

Konstrukce dělicího stroje DPS

Design of cut machine PCB

Michal Malučký

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: **Michal MALUČKÝ**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce dělicího stroje DPS**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na téma
 - a) Desky plošných spojů
 - b) Metody výroby DPS
 - c) Materiály používané pro výrobu DPS
2. Praktická část
 - a) Stanovte silové poměry při dělení DPS
 - b) Zpracujte konstrukční řešení dělicího stroje DPS
3. Zhodnocení a závěr

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] STARÝ, J. Plošné spoje a povrchová montáž. [online]. 2003/2004, 11-102 Dostupný z WWW:

>http://www.utko.feec.vutbr.cz/ámisurec/vyuka/ls0607/Plosne_spoje_a_povrchova_montaz_S.P.pdf<

[2] MÁČALÍK, T. Možnosti recyklace tištěných spojů. UTB ve Zlíně, 2007. 42 p.

[3] ZÁHLAVA, V. Metodika návrhu plošných spojů. [online]. 2002, 19-24 Dostupný z WWW: ><http://www.semach.cz/pdf/metodika.pdf><

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí dělicího stroje pro desky plošných spojů.

V teoretické části jsou stručně popsány druhy desek plošných spojů, materiály pro jejich výrobu, metody výroby a jejich následná recyklace.

Hlavním cílem bakalářské práce v praktické části je návrh dělicího stroje pro odstranění tenké vrstvy měděné fólie, čímž je možné zbylou laminátovou desku nadále recyklovat.

Klíčová slova: Plošné spoje, tištěný spoj, recyklace, dělicí stroj, dělení DPS

ABSTRACT

The bachelor work deals with design tools for dividing the PCB.

The theoretical part briefly describes the types of printed circuit boards, materials for their production, methods of production and their subsequent recycling.

The main aim of this thesis in the practical part of the proposal is dividing machines for removing a thin layer copper foil, so you can rest laminate board continue to recycle.

Keywords: PCB, printed circuit, recycling, cut machine, PCB cutting

Příjmení a jméno:

Obor:

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 užit 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, považují 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

.....

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 výsledku 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 též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý 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.

²⁾ 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, užije-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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít 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 vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	10
1.1 ROZDĚLENÍ DPS DLE KONSTRUKCE	10
1.1.1 Ohebné desky	10
1.1.2 Neohebné desky	11
2 METODY VÝROBY DPS	14
2.1 SUBTRAKTIVNÍ TECHNOLOGIE.....	14
2.2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE	15
2.3 SEMIADITIVNÍ TECHNOLOGIE	16
3 MATERIÁLY PRO VÝROBU DPS.....	18
3.1 ORGANICKÉ MATERIÁLY	19
3.1.1 Neohebné základní materiály	20
3.1.2 Ohebné základní materiály.....	23
3.2 ANORGANICKÉ MATERIÁLY	24
4 RECYKLACE DPS.....	26
4.1 POSTUP PŘI RECYKLACI	26
4.2 SOUHRN.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	29
5 CÍLE PRÁCE.....	30
6 SILOVÉ POMĚRY PŘI DĚLENÍ DPS.....	31
7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DĚLÍČÍHO STROJE.....	32
7.1 NŮŽ.....	32
7.2 DRŽÁK NOŽE.....	32
7.3 POSUVNÝ MECHANISMUS.....	33
7.4 TAŽNÝ MECHANISMUS.....	34
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	38
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM TABULEK	40
SEZNAM PŘÍLOH	41

ÚVOD

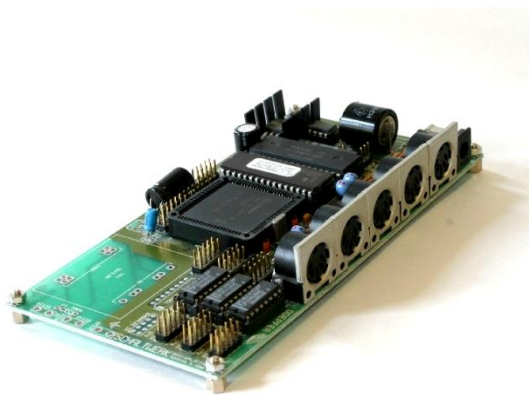
Historie plošných spojů sahá až k začátku 20. století. V začátcích radiotechniky byly vývody součástek řešeny pomocí připojovacího šroubu s maticí, pod které se připojoval vodičí drát. Takto řešený plošný spoj si vyžadoval značné rozměry součástek a velkou šikovnost odborníka. Později se přecházelo na pájená očka pod šrouby, což umožnilo částečnou minituralizaci součástí. Ve 30. letech se objevují první pokusy o efektivnější propojení součástek. Vznikají první vodivé laky, první pokusy o galvanické pokovení či lepení fólií. Až vývoj nových materiálů umožnil praktické využití odleptávání spojů. V 50. letech jde již o nejrozšířenější metodu výroby plošných spojů. Modernizace se dočkala i výztužná pojiva. Dříve byl nejpoužívanějším materiálem tvrzený papír nebo textil, s rozvojem umělých pryskyřic se začaly ve velké míře používat sklolamináty. V dnešní době existuje velké množství podkladových materiálů, které se od sebe liší zejména vodivými a kmitočtovými vlastnostmi.

Všechny tyto pokroky v technologii plošných spojů vedly k obrovskému rozvoji desek plošných spojů. Tak velký rozvoj sebou však nese rostoucí problémy s jejich recyklací. Plošné spoje nejsou efektivně zpracovávány na základní suroviny. Cílem je navržení zpracovatelské, laboratorní linky pro ověřování technologických podmínek stroje. Jednou z technologických operací při zpracování plošných spojů je odstranění součástek a připojovacích mechanismů. K tomuto účelu se nabízí využití technologie řezání.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Deska plošných spojů (zkráceně DPS, v angličtině PCB) se v elektronice používá pro připevnění a současně pro vzájemné elektrické propojení elektronických součástek. Součástky jsou propojeny pomocí vodivých cest vytvořených leptáním z měděných folií nalepených na izolační laminátové desce. Samotné součástky jsou na DPS připájeny cínovou pájkou. Klasická provedení součástek mají vývody ve formě drátů nebo količků. Desky plošných spojů v dnešní době umožňují výrobu levných a přitom dostatečně robustních elektronických zařízení.



Obr. 1. Deska s plošnými spoji

1.1 Rozdělení DPS dle konstrukce

1.1.1 Ohebné desky

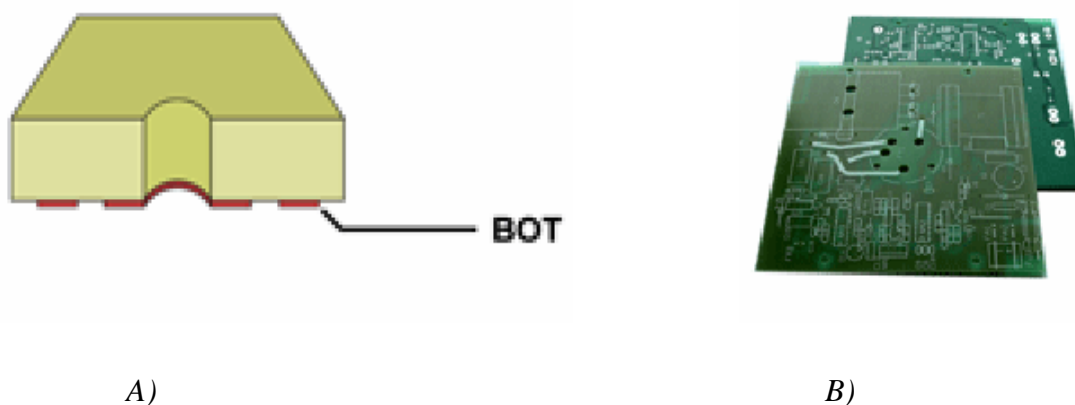
Ohebné plošné spoje byly navrženy, aby nahradily tradiční drátové kabeláže. Tyto spoje vedle základní výhody – ohebnosti, díky které umožňuje snazší instalaci a servis, nabízí spoustu dalších výhod, jako např. zvýšenou spolehlivost, úsporu hmotnosti a místa, popřípadě lepší kontrolu impedance. Spoje musí být navrženy tak, aby dokázaly snést nespočet ohybů bez sebemenší poruchy a abychom je mohli instalovat do míst, kam nelze umístit jiné spoje. Jedním z prvních průmyslových odvětví, kde byly využívány výhody ohebných spojů pro zjednodušování kabeláží byl průmysl automobilový. Ohebné plošné spoje jsou nyní běžně užívány jako náhrada za svazky vodičů nacházejícími se pod karoserií. [1]

1.1.2 Neohebné desky

Neohebné desky plošných spojů lze dělit na jednovrstvé, dvouvrstvé, vícevrstvé, s nosnou deskou a s omezovacím jádrem.

