

Upínací přípravek pro recyklaci PC desek

Radek Kostka

Bakalářská práce 2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek KOSTKA**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Téma práce: **Upínací přípravek pro recyklaci PC desek**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Zhotovení výkresové dokumentace
3. Zadání do výroby a zprovoznění přípravku
4. Ověření funkčnosti přípravku

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním řešením upínacího přípravku, pro odřezání elektronických součástek z povrchu PC desek. Upínací část přípravku je tvořena čtyřmi čepy, na které bude deska plošného spoje nasazena a následně napnuta. V praktické části byla provedena zkouška na tah pro jednotlivé druhy DPS. 2D a 3D sestava upínacího přípravku byla provedena v programu Autorek a Inventor 10.

Klíčová slova: upínací přípravek, PC deska (deska plošného spoje), elektrické součástky.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the constructional solution of mounting (fixative) preparation for cutting off of electrical components from the surface of PC boards. Mounting (fixative) part of the preparation is made from four pegs (pintles) to which the board of areal connection will be put on and stretched. The test of draw for different types of DPS was done (conducted) in the practical (experimental) part. 2D and 3D assembly (configuration) of mounting (fixative) preparation was done (performed) in Autorek and Inventor 10 software.

Keywords: fixative preparation, PC board (board of areal connection), electrical components.

Velmi rád bych touto cestou poděkoval Ing. Milanu Žaludkovi, za odborné vedení při vytváření mé bakalářské práce, zodpovězení mých dotazů, cenné rady v technickém směru a zájem na úspěšném dokončení a zvládnutí všech problémů, které se během práce vyskytly.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 29. 05. 2009

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	3
I TEORETICKÁ ČÁST	4
1 DRUHY MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU PLOŠNÝCH SPOJŮ	5
1.1 ORGANICKÉ ZÁKLADNÍ MATERIÁLY	6
1.1.1 Neohebné DPS	7
1.1.2 Ohebné DPS	9
1.2 ANORGANICKÉ ZÁKLADNÍ MATERIÁLY	10
2 TECHNOLOGIE VÝROBY DPS	12
2.1 DRUHY PROPOJOVACÍCH STRUKTUR	12
2.1.1 Jednovrstvá DPS	12
2.1.2 Dvouvrstvá DPS	13
2.1.3 Vícevrstvá DPS	13
2.2 METODY VÝROBY PROPOJOVACÍCH STRUKTUR	14
2.2.1 Subtraktivní technologie	14
2.2.2 Semidiativní technologie	15
2.2.3 Aditivní technologie	15
2.3 OSAZOVÁNÍ DPS SOUČÁSTKAMI	15
2.4 MĚDĚNÁ FÓLIE DPS	16
3 RECYKLACE DPS	17
3.1 MOŽNOSTI RECYKLACE PLOŠNÝCH SPOJŮ	17
3.1.1 Odstranění součástí	17
3.1.2 Drcení DPS	18
3.1.3 Získávání vzácných kovů	18
4 TECHNOLOGIE ŘEZÁNÍ NA ODSTRANĚNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK	20
4.1 PÁSOVÉ PILY	20
4.1.1 Manuální pásová pila	20
4.1.2 Gravitační pásová pila	20
4.1.3 Poloautomatická pásová pila	21
4.1.3.1 Poloautomatická pásová pila – ramenová	22
4.1.3.2 Poloautomatická pásová pila – dvousloupcová	22
4.1.4 Automatická pásová pila	23
4.2 PILOVÉ PÁSY	23
4.2.1 Napnutí pilového pásu tenzometrem	24
4.2.2 Zabíhání nového nebo přebroušeného pilového pásu	24
4.2.3 Velikost a geometrie zubu pilového zubu	25
4.2.3.1 Standartní zub	25
4.2.3.2 Pozitivní zub	25
4.2.3.3 Mezerový zub	26
4.2.3.4 Profilový zub	26

4.2.3.5	Trapézový zub.....	26
4.2.4	Typy rozvodů zubů na pilovém pásu	27
4.2.4.1	Standartní rozvod zubů	27
4.2.4.2	Skupinový rozvod zubů	27
4.2.4.3	Pravo-levý rozvod zubů	27
4.2.4.4	Vlnový rozvod zubů.....	28
4.2.5	Šířka pilové pásu	28
4.2.6	Řezná kapalina	28
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	30
5	UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK	31
5.1	NAPÍNACÍ MECHANISMUS	32
5.1.1	Napínací čep.....	33
5.1.2	Napínací pouzdro	34
5.1.3	Pouzdro	35
5.2	NAPÍNACÍ PEVNÝ ČEP	36
5.3	OPĚRNÁ ČÁST.....	37
5.4	UPÍNACÍ DESKA	38
5.4.1	Odlehčení	39
5.4.2	Vodící lišty pro napínací pevné čepy	39
5.4.3	Otvory pro pouzdra	40
5.4.4	Vodící lišta pro opěrný kužel	40
6	ELASTICKÉ A TERMOMECHANICKÉ KONSTANTY MATERIÁLŮ DPS	42
6.1	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKO 1 (HNĚDÁ DPS)	43
6.2	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKO 2 (ŠEDÁ DPS)	43
6.3	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKO 3 (BÍLÁ DPS).....	44
7	MECHANICKÉ VLASTNOSTI DPS	47
7.1	ŠEDÁ DPS	48
7.2	HNĚDÁ DPS	50
7.3	ZELENÁ DPS	52
	ZÁVĚR.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM GRAFŮ:.....	61
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Vývoj vzájemného spojování elektronických součástek jde v celé historii elektroniky souběžně s jejich modernizací. V začátcích radiotechniky byly vývody součástek řešeny jako přípojovací šroubky s maticemi, pod které se přitahoval propojovací drát. To si vyžadovala značnou rozměrnost součástek. [9]

Začátkem čtyřicátých let se objevují první praktické pokusy realizace na odleptávání spojů. Výrobní technologie je však drahá, takže vše upadá na několik let v zapomnění. Teprve vývoj nových materiálů a výrobních postupů umožnil koncem téhož desetiletí techniku odleptávání plošných spojů znovu oživit. [9]

Koncem šedesátých let přichází firma Philips s prvními součástkami s bezdrátovými vývody. Zahajuje tak novou éru - technologii pro povrchové montáže součástek. [9]

Dnes se vyrábí pro různá použití značné množství různých podkladových materiálů, které se od sebe liší hlavně v použití pro kmitočtové závislé obvody, kde významnou roli hraje kapacitní vodivost této podložky. Tyto desky plošného spoje obsahují vzácné kovy, které se při recyklaci těchto spojů snažíme získat.

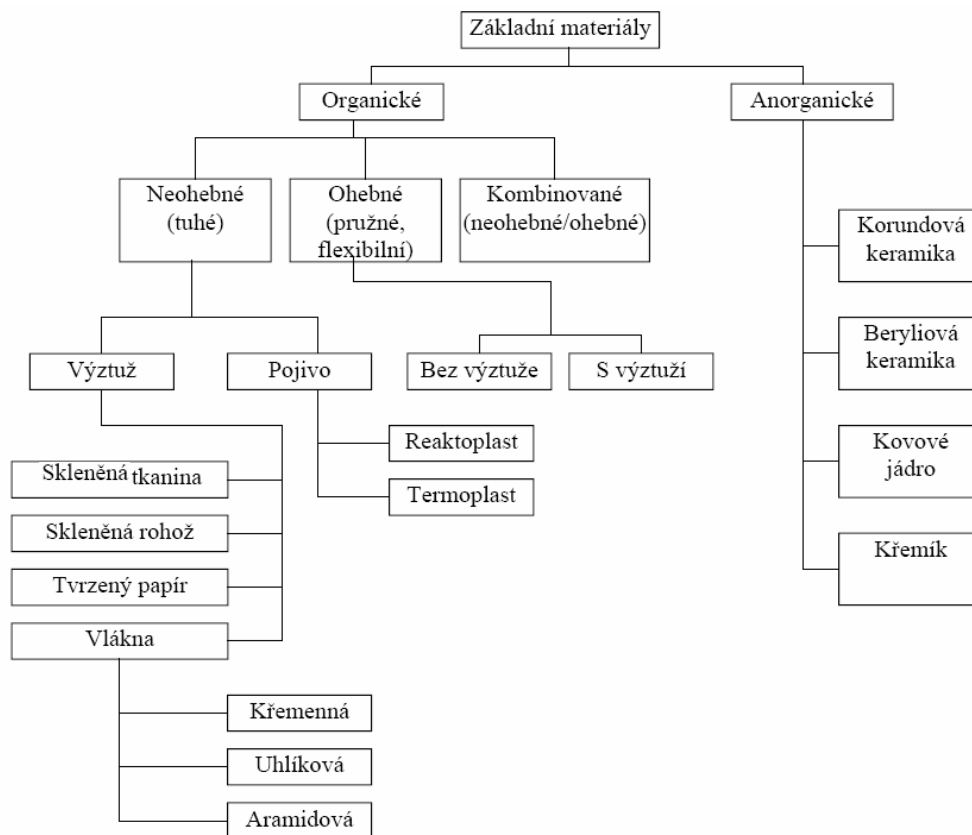
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DRUHY MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU PLOŠNÝCH SPOJŮ

Zvolený materiálu desky plošných spojů je důležitý pro výslednou spolehlivost celého výrobku. Jelikož je výrobek a tím i celá deska plošných spojů vždy vystavena určitým okolním vlivům, je třeba je předpokládat a podle nich zvolit správný základní materiál desky plošných spojů. Rovněž je třeba volit materiál podle požadavků elektrického obvodu umístěného na desce.

Základní materiály:

Základní materiály jsou elektroizolační nosné podložky, tvořené buď dielektrickým materiálem, nebo izolovaným kovovým jádrem. Základní materiály se používají na zhotovení vodivého motivu a slouží nám také k montáži elektronických součástek a mechanických prvků. Základní materiály jsou, buď na organické, anorganické, případně mohou být i na kombinované bázi. [1]



Obr. 1. Dělení základních materiálů

1.1 Organické základní materiály

Organické základní materiály se skládají z organických pryskyřic a výztuže (příp. bez výztuže). Na základní materiál je zpravidla naplátována měděná fólie, pro subtraktivní technologie zhotovení vodivých motivů. Základní materiál bez měděné fólie s přísadou speciálních složek umožní aditivní proces zhotovení vodivého profilu. [1]

Základní materiály podle tuhostí dělíme na neohebné DPS a ohebné DPS. Neohebné materiály používají jako pojivo tj. vysoce zesílené polymerní řetězce (zejména epoxidy). Ohebné používají jako pojivo termoplasty, tj. materiály s dlouhými lineárními molekulami bez mezimolekulárních vazeb. Právě nepřítomnost těchto mezimolekulárních vazeb umožňuje velkým lineárním molekulám se po sobě pohybovat. Materiál s tímto typem pojiva tak získává pružnost i odolnost vůči ohybové únavě. [1]

Výztuž:

Určuje mechanické výsledné vlastnosti DPS (pevnost v tlaku, tahu, ohybu), rozměrovou stálost v daném teplotním rozsahu, výrazně ovlivňuje elektrické, chemické i teplotní charakteristiky. Výztuž tvoří „kostru“ laminátu a ovlivňuje vyrobitelnost a výslednou spolehlivost DPS.

Pojivo:

Chrání výztuž před mechanickým poškozením, účinky chemikálií a zrovnoměňuje působení vnějších vlivů. Pojivo je na polymerní bázi. Používají se termosety pro neohebné a termoplasty pro ohebné a propojovací struktury. Pojivo musí mít dobré tepelné, mechanické i chemické charakteristiky, Některé typy jsou hydrofilní a absorbují vlhkost, která zhoršuje dielektrické vlastnosti.

- Termosety:

fenolformaldehydové pryskyřice

epoxidové pryskyřice

polyesterové pryskyřice

polyamidové pryskyřice

Polyetrafluoretylen pryskyřice (PTEE)

bismaleinimidové pryskyřice (BT)

kyanáttestery (CE)

- *Termoplasty:*

polyeterimid

polytetrafluoretylen

polyamidové pryskyřice

polyétersulfon

lineární polyester – polyetylentereftalát (PET)

lineární polyester – polyetylnaftalát (PEN)

1.1.1 Neohebné DPS

Fenolformaldehydové pryskyřice:

Obsah pryskyřice, bývá obvykle 35 -58 %. Čím větší je obsah pryskyřice, tím je materiál tvrdší. Používá se pro méně náročné aplikace, zejména pro jednovrstvé DPS, dvouvrstvé DPS a DPS s pokoveným otvorem. Dobře se vrtá a opracovává. Nevýhodou je velká navlhlost a malá odolnost vůči elektrickému oblouku, malá pevnost Cu fólie v odtrhu, horší teplotní odolnost, horší mechanické vlastnosti, křehkost u materiálů s větším obsahem pryskyřice. Značen jako: FR – 2 – nehořlavý. [1]

Epoxidové pryskyřice:

Používají se pro lepší elektrické, chemické a teplotní charakteristiky. Přidávají se aditiva, které zlepšují vlastnosti epoxidové pryskyřice – zvyšují teplotu skelného přechodu (T_g), snižují teplotní součinitel délkové roztažnosti a tím zvyšují aplikovatelnost těchto materiálů. [1]

- *Tvrzený papír a epoxidová pryskyřice*

Nahrazuje materiál FR – 2 v náročnějších podmínkách. Oproti FR – 2 má lepší mechanické, elektrické i tepelné vlastnosti. Má vyšší pevnost v odtrhu měděné fólie a menší navlhlost. Značen jako: FR – 3. [1]

- *Skloepoxidový laminát*

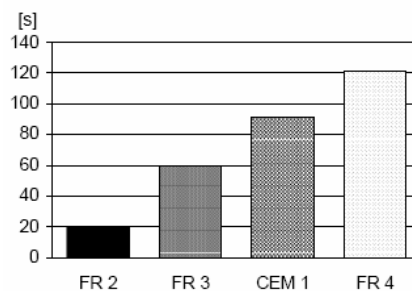
Skleněná tkanina + epoxidová pryskyřice. Impregnované skelné tkaniny jsou skládány do vrstev a laminovány s Cu fólií. Epoxidová pryskyřice je vytvrzena během laminace působením tepla, tlaku. Laminace probíhá ve vakuu. [1]

Výhody skloepoxidového laminátu jsou výborné mechanické a elektrické vlastnosti, vyšší teplotní odolnost, malá nasákavost, rozsáhlé použití zvláště tam, kde nevyhovuje FR – 2 a FR -3 (zejména měřicí technika a regulační technika). Nevýhodou jsou horší mechanické opracování a cena je dvakrát větší než u FR – 2. Značen jako: FR – 4. [1]

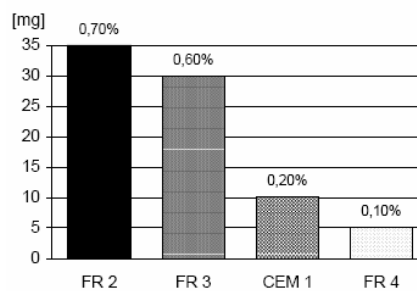
- *Kompozitní materiály:*

Obsahuje nejméně dva materiály výztuže, pojivem je epoxidová pryskyřice.

