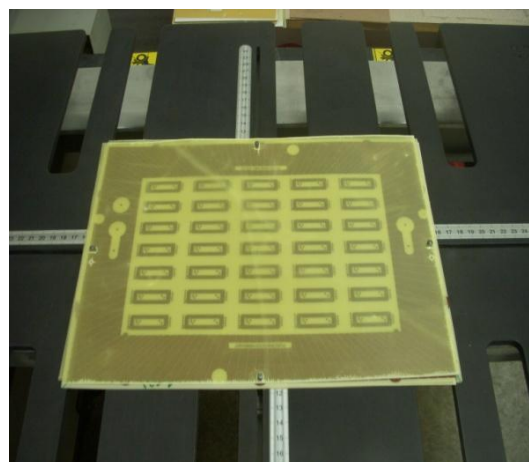
Technologie úpravy měděných motivů se provádí v organických lázních. Zde se na měděném povrchu vytvoří hnědá vrstva, která svou strukturou zajišťuje pevnost mezi vnitřními vrstvami a epoxidovou pryskyřicí lepicích listů tzv. prepregů.

Skládání (laminace) vnitřních vrstev a bodové sváření

Máme-li upravené povrchy vnitřních vrstev, začínáme skládat vrstvy do zařízení pro bodové sváření. Mezi jednotlivé vrstvy vkládáme lepicí listy stejného rozměru s předem určeným během osnovy a útku, který se musí shodovat se základním materiálem, jinak by při výsledné laminaci došlo k prohnutí desky. Skládání se provádí dle tech. řádu: BC-11-DE-11-FG-11-HI. Čísla 11 znamenají, že mezi každou vrstvou jsou dva prepregy. Počet prepregů se volí podle výsledné tloušťky. Takto správně složené vrstvy začínáme bodově svářet pomocí čtyř odporových hrotů, které místně prohřejí materiál. Tím dojde k roztavení a následnému vytvrzení pryskyřice obsažené v lepicích listech a dochází k bodovému spojení jednotlivých vrstev. Svařování trvá asi tři minuty. Následně zkontroluji pevnost sváru tak, že mezi jednotlivé desky opatrně vložím prst. Desky se nesmí rozpojit v jednotlivých svárech.



Obr. 20: Hnědění vrstvy založené ve svářeči.



Obr. 21: Vrstva s lepicím listem.

Laminace vnějších vrstev

Při laminaci desetivrstvé DPS tvoří jádro svařený polotovar z vnitřních vrstev k tomuto jádru se pomocí lepicích listů přilaminuje z obou stran předepsaná měděná fólie 70 μm tzv. vnější vrstvy A, Z. Dle tech. řádu A-11-BC-11-DE-11-FG-11-HI-11-Z Pro spojení všech vrstev ve vakuovém lisu musím nejprve složit laminační paket obsahující:

Izolační polštář – Je tvořen 30 ks izolačního papíru s krycí vrstvou hliníkové fólie. [11]

Laminační podložka – Plech tloušťky 2,0 mm z nerez oceli, jednostranně broušený, který musí být minimálně o 25 mm větší na každé straně než je rozměr polotovaru vícevrstvé DPS. [11]

Separáčnická fólie – Hliníkový plech tloušťky 0,3 mm. Povrch plechu musí být dokonale čistý, zbaven především všech organických nečistot. Rozměr separáčnické fólie je stejný jako rozměr polotovaru vícevrstvé DPS. [11]

Měděná fólie – Tloušťka dle zákazníka, rozměr fólie se volí o 20 mm větší na každé straně než je hrubý rozměr jádra. [11]

Lepicí listy – Jejich rozměr a je opět stejný jako při svařování. [11]

Svařený polotovar vnitřních vrstev (jádro)



Obr. 22: Skládání paketu pro vakuový lis.



Obr. 23: Měděná fólie v paketu.

Laminační cyklus probíhá ve vakuovém lisu po dobu 90 min při teplotě 170 °C. Dalším důležitým parametrem pro laminaci je tlak. Platí pravidlo závislosti velikosti tlaku na rozměru plochy hrubého polotovaru vícevrstvé desky.

Tab. 4: Určování tlaku dle plochy materiálu. [11]

Plocha	Tlak
do 5 dm ²	25 kg/cm ²
do 8 dm ²	30 kg/cm ²
od 8 dm ² a výše	32 kg/cm ²

Výpočet plochy našeho výrobku: 381 mm x 279,40 mm = 10,6 dm².

Určení tlaku: dle výsledné plochy nastavíme do vakuového lisu tlak 32 kg/cm².

Je-li cyklus dokončen, je nutné nechat paket zchladit volně na vzduchu. Chlazení se dokončí klesne-li teplota v paketu pod 80 °C. Po rozdělení paketu je dobré u slaminované vícevrstvé desky odstranit vytlačenou vytvrzenou pryskyřici z okrajů hrubého rozměru polotovaru. Z tohoto důvodu jsem použil při skládání o 20 mm větší měděnou folii než je hrubý rozměr polotovaru.

Kvalitu laminace lze prokazatelně zkontrolovat jedině odleptáním vnějších vrstev měděné fólie. Tato zkouška je však destruktivní a provádí se jedině při technologickém ověřování výsledku operace laminování. Kvalitu si tedy ověříme vizuálně. Měděný povrch musí být rovnoměrný, polotovar nesmí být prohnutý.



Obr. 24: Vakuový lis.



Obr. 25: Pakety ve vakuovém lisu.