Jednovrstvé desky

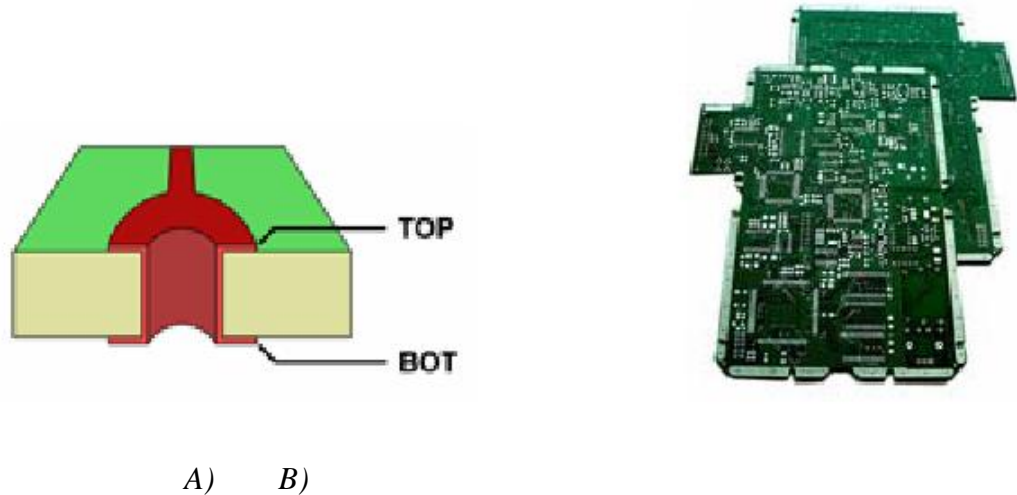
Jednovrstvé desky plošných spojů jsou složeny pouze z jedné vrstvy propojovacích struktur a nemají pokovené otvory. Nejběžnější způsob výroby je pomocí leptání (subtraktivní technologie). Jsou vhodné na jednoduché aplikace.



Obr. 2. Jednovrstvá DPS: A – schéma jednovrstvé DPS, B – konečný tvar jednovrstvé DPS

Dvouvrstvé desky

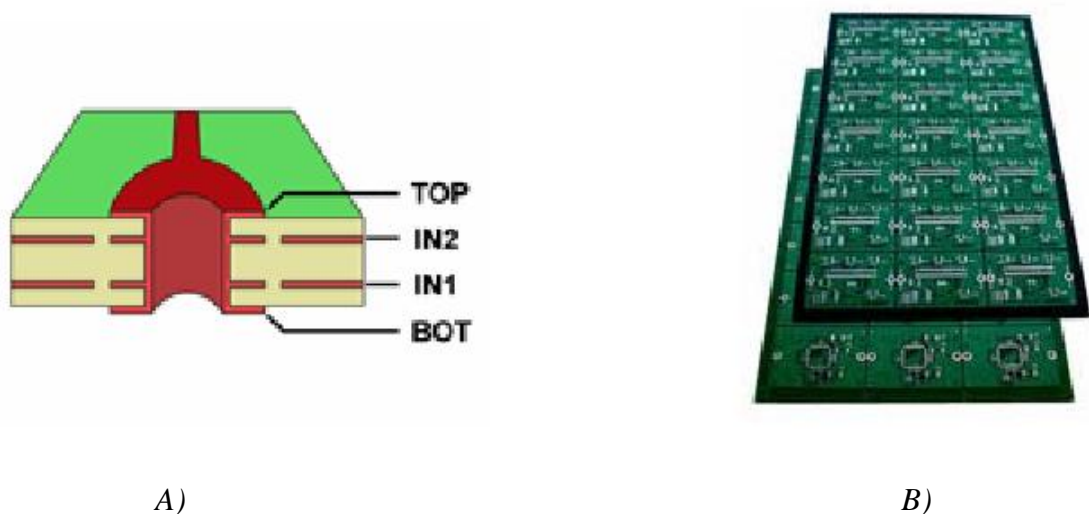
Dvouvrstvé desky mají dvě vrstvy propojovacích struktur (vrstva BOT a TOP). Otvory jsou obvykle pokoveny. Materiál je oboustranně plátován mědí příslušné tloušťky. Používají se pro náročnější aplikace, na rozdíl od jednovrstvých desek se zde dosahuje vyšší propojitelnosti.



Obr. 3. Dvouvrstvá DPS: A – schéma dvouvrstvé DPS, B – konečný tvar dvouvrstvé DPS

Vícevrstvé desky

Zavedení metod pokovení propojovacích otvorů jako běžného způsobu elektrického propojování přes základní izolační materiál desky s plošnými spoji prakticky umožnilo rozvoj vícevrstevných desek. Při použití pokovených propojovacích otvorů lze zhotovit vícevrstvé desky s podstatně menšími otvory (a tedy mnohem těsněji u sebe), než je možné u zastaralých metod vrtání přístupových otvorů. Je také možné propojit libovolný počet základních desek a jejich obrazců u kteréhokoliv propojovacího otvoru. Standardně se vyrábějí desky v sudém počtu vrstev. Nejběžnějším provedením jsou čtyřvrstvé desky, které se skládají ze dvou vnějších (BOT a TOP) a dvou vnitřních vrstev (IN1 a IN2). [2]



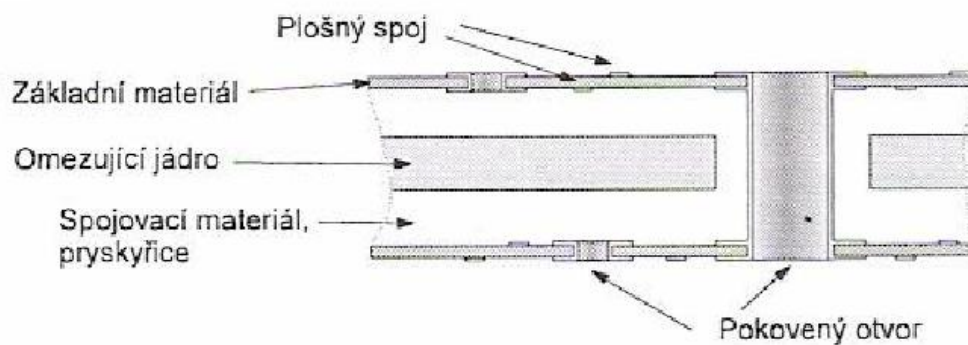
Obr. 4. Vícevrstvá DPS: A – schéma vícevrstvé DPS, B – konečný tvar vícevrstvé DPS

Desky plošných spojů s nosnou deskou (kovovou nebo nekovovou)

S běžnými deskami plošných spojů je možno použít nosné kovové nebo nekovové desky, čímž můžeme zlepšit vlastnosti. V závislosti na požadovaných výsledcích může a nemusí být nosná deska elektricky funkční, současně může sloužit jako chladič, výztuž nebo omezovač činitele teplotní roztažnosti (TCE).

Desky plošných spojů s omezujícím jádrem

V těchto strukturách se používá jedna nebo několik nosných kovových či nekovových desek. Stejně jako u nosné roviny desky plošných spojů v závislosti na požadovaných výsledcích může nosná deska sloužit jako chladič, výztuž nebo omezovač TCE. [2]



Obr. 5. Deska plošných spojů s nosnou deskou

2 METODY VÝROBY DPS

K výrobě desek plošných spojů v dnešní době používáme tři druhy výrobních postupů: subtraktivní, aditivní a semiaditivní. Subtraktivní technologie spočívá v odstraňování přebytečné mědi – leptání. Aditivní postup spočívá v nanášení vodivých cest. Semiaditivní postup je kombinací výše uvedených technologií.

2.1 Subtraktivní technologie

Subtraktivní metoda převládá ve světové produkci (přibližně 90% objemu výroby), což je dáno jednoznačně nízkou výrobní cenou.

Rozeznáváme dva základní druhy subtraktivní technologie:

- **Pattern plating** – jedná se o nejrozšířenější technologii, kde jako leptuodolná vrstva slouží Sn, Sn/Pb, nebo Au.
- **Panel plating** - otvory a vodivé cesty jsou kryty fotorezistem, který chrání pokrytá místa před vyleptáním.

Postup výroby technologií Pattern plating je následující:

Desky požadovaných rozměrů se nastříhají o 10-20mm větší než má být výsledný rozměr desky.