Značen jako: CEM – 1. Vlastnosti mezi FR – 3 a FR – 4. [1]



Graf 1. Odolnost materiálů v pájecí lázni



Graf 2. Navlhlost materiálů

Polyesterové pryskyřice:

Výztuž se používá skelná rohož (jádro + skelná tkanina). Konstantní dielektrické vlastnosti, zejména v oblasti vysokých frekvencí. [1]

Polyimidová pryskyřice:

Nejčastěji se jako výztuž používá skleněná tkanina, aramidové vlákno, nebo aramidová tkanina. Tepelná odolnost nad 200° C. Vyšší navlhlost, konstantní mechanické vlastnosti v teplotním rozsahu 150° C. Nevýhodou je vysoká cena. [1]

Polyetrafluoretylen pryskyřice (PTEE):

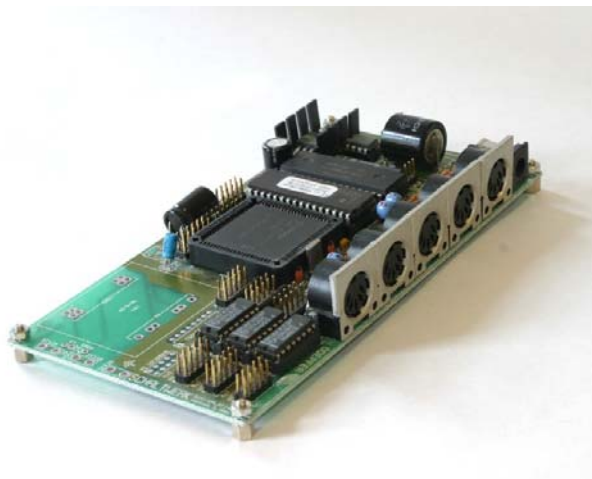
Výztuží je nejčastěji skelná tkanina nebo sklené vlákno. Má vynikající elektrické i dielektrické vlastnosti. Malá nasákavost, odolný vůči vyšším teplotám. Používá se při vysokých teplotách. [1]

Bismaleinimidové pryskyřice (BT):

Výztuží je nejčastěji skelná tkanina nebo sklené vlákno. Má vynikající elektrické i dielektrické vlastnosti. Odolný vůči teplotám nad 200° C, použití při vyšších frekvencích. [1]

Kyanátsterová pryskyřice (CE):

Vynikající elektrické a dielektrické vlastnosti. Aramidová výztuž je vhodná pro zhotovování otvorů plazmou i laserem i vícevrstvých DPS. Odolný vůči teplotám nad 200° C., použití při vyšších frekvencích. [1]



Obr. 2. Neohebný plošný spoj

1.1.2 Ohebné DPS

Používají se většinou bez výztuže. Nejrozšířenějším materiály na bázi polyesterů a polyamidů. V malé míře se používají kompozitní substráty na bázi epoxidů, aramidového papíru i fluoropolymerů.

Polyethylentereftalát (PET):

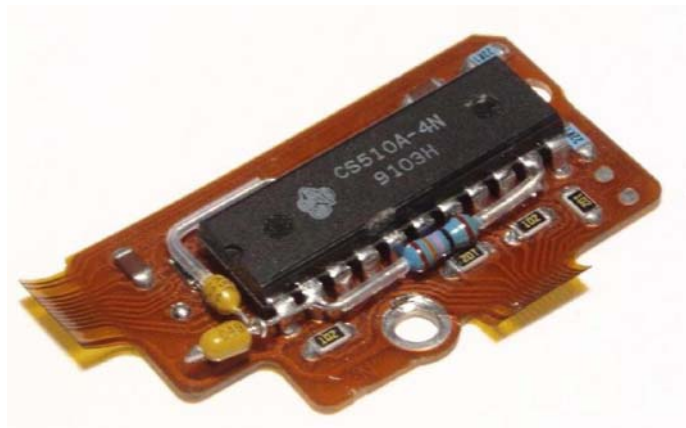
Základní materiál je na bázi polyethylentereftalátové biaxiálně orientované fólie, ovrstvené nevytvrzeným polyesterem, na který se nelaminuje měděná fólie. Flexibilní polyesterové substráty se využívají v membránových spínačích, fóliových klávesnicích, tlačítkových displejích aj. Mají malou odolnost nepřevyšující v trvalém pracovním režimu 115°C. Proces pájení PET fólií se v praxi příliš nerozšířil. [1]

Polyetylnaftalát (PEN):

Základní materiál je na bázi polyetylnaftalátové fólie ovrstvené nevytvrzeným polyesterem, na který se nelaminuje měděná fólie. Flexibilní PEN substráty se využívají v membránových spínačích, fóliových klávesnicích, tlačítkových displejích aj. Mají větší teplotní odolnost i v většině parametrů příznivější charakteristiky než PET fólie. [1]

Polyimid (PI):

Základním materiálem je tvořen polyamidovou fólií ovrstvenou nevytvrzeným termosetickým adhezivem (polyamid, epoxid, akrylát), Měděná fólie se nejčastěji laminuje na akrylátový film. Dobře snáší teploty kolem 400°C, bez obtíží hájitelný. Nevýhodou polyamidové fólie je její velká navlhlost. Polyamidové fólie lze s výhodou opracovávat chemickým frézováním. [1]



Obr. 3. Ohebný plošný spoj

1.2 Anorganické základní materiály

Tyto anorganické materiály, častěji anorganické substráty, jsou elektroizolační keramické materiály (nejčastěji korundová a berylová keramika). Tyto substráty mají ve srovnání s organickými mnohé přednosti. Velmi dobrou tepelnou vodivost, dobrou che-

mickou odolnost a mechanickou odolnost. Nevýhodou těchto materiálů je jejich pořizovací cena, hmotnost a křehkost.

Základná typy:

- *Korundový substrát:*

Základem je polykrystalický oxid hlinitý s malým množstvím kovových oxidů pro dosažení požadovaných fyzikálních vlastností. Materiály se v široké míře používají v multičipových modulech. Materiály se používají poměrně ve velké míře. Nevýhodou je jejich křehkost i rozměrové omezení. [1]

- *Beryliový substrát:*

Základem je polykrystalický oxid berylnatý s malým množstvím kovových oxidů pro dosažení fyzikálních vlastností. Tepelná vodivost je vyšší než u korundové keramiky. [1]

- *Ovrstvené kovové jádro*

- *Křemené a skleněné substráty*

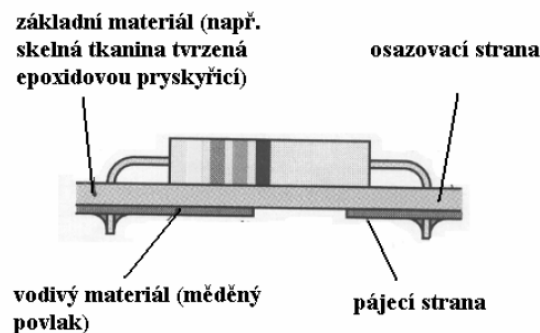
- *Feriový substrát*

2 TECHNOLOGIE VÝROBY DPS

2.1 Druhy propojovacích struktur

Propojovací struktura je tvořena vodivým motivem na nosném substrátu. Propojovací struktura zahrnuje vodiče, plošky, signálové a součástkové otvory, chladiče i pasivní prvky, které byly zhotoveny během výroby montážní a propojovací struktury (jako nedílná část procesu).

Propojovací struktury se liší počty vrstev, hustotou propojení, způsoby propojení, typy vymežujících jader, ohebnosti/neohebností aj.

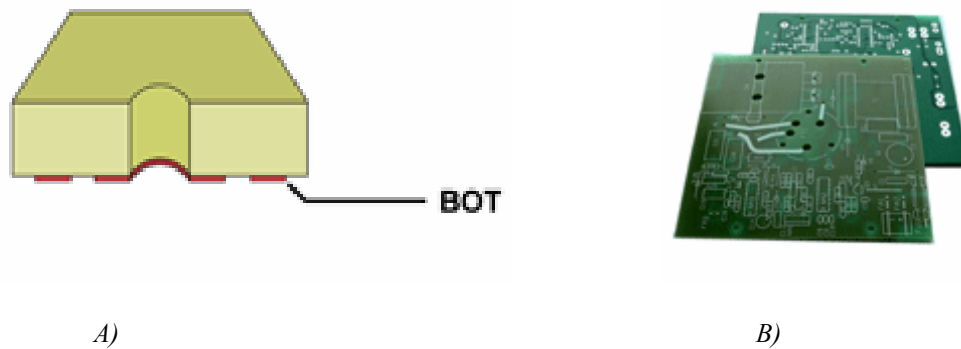


Obr. 4. Řez osazenou deskou

2.1.1 Jednovrstvá DPS

Jednovrstvé desky plošných spojů mají pouze jednu vrstvu propojovacích vodičů - spojů (vrstva BOT) a nemají pokovené otvory. Vyrábějí se subtraktivním (procesem leptání) případně aditivním postupem (chemickou mědí), nebo vodivým motivem zhotoveným tlustovrstvou technologií tiskem polymerních vodivých past a následným vytvrzením nebo vypálením. [5, 6]

Jsou vhodné pro jednodušší aplikace. Na osazování se používají klasické vývodové součástky (osazují se do vyvrtaných otvorů), nebo SMD součástky (osazují se ze strany spojů), v některých případech se používá kombinace obou způsobů osazování.

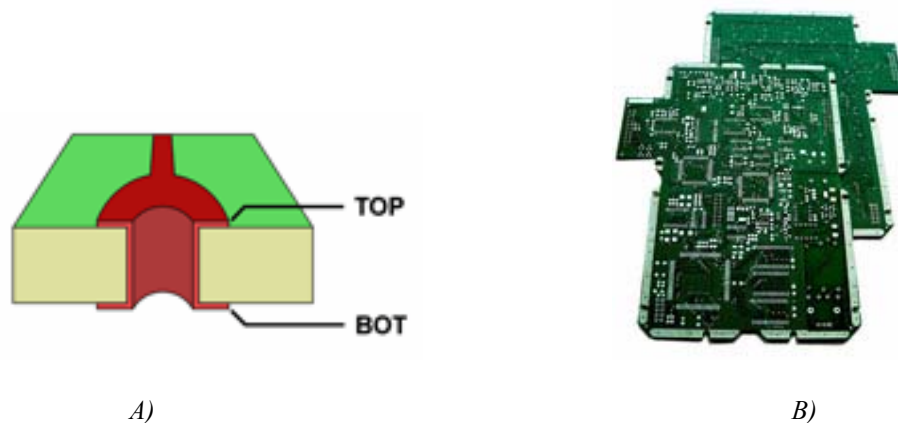


Obr. 5. Jednovrstvá DPS: A – Schéma jednovrstvé DPS, B – Konečný tvar jednovrstvé DPS

2.1.2 Dvouvrstvá DPS

Dvouvrstvé desky plošných spojů mají dvě vrstvy propojovacích vodičů – spojů (vrstvy BOT a TOP), obvykle v provedení s pokovenými otvory. Vyrábějí se ze základního materiálu, který je oboustranně plátován mědí příslušné tloušťky. [5, 6]

Používají se pro náročnější aplikace, dosahuje se u nich podstatně vyšší propojitelnosti než u jednovrstvých desek. Na osazování se používají jak vývodové, tak v poslední době především SMD součástky.

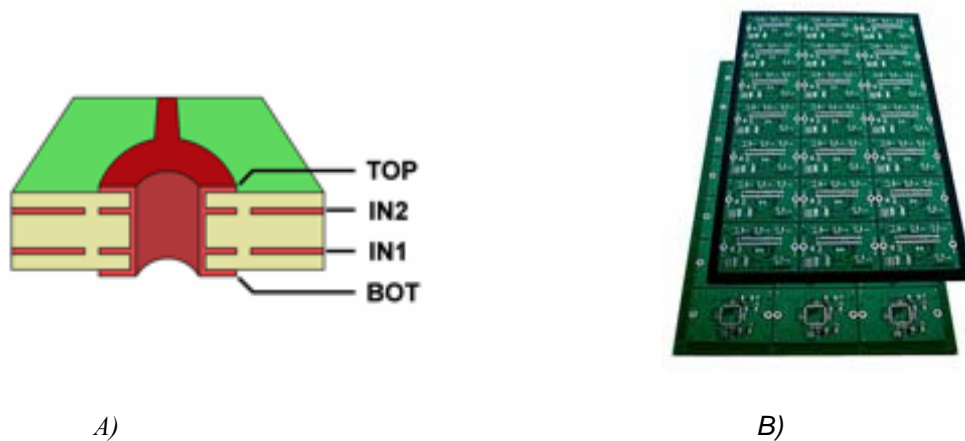


Obr. 6. Dvouvrstvá DPS: A – Schéma dvouvrstvé DPS, B – Konečný tvar dvouvrstvé DPS

2.1.3 Vícevrstvá DPS

Vícevrstvé desky plošných spojů mají více než dvě vrstvy propojovacích vodičů. Standardně se vyrábějí v sudém počtu vrstev. Nejběžnějším provedením jsou čtyřvrstvé desky, které mají dvě vrstvy vnější (BOT a TOP) a dvě vrstvy vnitřní (IN1 a IN2). Vnitřní vrstvy jsou po vytvoření vodivých obrazců zalisovány v samotné desce. Všechny vrstvy mohou být vzájemně propojeny pokovenými otvory. [5, 6]

U těchto typů desek se dosahuje podstatně vyšší propojitelností než u dvouvrstvých desek. Osazují se jak vývodovými, tak v poslední době především SMD součástkami. Při výrobě vícevrstvých desek se používají tenké základní materiály, na nichž se nejprve vytvoří vodivé obrazce vnitřních vrstev. Na vnější vrstvy se použije měděná fólie vhodné tloušťky. Celá sestava se pak slisuje pomocí lepicích listů.



Obr. 7. Vícevrstvá DPS: A – Schéma vícevrstvé DPS, B – Konečný tvar vícevrstvé DPS

2.2 Metody výroby propojovacích struktur

V současné době se používají tři druhy výrobních postupů: Subtraktivní, aditivní a semiaditivní. Jak vyplývá z názvu, subtraktivní postup spočívá v odstraňování přebytečné mědi (leptáním), aditivní postup znamená nanášení vodivých cest a semiaditivní postup je kombinací obou předchozích metod, tedy zčásti nanášení cest a z části leptání.

2.2.1 Subtraktivní technologie

Ve světové produkci plošných spojů převládá subtraktivní metoda. Zaujímá přibližně 90% objemu výroby. V textu je popsána subtraktivní metoda jako typický představitel výrobní technologie.