5.2 Vodivé spojení jednotlivých vrstev

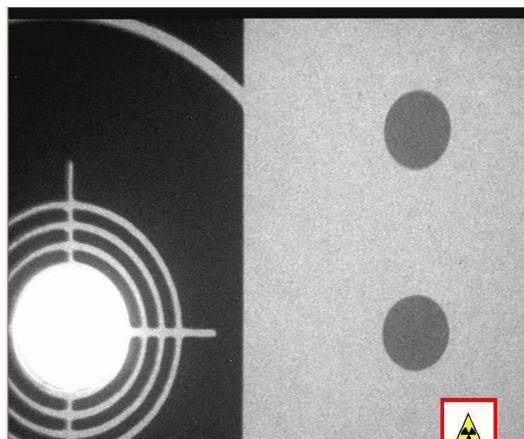
V této fázi výroby máme již hotový složený desetivrstvý polotovar. Je žádoucí oživit jeho funkčnost tím, že vodivě spojíme vrstvy mezi sebou.

5.2.1 Vrtání plošného spoje

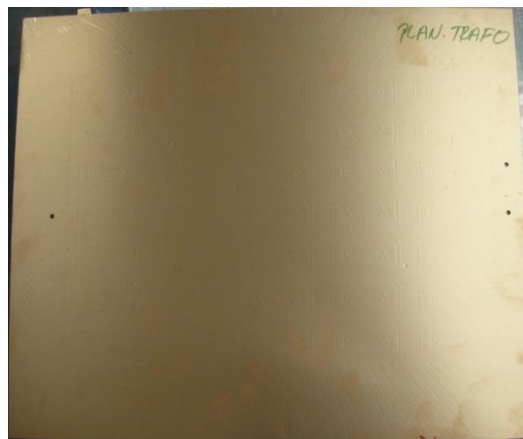
Prvním krokem k vodivému spojení všech vrstev je proces vrtání, který je plně automatizován. Přesto je nutné dbát na jeho kontrolu.

Vrtání nulových bodů

Než přistoupíme k samotnému vrtání naší vícevrstvé desky (panelu) je dobré určit si její nulové (zakládací) body pro CNC vrtačku. Vrtání těchto bodů docílíme pomocí rentgenové registrační vrtačky *Inspecta*, která s přispěním rentgenu vyhledá pod vnější vrstvou registrační značky všech vnitřních vrstev. Dle těchto značek registr. vrtačka zaměří a dopočítá dva zakládací body plus jeden orientační bod a vyvrtá je přesně do stanovených terčů. Průměr těchto tří otvorů je 2,95 mm. Ukázka registračního výkresu. Viz Příloha 4.



Obr. 26: RTG snímek nulového bodu.

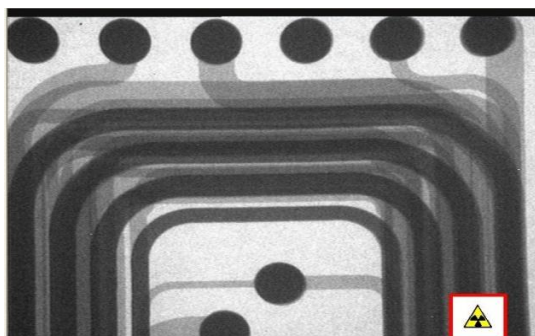


Obr. 27: Vyvrtané nulové body na desce.

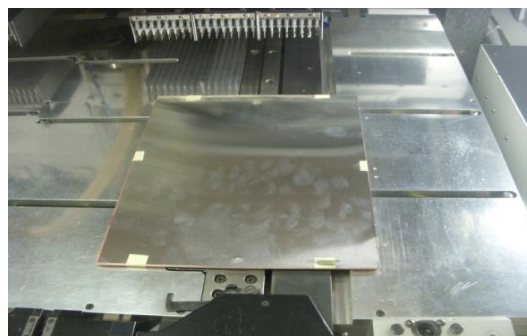
Na RTG snímku vidíme v levé části vyvrtaný terč zakládacího bodu, vpravo jsou registrační značky. Někdy dochází k tomu, že otvor není přímo ve středu terčů a je mírně posunut. Je to tím, že *Inspecta* počítá se smrštěním desky při laminaci tzn. změní si posun vnitřních vrstev. Tím dostáváme přesné zakládací body i s korekcí smrštění. Zpráva o porovnání s dřívější metodou ručního odvrtávání. Viz Příloha 5.

Vrtání motivu plošného spoje

Vrtání vícevrstvé desky probíhá na CNC vrtačce s pomocí připravených dat v technické přípravě, použiji soubor DS168B označený jako DRL2. Do nulových bodů desky jsem napaketoval (vtlačil) kolíčky pro založení desky do vrtačky tak aby vždy orientační bod byl vpravo ze strany vrtání. Pro kvalitu vrtání přikládáme na panel ochranný plech.



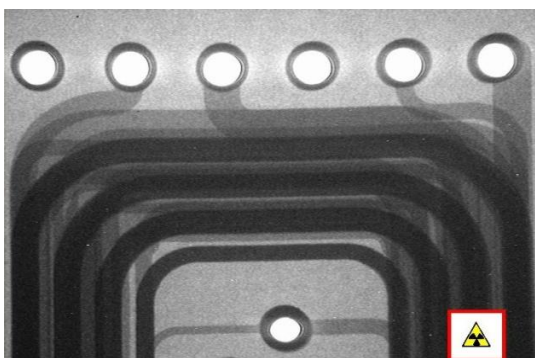
Obr. 28: RTG snímek vrstev desky před vrtáním.