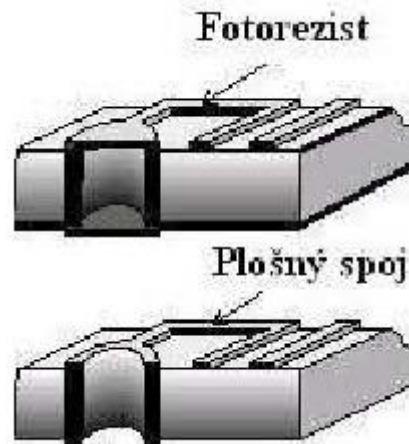
Vyvrtají se otvory (nejčastěji na souřadnicové vyvrtávače) pomocí tvrdokovových vrtáků.

Desky se následně očistí a brousí kotouči z polyesterových vláken (tzv. kartáčování).

Bezproude pokovování otvorů pomocí palladia nebo cínu, následné vyredukování mědi. Vrstva mědi je silná cca 1 μ m. Vrstva o této tloušťce je mechanicky neodolná, proto se musí galvanicky zesílit. Provádí se pokovením mědi celé desky a všech otvorů. Výsledná tloušťka mědi se zvětšuje minimálně na dvacetinásobek, tedy asi na 20 μ m.

Vytvoření obrazce se provádí pomocí tzv. suchého rezistu. Následuje vyvolání, sušení a po odstranění rezistu leptání.

Na závěr se provádí dokončující operace, jako zhotovení nepájivé masky, servisní potisk a povrchová úprava, resp. čištění. [3]



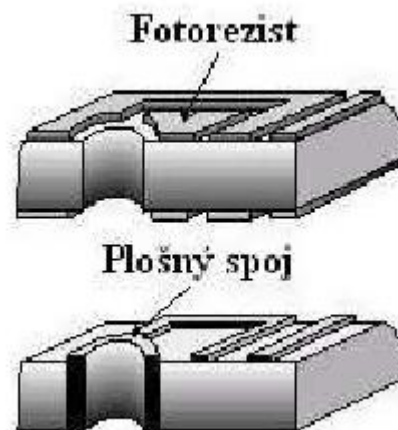
Obr. 6. Subtraktivní technologie [3]

2.2 Aditivní technologie

Proces výroby plošného spoje je vytvořen pouze chemickou cestou (bez použití elektrického proudu) s úplným odpadnutím procesu leptání, a tím i problémů s ním spojených.

Nejpoužívanějším materiálem u aditivní technologie je tvrzený papír nebo sklolaminát.

Materiál je neplátovaný a impregnovaný pomocí palladia, na rozdíl od předchozí technologie není základní materiál zpracován s měděnou fólií, čímž nedochází k prohýbání a kroucení desek vyvolaného vnitřním pnutím. [4]



Obr. 7. Aditivní technologie [3]

I přes velké výhody tohoto procesu (menší počet výrobních operací, úspora materiálu, zvýšení spolehlivosti aj.) není zejména v Evropě velmi rozšířen, a to hlavně díky vysokým finančním nárokům na vývoj a výzkum, což je hlavním důvodem proč se aditivní technologie nerozšířila do velkosériové výroby.

2.3 Semiaditivní technologie

Tato metoda umožňuje výrobu jednostranných, oboustranných i vícevrstevných desek.

Příklad výroby oboustranné desky s plošnými spoji:

Základní materiál pro výrobu semiaditivním způsobem je nosná deska, která je plátovaná z obou stran vodivou měděnou fólií.

Prvním krokem je tzv. **formátování**, deska se stříhá na požadovaný tvar a vyvrtají se montážní otvory.

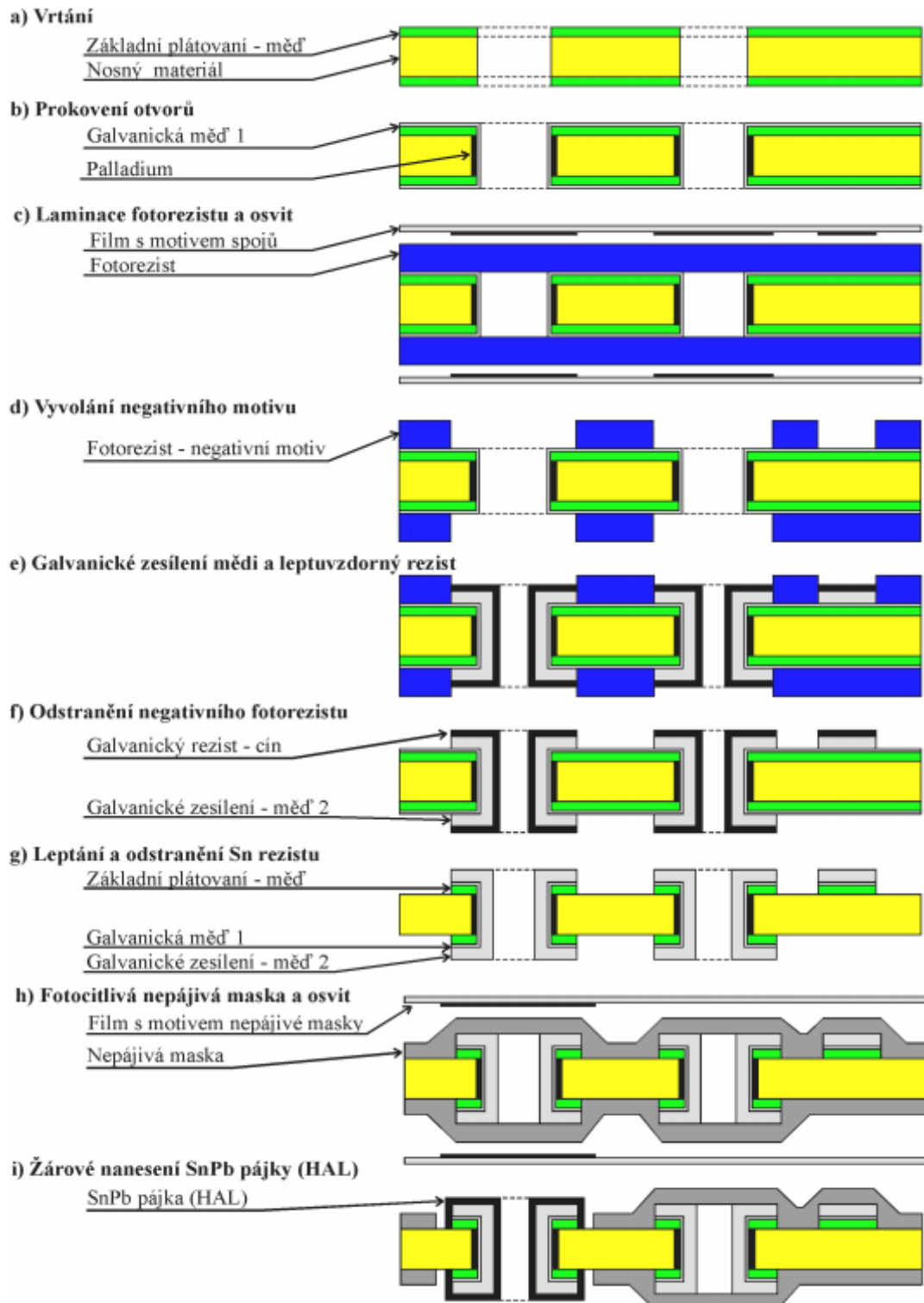
Následuje **vyvrtání otvorů** na souřadnicové vrtačce - *obr. 8a*), začištění okrajů kartáčováním. Při vrtání je nutno zajistit dostatečný odvod tepla, který zajišťuje shora přiložená hliníková fólie, ta také eliminuje odchýlení vrtáku od osy při samotném vrtání. Nosnou desku je také nutno zbavit nečistot a mastnot.

Prokovení otvorů je rozděleno na dva kroky. Nejdříve se všechny otvory chemicky očistí, následně se na takto upravené otvory nanese tenká vrstva palladia (0,1 μm) čímž dojde k vodivému propojení obou stran desky ve všech otvorech. Na závěr se nosná deska galvanicky pokoví cca 5 μm silnou vrstvou mědi. - *obr. 8b*)

Následným procesem je **laminace fotorezistu a osvit motivu** – *obr. 8c,d*). Ve velkosériové výrobě se jako fotorezist používají tekuté rezisty, které se na nosnou desku nanesou, přiloží se film s motivem spojů a pomocí výbojky se osvítí. Tato operace je vysoce náročná na čistotu prostředí.

Galvanické zesílení mědi – *obr. 8e*) se provádí pouze na místech odkrytých fotorezistem a nanese se na tato místa cín sloužící jako leptuvzdorný rezist. Poté se odstraní negativní fotorezist - *obr. 8f*).