Použití základních materiálů s plátovanou 35 μ m silnou měděnou fólií pro desky plošných spojů s jemnou roztečí je problematické i při správném dodržování příslušných rozměrových tolerancí vodičů a pájecích plošek. Při leptání obrazce zde může dojít k podleptání. Z toho důvodu se doporučuje používat tenčí měděná fólie a tloušťky 17, 5, 10 i 5 μ m. Tenčí tloušťky fólie se připravují elektrolytickým vylučováním mědi na hliníkovou fólii, jež slouží jako dočasný nosič a ochrana proti oxidaci při

manipulaci. Z hlediska výrobního zpracování jsou tyto materiály výhodnější pro snadné mechanické odstraňování hliníkové fólie, které je možno provádět i po vrtání. Měděná folie tloušťky $5\mu\text{m}$ je prakticky bezporézní, má vysoký stupeň tažnosti a dobré vazební vlastnosti vůči základnímu sklolaminátu.[2]

2.2.2 Semidiativní technologie

Při této metodě se vychází ze speciálního neplátovaného materiálu (bez Cu fólie), který se po vyvrtání a úpravě povrchu (sledující co nejvyšší adhezi následného povlaku) pokoví celý včetně otvorů, vrstvou mědi o tloušťce cca $5\mu\text{m}$. Další postup je obdobný jako v případě výroby desek metodou pokovování obrazce. Semiaditivní technologie představuje důležitý mezistupeň k plně aditivní technologii, která je perspektivní pro budoucnost. Jestliže subtraktivní technikou se dá běžně vyrábět plošný spoj s šířkou vodičů $0,3\text{ mm}$, mimořádně a s obtížemi $0,2\text{mm}$, pak semiaditivní technikou se dá dobře vyrobit spoj šířky $0,15\text{mm}$. [2]

2.2.3 Aditivní technologie

Při tomto procesu se rovněž vychází z neplátovaného základního materiálu, na kterém se po vrtání otvorů přímo vytváří požadovaný vodivý obrazec včetně pokovení otvorů. Měď, případně další kovové povlaky, se nanáší chemicky (bezproudově). Proces má i další výhody. Výchozí materiál není na rozdíl od subtraktivního procesu tepelně zpracován s Cu fólií. Tím nedochází při výrobě desek k uvolňování vnitřního pnutí, které je jinak příčinou prohnutí a zkroucení desek. Při chemickém vylučování mědi se dnes již existujícími vysoce náročnými, ale kvalitními lázněmi dosahuje podstatně lepší rovnoměrnosti jak na ploše, tak i v otvorech desky. Tím nastávají i příznivější poměry při pokovování materiálů různé tloušťky ve vztahu k průměru otvorů. Dají se pokovovat i otvory malých průměrů ($0,3\text{mm}$). [2]

2.3 Osazování DPS součástkami

Součástky jako základní prvky elektronických zařízení jsou propojovány většinou pomocí plošných spojů. Lze je osazovat:

- ručně

- poloautomaticky
- automaticky.

Přesné hranice není možné určit, ale jednotlivé systémy musí splňovat vždy konkrétní podmínky. Vše je také dáno následným zpracováním osazených desek, především pájením. [3, 4]

Vývody součástek je nutné z technologického hlediska upravovat především vhodným natvarováním pro zabezpečení vhodného upevnění v desce při pájecím procesu, dále pro snadné vymytí zbytků tavidla nesmí součástky ležet na desce PS. V neposlední řadě je potřebné z funkčního hlediska budoucího zařízení zabezpečit vhodné chlazení - dodržení stálé výšky součástek nad deskou PS.

Úprava tvaru a délky vývodů se provádí ručně nebo na speciálních zařízeních, většinou poloautomaticky nebo automatických.

2.4 Měděná fólie DPS

Základní materiál desky je potažen jednostranně nebo oboustranně měděnou fólií. Tloušťka fólie je zpravidla 35 μ m nebo 70 μ m. Celková tloušťka desky může být 0,5 až 3,2mm. Standardní jsou tyto tloušťky: 1mm, 1,5mm, 1,6mm a 2mm. Velikost desek se volí podle použití. [1]

Měděná fólie je určena k vytvoření vodivého obrazce. Vyrábí se elektronicky a je vylučovaná na nerezový pomalu rotující buben. Strana fólie, která je v kontaktu s nerezovým bubnem, je hladká a lesklá, opačná strana je matná a zrnitá. Čistota fólie je minimálně 99,85% a je upravena ze strany základního materiálu pro zajištění maximální adheze tenkou vrstvou Cr a nebo Nonelu.



Obr. 8. Měděná fólie

3 RECYKLACE DPS

V technologické oblasti elektrotechnického a elektronického sektoru dochází v posledních letech k velkému rozvoji. Objevují se nové materiály a technologické postupy, které však současně mohou negativně ovlivnit a v řadě případů již ovlivňují zdraví a životní prostředí. [9]

Jeden z dopadů na životní prostředí je i rostoucí objem elektroodpadu, jedná se především o takové elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně všech jeho komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které jsou v tom okamžiku součástí elektrozařízení (např. počítače, tiskárny, mobilní telefony a další spotřební elektronika). Tyto elektrozařízení zpravidla končí má skládkách a ve spalovnách. [9]

3.1 Možnosti recyklace plošných spojů

Desky plošných spojů obsahují, kromě nosného plastu také další množství vzácných kovů jako jsou měď, hliník, nikl, zinek, olovo a další jiné. Právě tyto obsažené kovy v DPS ztěžují možnosti recyklace.

3.1.1 Odstranění součástí

Pokud DPS obsahují elektronické součásti, je třeba všechny odstranit ještě před samotnou recyklací. Nejznámější metody pro separaci elektrických součástek jsou:

- Mechanické odstranění
- Tavení
- Řezání

Při mechanickém odstranění dochází mechanickým odstranění pinů k oddělení diod, tranzistorů, rezistorů apod. od DPS (jedná se o vrstvený laminát - izolant na bázi pryskyřic a papíru, u počítačové techniky se jako základní materiál používají desky na bázi skleněných tkanin).

Metoda tavení spočívá ve vystavení DPS teplotám 350 – 400° C, při kterých dochází k postupnému roztavení cínových spojů a uvolnění pinů součástek, jež se dále odstraní mechanickou cestou.

Při řezání se DPS uchytí do speciálního upínacího přípravku a následně se odstraní pilkou na kov.

3.1.2 Drcení DPS

Jsou – li už všechny elektronické komponenty odstraněny, v druhé fázi se plošné spoje rozdrťí na požadovanou velikost zrn. K drcení se používají břitové drtící stroje, granulární mlýny, řezací zařízení nebo brousky a tzv. kryogenní drcení, při kterém je odpad nejprve zchlazen na teplotu minus (100 – 170) °C a poté teprve drcen. [3, 4]

Tento způsob, zatím finančně náročný, využívá rozdílných účinků nízkých teplot na fyzikální vlastnosti materiálů.

3.1.3 Získávání vzácných kovů

Pro zpracovatele plošných spojů je nejzajímavější získávání drahých kovů, ke kterému používají:

- extrakce v tavenině olova
- kyanidové loužení
- sulfáto-nitrátová cesta
- elektrolýza

Extrakce v tavenině olova:

Při extrakci v tavenině olova putuje drť PLS do tavicího zařízení, kde se mísí s roztaveným olovem. Plast shoří, železo společně s částí barevných kovů vyplave na hladinu taveniny, kde je vyloveno. V roztaveném olovu zůstane většina ušlechtilých kovů, proto se tavenina prožene vzduchem, kde část obecných kovů a olova zoxiduje a odstraní se jako struska. Zbylá část taveniny se podrobí rafinaci, při které se získá měď, selen, nikl, tellur, olovo, cín a rtuť. Tento způsob není ale příliš ekologicky šetrný. [3, 4]

Kyanidové loužení:

Při kyanidovém loužení se získává zlato za podmínky, že pozlacený materiál je obnažen a že celý jeho povrch je v kontaktu s loužícím roztokem. Tento postup je znám svou vysokou účinností a jeho výhodou je fakt, že ostatní kovy nejsou dotčeny, tedy nejčastěji používané slitiny na bázi mědi, zinku a niklu mohou být dále metalurgicky rafinovány, aniž by se tyto prvky dostávaly do roztoků, ze kterých by musely být obtížně extrahovány. Nevýhodou jsou provozní rizika a potenciální možnost havárie spojená s používáním toxického kyanidu. [3, 4]

Sulfáto-nitrátová cesta:

Sulfáto-nitrátová cesta se používá pro separaci palladia. Elektrolyticky se zpracovávají frakce barevných kovů nebo výluh z některého odpadu. Roztok obsahuje velké množství kovů (měď, zinek, nikl, kadmium, stříbro atd.), přičemž izolace všech složek ze směsi není ekonomicky a ekologicky možná. [3, 4]

Elektrolýza:

Při elektrolýze se většinou získá podíl mědi, drahé kovy zůstávají v anodických katech. [4]

4 TECHNOLOGIE ŘEZÁNÍ NA ODSTRANĚNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

4.1 Pásové pily

Stroj na dělení různých druhů a profilů materiálů. Tenký pilový pás je v nekončité smyčce veden přes hnací a napínací kotouč. Pásové pily na kovy se používají na dělení tyčí, profilů a trubek. Vzniká hladká řezná plocha a malý prořez.

Rozdělení:

- Manuální pásová pila
- Gravitační pásová pila
- Hydraulická poloautomatická pila
- Automatická pásová pila s CNC řídicím systémem

4.1.1 Manuální pásová pila

Manuální pásová pila s kompletní manuální obsluhou, ručně ovládaný rychloupínací svěrák, manuálně vedený řez proti tlaku pružin. Výhodou je citlivé vnímání průběhu řezu zejména pro kusovou výrobu. Spuštění stroje mikrosplínačem v rukojeti. Manuální posun materiálu. Otočení ramene pily pro úhlové řezy. [7]



Obr. 9. Manuální pásová pila

4.1.2 Gravitační pásová pila

Univerzální strojní pásová pila, umožňující dělení široké škály různých druhů materiálů, včetně sériového řezání plných materiálů. Svým širokým řezným rozsahem s mož-

ností použití dvou řezných rychlostí 40 a 80 m/min. a možností velmi rychlého, plynulého přestavování požadovaného úhlu řezu v rozsahu 90°- 60°. Vysoká tuhost a stabilita odlitku ramene pily a celková robustní koncepce stroje zaručují dosažení vysoké přesnosti řezu, optimální využití pilového pásu i celkovou dlouhodobou životnost stroje. [7]

Ručně ovládaný rychloupínací svěrák, řez prostřednictvím hmotnosti ramene regulován hydraulickým tlumičem a škrťícím ventilem, průběh řezu není ovlivněn lidským faktorem a vede k vyšší životnosti pásu. Obsluha odstartuje řez tlačítkem start a nastaví řeznou rychlost, po doříznutí se pila automaticky vypne a obsluha manuálně zvedne rameno do výchozí polohy. Manuální posun materiálu. [7]



Obr. 10. Gravitační pásová pila

4.1.3 Poloautomatická pásová pila

Hydraulický agregát slouží k automatickému zvednutí ramene pilového pásu po ukončení řezu. Výška zdvihu je nastavitelná dle velikosti řezaného materiálu. Posuv do řezu je prováděn vlastní vahou ramene s možností plynulé regulace škrťícím ventilem olejového tlumiče. Upínání a posuv materiálu je ruční. Pila je vybavena silnějším motorem a frekvenčním měničem, který umožňuje plynulou regulaci rychlosti pilového pásu v rozsahu 15 - 90 m/min. Optimální nastavení rychlosti pilového pásu podstatně zvyšuje produktivitu stroje, přesnost řezu a životnost pilových pásů. Možnost velmi rychlého, plynulého přestavování požadovaného úhlu řezu v rozsahu 90°- 60°. Vysoká tuhost a stabilita odlitku ramene pily a celková robustní koncepce stroje zaručují dosažení vysoké přesnosti řezu, optimální využití pilového pásu i celkovou dlouhodobou životnost stroje. [7]

Rozdělení:

- Poloautomatická pásová pila – ramenová
- Poloautomatická pásová pila – dvousloupcová

4.1.3.1 Poloautomatická pásová pila – ramenová

Nalézá uplatnění v kusové a malosériové výrobě a vzhledem ke své robustní konstrukci umožňuje dělení široké škály jakostí materiálů včetně. Tepelná ochrana motoru. Chladicí systém na emulzi s rozvodem kapaliny do vodiček pilového pásu. [7]



Obr. 11. Poloautomatická pásová pila – ramenová

4.1.3.2 Poloautomatická pásová pila – dvousloupcová

Poloautomatická, hydraulicky ovládaná dvousloupcová pásová pila, určená pro dělení ocelových konstrukcí a profilů. Po odstartování stroj upne svěráky, provede řez zvolenou rychlostí, v dolní poloze sepne mikrospínač a rameno se zvedne do zvolené horní polohy a otevře svěráky. Obsluha pouze posouvá materiál. [7]



Obr. 12. Hydraulická poloautomatická pila – dvousloupcová

4.1.4 Automatická pásová pila

Pomocí hydraulického agregátu jsou ovládány veškeré pracovní pohyby ramene pily, svěráků a podavače materiálu. Rameno pily je do řezu tlačeno dvoučinným hydraulickým válcem. Rychlost pracovního pohybu a síla řezu jsou regulovány. Délka i počet kusů je zadáván z ovládacího panelu. Stroj si sám volí počet podání a provádí potřebné výpočty. Systém umožňuje zadání 9 programů pro rychlé nastavování délek, případně variantu automatické změny rozměru pro dělení několika přířezů z jedné tyče. Pila umožňuje volbu mezi automatickým a poloautomatickým režimem, kdy jsou veškeré pohyby ovládané nezávisle. Možnost úhlových řezů. [7]



Obr. 13. Automatická pásová pila s CNC řídicím systémem

4.2 Pilové pásy

Při řezání na pásových pilách je třeba dodržovat několik základních faktorů, které mají vliv na životnost pilových pásů. Při jejich nedodržení či zanedbání může docházet k otupení ostří, praskání nebo prasknutí celého pilového pásu. [7]

Hlavní faktory ovlivňující životnost pilového pásu:

- Napnutí pilového pásu tenzometrem.
- Zabíhání nového nebo přebroušeného pilového pásu.
- Velikost a geometrie zubu pilového pásu
- Typy rozvodů zubů na pilovém pásu
- Šířka pilového pásu
- Řezná kapalina

4.2.1 Napnutí pilového pásu tenzometrem

Optimální napnutí pilového pásu je základní předpoklad k dosažení dlouhé životnosti a přesnosti při řezání. Měřicí přístroj umožní dokonalou kontrolu doporučených parametrů. Doporučená optimální napětí pásu jsou 300 N/mm. Tato hodnota leží uprostřed zeleného pole měřicího přístroje. Přístroj zabraňuje prasknutí pásu vlivem přetažení, případně podřezávání, které je způsobeno nedostatečným napnutím pilového pásu. [8]

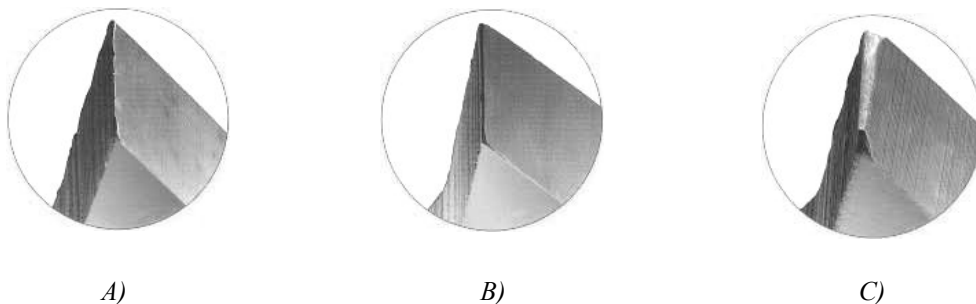


Obr. 14. Měřicí zařízení k napínání pilového pásu

4.2.2 Zabíhání nového nebo přebroušeného pilového pásu

Nové pilové pásy jsou často náchylné ke vzniku vibrací. Tyto nežádoucí vlastnosti lze odstranit citlivým záběhem pilového pásu do materiálu, takto získaný nástroj je schopen podávat řezný výkon po dlouhou dobu. Při zabíhání pilového pásu dochází k extrémně malým zaoblením řezných hran. Takto vzniklá ostrost pilového pásu, je podmínkou vysoké řezné schopnosti a zabraňuje tvorbě mikro-střípků ostrých řezných hran, které mohou způsobovat otupení pilového pásu. [8]

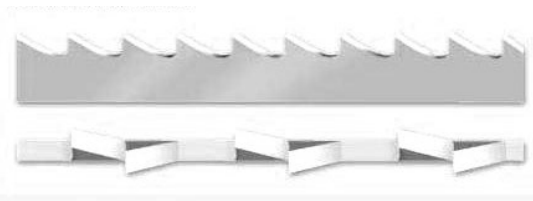
Nežádoucí vibrace (vysokých frekvencí) se prakticky projevují pískavým tónem vznikajícím při řezání. V takovém případě je třeba snížit řeznou rychlost.