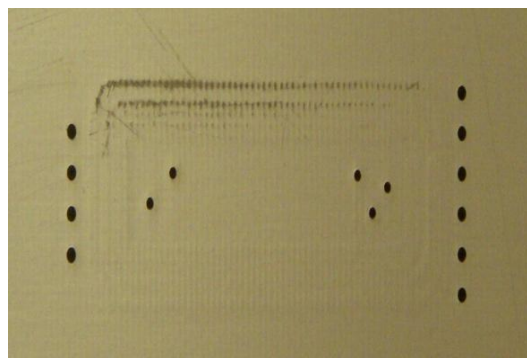
Obr. 29: Panel před vrtáním.

Proces vrtání trvá téměř pět minut. To je při celkovém počtu 544 vrtaných otvorů velice dobrý výsledek. Během procesu kontrolujeme a nastavujeme parametry vrtání (počet otáček pro průměry nástrojů, počet úderů vrtáku za minutu, životnost nástroje dle jeho průměru, posuv nástroje, grafiku jízdy vrtání, vrtací bloky v programu, použití jednotlivých vřeten). Viz Příloha 6.

Přesnost vrtání kontrolujeme pouze vizuální prohlídkou nebo pomocí RTG. Rozmístění vrtaných otvorů musí sedět podle výkresu. Viz Příloha 2. Po úspěšném dokončení vrtacího procesu jsem zastříhl desku na rozměr 316 mm x 220 mm.



Obr. 30: RTG snímek kontroly po vrtání.



Obr. 31: Detail vrtaného kusu.

5.2.2 Chemické prokovení otvorů

V této části výroby dochází k vlastnímu vodivému spojení vrstev pomocí chemického prokovení otvorů.

Před prokovením je důležité vyčistit otvory desky zanesené nečistotami (zbytky epox. pryskyřice, úlomky skelných vláken) vznikající po vrtání. Čištění desky zajišťuje ultrazvuk působící ve vodní lázni.

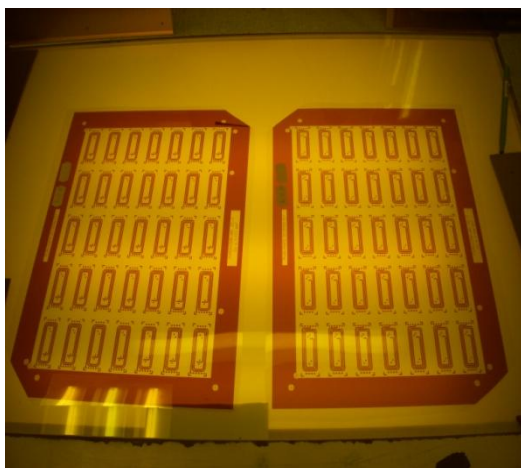
Prokovení otvorů desky se realizuje v chemické lázni tzv. Paládium. Dobu prokovení nastavuji na 5 min při teplotě 60 °C. Vycházím zde z celkové tloušťky desky a z nejmenšího vrtaného průměru. Nakonec se prokovené otvory pomědí v galvanické lázni pomocí proudové hustoty 2 A/dm². Výsledná vrstva prokovu musí být minimálně 20 μm. Kvalitu pokovení a tím pádem i vrtání zjistím metalografickým výbrusem.

5.3 Povrchové úpravy vnějších vrstev

Tyto úpravy se týkají funkčnosti a ochrany vnějších vrstev A, Z.

5.3.1 Vytvoření vnějších motivů

Vytvoření vnějších motivů probíhá podobným způsobem jako u vnitřních motivů, používají se zde také fotoproceny. Jediným velkým rozdílem je svícení motivů přes pozitivní filmovou předlohu tzv. Diazo filmy (A, Z). Filmy se usazují dle vyvrtaných usazovacích otvorů. Při vyvolání tedy dostáváme negativní motiv plošného spoje.



Obr. 32: Diazo filmy.



Obr. 33: Vyvolaný negativní motiv.

5.3.2 Galvanické mědění a cínování vnějších vrstev

Obecně galvanické pokovení bývá proces při kterém se z vodných roztoků solí vylučuje stejnosměrným proudem na katodě kov (měď, cín) v podobě povlaku. Svoji roli zde hraje i tzv. proudová hustota = intenzita proudu vztažná na jednotku plochy katody.[13] Galvanickým měděním zesílujeme vyvolaný měděný motiv desky. Působením proudové hustoty $2,6 \text{ A/dm}^2$ se může navýšit vrstva mědi na desce až o $40 \mu\text{m}$. Galvanickým cínováním si připravujeme již zesílený měděný motiv pro leptání. Galvanický cín je opět nanášen proudovou hustotou $1,5 \text{ A/dm}^2$ a tím vytváří na motivu ochranný rezist při leptání nežádoucí mědi.