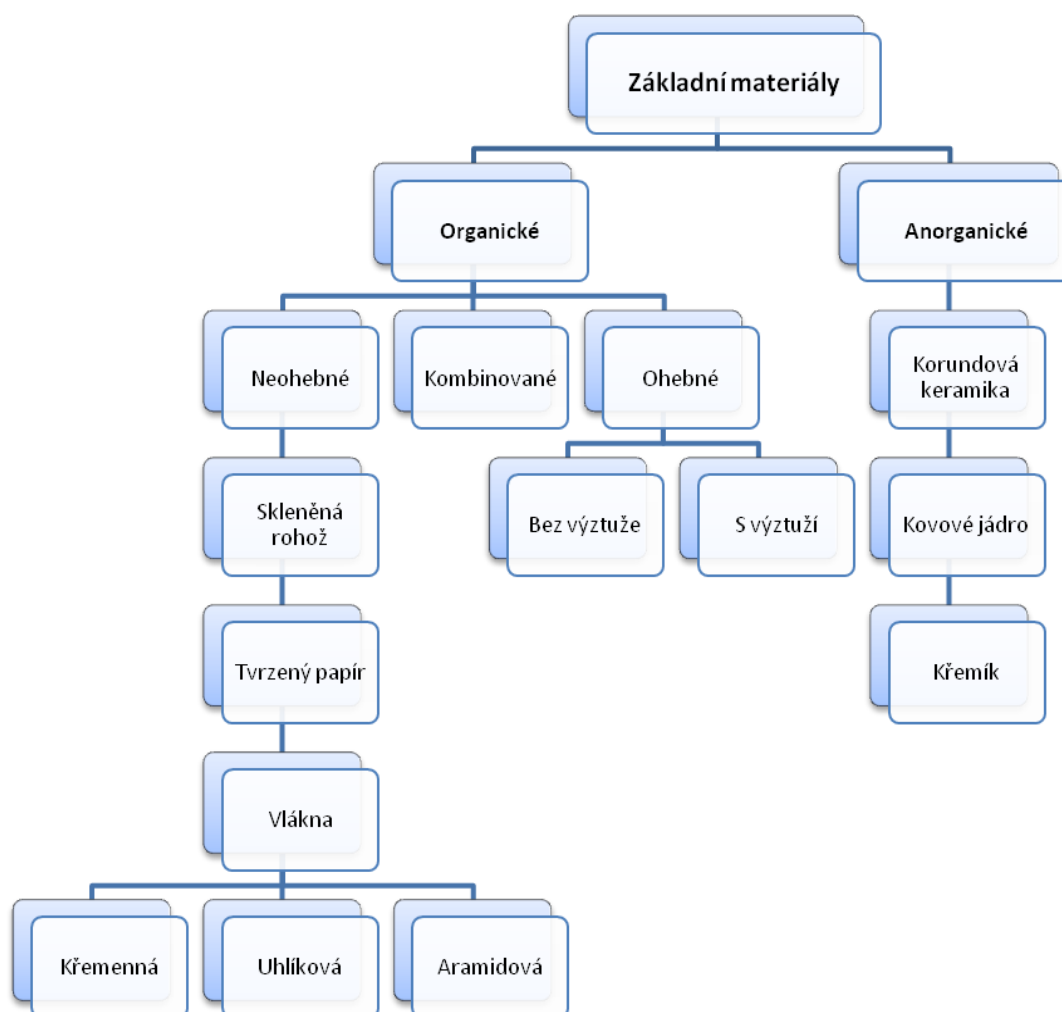
Nosná deska je nyní připravena k leptání. - *obr. 8g*)



Obr. 8. Semiaditivní technologie výroby oboustranných desek plošných spojů [3]

3 MATERIÁLY PRO VÝROBU DPS

Základní materiály se používají na zhotovení vodivých cest a slouží k montáži elektronických součástek a mechanických prvků. Základní materiály rozdělujeme na organické, anorganické, popř. jejich kombinace.



Obr. 9. Rozdělení základních materiálů

3.1 Organické materiály

Organické materiály můžeme z hlediska tuhosti dělit na ohebné a neohebné. U neohebných materiálů jsou jako pojivo používány reaktoplasty, což jsou vysoce zesíťované polymerní řetězce. Naproti tomu ohebné materiály používají jako pojivo termoplasty, které na rozdíl od reaktoplastů mají dlouhé lineární molekuly bez mezimolekulárních vazeb, čímž je dosažena pružnost a odolnost vůči ohybovému namáhání.

Výztužný materiál

Výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti (pevnost v ohybu, tahu a tlaku), zásadně ovlivňuje elektrické, chemické a teplotní vlastnosti i rozměrovou stálost v daném teplotním rozsahu. Výztužný materiál také ovlivňuje výrobitelnost a výslednou spolehlivost desky.

Druhy výztužného materiálu:

- Skleněná rohož
- Tvrzený papír
- Křemenné, uhlíkové a aramidové vlákno

Pojivo

Napomáhá rovnoměrnému rozložení působení vnějších vlivů na výztuž, chrání ji před mechanickým poškozením a zejména před chemikáliemi. Pojivo je vyrobeno na polymerní bázi. Pro neohebné struktury se používají reaktoplasty, pro ohebné propojovací struktury se používají termoplasty. Pojivo musí mít výborné dielektrické vlastnosti a dobré tepelné, mechanické i chemické charakteristiky.

Druhy pojiv:

REAKTOPLASTY:

- fenolformaldehydové pryskyřice
- epoxidové pryskyřice
- polyimidové pryskyřice

TERMOPLASTY:

- polyimid (PI)
- polytetrafluoretylen (PTFE)
- polyetylnaftalát (PEN)
- polyetyléntereftalát (PET) [5]

3.1.1 Neohebné základní materiály**Fenolformaldehydové pryskyřice**

Jako výztužný materiál je nejčastěji používán celulóзовý papír. Mezi celulóзовým papírem – plnivo a fenolformaldehydovou pryskyřicí – impregnant dojde při vytvrzení k chemické reakci a k zesílení a následné fixaci plniva. Obsah pryskyřice má výrazný vliv na tvrdost materiálu (čím více pryskyřice, tím větší tvrdost materiálu). Podíl pryskyřice bývá obvykle v rozmezí 35 – 60 %. Značí se *FR-2*.

Používá se pro méně náročné aplikace (jednovrstvé DPS). Výhodou je snadné vrtání otvorů a opracovávání. Nevýhodou jsou horší mechanické a teplotní vlastnosti a velká navlhavost a s tím spojené zhoršení dielektrických vlastností.

Epoxidové pryskyřice

Přidávají se aditiva, která zlepšují vlastnosti epoxidové pryskyřice (zvyšují teplotu skelného přechodu T_g , snižují teplotní součinitel délkové roztažnosti a tím zvyšují použitelnost těchto materiálů. Používá se několik druhů základních materiálů, které se liší jak plnivem, tak i pojivem.

- TVRZENÝ PAPÍR
 - Značen jako *FR-3*
 - V náročnějších aplikacích nahrazuje fenolformaldehydové pryskyřice
 - Menší navlhavost, vyšší pevnost, lepší elektrické i tepelné vlastnosti

- SKLOEPOXIDOVÝ LAMINÁT
 - Skleněná tkanina, popř. rohož + epoxidová pryskyřice
 - Skelné tkaniny jsou skládány do vrstev a laminovány spolu s Cu fólií.
 - Pryskyřice je vytvrzena během laminace vlivem tepla a tlaku
 - Laminace probíhá ve vakuu
 - Dobré mechanické a elektrické vlastnosti, vyšší teplotní odolnost, menší navlhavost
 - Náročné mechanické opracování, vyšší cena
 - Použití v regulační a měřicí technice
 - Značí se *FR-4*, popř. *FR-5*

- KOMPOZITNÍ MATERIÁLY
 - Výztužný materiál obsahuje nejméně dva materiály, pojivem je epoxidová pryskyřice

CEM-1

- Nejvíce používaný
- Výztužný materiál: jádro – tvrzený papír, krycí vrstva – skelná tkanina
- Vhodný pro drážkování