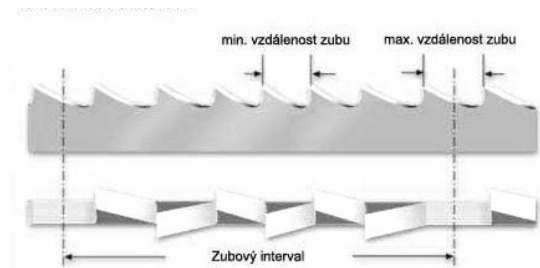
obr. 15. Zuby na pilovém pásu: A – Nový pilový pás, B – Správně zaběhnutý pilový pás, C – Opotřebený pilový pás.

4.2.3 Velikost a geometrie zubu pilového zubu

Tvary zubů se v mnoha provedeních vzájemně odlišují úhlem řezné hrany, jakož i rozdílným tvarováním základu zubu. Rozlišujeme dva druhy vzdáleností zubů na pilovém pásu, konstantní a variabilní rozdělení. Variabilního rozložení zubů se využívá pro řezání měkkých materiálů. Konstantní rozložení zubů se využívá u tvrdších materiálů. Dělení zubů je vyjádřeno počtem zubů na palec. Jeden palec = 24,5mm. [8]



Obr. 16. Konstantní rozložení zubů



Obr. 17. Variabilní rozložení zubů

4.2.3.1 Standartní zub

Standartní zub s úhlem čela 0° je určen zvláště k řezání materiálů tvořících krátkou třísku s vysokým obsahem C, přednostně pro nástrojové oceli a ocelolitinu. V zásadě vždy pro materiály malých průřezů jako profily a tenkostěnné trubky. Ve výrobním programu je standardní zub v konstantním provedení od 3 do 24 zubů na palec a ve variabilním od 3 – 4 do 10 -14 zubů na palec. [8]



Obr. 18. Standartní zub

4.2.3.2 Pozitivní zub

Je určen zejména pro materiály tvořící dlouhou třísku s obsahem $C < 0,5\%$. Zde se jedná převážně o hlubokotažné, konstrukční oceli k zušlechťování, jako i nerezavějící a kyselinovzdorné. Ve výrobním programu je pozitivní zub v konstantním provedení od 0,75 do 6 zubů na palec a ve variabilním od 0,55 – 0,75 do 4 – 6 zubů na palec. [8]



Obr. 19. Pozitivní zub

4.2.3.3 Mezerový zub

Mezerový zub je určen k řezání velkých průřezů drobných materiálů jako je například šedá litina. Ve výrobním programu je mezerový zub v konstantním provedení od 2,3 do 4 zubů na palec. [8]



Obr. 20. Mezerový zub

4.2.3.4 Profilový zub

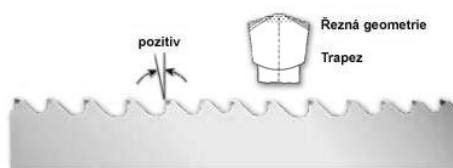
Profilový zub s pozitivním úhlem čela je určen zejména pro duté profily, úhelníky, nosníky, pro řezání ve svazcích i vrstvách a všude tam, kde během řezání dochází k vibracím. Vyrábí se s variabilním provedením zubů od 2 – 3 do 8 – 11 zubů na palec. [8]



Obr. 21. Profilový zub

4.2.3.5 Trapézový zub

Výkonnou složku vždy tvoří skupina zubů s funkcí předřezávání, řezání a dořezávání a ta se opakuje. Řezné hrany zubů vykazují velmi vysoké řezné výkony u odolných materiálů. Ve výrobním programu je trapézový zub v konstantním provedení 2 – 3 zubů na palec a ve variabilním provedení od 0,55 – 0,75 do 3 – 4 zubů na palec. [8]



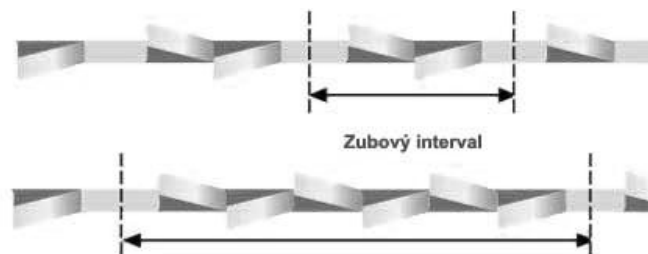
Obr. 22. Trapézový zub

4.2.4 Typy rozvodů zubů na pilovém pásu

Šířku řezného kanálu vytváří odpovídající rozvod zubů. Materiálové třídy mohou vyžadovat různé typy rozvodu zubů. V převážné většině však vystačí se standardním rozvodem zubů. Při dělení zvláštních nebo exotických materiálů lze dodat nadstandardní provedení. [8]

4.2.4.1 Standardní rozvod zubů

Standardní rozvod zubů je univerzálně použitelný pro oceli, litinu a tvrdé neželezné kovy pokud je řezná délka nad 5mm. Při konstantním dělení zubů je sled zubů do leva (prava), nebo rovně. [8]



Obr. 23. Standardní rozvod zubů

4.2.4.2 Skupinový rozvod zubů

U pilových pásů s skupinovým rozvodem zubů, se docílí lepšího povrchu řezané součásti. [8]



Obr. 24. Skupinový rozvod zubů

4.2.4.3 Pravo-levý rozvod zubů

Při řezání lehce dělitelných materiálů, neželezných kovů, umělých hmot a dřeva dosahuje pravo-levý rozvod zubů vysoký řezný výkon. [8]



Obr. 25. Pravo-levý rozvod zubů

4.2.4.4 Vlnový rozvod zubů

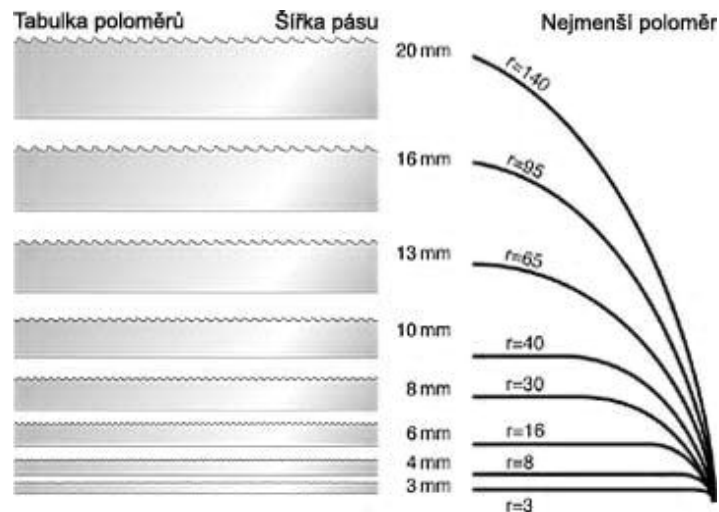
Při délkách řezu do 5mm jako plechy, tenkostěnné trubky a profily se používá vlnový rozvod zubů. [8]



Obr. 26. Vlnový rozvod zubů

4.2.5 Šířka pilové pásu

U horizontálních strojů je šířka pásů určena a je neměnná. Vertikální pásové pily dovolují v jistém rozsahu použití různých šířek pilových pásů. Přirozeně platí, že s přibývajícím šířkou roste pevnost a stabilita pilových pásů. Při zakřivených řezech je určující pro stanovení šířky pilového pásu nejmenší poloměr řezu.



Obr. 27. Druhy šířky pilového pásu

4.2.6 Řezná kapalina

Řezná kapalina (nebo také obráběcí kapalina) je chladicí a mazací prostředek pro obrábění kovů. Odvádí teplo z řezu, snižuje třecí odpor, odplavuje třísky a slouží ke zvět-

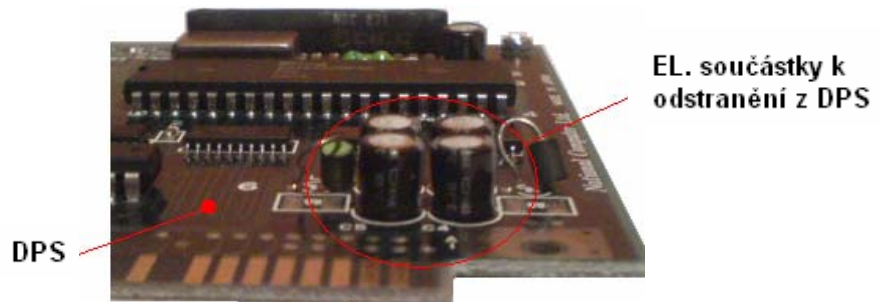
šení trvanlivosti pilových pásů a ke zlepšení jakosti obráběného povrchu. Řezná kapalina musí být nekorozivní a zdravotně nezávadná. [8]

Elektronické součástky jsou připevněny k PC desce velmi těsně, proto bude pro odřezávání těchto součástek nejvhodnějším řešením použití užšího pilového pásu s velmi jemným tvarem zubů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK

V následující experimentální části bakalářské práce, jsem se zabýval návrhem upínacího přípravku. Upínací přípravek bude umístěn do svěráku pásové pily, kde za pomoci pilového pásu dojde k odřezání všech elektronických součástek. DPS je po odstranění těchto součástí dále zpracovávána. Odřezané součástky z DPS se dále nepoužívají a stávají se odpadem.

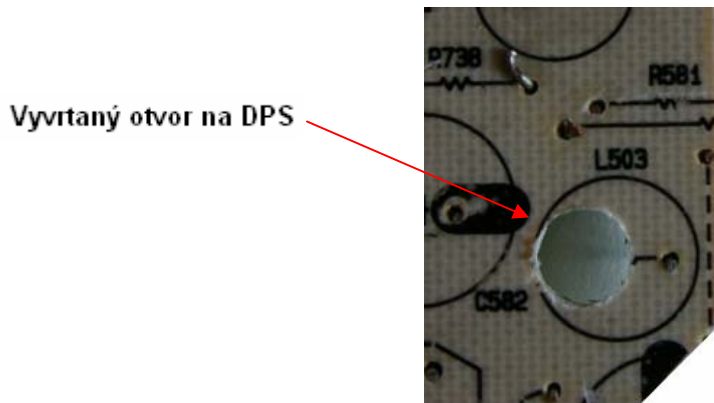


Obr. 28. Deska plošného spoje



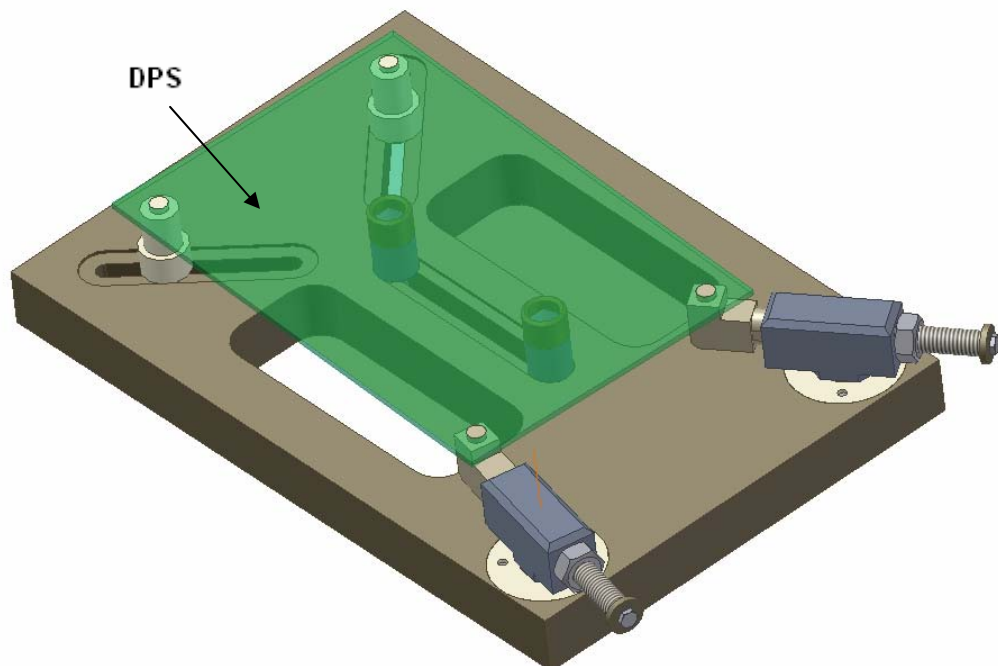
Obr. 29. Odřezané el. součástky z DPS

Protože DPS nebudou mít vždy stejné rozměry, je nutné ještě než budou desky upnuty na upínací přípravek, nastříhat je na požadované rozměry a vyvrtat otvory. Pomocí těchto otvorů, se PC deska bude napínat na upínacím přípravku.



Obr. 30. DPS s vyvrtaným otvorem

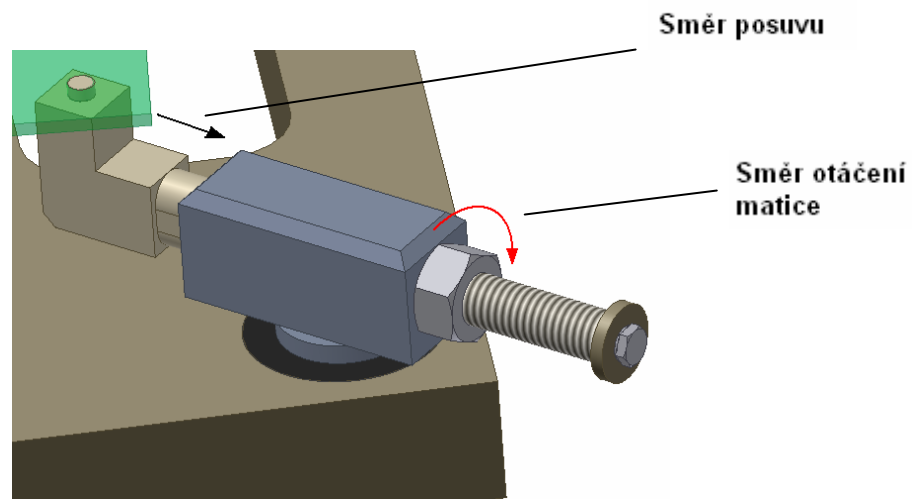
Vzhledem k rozměrům DPS je upnutí těchto desek složitější. Desky plošných spojů jsou velmi tenké, a jelikož součástky budou odřezávány na pásové pile, bude možné desku přichytit jen z jedné strany. Z tohoto důvodu jsem se rozhodnul vyřešit tento problém pomocí napínání na čtyřech čepích. Dva čepy budou napevno a zbylé dva budou napínat desku do šikmého směru.