Pro určování časů těchto operací musíme znát plochy motivů z obou stran $A=1,17 \text{ dm}^2$, $Z=1,16 \text{ dm}^2$. K těmto plochám se připočítává plocha orientačního rámečku.

$$\text{Vnější strana rámečku: } 3,16 \text{ dm} \times 2,2 \text{ dm} = 6,952 \text{ dm}^2$$

$$\text{Vnitřní strana rámečku: } 2,7 \text{ dm} \times 1,8 \text{ dm} = 4,86 \text{ dm}^2$$

$$\text{Plocha rámečku: } 6,952 \text{ dm}^2 - 4,86 \text{ dm}^2 = 2,092 \text{ dm}^2$$

$$\text{Strana A} = 2,092 + 1,17 = 3,262 \text{ dm}^2$$

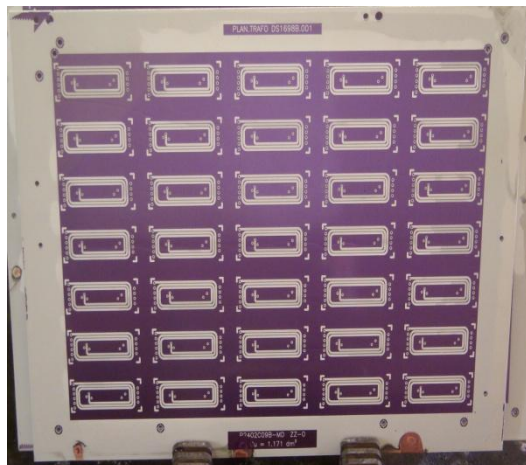
$$\text{Strana B} = 2,092 + 1,16 = 3,252 \text{ dm}^2$$

Galvanické mědění nastavujeme na 55 min při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Cínování na 15 min a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

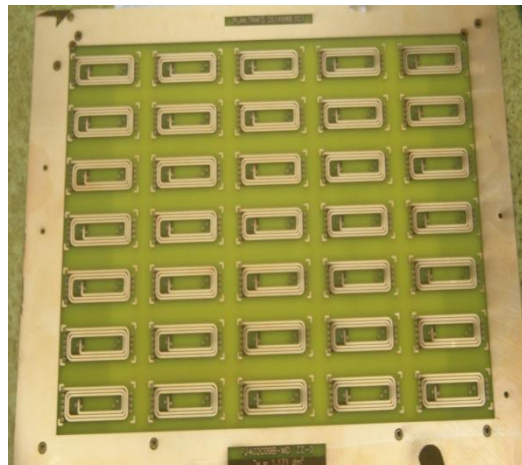
5.3.3 Leptání vnějších vrstev

Leptání vnějších vrstev provádíme odlišným způsobem, než tomu bylo u vnitřních vrstev. Nejprve smyjeme ve stripovací lince exponovaný fotorezist, který se zde rozpouští působením hydroxidu sodného. Následuje vlastní leptání nežádoucí mědi, kdy se měď rozpouští v amoniakální lázni. Leptací linka musí být nastavena na rychlost $0,8 \text{ m/s}$. Opět vycházíme ze síly mědi $70 \mu\text{m}$, která byla chráněna fotorezistem před zesílením. Kontrola leptání probíhá vizuálně. Na desce se nesmí nacházet zbytky nedoleptané mědi, povrch cínovaného motivu musí být nepoškozen, vodiče nesmí být zúžené vlivem podleptání.

Nyní ze správně vyleptaných motivů smyjeme speciální látkou cínový rezist. Pro dobré provedení operace smývání (rozpuštění) nesmí vznikat na již smytém měděném povrchu metalická vrstva. Tato vrstva brání kvalitnímu nanášení následujících povrchových úprav. Pro kontrolu vodivosti vyleptaných motivů využijí elektrický test.



Obr. 34: Galvanicky pocínovaná deska.



Obr. 35: Deska po leptacích procesech.

5.3.4 Ochranné povrchové úpravy

Nanesení permanentní nepájivé masky

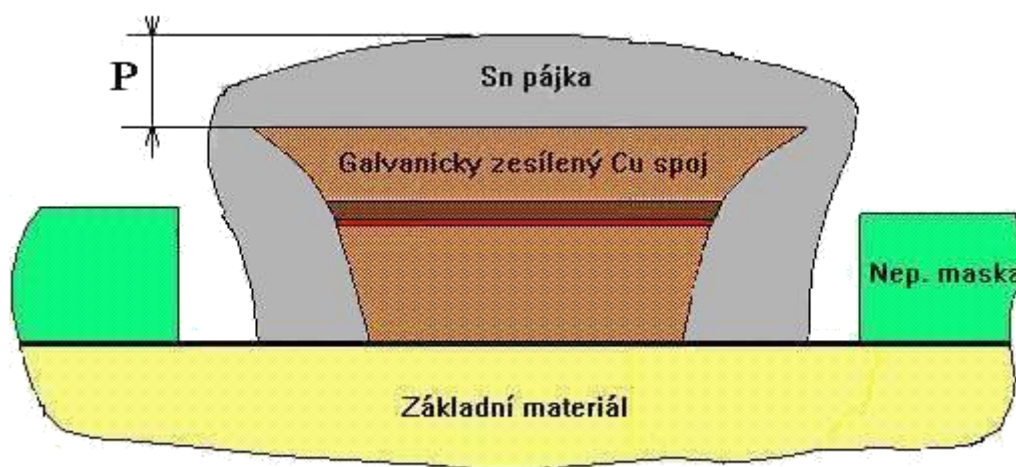
Volíme fotocitlivou nepájivou masku zelené barvy dle přání zákazníka. Masku nanášíme přes tekutou clonu ze stran A, Z. Takto nanesená maska má schopnost polymerovat ve vakuu při vlnové délce osvětlení 420 až 540 nanometrů. Polymeraci provádíme pomocí černých filmů označených jako MA, MZ, jimiž zakrýváme pouze plošky otvorů. Filmy s černými ploškami jsou zvětšeny o 0,1 mm oproti pájecím ploškám. Při následném vyvolání se rozpustí maska na neosvícených ploškách.