CEM-3

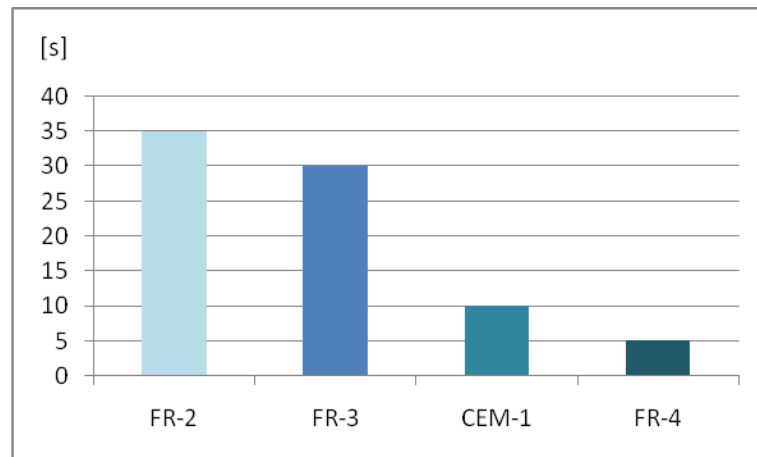
- Místo tvrzeného papíru je použita skelná rohož, krycí vrstva skelná tkanina

Polyimidové pryskyřice

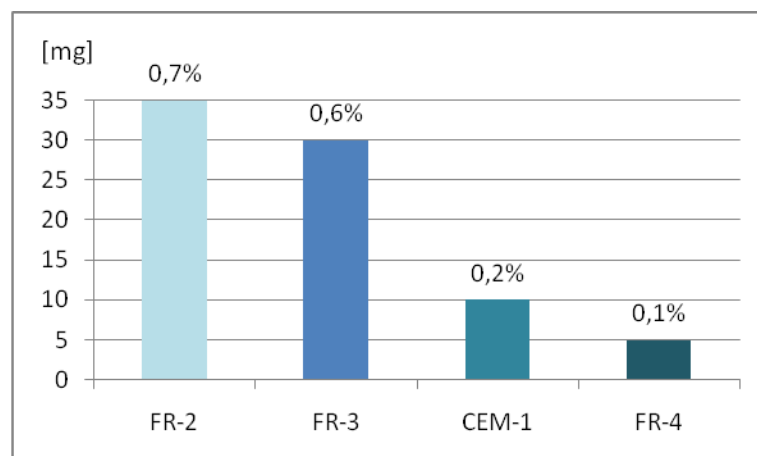
- Výztužným materiálem je nejčastěji skleněná tkanina, aramidové vlákno nebo tkanina
- Tepelná odolnost nad 200°C, teplota skelného přechodu $T_g=260^\circ\text{C}$
- Stejně mechanické vlastnosti v teplotním rozsahu do 150°C
- Vyšší navlhavost, vysoká cena [5]

Tabulka 1. Vlastnosti nejpoužívanějších neohebných základních materiálů

Materiál Vlastnosti		FR-2	FR-3	CEM-1	FR-4
Povrchový izolační odpor	[Ohm]	$1 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{12}$
Vnitřní izolační odpor	[Ohm · cm]	$4 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{13}$	$8 \cdot 10^{14}$
Permitivita (1MHz)	-	4,7	4,9	4,7	4,7
Teplota skelného přechodu Tg	[°C]	105	110	130	130
Cenový faktor (FR-4=1)	-	0,5	0,65	0,85	1



Obr. 10. Odolnost materiálu v pájecí lázni (250°C)



Obr. 11. Navlhavost materiálu

3.1.2 Ohebné základní materiály

Nejrozšířenější materiály jsou na bázi polyesterů a polyamidů, méně používané jsou pak epoxidové kompozity. Ohebné materiály jsou většinou bez výztužného materiálu a vyznačují se výrazně nižšími teplotami zpracování.

Polyetylénaftalát (PEN)

Základní materiál je na bázi PEN fólie, která je ovrstvena polyesterem a laminována měděnou fólií. Použití PEN substrátů je výhradně v membránových spínačích a tlačítkových displejích. Mají vysokou teplotní odolnost.

Polyetylentereftalát (PET)

Základní materiál je na bázi PET fólie ovrstvené polyesterem, na kterou je nalaminována měděná fólie. Použití také u membránových spínačů, tlačítkových displejů nebo na fóliových klávesnicích. Proces pájení se v praxi příliš nerozšířil.

Polyimid (PI)

Materiál je tvořen polyimidovou fólií, která je ovrstvena reaktoplastickým adhezivem (polyimid, akrylát, epoxid, popř. polyester). Měděná fólie se nejčastěji laminuje na akrylátovou vrstvu. Výhodou polyamidových substrátů je široká oblast použití pracovních teplot. Nevýhodou je však velká navlhavost.

Polytetrafluoretylen (PTFE)

Jako výztužný materiál je používána skelná tkanina nebo skelné vlákno. Předností tohoto materiálu jsou vynikající elektrické i dielektrické vlastnosti, malá permitivita a nízká navlhavost. PTFE substráty jsou také odolné vůči vysokým teplotám. [5]

Tabulka 2. Vlastnosti nejpoužívanějších ohebných základních materiálů

Materiál Vlastnosti		PET	PEN	PI	PTFE
Povrchový izolační odpor	[Ohm]	10^{15}	10^{16}	$5,5 \cdot 10^{15}$	10^{14}
Vnitřní izolační odpor	[Ohm · cm]	10^{13}	10^{15}	$5,4 \cdot 10^{14}$	10^{14}
Permitivita (1MHz)	-	3,1	3,2	3,5	2,9
Teplota skelného přechodu Tg	[°C]	80	120	230	75
Cenový faktor (FR-4=1)	-	-	-	7	více než 10

3.2 Anorganické materiály

Anorganické materiály (substráty) jsou elektroizolační keramické materiály, které ve srovnání s organickými materiály mají mnohé přednosti jako např. velmi dobrou elektrickou vodivost, dobrou chemickou odolnost nebo malou teplotní roztažnost (TCE). Naproti tomu však mají vyšší pořizovací cenu, větší hmotnost, křehkost a některé keramiky jsou dokonce i toxické.

Základní anorganické materiály:

- **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.

- **Beryliový substrát**

Základem je polykrystalický oxid berylnatý s malým množstvím kovových oxidů. Oproti korundové keramice má tento materiál výrazně vyšší vodivost. [5]

Mezi další anorganické materiály patří:

- Ovrstvené kovové jádro
- Křemenné a skleněné substráty
- Feritový substrát

Tabulka 3. Vlastnosti nejpoužívanějších anorganických základních materiálů

Materiál Vlastnosti		Korundová keramika	Beryliová keramika	Kovové jádro	Křemík
Permitivita (1 MHz)	-	9-10	6,5	5,4	3,8
Ztrátový činitel (1 MHz)	-	0,08	0,04	x	x
Tepelná vodivost	$J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	34-38	250	2,1	1,9
Ekologičnost materiálu	-	ekologický	toxický	ekologický	ekologický
Mechanická stabilita	-	křehký	křehký	nárazu odolný	křehký

4 RECYKLACE DPS

V posledních letech dochází v důsledku neustále zvyšující se výroby a spotřeby elektronických zařízení k prudkému nárůstu odpadů z těchto zařízení. Objevují se nové materiály a technologie, které však mohou negativně ovlivnit životní prostředí. Proto je důležité se otázkou recyklace zabývat velmi pozorně a pečlivě.

Převážnou část odpadů z elektronických zařízení tvoří právě desky plošných spojů. Jelikož jsou DPS nehomogenní součásti, jejich recyklace je tak podstatně ztížena. Nejvíce jsou v DPS obsaženy kovy, plasty, keramika nebo sklo. Všechny tyto materiály jsou obsaženy jak v samotné desce, tak i v součástkách, které jsou na ni připájeny. Navíc některé kovy obsažené v DPS jsou toxické (např. rtuť, beryllium, arsen, olovo, apod.) díky čemuž se z nich stává nebezpečný odpad. Před samotnou recyklací je tedy nutno elektronické součásti odstranit. Nejznámějšími metodami oddělování je řezání, mechanické oddělování a tavení.

4.1 Postup při recyklaci

Odstranění komponentů

- **Mechanické odstranění:** tato metoda je vhodná pouze pro některé typy součástek (diody, rezistory, tranzistory...). Provádí se mechanickým odstraněním pinů z vhodných komponent.
- **Tavení:** se zvyšující se teplotou dochází k roztavení cínových spojů a uvolnění pinů součástek, které se následně mechanicky odstraní. Plošný spoj se umístí na hliníkovou desku, kde se pomocí topných těles následně ohřeje na teplotu 350-400°C.
- **Řezání:** Plošný spoj se umístí do upínacího rámu, ve kterém se pomocí pásové pily odřežou piny. Velkou nevýhodou je zde odpad, který obsahuje jak kovové tak i laminátové piliny.