Obr. 31. Upínací přípravek

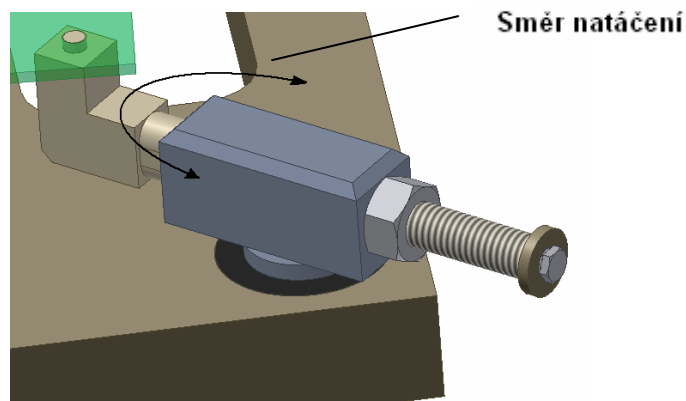
5.1 Napínací mechanismus

Napínání DPS bude prováděno mechanicky pomocí závitové tyče a matice. Pomocí matice budeme desku napínat na upínacím přípravku a nebo povolovat napínání.



Obr. 32. Napínací mechanismus

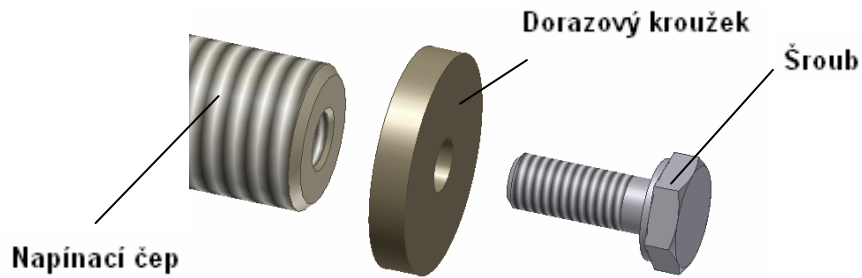
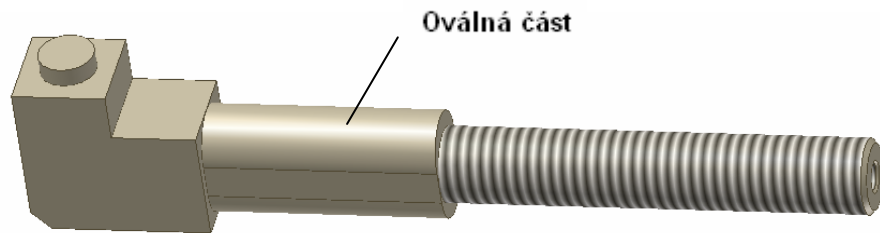
Jelikož ořezávané desky nebudou vždy stejných rozměrů a otvory pro čepy vyvrtané na desku se mohou lišit, je nutné, aby se napínací mechanismus dal natočit a uchytit tak desku.



Obr. 33. Napínací mechanismus – natáčení

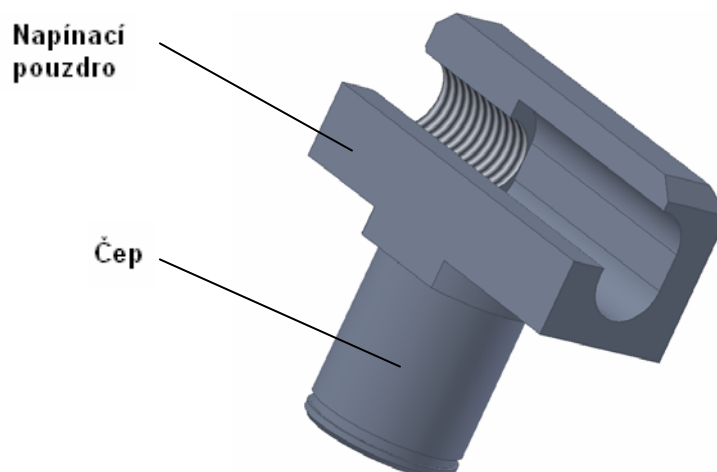
5.1.1 Napínací čep

Napínací čep bude umístěn v napínacím pouzdru. Oválná část, která se nachází zhruba uprostřed napínacího šroubu, nám slouží k tomu, aby se čep pohyboval rovnoměrně a neměl snahu se otáčet. Na konci šroubu, bude vyvrtán otvor se závitem. Zde bude připevněn pomocí šroubku dorazový kroužek, který nám zabráni vysunutí oválné části s pouzdra, ke kterému by mohlo dojít při povolování napínání.

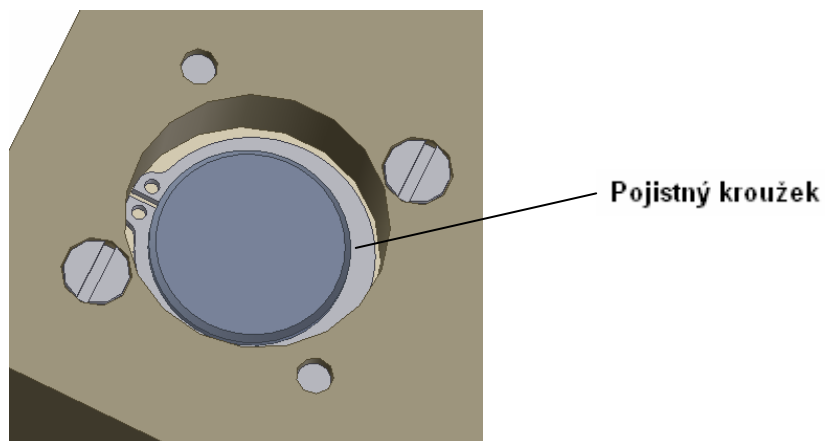
*Obr. 34. Doraz**Obr. 35. Napínací šroub*

5.1.2 Napínací pouzdro

Jelikož by výroba tohoto dílu byla velmi nákladná, ale vzhledem k odebíranému materiálu i ztrátová, bude lepší vyrobít tuto součástku ze dvou dílů. K napínacímu pouzdru, bude přivařen čep, který se nasadí do pouzdra v upínací desce a zajistí tak, napínacímu mechanismu schopnost se natáčet do požadované polohy.

*Obr. 36. Čep s napínacím pouzdrém*

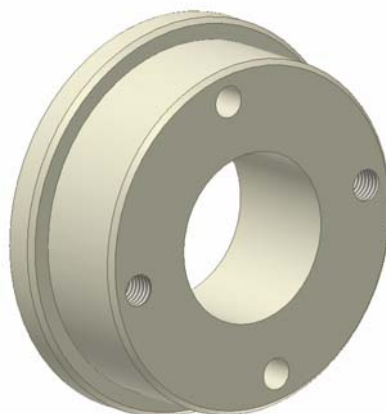
Pro zamezení vypadnutí čepu z pouzdra v upínací desce, bude čep s napínacím pouzdrém zajištěn pomocí pojistného kroužku.



Obr. 37. Zajištění čepu napínacího pouzdra

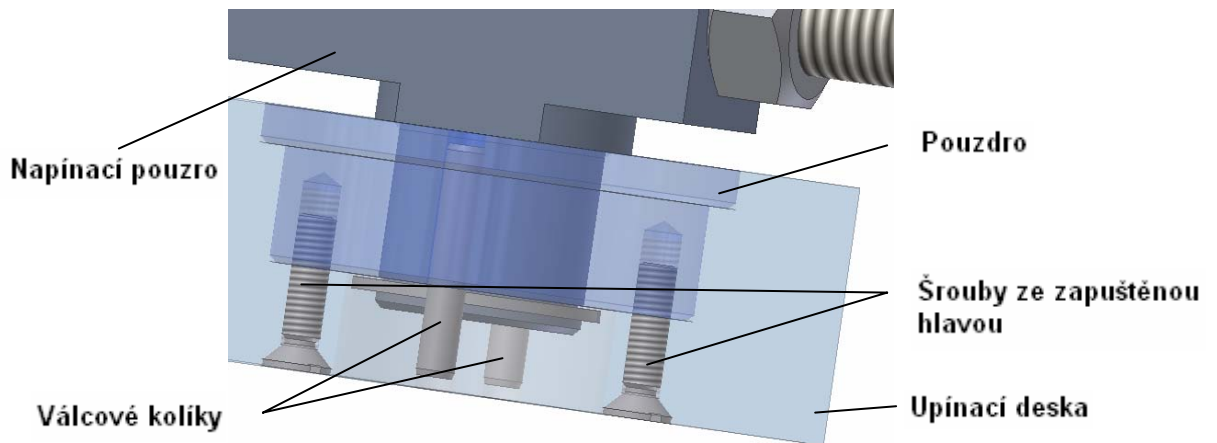
5.1.3 Pouzdro

Upínací deska bude vyráběna z měkkého materiálu, proto je potřeba umístit čep s napínacím pouzdrem do pouzdra, ve kterém se tento díl bude otáčet. Pouzdro bude vyrobeno s tvrdšího materiálu, aby nedocházelo k opotřebení upínací desky.



Obr. 38. Pouzdro

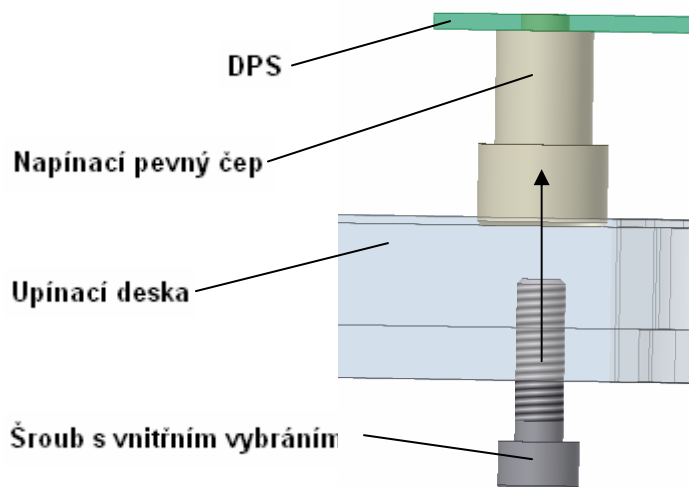
V upínací desce bude pouzdro upevněno pomocí dvou šroubů se zápustnou hlavou a vystředěno dvěma válcovými kolíky.



Obr. 39. Pouzdro v upínací desce

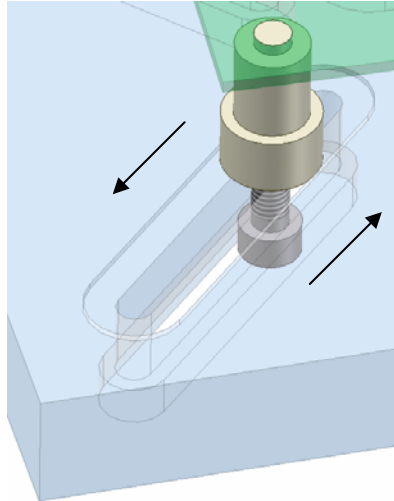
5.2 Napínací pevný čep

Napínací pevný čep je k upínací desce přichycen pomocí šroubu s vnitřním vybráním. Tento typ šroubu je použit z důvodu zabránění vyčnívání šroubu ze spodní strany upínací desky.



Obr. 40. Přichycení napínacího čep k upínací desce

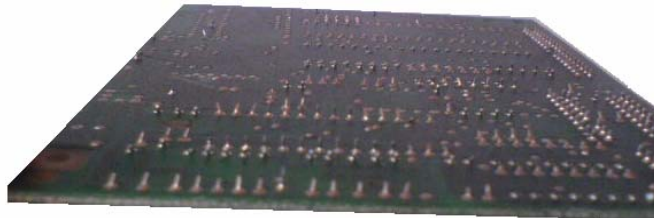
Vzhledem k tomu, že rozměry DPS se mohou lišit, a tím i otvory pro uchycení do čepů, bude napínací čep schopen směru posuvu v šikmém směru. K tomuto nám poslouží vodící lišta se šroubem s vybráním, kterým po uvolnění bude možnost snadno manipulovat s čepem. Při nasazení otvorů DPS na oba napínací čepy, utáhneme šrouby s vybráním, a tím zamezíme posuvu obou šroubů.



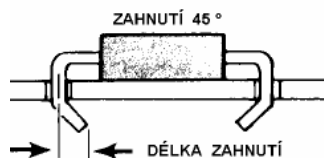
Obr. 41. Napínací pevná část v upínací desce

5.3 Opěrná část

Protože DPS nemají z druhé strany rovnou plochu, nelze použít jako opěrnou část desku nebo jiný podobný rovinný opěrný díl. To je způsobeno el. součástkami, které jsou na DPS připevněny. Z tohoto důvodu se vyskytl problém nahradil opěrkou v podobě kuželu.

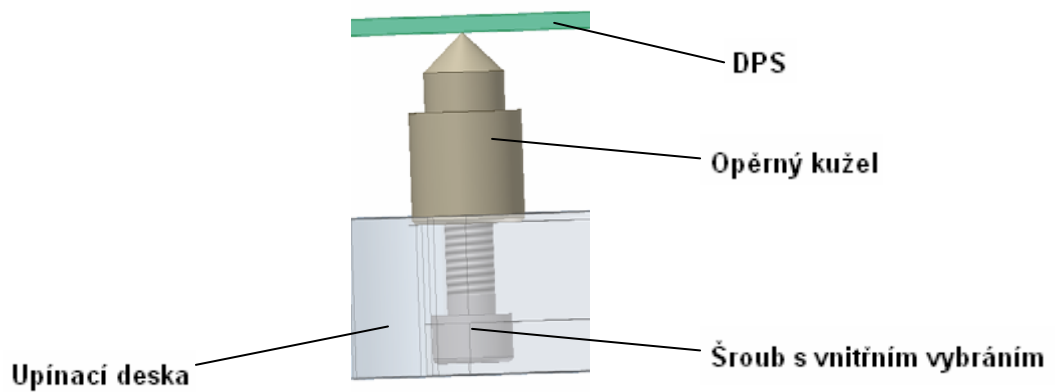


Obr. 42. Zadní strana DPS



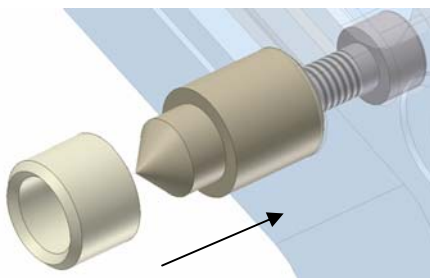
Obr. 43. Upnutá součásti k DPS

Kužel je umístěn ve středu upínací desky, a připevněn pomocí šroubu s vybráním, stejně jako napínací pevný čep. V kuželu bude vyvrtán otvor se závitem, do něhož bude tento šroub našroubován, a tím dojde k zamezení pohybu opěrného kužele. Lze použít i více opěrných kuželů na upínací desku.

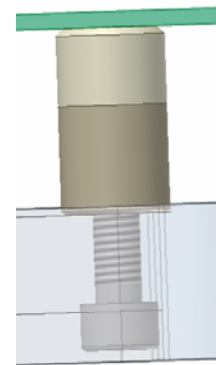


Obr. 44. Směr pohybu opěrného kuželu

Abychom zvětšili plochu opěrného bodu, lze použít opěrného nákrůžku. Ten nasadíme na opěrný kužel, který je připevněn pomocí šroubu k upínací desce.