Potisk a vytvrzení masky

Potisk patří mezi finální operace výroby a slouží jako zdroj informací pro budoucí osazování desky součástkami. K tištění používáme datový potiskový stroj tisknoucí podle připravených gerber dat označených jako PZ tzn. potisk bude pouze ze strany Z. Stroj pracuje tak, že si nejdříve zaměří desku a dále začíná tisknout pomocí potiskových hlav UV barvu. Barva ztvdne nasvícením UV lampami. Takto připravená povrchová maska desky je vytvrzena v sušící peci při teplotě 150 °C po dobu 2 hod.

Aktivace mědi a halování

Poslední povrchovou úpravou je nanášení slitiny niklu a cínu (halování). Slitina je natavena na povrch měděných pájecích plošek, vnitřek galvanicky poměděných otvorů. Před samotným nanášením musí být plošky očištěny (aktivovány) od oxidů vzniklých zapečením nepájecí masky v peci. Čištění realizujeme ve speciálních lázních obsahujících kyselinu sírovou. Výsledkem je perfektně vyčištěný povrch zbavený všech oxidů z dobrou přilnavostí při tavení.



Obr. 36: Průřez galvanicky pocínovaným povrchem mezikruží.[9]

Dobu tavení v tavící vaně nastavujeme dle celkové tloušťky desky 2,5 mm. Celková doba tavení je tedy 6 sec. Viz Tab. 5. Dále je deska očištěna v mycí lince od nežádoucího cínu, který se při tavení nalepil na masku. Výsledkem tavení je kvalitně nanesený cín sloužící jako pájka k budoucímu osazování součástkami. P = síla pájky, Viz Obr. 36, bývá od 5 μm do 80 μm .

Tab. 5: Stanovení doby pro tavení desky. [10]

Síla DPS [mm]	Čas tavení [sec]
0,4 a méně	1
0,5 až 0,8	2
0,9 až 1,1	3
1,2 až 1,6	4
1,7 až 2,2	5
2,3 až 3,6	6

5.3.5 Elektrický test

Test provádíme ve dvou fázích za účelem kontroly vodivosti vnějších vrstev s ostatními vrstvami. Nejdříve před nanášením ochranných povrchových úprav, kde se kontroluje vodivost po leptání vnějších motivů tak, abychom měli jistotu, že se zde nenachází žádný zkrat ani přerušení vodivých drah. Nanášením masky se tyto chyby prakticky nedají opravit. Další kontrola se provádí stejným způsobem po natavení cínu. Sledujeme, zdali nedošlo k poškození drah při ochranných povrchových úpravách.

Samotný test provádíme s pomocí el. testeru pracujícího s předem připravenými daty o testovaném motivu. Tester díky stanoveným testovacím bodům desky okameruje testovanou plochu. Jako způsob testování plochy využíváme ohmickou metodu, kdy se jehlice testeru trefují na pocínované mezikruží plošek a proměřují vodivost mezi spojenými otvory. Nejprve testujeme desku na zkrat v druhé fázi na přerušení.

Tester dokončí průběh testování a generuje chyby zjištěné při testu. Na monitoru sledujeme průběh testu. Vždy když tester zkontroluje část motivu, označí jí buď zeleně tzn. není zde žádná chyba nebo červeně tzn. chyba.



Obr. 37: El. tester při práci



Obr. 38: El. tester

Při el. testování v obou fázích výroby jsme nenašli žádné vážné chyby. Je to dané hlavně menší složitostí testovaného motivu a vzhledovými kontrolami v průběhu výroby eliminující velké množství chyb.

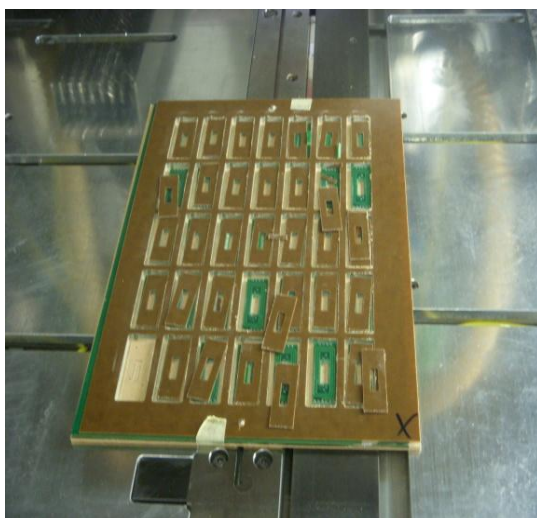
5.4 Dokončení tvaru - frézování

Panel (deska) je téměř hotov zbývá z něho vyfrézovat všech 35 kusů na čistý rozměr 45,21 mm x 15,75 mm a vnitřní výřez o rozměru 16,51 mm x 5,33 mm.

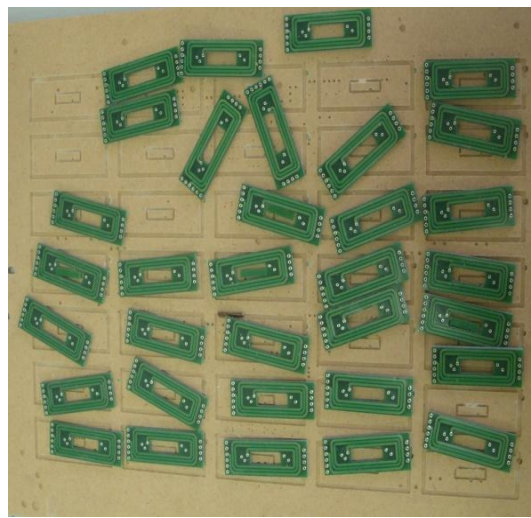
Pro zakládání panelu do CNC frézky využijeme již vyvrtané nulové otvory v desce používané při vrtání. Do těchto otvorů vtláčíme zakládací kolíčky. Panel musíme založit do kolejnic frézky tak aby byl opět orientační bod vpravo. Další náležitosti, které by měl panel před frézováním obsahovat, jsou sololitová podložka a ochranný kryt z umělé hmoty.