- **Drcení plošných spojů:** K drcení plošných spojů se používají břitové drtící stroje, řezací zařízení, granulační mlýny nebo kryogenní drtící stroje. Výběr těchto strojů závisí zejména na konkrétních požadavcích na zrnitost materiálu. Tzv. kryogenní drcení spočívá v tom, že drcený odpad je nejdříve hluboce zmrazen na teplotu -100 až -170°C a teprve poté drcen. Využívá tak rozdílných účinků nízkých teplot na fyzikální vlastnosti materiálů. Podchlazené materiály potřebují k drcení poloviční příkon na provoz stroje než u klasického drcení. Nevýhodou jsou paradoxně vyšší náklady. [6]

Třídění materiálů z drti

Nejznámějšími metodami třídění materiálů z drti je magnetická separace, vibrační třídění a gravitační úpravou (na základě rozdílné hustoty).

Získávání drahých kovů

V dnešní době je získávání drahých kovů z desek plošných spojů předmětem velkého zájmu mnoha firem. K vytěžení drahých kovů lze použít několik technologických postupů.

- **Extrakce v tavenině olova:** Rozdrcené plošné spoje se dávají rovnou do tavicího zařízení, kde se mísí s roztaveným oloven. Při vysoké teplotě plasty vyhoří a kovy zůstanou na hladině, odkud se odebírají. Tavenina se následně prohání vzduchem. Většina olova a kovů zoxidují a odstraní se jako struska. Zbývá část olova je obohacena o drahé kovy a podrobuje se rafinaci. Touto metodou získáváme měď, nikl, cín a rtuť. Nevýhodou této metody je ekologická nešetrnost.
- **Kyanidové loužení:** Zlato lze rozpustit jen několika málo sloučeninách. Jedním z nich jsou sloučeniny alkalických kyanidů. Loužení má vysokou účinnost a jeho velkou výhodou je, že ostatní kovy nejsou poškozeny. Nevýhodou je poměrně velká toxicita, která je však při správném chemickém zacházení ve svém množství neškodná.
- **Sulfáto-nitrátová metoda:** Používá se pro separaci palladia. Vzniklé roztoky lze pomocí denitrace snadno redukovat formaldehydem a získat tak čisté palladium. [6]

4.2 Souhrn

Teoretická část je zaměřena na základní rozdělení desek z konstrukčního hlediska, a to na desky ohebné a neohebné. Dále jsou popsány tři základní metody výroby desek plošných spojů včetně jejich výhod, nevýhod a u dvou metod je uveden i postup. V navazující kapitole jsou podrobně popsány materiály pro výrobu jak samotného jádra desky, tak i pojiva. Poslední kapitola teoretické části je zaměřena na samotnou recyklaci tištěných spojů, druhy recyklace, postup při recyklaci a také jejich možné důsledky na životní prostředí. V závěru kapitoly jsou popsány technologické metody k získávání drahých kovů z desek plošných spojů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRÁCE

V praktické části je hlavním cílem navrhnout dělicí stroj pro recyklaci DPS. V první kapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty na hnědé desce. Dále je nutné zjistit maximální otáčky elektromotoru.

Ve druhé části jsou následně detailně popsány jednotlivé části stroje. Nůž a držák nože, posuvný mechanismus a tažný mechanismus, poháněný elektromotorem. Cílem při konstrukci těchto částí stroje je dosažení co největší jednoduchosti a praktičnosti. Důraz je kladen také na údržbu stroje (mazání pohybových částí) a snadnou montáž.

6 SILOVÉ POMĚRY PŘI DĚLENÍ DPS

Abychom mohli zaručit, že se deska neporuší, je nutné určit hodnotu maximálního dovoleného napětí. Tyto hodnoty byly laboratorně naměřeny v bakalářské práci *Konstrukce zařízení pro recyklaci DPS* [7]. Laboratorní měření bylo provedeno na třech vzorcích. Na šedé, hnědé a zelené desce. V Tabulce 4. jsou hodnoty hnědé desky, která podle měření klade největší odpor.

Tabulka 4. Naměřené hodnoty pro hnědou desku plošných spojů [7]

Č. Měření	a ₀	b ₀	σ _{fm}	σ _{fb}	E-modul	F _{fm}
n	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N
1	1,44	45	10,00	9,91	1495,88	648,02
2	1,44	45	12,79	12,79	2432,21	828,99
3	1,44	45	12,77	12,77	2250,60	827,38
4	1,44	45	13,25	13,25	1546,72	858,42
5	1,44	45	8,74	8,48	2170,74	566,36
6	1,44	45	22,61	4,50	2911,92	1465,15
x	1,44	45	12,38	12,13	1948,35	802,42

Tažná část dělicího stroje je poháněna elektromotorem. Jeho otáčky je nutné nejdříve určit. Převod rotačního pohybu na přímočarý byl umožněn pomocí normalizovaného kuličkového šroubu.

Stoupání u zvoleného kuličkového šroub – $P=2,5 \text{ mm}$ za otáčku.

Maximální rychlost posuvu desky – $f=2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Maximální otáčky elektromotoru:

$$n' = \frac{P}{f} = \frac{2,5}{2} = 0,8 \text{ ot} / \text{s}$$

$$n = n' \cdot 60 = 0,8 \cdot 60 = 48 \text{ ot} / \text{min}$$

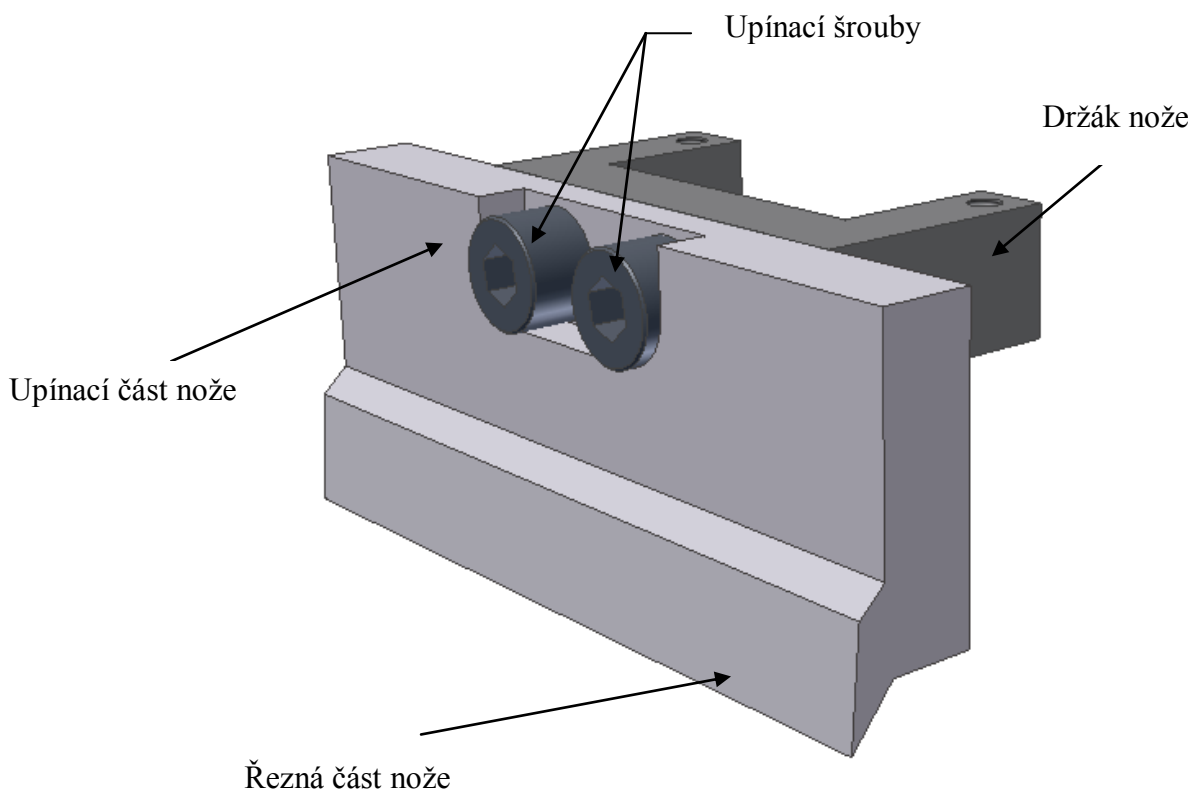
Ideální otáčky elektromotoru by tedy měly být $48 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DĚLÍČÍHO STROJE

V této kapitole budou blíže popsány jednotlivé části stroje spolu s jejich funkcí.