Obr. 45. Nasazení opěrného nákrůžku

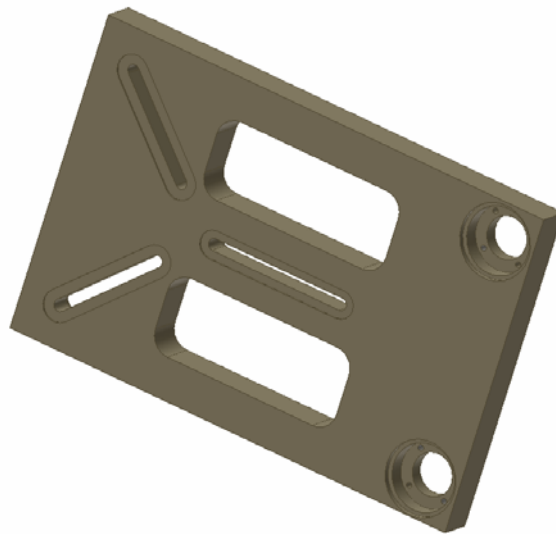


Obr. 46. Opěrný kužel s opěrným nákrůžkem

5.4 Upínací deska

Na upínací desce, budou upnuty všechny součásti potřebné k upnutí DPS. Upínací deska bude vyráběna z duralového materiálu. To nám umožní řadu výhod:

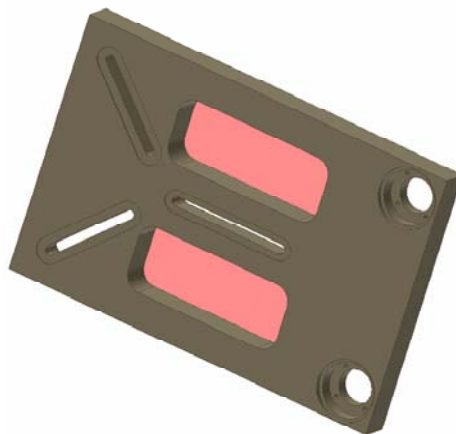
- Nižší hmotnost
- Snadnější manipulaci
- Možnost volit větší tloušťku upínací desky



Obr. 47. Upínací deska

5.4.1 Odlehčení

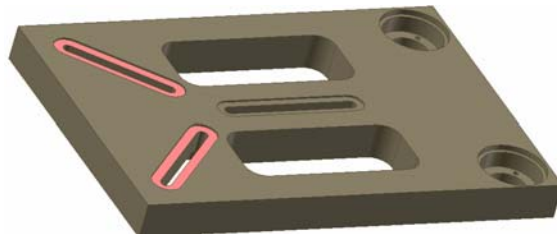
Plochy vyznačené na obrázku (červeně) nám znázorňují odlehčení na upínací desce. Tyto plochy lze využít pro manipulaci upínacího přípravku, nebo také k jeho upnutí do svěráku stroje.



Obr. 48. Odlehčení na upínací desce

5.4.2 Vodící lišty pro napínací pevné čepy

Tyto vodící drážky slouží k šikmému pohybu napínacích čepů. Abychom mohli s napínacími čepy snadno posouvat po desce, bude v místě z přední strany upínací desky uděláno vybrání s jemnější drsnosti povrchu. V zadní straně upínací desky budou vyrobeny drážky pro šrouby s vybráním.



Obr. 49. Vodící drážky pro napínací pevné čepy – přední strana upínací desky

Na zadní straně upínací desky bude provedeno hlubší vybrání pro šrouby s vnitřním vybráním. Tím bude možnost upínací desku upnout o celou zadní plochu.



Obr. 50. Vodící drážky pro napínací pevné čepy – zadní strana upínací desky

5.4.3 Otvory pro pouzdra

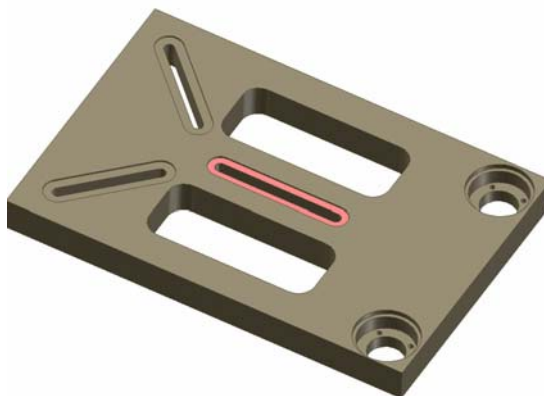
Do těchto otvorů budou vsazeny pouzdra, ve kterých se bude otáčet napínací mechanismus.



Obr. 51. Díry pro pouzdra

5.4.4 Vodící lišta pro opěrný kužel

Slouží pro vodorovný pohyb opěrného kuželu. Možnost upnutí i více než jednoho opěrného kužele.



Obr. 52. Opěrná vodící lišta

6 ELASTICKÉ A TERMOMECHANICKÉ KONSTANTY MATERIÁLŮ DPS

U několika vybraných vzorků PC desek, jsou sledovány některé mechanické a termomechanické konstanty z důvodu potřeby těchto dat, pro modelovou konečně prvkovou analýzu.

Měření bylo provedeno na zkušebních těliscích, připravených obráběním a frézováním na požadované rozměry (šířka $b_1 = 10\text{mm}$ a délka $l_1 = 80\text{mm}$), následným broušením se odstranila měděná vrstva.

Měření mechanických konstant bylo provedeno na zařízení Zwick 1456 s teplotní komorou (-70°C až $+290^\circ\text{C}$). Byla provedena zkouška tahem a sledován modul pružnosti v podélném směru E_L a mez pevnosti σ_{PL} v závislosti na teplotě ($T = 23^\circ\text{C}$, $T = 100^\circ\text{C}$, $T = 175^\circ\text{C}$, $T = 250^\circ\text{C}$). Zkoušky byly provedeny dle normy ČSN EN ISO 527-2.



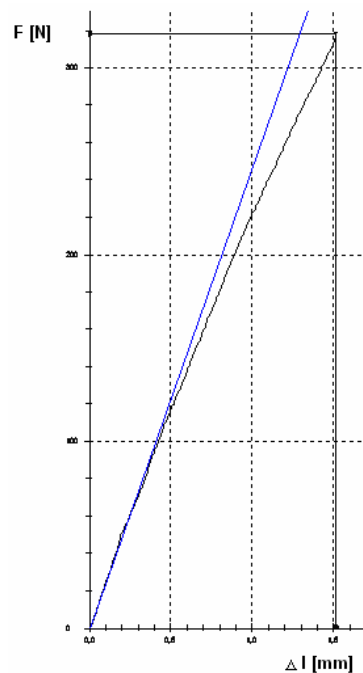
Obr. 53. Universální zkušební stroj s teplotní komorou

Měření termomechanických konstant bylo provedeno na přístroji TMA podle normy ČSN 64 0528. Stanovení druhu, typu a objemového zastoupení výztuže bylo provedeno termickou analýzou. Rychlost zkoušky zvolena $v = 1\text{ mm/min}$.

6.1 Zkušební tělísko 1 (hnědá DPS)

Tabulka 1 Zkouška tahem při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$.

n = 5	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_{fm} (N/mm ²)	σ_{fB} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nominální def- σ_{fm} (mm)	ε_{fm} (%)	ε_{fB} (%)	Δl_{fm} (mm)	Δl_{fB} (mm)	F (N)
x	1,478	9,87	289,08	289,08	23340,84	2,84	1,40	1,40	0,14	0,14	4205,41
s	0,01924	0,2147	47,39	47,39	1796,43	0,18	0,20	0,20	0,02	0,02	610,46
v	1,30	2,18	16,39	16,39	7,70	6,27	14,37	14,37	14,22	14,22	14,52



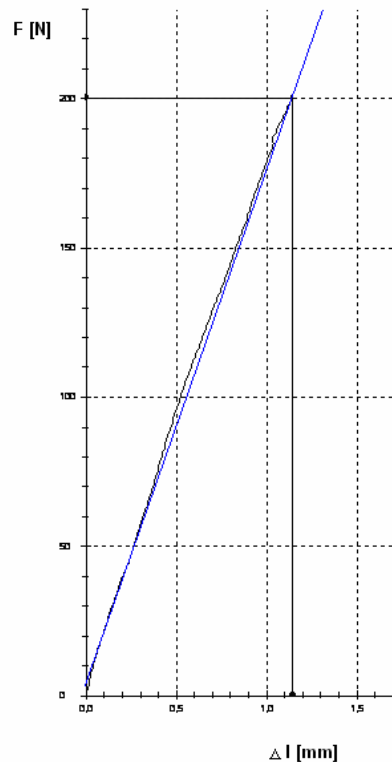
Graf 3. Hnědá DPS při $t = 20^{\circ}\text{C}$

Tahovou zkouškou byla zjištěna napínací síla $F = 4205,41 \pm 610,46$ N, v prostředí při teplotě $t = 20^{\circ}\text{C}$. Tato síla nám určuje průměrnou hodnotu zkoušených vzorků, kterou jsou schopny vydržet při zatížení, než dojde k jejich porušení.

6.2 Zkušební tělísko 2 (šedá DPS)

Tabulka 2. Zkouška tahem při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$

n = 2	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_{fm} (N/mm ²)	σ_{fB} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nom.def- σ_{fm} (mm)	ε_{fm} (%)	ε_{fB} (%)	Δl_{fm} (mm)	Δl_{fB} (mm)	F (N)
x	1,475	10,02	200,82	200,82	16306,8	2,85	1,17	1,17	0,12	0,12	2969,5
s	0,007071	0,007071	0,60	0,60	1205,9	0,01	0,04	0,04	0,00	0,00	21,00
v	0,48	0,07	0,30	0,30	7,39	0,21	3,79	3,79	2,63	2,63	0,71



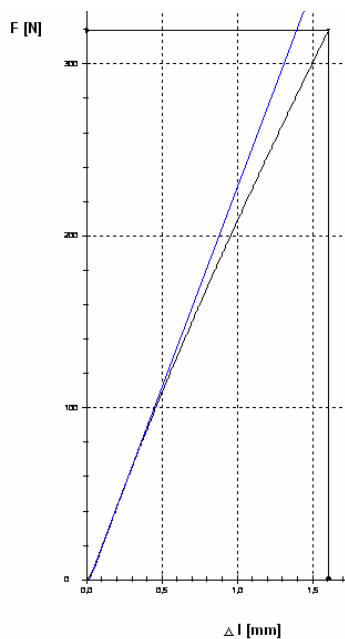
Graf 4. Šedá DPS při $t = 20^\circ \text{C}$

Tahovou zkouškou byla zjištěna napínací síla $F = 2969,5 \pm 21 \text{ N}$, v prostředí při teplotě $t = 20^\circ \text{C}$. Tato síla nám určuje průměrnou hodnotu zkoušených vzorků, kterou jsou schopny vydržet při zatížení, než dojde k jejich porušení.

6.3 Zkušební tělísko 3 (bílá DPS)

Tabulka 3. Zkouška tahem při teplotě $t=20^\circ \text{C}$

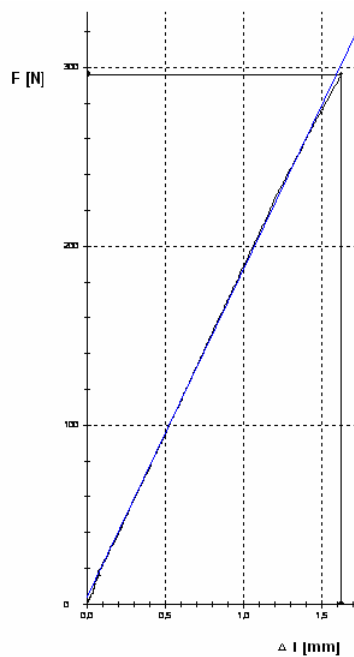
n = 3	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_{fm} (N/mm ²)	σ_{fB} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nominální def- (mm)	ε_{fm} (%)	ε_{fB} (%)	Δl_{fm} (mm)	Δl_{fB} (mm)	F (N)
x	1,35	10,03	317,07	317,07	23253,56	3,07	1,58	1,58	0,31	0,31	4293,26
s	0,000	0,01	12,56	12,56	228,48	0,27	0,10	0,10	0,02	0,02	167,41
v	0,00	0,10	3,96	3,96	0,98	8,63	6,51	6,51	6,59	6,59	3,90



Graf 5. Bílá DPS při $t = 20^\circ C$

Tabulka 4. Zkouška tahem při teplotě $t=100^\circ C$

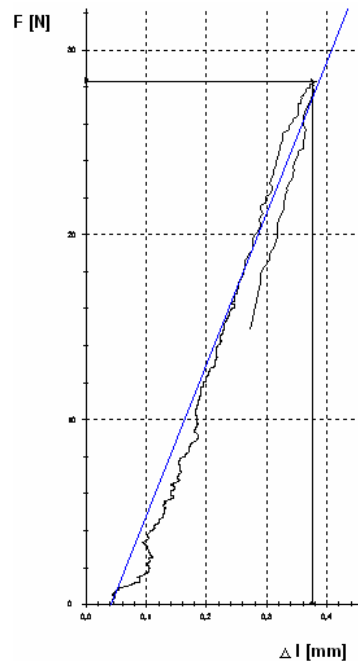
n = 2	a ₀ (mm)	b ₀ (mm)	σ _{fm} (N/mm ²)	σ _{fb} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nom. def- σ _{fm} (mm)	ε _{fm} (%)	ε _{fb} (%)	Δl _{fm} (mm)	Δl _{fb} (mm)	F (N)
x	1,34	10,03	285,14	285,14	19804,1	3,69	1,27	1,27	0,25	0,25	3832,35
s	0,000	0,000	12,45	12,45	1336,81	0,12	0,58	0,58	0,12	0,12	167,31
v	0,00	0,00	4,37	4,37	6,75	3,34	45,97	45,97	47,41	47,41	4,37



Graf 6. Bílá DPS při $t = 100^\circ C$

Tabulka 5. Zkouška tahem při teplotě $t=175^{\circ}\text{C}$

n = 2	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_{fm} (N/mm ²)	σ_{fB} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nom. def- σ_{fm} (mm)	ε_{fm} (%)	ε_{fB} (%)	Δl_{fm} (mm)	Δl_{fB} (mm)	F (N)
x	1,34	10,03	30,63	-	7841,42	2,40	0,40	-	0,07	-	411,70
s	0,000	0,000	3,26	-	459,87	0,16	0,03	-	0,01	-	43,78
v	0,00	0,00	10,63	-	5,86	6,85	7,61	-	10,16	-	10,63

Graf 7. Bílá DPS při $t = 175^{\circ}\text{C}$

Tahovou zkouškou v prostředí při teplotách $t = 20^{\circ}\text{C}$, 100°C a 175°C , byly zjištěny tyto hodnoty:

- Při teplotě $t = 20^{\circ}\text{C}$ bude napínací síla $F = 4293,26 \pm 167,41\text{ N}$
- Při teplotě $t = 100^{\circ}\text{C}$ bude napínací síla $F = 3832,35 \pm 167,31\text{ N}$
- Při teplotě $t = 175^{\circ}\text{C}$ bude napínací síla $F = 411,7 \pm 43,78\text{ N}$

Tyto síly nám určují průměrnou hodnotu zkoušených vzorků, kterou jsou schopny vydržet při zatížení, než dojde k jejich porušení.

Z grafů i tabulek lze vyčíst, jaký vliv má na pevnost DPS okolní teplota, čím větší bude teplota okolního prostředí, tím menší bude pevnost jednotlivých desek.