Nyní nastává fáze samotného frézování při němž využijeme připravený frézovací program pojmenovaný DS1698B a označený jako soubor FR. Cykly frézovacího procesu jsou nastaveny tak, že nejdříve frézujeme vnitřní výřez a poté čistý rozměr. Přitom je důležité hlídat tyto parametry (řezné rychlosti nástrojů, životnost nástrojů, korekce nástrojů, výkon vřeten, programový blok abychom věděli v jakém místě se právě fréza nachází).

Po vyfrézování prvního kusu je automaticky zastaven proces a nastává kontrola správnosti frézování podle výkresu. Viz Příloha 3. Hodnotí se kvalita a dodržení rozměru. Min. vzdálenost hrany od motivu musí být 0,2 mm. Celá operace tedy frézování všech kusů trvala 15 min. Výsledkem je takřka hotový výrobek splňující předepsané tvary a rozměry, který je připravený k výstupním kontrolám kvality.



Obr. 39: Panel po vyfrézování.



Obr. 40: Vyfrézované kusy.

5.5 Laserové značení

K laserovému vypalování využíváme laser první třídy PCB – XY – TABLE. Lasery první třídy nepřekračují limity přístupné emise tak, že jejich záření je natolik zeslabeno aniž by mohlo dojít k úniku záření skrz kryt laseru. [12]

Technické parametry laseru:

Celkový příkon zařízení – 1000 W

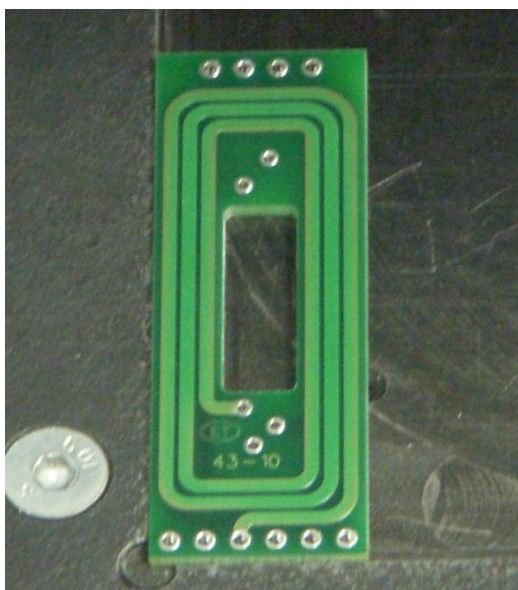
Napětí zařízení – 230 V, 50 Hz

Proud – 16 A

Napětí ovládacích obvodů – 24 V DC, 230 V AC [12]

Samotné značení našeho výrobku provádíme dle přání zákazníka. Zákazník požaduje vypálit na každý kus, týden a rok výroby. Výrobky byly hotové 43. týden roku 2010. Na každém kusu to bude vyznačeno takto: 43 – 10.

Velikost písma stanovujeme na 1 mm. Počáteční pozice laseru v ose X = 4,8 mm, v ose Y = 7,54 mm, ze strany A tzn. nepotištěná strana. Do řídicího systému pro laser nastavuji nejprve čisté rozměry kusu a dále již jmenované požadavky. Laser může začít s vypalováním hotového výrobku.



Obr. 41: Hotový kus po vypálení znaků.



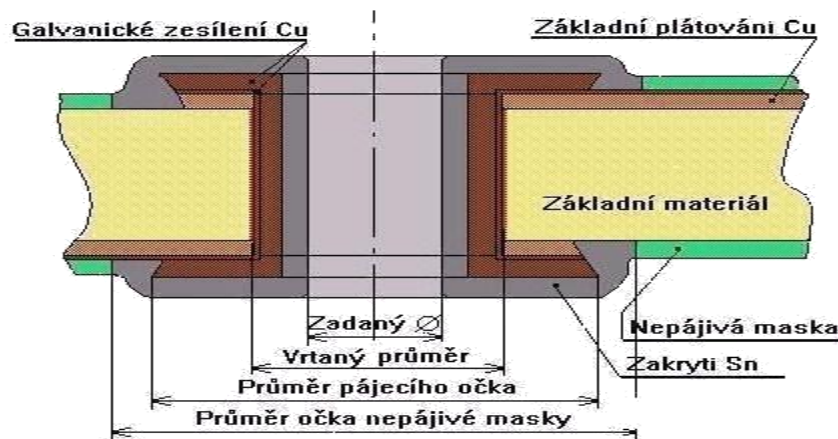
Obr. 42: Laserové zařízení.

5.6 Výstupní kontrolní operace

Mezi výstupní kontrolní operace bývá především zařazeno měření tvarových rozměrů (čistý rozměr, rozměr výřezu, tloušťka výrobku, min. šíře vodiče, izolační mezery, šířka mezikruží). Tvarovými kontrolami prošly výrobky bez problémů. Následuje kontrola průměrů vrtaných otvorů a kvalita jejich prokovení.