7.1 Nůž

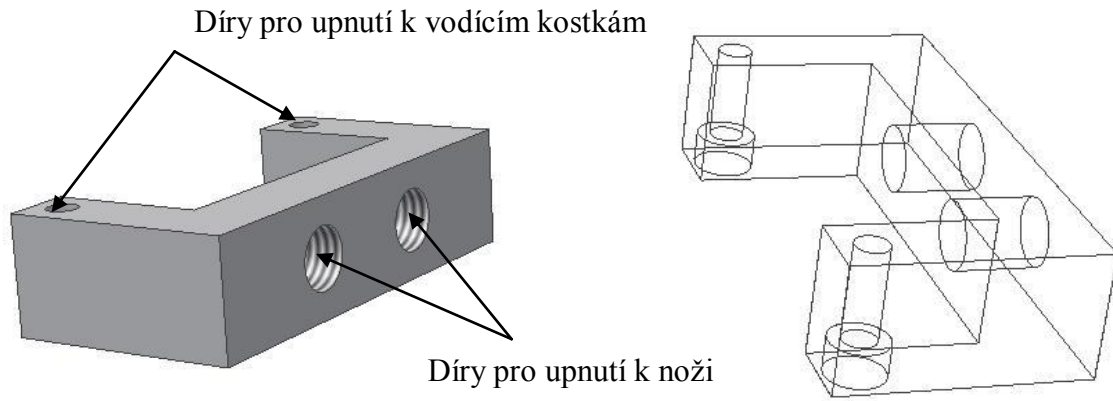
Nůž se podílí na odebrání a tvorbě třísky z desky. Je upevněn pomocí dvou šroubů k držáku, pomocí kterého lze přes kuličkový šroub regulovat výškové nastavení nože, respektive tloušťku odebírané třísky. Konstrukce ostří nože je stejná jako u nože obrážecího.



Obr. 12. Upnutí nože

7.2 Držák nože

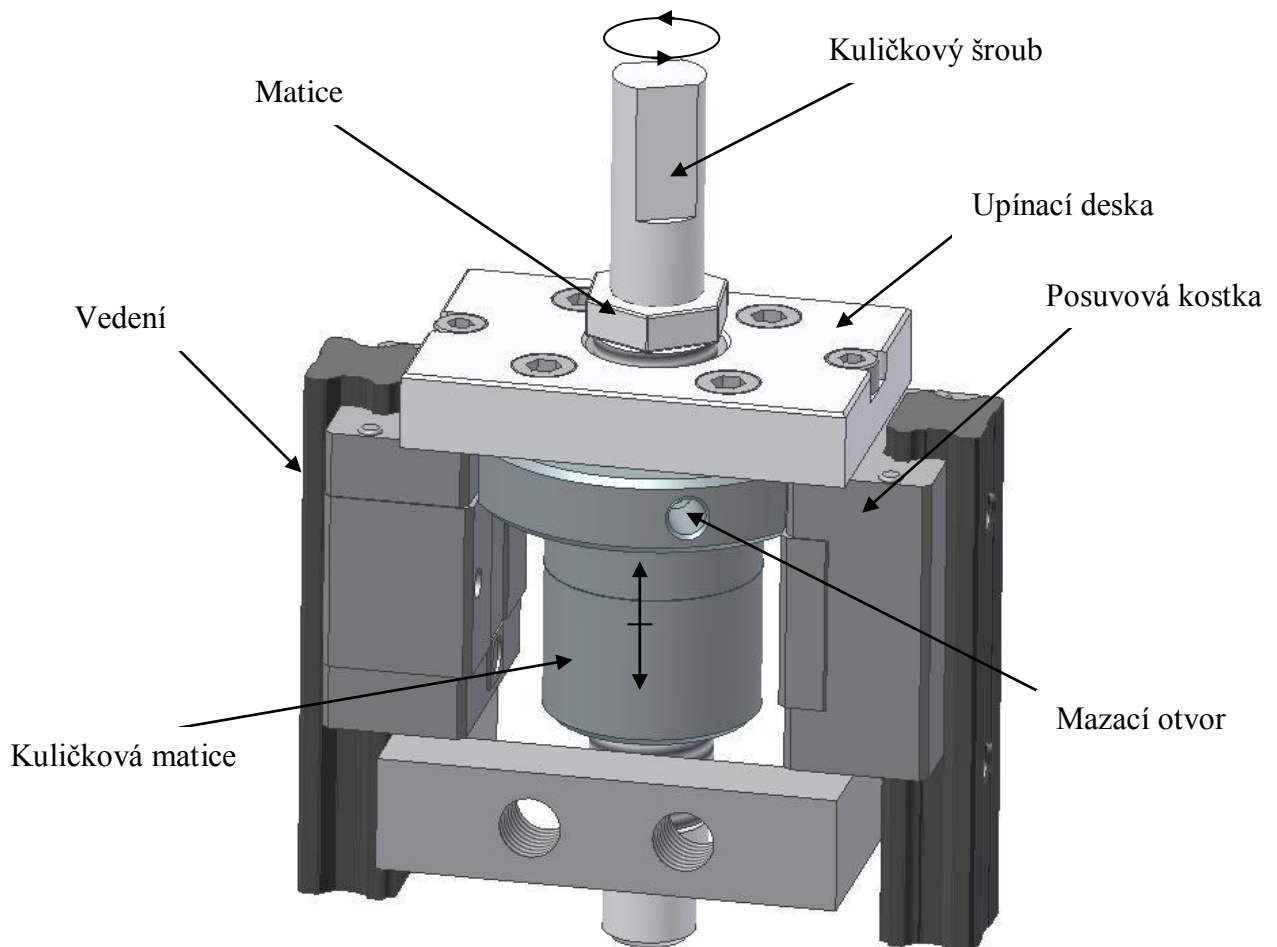
Držák slouží k upevnění nože do pevné polohy, umožňuje pouze posunutí v ose z k nastavení tloušťky třísky. Samotný držák je upevněn pomocí dvou šroubů k vodícím kostkám.



Obr. 13. Držák nože

7.3 Posuvný mechanismus

Základem tohoto mechanismu je kuličkový šroub s maticí. Kuličková matice je upevněna pomocí upínací desky v posuvových kostkách. Kostky mohou vykonávat přímočarý pohyb díky vedení, ve kterém jsou uloženy.



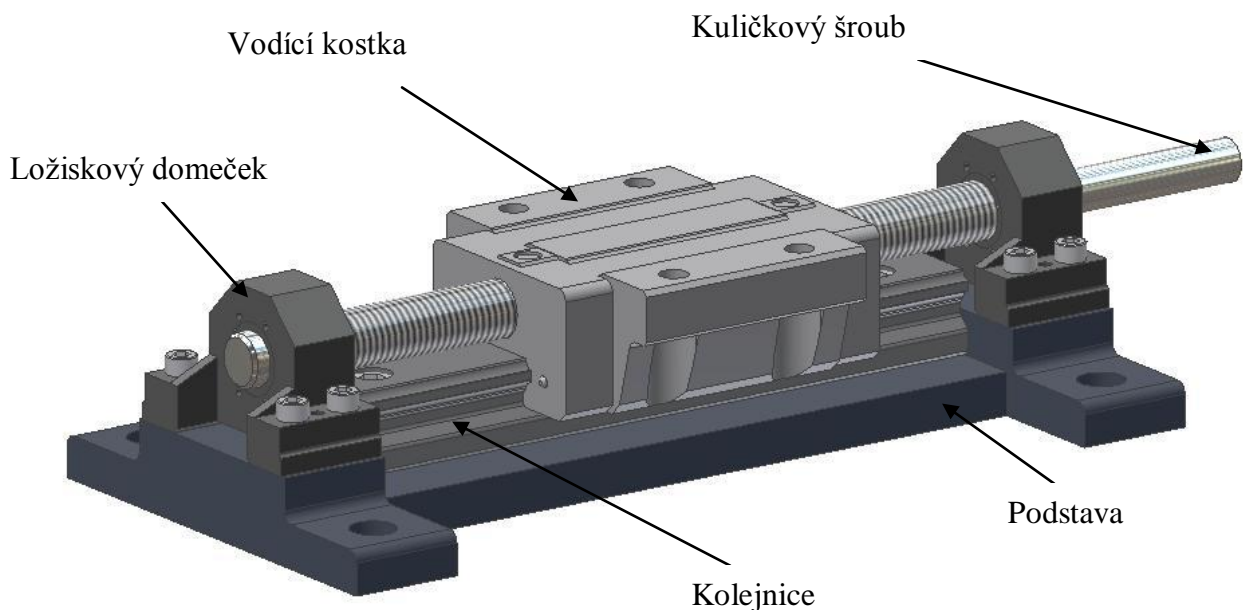
Obr. 14. Posuvný mechanismus

Kuličkový šroub musí mít pevně stanovený rozsah pohybu, nesmí zde tedy chybět dorazy. V opačném případě by mohlo dojít k vyšroubování matice ze závitu, což by mělo za následek vypadnutí kuliček z kuličkové matice. Šestihranná matice na konci šroubu vykonává funkci horního dorazu. Funkci spodního dorazu vykonává držák nože.