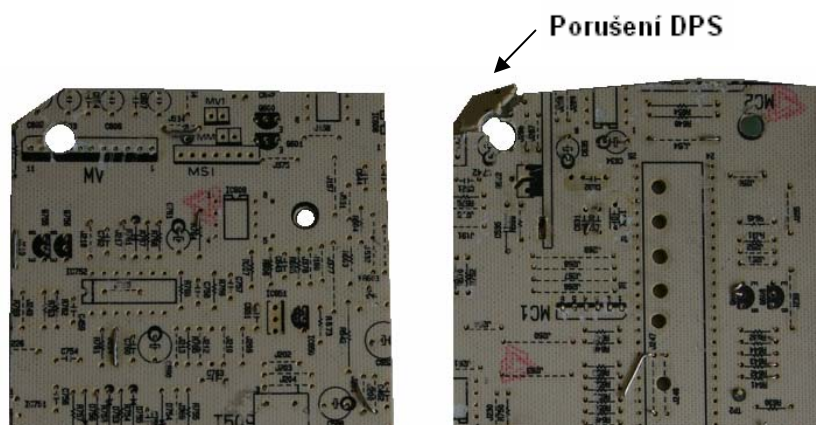
7 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DPS

Zda můžeme upnout DPS na upínací přípravek bez porušení, zjistíme pomocí tahové zkoušky. Vlivem této zkoušky budeme schopni, určit maximální napínací sílu, kterou PC desky vydrží bez porušení.



Obr. 54. Zkušební DPS na tahovém stroji

Zkoušky na tahovém stroji, byly provedeny na několika vybraných vzorcích DPS. Na každé desce byly v protilehlých rozích desky vyvrtány dva otvory. Pomocí těchto otvorů se desky upnuly na tahovém stroji.



Obr. 55. DPS před a po tahové zkoušce

7.1 Šedá DPS

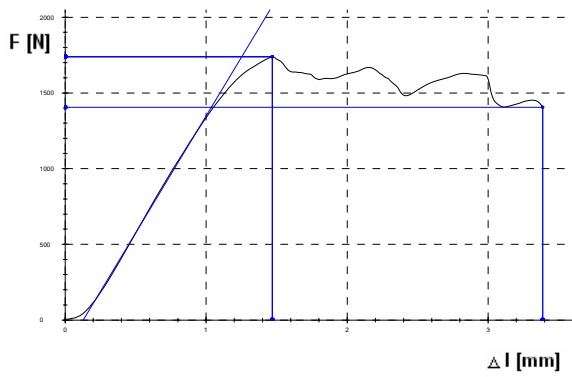
Tabulka 6. Šedá DPS

n	a ₀ (mm)	b ₀ (mm)	σ _{fm} (N/mm ²)	σ _{fb} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nominální def- σ _{fm} (mm)	ε _{fm} (%)	ε _{fb} (%)	Δ l _{fm} (mm)	Δ l _{fb} (mm)	F (N)
1	1,44	45	26,83	21,68	2459,8	1,47	1,43	3,29	1,34	3,26	1738,82
2	1,44	45	26,49	5,28	2546,82	1,98	1,74	4,95	1,66	5,29	1716,34
3	1,44	45	25,06	24,58	3587,32	1,13	1	1,1	1,07	1,19	1623,78
4	1,44	45	20,92	20,79	2146,49	1,4	1,33	1,34	1,07	1,08	1355,36
5	1,44	45	16,75	15,56	1793,95	2,67	2,59	4,54	2,59	4,6	1085,35
x	1,44	45	24,96	18,14	2720,25	1,47	1,37	2,79	1,27	2,78	1617,4
s	0	0	2,37	7,53	491,47	0,31	0,27	1,59	0,26	1,76	153,69
v	0	0	9,5	41,48	18,07	21,27	19,35	56,92	20,4	63,14	9,5

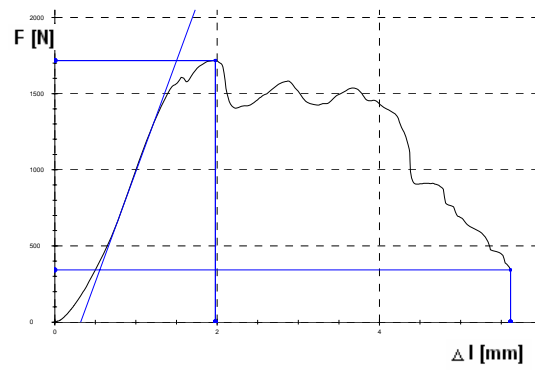
Nejmenší napínací síla $F_{\text{MIN}} = 1085,35$ N byla naměřena u vzorku 5. Při této síle došlo k deformaci desky. Je tedy nutné stanovit maximální napínací sílu na upínacím přípravku, která bude menší než je F_{MIN} .



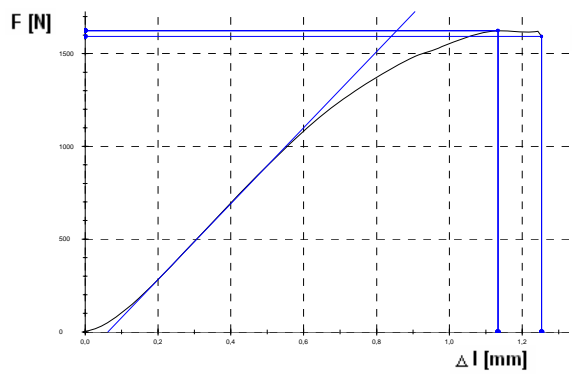
Obr. 56. Vzorek zkoušené šedé DPS



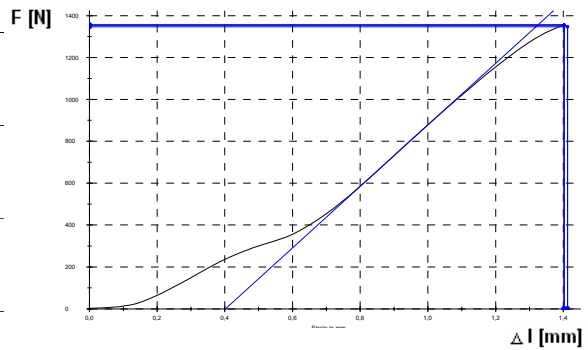
Graf 8. Šedá DPS – vzorek $n = 1$



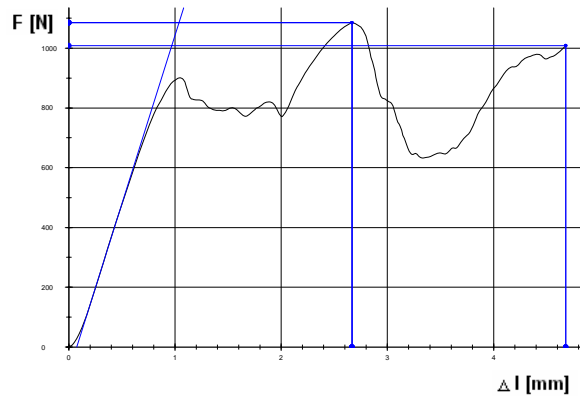
Graf 9. Šedá DPS – vzorek $n = 2$



Graf 10. Šedá DPS – vzorek $n = 3$



Graf 11. Šedá DPS – vzorek $n = 4$



Graf 12. Šedá DPS – vzorek $n = 5$

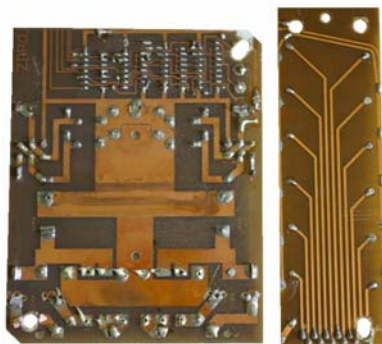
Jednotlivé grafy nám znázorňují, chování jednotlivých vzorků šedé DPS, při namáhání na tah.

7.2 Hnědá DPS

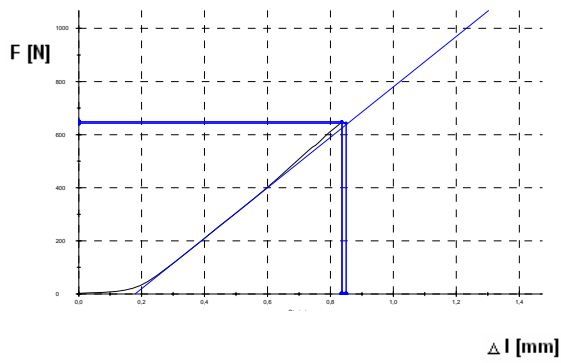
Tabulka 7. Hnědá DPS

n	a ₀ (mm)	b ₀ (mm)	σ _{fm} (N/mm ²)	σ _{fb} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nominální def-Rm (mm)	ε _{fm} (%)	ε _{fb} (%)	Δ l _{fm} (mm)	Δ l _{fb} (mm)	Rm (N)
1	1,44	45	10	9,91	1495,88	0,84	0,82	0,83	0,66	0,67	648,02
2	1,44	45	12,79	12,79	2432,21	0,67	0,65	0,65	0,57	0,57	828,99
3	1,44	45	12,77	12,77	2250,6	0,76	0,75	0,75	0,67	0,67	827,38
4	1,44	45	13,25	13,25	1546,72	1,42	1,39	1,39	0,92	0,92	858,42
5	1,44	45	8,74	8,48	2170,74	0,63	0,62	0,65	0,47	0,5	566,36
6	1,44	45	22,61	4,5	2911,92	1,23	1,2	2,12	1,05	1,99	1465,15
x	1,44	45	12,38	12,13	1948,35	1,16	1,14	1,47	0,98	1,32	802,42
s	0	0	2,8	2,53	391,1	0,79	0,76	1,53	0,8	1,61	181,15
v	0	0	22,58	20,9	20,07	67,9	67,31	104,14	82,14	122,1	22,58

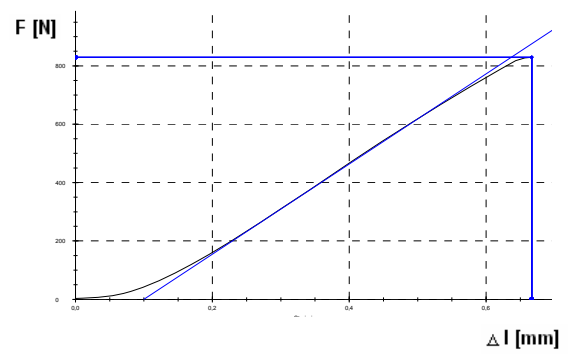
Nejmenší napínací síla $F_{\text{MIN}} = 566,36$ N byla naměřena u vzorku 5. Při této síle došlo k deformaci desky. Je tedy nutné stanovit maximální napínací sílu na upínacím přípravku, která bude menší než je F_{MIN} .



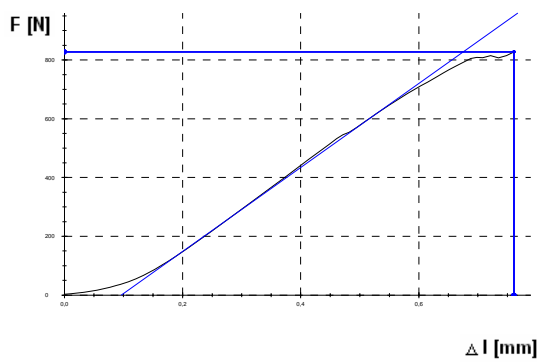
Obr. 57. Vzorek zkoušené hnědé DPS



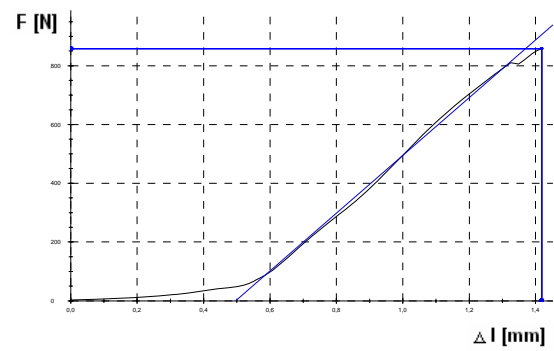
Graf 13. Hnědá DPS – vzorek $n = 1$



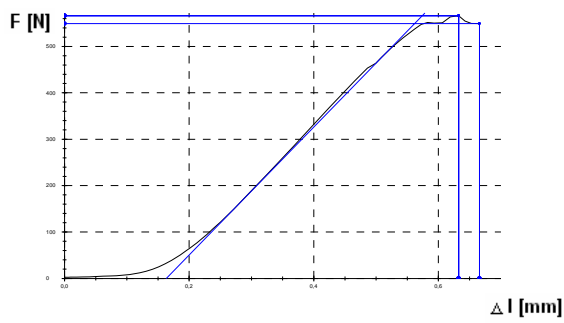
Graf 14. Hnědá DPS – vzorek $n = 2$



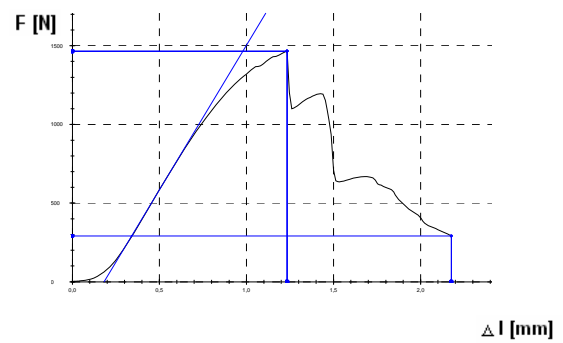
Graf 15. Hnědá DPS – vzorek $n = 3$



Graf 16. Hnědá DPS – vzorek $n = 4$



Graf 17. Hnědá DPS – vzorek $n = 5$



Graf 18. Hnědá DPS – vzorek $n = 6$

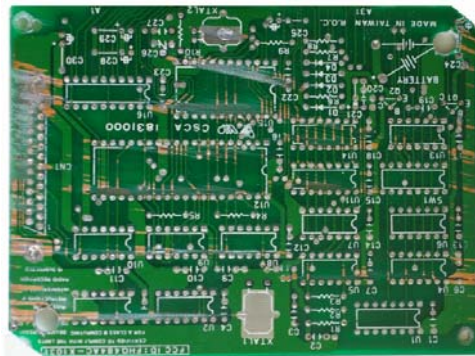
Jednotlivé grafy nám znázorňují, chování jednotlivých vzorků hnědé DPS, při namáhání na tah.