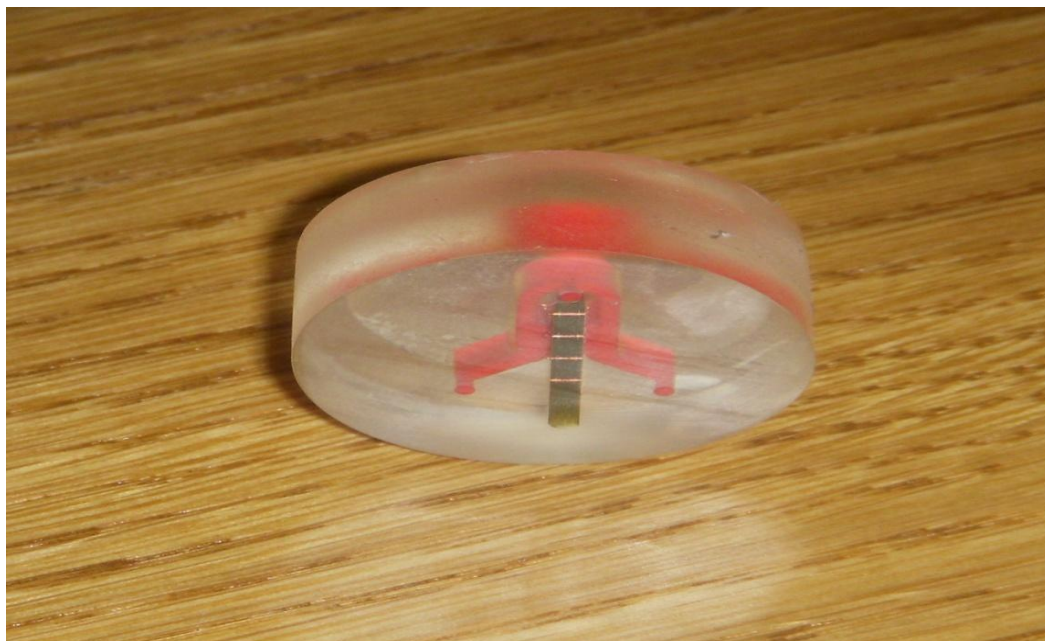
5.6.1 Metalografický výbrus

Hlavním kritériem pro výrobu vícevrstevných plošných spojů musí být kvalitní spojení všech vrstev pomocí prokovených otvorů. Pro kontrolu kvality otvorů nám slouží metalografický výbrus. Metalografie je věda pojednávající o vnitřní stavbě kovů a slitin. Cílem je zviditelnění struktury materiálu a následné studium pomocí optického mikroskopu. Zjednodušeně lze říci, že kontrolujeme průřez nejmenšího otvoru v našem případě 0,8 mm.



Obr. 43: Průřez prokoveným otvorem. [9]

Příprava kontroly bývá destruktivní a provádí se u kusů vyrobených navíc. Vzorek desky s průřezem otvoru se vloží do speciální formy, kde je zalit tekutou pryskyřicí. Vytvrzením vzniká pryskyřicový polotovar obsahující zkoumaný vzorek. Pryskyřice se brousí velmi jemným brusným kotoučem téměř na úroveň průřezu vzorku. Viz Obr. 44. Následně bude polotovar vyleštěn a na rozdíl od broušení, materiál již z povrchu neubývá ale nastává pouze deformace vrcholů drsnosti. Tím se zlepšuje viditelnost průřezu při měření pod mikroskopem.



Obr. 44: Metalografický výbrus.

a) Výsledky měření průřezu uvedené v protokolu. Viz příloha 7.

Síla nepájivé masky: Jak za strany A tak i ze strany Z jsem naměřil sílu 50 μm .

Síla galvanicky poměděné (zesílené) plošky: měření probíhalo na třech místech průřezu. Z výsledky 80 μm , 80 μm , 85 μm , což je technologicky přístupné.

Síla galvanicky poměděného otvoru: Otvor byl měřen v horní, střední a dolní části se shodným výsledkem 30 μm . To znamená, že pokovení je rovnoměrné. Minimální síla prokovu musí být vyšší než 20 μm tato hranice byla překročena.

Síla Sn pájky: 70 μm , jak na povrchu tak uvnitř otvorů.

b) Výsledky měření, které nejsou uvedené v protokolu a jsou informační.

Síla nepájivé masky na vodivých drahách: 20 μm

Průměr otvoru po prokovení a nanesení Sn pájky: 0,70 mm

Vrtaný průměr: 0,80 mm

Průměr pájecího oka: 1 mm

Průměr oka nepájivé masky: 1,1 mm

c) Vyhodnocení výsledků kontroly

Pomocí měření jsem zjistil, že prokovení zkoumaného otvoru je rovnoměrné. Tento fakt vzniká důsledkem dobré kvality vrtání. Vrtání provedené například tupým nástrojem, ulomenou špičkou nástroje, špatnou korekcí nástrojů, se nazývá hrubé a ovlivňuje výsledné dobré prokovení otvorů.

Posledním důležitým aspektem musí být kontrola napojení vnitřních vrstev na porokovaný otvor. Zkoumáním pomocí mikroskopu sledujeme jestli nedochází k poškození napojených vrstev. U našeho výrobku nebylo zjištěno žádné přerušení napojených vrstev na otvor. Fotografie napojení vrstev. Viz Příloha 8.