Kuličkový šroub je uložen z jedné strany v kluzném ložisku, ze strany druhé je uložen volně. Síly zde jsou poměrně malé a pevnou polohu šroubu do jisté míry plní přesné uložení posuvových kostek ve vedení.

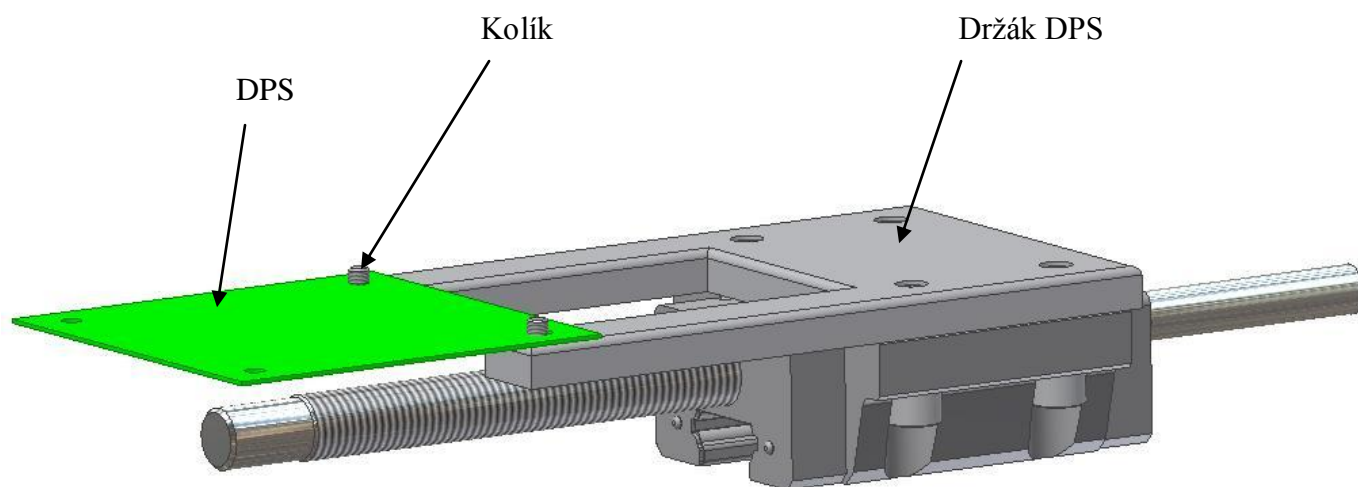
7.4 Tažný mechanismus

Druhou částí dělicího stroje je tažný mechanismus. Ten zajišťuje, aby deska s plošnými spoji byla rovnoměrně protahována mezi ostřím nože a válečkovým vedením. Stejně jako u posuvového mechanismu zajišťuje přeměnu rotačního pohybu na pohyb přímočarý kuličkový šroub, uložený v ložiskových domečcích. Tento mechanismus je poháněn elektromotorem. Hřídel elektromotoru je spojena s kuličkovým šroubem pomocí trubkové spojky.



Obr. 15. Tažný mechanismus

V tomto případě je ve vodící kostce zabudována kuličková matice, což má za velkou výhodu ušetření místa. Podstava je pevně přišroubována k pracovnímu stolu.



Obr. 16. Upnutí DPS

Držák DPS je přišroubován pomocí čtyř šroubů k vodící kostce. K uchycení desky s plošnými spoji slouží dvojice kolíků.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem měl za úkol navrhnout dělicí stroj pro desky s plošnými spoji. Velkou část bakalářské práce tvořilo 3D modelování dělicího stroje pomocí programu Autodesk Inventor 11. Celý stroj lze rozdělit do tří základních částí. Tou první je samotná dělicí část, která se skládá z nože a podpěrných válečků na čepu. Druhou částí je posuvný mechanismus na principu kuličkového šroubu, kterým lze regulovat tloušťku odřezávané desky. Třetí část dělicího stroje je z velké části stejná jako část posuvná, odlišuje se hlavně v typu pohonu. Ten je poháněn elektromotorem.

Celý mechanismus má jednu nevýhodu. Tou je poměrně častá manipulace s odřezávanou deskou. Dělicí stroj totiž není schopen odřezat měděnou vrstvu na jedenkrát, hlavně kvůli kolíkům, které uchycují desku. Navíc nůž odstraňuje vrstvu pouze z jedné strany, musí se tedy několikrát otáčet, aby došlo k odstranění vrstvy po celé ploše desky.

V posledních letech došlo k velkému nárůstu dopadu z elektrotechniky. Je tedy nutné tento odpad recyklovat. Dělicí stroj pro desky s plošnými spoji umožňuje efektivní recyklaci DPS pomocí jednoduchého postupu. Zbylou recyklovanou laminátovou desku je možno následně použít nebo ji dále recyklovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] OLMR Vít: *Ohebné plošné spoje*. [online]. Dostupné z WWW:
<<http://hw.cz/produkty/obecne-produkty/art1485-co-jsou-ohebne-plosne-spoje-a-k-cemu-se-hodi.html>>
- [2] ABEL Martin: *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. 1. vydání Pardubice: Platan, 2000. 218 stran. ISBN 80-902733-2-7.
- [3] ZÁHLAVA Vít: *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. 1. vydání, 2005. 77 stran ISBN 80-01-03351-1.
- [4] STARÝ, J. „Bez Nadpisu“. [online]. Dostupné z WWW:
<<http://147.229.68.79/SMT/eltext/PSPM/1.pdf>>.
- [5] STARÝ, J. *Plošné spoje a povrchová montáž*. VUT Brno, 1999. ISBN 80-214-1499-5
- [6] časopis *Odpadové forum*, rok vydání 2006, číslo 11
- [7] MYNARČÍK, M. *Konstrukce zařízení pro recyklaci DPS*. Zlín, 2009. 63 s. Baka-
lářská práce. UTB Zlín.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DPS	Deska s plošnými spoji
PCB	Printed circuit board
TCE	Teplotní roztažnost
PI	Polyimid
PTFE	Polytetrafluoretylen
PEN	Polyetylénnaftalát
PET	Polyetyléntereftalát
FR	Flame reset – Ohni vzdorný
CEM	Composite epoxy material – Označení kompozitu
T _g	Teplota skelného přechodu
Sn	Cín
Pb	Olovo
Au	Zlato
Cu	Měď
Pd	Palladium
a ₀	Tloušťka měřené DPS
b ₀	Šířka měřené DPS
σ_{fM}	Napětí na mezi pevnosti
σ_{fB}	Napětí při přetržení
E	Modul pružnosti
F _{fM}	Síla na mezi pevnosti
P	Stoupání šroubu
f	Rychlost posuvu
n	Otáčky elektromotoru

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Deska s plošnými spoji	10
Obr. 2. Jednovrstvá DPS.....	11
Obr. 3. Dvouvrstvá DPS	12
Obr. 4. Vícevrstvá DPS	12
Obr. 5. Deska plošných spojů s nosnou deskou.....	13
Obr. 6. Subtraktivní technologie [3].....	15
Obr. 7. Aditivní technologie [3].....	15
Obr. 8. Semiaditivní technologie výroby oboustranných desek plošných spojů [3].....	17
Obr. 9. Rozdělení základních materiálů	18
Obr. 10. Odolnost materiálu v pájecí lázni (250°C).....	22
Obr. 11. Navlhavost materiálu	22
Obr. 12. Upnutí nože	32
Obr. 13. Držák nože	33
Obr. 14. Posuvný mechanismus	33
Obr. 15. Tažný mechanismus.....	34
Obr. 16. Upnutí DPS	35

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Vlastnosti nejpoužívanějších neohebných základních materiálů.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 2. Vlastnosti nejpoužívanějších ohebných základních materiálů</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3. Vlastnosti nejpoužívanějších anorganických základních materiálů</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 4. Naměřené hodnoty pro hnědou desku plošných spojů. [7]</i>	<i>31</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 01 Výrobní výkres: NŮŽ
- Příloha 02 Výrobní výkres: DRŽÁK NOŽE
- Příloha 03 Výrobní výkres: STOJINA
- Příloha 04 Výrobní výkres: UPÍNACÍ DESKA
- Příloha 05 Výrobní výkres: STOJINA_2
- Příloha 06 Výrobní výkres: DRŽÁK_DPS
- Příloha 07 Výrobní výkres: PODSTAVA
- Příloha 08 Výrobní výkres: ČEP
- Příloha 09 3D model sestavy dělicího stroje