7.3 Zelená DPS

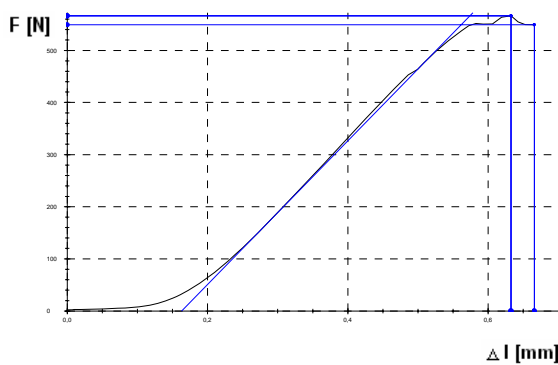
Tabulka 8. Zelená DPS

n	a ₀ (mm)	b ₀ (mm)	σ _{fm} (N/mm ²)	σ _{fb} (N/mm ²)	E-Modul (N/mm ²)	Nominální def-Rm (mm)	ε _{fm} (%)	ε _{fb} (%)	Δl _{fm} (mm)	Δl _{fb} (mm)	Rm (N)
1	1,44	45	32,96	6,57	2501,57	3,48	4,83	11,3	2,64	7,3	2135,7
2	1,44	45	25,5	18,37	2610,02	1,35	1,37	3,27	1,27	3,16	1652,59
x	1,44	45	27,78	5,53	2706,75	2,35	3,02	6,71	1,84	4,65	1800,42
s	0	0	7,32	1,46	290,16	1,59	2,56	6,49	1,12	3,75	474,15
v	0	0	26,34	26,45	10,72	67,36	85	96,68	60,88	80,73	26,34

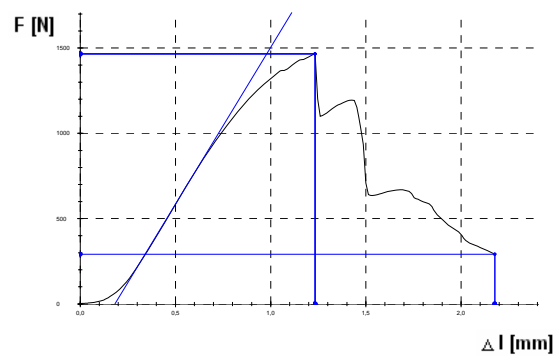
Nejmenší napínací síla $F_{MIN} = 1652,59$ N byla naměřena u vzorku 2. Při této síle došlo k deformaci desky. Je tedy nutné stanovit maximální napínací sílu na upínacím přípravku, která bude menší než je F_{MIN} .



Obr. 58. Vzorek zkoušené zelené DPS



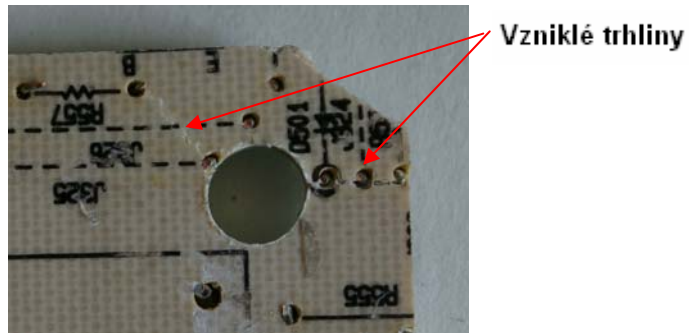
Graf 19. Zelená DPS – vzorek n = 1



Graf 20. Zelená DPS – vzorek n =

Jednotlivé grafy nám znázorňují, chování jednotlivých vzorků zelené DPS, při namáhání na tah.

U jednotlivých vzorků ze stejného materiálu, můžeme vidět v grafech, nebo tabulkách, rozdílné hodnoty. Tyto rozdíly jsou způsobeny navrtanými otvory pro SMD součástky, které do DPS byly vyvrtávány při výrobě. Právě tyto otvory narušují pevnost DPS a jsou nejčastějším místem výskytu trhlin. Těmto otvorům nelze předejít.



Obr. 59. Vzniklé trhliny na DPS

Z naměřených hodnot u vybraných vzorků PC desek, bylo tahovou zkouškou zjištěno, že největší napínací síle dokázala odolávat zelená DPS. Naopak nejmenší sílu vydržela hnědá DPS, ta vydržela více než o polovinu méně.

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem měl za úkol navrhnout a sestrojít upínací přípravek na odstranění elektronických součástek z PC desky.

Teoretická část je zaměřena na PC desky a technologii řezného procesu. Jako první jsou zde popsány druhy materiálů na výrobu plošných spojů, jak organické, tak anorganické.

Druhou navazující kapitolou jsou druhy propojovacích struktur (jednovrstvé, dvouvrstvé a vícevrstvé), technologie výroby PC desek. Dále pak osazení těchto desek SMD součástkami a popis měděné fólie.

V třetí části byly nastudovány a popsány možnosti recyklace plošných spojů. Nejprve bylo důležité uvést, jak budou součásti z desky odstraněny a další postup zpracování pro získání vzácných kovů z PC desek.

Čtvrtá část bakalářské práce obsahuje technologii řezání na odstranění elektronických součástek z PC desek. Kapitola obsahuje druhy pásových pil, na jakých lze tyto součástky odstranit. Dále pak jaké druhy pilových pásů lze použít a hlavní faktory ovlivňující jejich životnost.

Závěrečnou praktickou část jsem rozdělil na tři části. V první části je popsán upínací přípravek, na kterém budou napínány PC desky. Jsou zde stručně popsány součásti, ze kterých je tento upínací přípravek zhotoven. V druhé části jsou popsány tahové zkoušky, v okolním prostředí s měnící se teplotou, na zkušebních těliscích z materiálu pro PC desky. Třetí poslední část je podobná druhé části, s rozdílem zkoušených prvků a okolní teplotou, která se během zkoušky nemění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAČA, P.; JIŘÍ, S.; PETR, K. *Plošné spoje a povrchová montáž* [online]. Brno: VUT Brno, Available from www:
http://www.utko.feec.vutbr.cz/~misurec/vyuka/ls0607/Plosne_spoje_a_povrchova_montaz_S_P.pdf
- [2] ÁBEL Martin: *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. 1. vyd. Pardubice: Platan, 2000. 218 stran. ISBN 80-902733-2-7.
- [3] BOUŠA, M. *Projekt recyklace elektronických zařízení* [online]. Praha: Viatro, 2003, Available from www:
<http://www.vitaro.cz/?pg=projektRecyklaceElektronZar&m=elektro>
- [4] CHMELA, T. Možnosti recyklace plošných spojů. *Odpadové fórum*. 2006, č. 11, s. 18-19.
- [5] PECINA, P.; PECINA, J. *Elektronika (technická praktika z elektroniky)*. Brno. MU. 2007. ISBN 978-80-210-4279-7.
- [9] VEJVODOVÁ, E. Odpady jako nedílná součást výrobní produkce v elektrotechnickém průmyslu. *FEL ZČU Plzeň*, 2007.
- [6] MESIT PCB, spol. s.r.o. Available from: <http://www.pcb.mesit.cz>
- [7] Fipas, Available from www: <http://www.fipas.cz>
- [8] Pilous - pásové pily, spol. s r.o., Available from: <http://www.pilous.cz/>
- [9] Semach – plošné spoje, Available from: <http://www.semach.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DPS	Deska plošného spoje
PTEE	Polyetrafluoretylen pryskyřice
BT	Bismaleinimidové pryskyřice
CE	Kyanáttestery
PET	Polyetyléntereftalát
PEN	Polyetylénnaftalát
PI	Polyamid
FR–2	Fenolformaldehydové pryskyřice:
FR–3	Tvrzený papír a epoxidová pryskyřice
FR–4	Skloepoxidový laminát
CEM-1	Kompozitní materiály
Tg	Teplota skelného přechodu
BOT	Označení vrstvy plošného spoje – strana spojů
TOP	Označení vrstvy plošného spoje – strana součástek
IN 1	Označení vnitřní první vrstvy plošného spoje
IN 2	Označení vnitřní první vrstvy plošného spoje
SMD	(Surface Mounted Devices) Součástky pro povrchovou montáž
PS (PLS)	Plošné spoje
Cr	Chrom
Cu	Měď
C	Uhlík
CNC	(Computer Numerical Kontrol) Systém, jehož zvlášť k tomu určený počítač s programovým uložením v paměti je používán k provádění operací číslicového řízení.

ČSN	Česká státní norma
n	Počet desek plošného spoje
a_0	Tloušťka zkoušené DPS
b_0	Šířka zkoušené DPS
l_1	Délka zkoušeného tělíska
b_1	Šířka zkoušeného tělíska
σ_{fm}	Mez pevnosti
σ_{fB}	Mez pevnosti při přetržení
E	Modul pružnosti
ε_{fm}	Poměrná deformace na mezi pevnosti
ε_{fB}	Poměrná deformace při přetržení
Δl_{fm}	Délka deformace na mezi pevnosti
Δl_{fB}	Délka deformace při deformaci
x	Průměrné hodnoty
s	Směrodatná odchylka
T, t	Teplota

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.</i>	<i>Dělení základních materiálů.....</i>	<i>5</i>
<i>Obr. 2.</i>	<i>Neohebný plošný spoj.....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 3.</i>	<i>Ohebný plošný spoj.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 4.</i>	<i>Řez osazenou deskou.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 5.</i>	<i>Jednovrstvá DPS: A – Schéma jednovrstvé DPS, B – Konečný tvar jednovrstvé DPS.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 6.</i>	<i>Dvouvrstvá DPS: A – Schéma dvouvrstvé DPS, B – Konečný tvar dvouvrstvé DPS.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 7.</i>	<i>Vícevrstvá DPS: A – Schéma vícevrstvé DPS, B – Konečný tvar vícevrstvé DPS.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 8.</i>	<i>Měděná fólie.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 9.</i>	<i>Manuální pásová pila.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 10.</i>	<i>Gravitační pásová pila.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 11.</i>	<i>Poloautomatická pásová pila – ramenová.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 12.</i>	<i>Hydraulická poloautomatická pila – dvousloupcová.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 13.</i>	<i>Automatická pásová pila s CNC řídicím systémem.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 14.</i>	<i>Měřicí zařízení k napínání pilového pásu.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 15.</i>	<i>Zuby na pilovém pásu: A – Nový pilový pás, B – Správně zaběhnutý pilový pás, C – Opotřebený pilový pás.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 16.</i>	<i>Konstantní rozložení zubů.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 17.</i>	<i>Variabilní rozložení zubů.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 18.</i>	<i>Standartní zub.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 19.</i>	<i>Pozitivní zub.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 20.</i>	<i>Mezerový zub.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 21.</i>	<i>Profilový zub.....</i>	<i>26</i>

Obr. 22.	Trapézový zub.....	26
Obr. 23.	Standartní rozvod zubů.....	27
Obr. 24.	Skupinový rozvod zubů.....	27
Obr. 25.	Pravo-levý rozvod zubů.....	28
Obr. 26.	Vlnový rozvod zubů.....	28
Obr. 27.	Druhy šířky pilového pásu.....	28
Obr. 28.	Deska plošného spoje.....	31
Obr. 29.	Odřezané el. součástky z DPS.....	31
Obr. 30.	DPS s vyvrtaným otvorem.....	32
Obr. 31.	Upínací přípravek.....	32
Obr. 32.	Napínací mechanismus.....	33
Obr. 33.	Napínací mechanismus – natáčení.....	33
Obr. 34.	Doraz.....	34
Obr. 35.	Napínací šroub.....	34
Obr. 36.	Čep s napínacím pouzdrém.....	34
Obr. 37.	Zajištění čepu napínacího pouzdra.....	35
Obr. 38.	Pouzdro.....	35
Obr. 39.	Pouzdro v upínací desce.....	36
Obr. 40.	Přichycení napínacího čepu k upínací desce.....	36
Obr. 41.	Napínací pevná část v upínací desce.....	37
Obr. 42.	Zadní strana DPS.....	37
Obr. 43.	Upnutá součásti k DPS.....	37
Obr. 44.	Směr pohybu opěrného kuželu.....	38
Obr. 45.	Nasazení opěrného nákrůžku.....	38
Obr. 46.	Opěrný kužel s opěrným nákrůžkem.....	38
Obr. 47.	Upínací deska.....	39

<i>Obr. 48.</i>	<i>Odlehčení na upínací desce.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 49.</i>	<i>Vodící drážky pro napínací pevné čepy – přední strana upínací desky... </i>	<i>40</i>
<i>Obr. 50.</i>	<i>Vodící drážky pro napínací pevné čepy – zadní strana upínací desky.... </i>	<i>40</i>
<i>Obr. 51.</i>	<i>Díry pro pouzdra.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 52.</i>	<i>Opěrná vodící lišta.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 53.</i>	<i>Universální zkušební stroj s teplotní komorou.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 54.</i>	<i>Zkušební DPS na tahovém stroji.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 55.</i>	<i>DPS před a po tahové zkoušce.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 56.</i>	<i>Vzorek zkoušené šedé DPS.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 57.</i>	<i>Vzorek zkoušené hnědé DPS.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 58.</i>	<i>Vzorek zkušební zelené DPS.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 59.</i>	<i>Vzniklé trhliny na DPS.....</i>	<i>53</i>

SEZNAM GRAFŮ:

Graf 1	<i>Odolnost materiálů v pájecí lázni</i>	8
Graf 2	<i>Navlhlost materiálů</i>	8
Graf 3	<i>Hnědá DPS při $t = 20^{\circ} C$</i>	43
Graf 4	<i>Šedá DPS při $t = 20^{\circ} C$</i>	44
Graf 5	<i>Bílá DPS při $t = 20^{\circ} C$</i>	44
Graf 6	<i>Bílá DPS při $t = 100^{\circ} C$</i>	45
Graf 7	<i>Bílá DPS při $t = 175^{\circ} C$</i>	46
Graf 8	<i>Šedá DPS – vzorek $n = 1$</i>	49
Graf 9	<i>Šedá DPS – vzorek $n = 2$</i>	49
Graf 10	<i>Šedá DPS – vzorek $n = 3$</i>	49
Graf 11	<i>Šedá DPS – vzorek $n = 4$</i>	49
Graf 12	<i>Šedá DPS – vzorek $n = 5$</i>	49
Graf 13	<i>Hnědá DPS – vzorek $n = 1$</i>	51
Graf 14	<i>Hnědá DPS – vzorek $n = 2$</i>	51
Graf 15	<i>Hnědá DPS – vzorek $n = 3$</i>	51
Graf 16	<i>Hnědá DPS – vzorek $n = 4$</i>	51
Graf 17	<i>Hnědá DPS – vzorek $n = 5$</i>	51
Graf 18	<i>Hnědá DPS – vzorek $n = 6$</i>	51
Graf 19	<i>Zelená DPS – vzorek $n = 1$</i>	52
Graf 20	<i>Zelená DPS – vzorek $n = 2$</i>	52

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1.</i>	<i>Zkouška tahem při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 2.</i>	<i>Zkouška tahem při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 3.</i>	<i>Zkouška tahem při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 4.</i>	<i>Zkouška tahem při teplotě $t=100^{\circ}\text{C}$.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 5.</i>	<i>Zkouška tahem při teplotě $t=175^{\circ}\text{C}$.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 6.</i>	<i>Šedá DPS.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 7.</i>	<i>Hnědá DPS.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 8.</i>	<i>Zelená DPS.....</i>	<i>52</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI – Příloha PI obsahuje:

- 2D sestava upínacího přípravku
- Řez sestavou A – A
- Řez sestavou B – B

PII – Příloha PII obsahuje:

- Kusovník

PIII – Příloha PIII obsahuje:

- Upínací deska

PIV – Příloha PIV obsahuje:

- Napínací čep

PV – Příloha PV obsahuje:

- Svařovací sestava – napínací pouzdro

PVI – Příloha PVI obsahuje:

- Napínací pouzdro – část. 1

PVII – Příloha PVII obsahuje:

- Napínací pouzdro – část. 2

PVIII – Příloha PVIII obsahuje:

- Napínací čep - pevný

PIX – Příloha PIX obsahuje:

- Pouzdro

PX – Příloha PX obsahuje:

- Opěrný kužel

PXI – Příloha PXI obsahuje:

- Opěrný nákrůžek

PXII – Příloha PXII obsahuje:

- Dorazový kroužek

PXIII – CD disk obsahuje:

- 3D model upínacího přípravku
- Textovou část bakalářské práce