Všechny naměřené hodnoty nám posloužily k zjištění správnosti použitého technologického řádu při výrobě desetivrstvého plošného spoje. Výrobek tedy může být předán zákazníkovi.

6 Závěr

V této absolventské práci jsem měl za úkol popsat vývoj desek plošných spojů. Poukázal jsem zde na vývoj plošných spojů od dob kdy se k připevnění součástek používaly propojovací můstky až do současných moderních propojovacích technologií. Dalším úkolem bylo ukázat dostupné materiály pro výrobu plošných spojů.

Hlavní náplní mé práce bylo zhotovit ve firmě PCB Benešov konkrétní plošný spoj. Tento požadavek jsem splnil, pracoval jsem na reálné zakázce desetivrstvého plošného spoje. První fáze výroby obsahovala přípravnou část, jejíž výsledkem bylo zpracování elektronických dat pro výrobu a stanovení technologického řádu.

Výsledky dosažené v přípravě výroby jsou následně ověřeny a vysvětleny při praktické výrobě plošného spoje. Téměř po každé operaci ve výrobě se provádějí kontroly polotovaru, tím minimalizujeme vznik chyb v průběhu výroby. Na konci výrobního procesu je výstupní kontrola zahrnující měření hodnot plošného spoje. S pomocí těchto naměřených hodnot dochází k určení kvality a správnosti nastaveného výrobního procesu. V mém případě jsem došel k závěru, že všechny pracovní postupy v průběhu výroby byly provedeny v souladu s požadavky na výrobu desetivrstvého plošného spoje. Výrobek tak může být předán zákazníkovi, který poukáže na případné reklamace. Zpracovaný materiál je možné využít při výuce odborných předmětů.

Úkoly definované v zadání absolventské práce byly splněny. Následně bych mohl sledovat další vývoj výrobku např: technologie osazování součástkami, použití výrobku v průmyslu. Práce na této absolventské práci mi přinesla nové zkušenosti a poznatky s průmyslovou výrobou moderních vícevrstevných spojů.

Literatura

- [1] PLÍVA, Z. *Zajímavosti z historie plošných spojů* [online]. 2010 [cit. 2010-12-3] Dostupné z:
<http://www.mikrozone.eu/soubory/downloads/print/dps-az/1/zajimavosti-z-historie-plosnych-spoju.pdf>
- [2] STARÝ, J., ZATLOUKAL, M. a STEJSKAL, P. *Montážní a propojovací technologie*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2009. s 262.
- [3] MALUČKÝ, M. *Konstrukce dělicího stroje DPS*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. s 41. Bakalářská práce.
- [4] 91/61249-2-7/Ed. 1. *Materiály pro desky s plošnými spoji a další propojovací struktury úženy plátované a neplátované základní materiály - Mědi plátované laminátové desky z vrstveného tkaného E-skla, impregnovaného epoxidovou pryskyřicí, s definovanou hořlavostí (zkouška vertikálního hoření) : 91/276/FDIS*. Japonsko : IEC, 21 s.
- [5] ČSN EN 61189-2 ed.2. *Zkušební metody pro elektrotechnické materiály, propojovací struktury a sestavy - Část 2: Zkušební metody pro materiály propojovací struktury*. Praha : Český normalizační institut, Září 2006. 114 s. idt IEC 61189-2:2006.
- [6] STARÝ, J., ŠANDERA, J., KAHLE, P. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1999. s 183. ISBN 80-214-1499-5.
- [7] IPC-SM-840B. [s.l.] : Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, December 1986. 15 s.
- [8] PIŠVEJCOVÁ, J., LAŽAN, D. *Technické podmínky* [online]. 26.8. 2010 [cit. 2011-2-3] Dostupné z:
<http://www.pcb-benesov.cz/cz/documents/TechnickePodminky2010.pdf>
- [9] MRÁZEK, O. *Prokovovací procesy plošných spojů* [online]. 28.5. 2003 [cit. 2011-2-6] Dostupné z:
<http://hw.cz/Firemni-clanky/Printed/ART7-Pokovovaci-procesy-plosnych-spoju.html>

- [10] ZEMAN, M. *Aktivace Cu, Hal.* Benešov : PCB Benešov, 27.2. 2008. 3 s.
- [11] PIŠVEJCOVÁ, J. *Laminace VDPS.* Benešov : PCB Benešov, 5.11. 2003. 4 s.
- [12] DURAS, V. *Laser-pcb-xy-table.* Benešov : PCB Benešov, 7.10. 2010. 3 s.
- [13] ÚLOHA Č.15. *Galvanické pokovování a elektrogravimetrie* [online]. 2007
[cit. 2011-4-3] Dostupné z:
<http://web.natur.cuni.cz/anorchem/LabTech/Uloha15.pdf>
- [14] SYSACOM. *Printed Circuit Board Design by IPC Certified Interconnect Designer* [online]. 2010 [cit. 2011-4-3] Dostupné z:
<http://www.sysacom.ca/pcbdesign/>

Obsah přiloženého CD

Absolventská práce v PDF

Přílohy v PDF

Seznam příloh

Příloha 1: Vzor objednávky plošného spoje

Příloha 2: Vrtací výkres.

Příloha 3: Frézovací výkres.

Příloha 4: Registrační výkres pro Inspectu.

Příloha 5: Zpráva o využitelnosti rentgenové registrační vrtačky Inspecta

Příloha 6: Pracovní prostředí CNC vrtačky.

Příloha 7: Protokol – Hodnocení kvality plošného spoje.

Příloha 8: Fotografie – Napojení vnitřních vrstev na prokovený otvor.