

Technologický projekt provozu pro mechanické zpracování vláknových kompozitů

Rostislav Blažek

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání bakalářské práce

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Doc. ing. Imrichu Lukovicsovi, Csc. za ochotu, snahu a pomoc při vypracování bakalářské práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 02. 06. 2006

.....

podpis

RESUMÉ

Anotace česky

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vypracovat technologický projekt provozu pro mechanické zpracování kompozitů. Řeší se zde rozmístění strojů, na kterých se budou kompozity obrábět. Dále navržení stolů, pod tyto stroje a jejich odsávání.

Dalším úkolem bylo navrhnout přípravek na měření kroutícího momentu – dynamometr, který bude umístěn na hřídeli jednoho ze strojů.

Posledním bodem této bakalářské práce je ekonomické zhodnocení projektu.

Anotace v anglickém jazyce

The main aim of this bachelor thesis was to carry out the technological project of the operation for the mechanical processing of the composites. The finding the spot for the machines on that the composites will be worked is solved in this thesis. Further, the designing of the tables, below these machines and their exhaustion.

Next task was to suggest the preparation for measuring of torque-dynamometer, that will be located on the shaft of one the machines.

At the end of my bachelor thesis is economic valorize of the project.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 Projektování	7
1.2 Metody projektování	7
1.2.1 Postupné projektování	7
1.2.2 Modelové projektování.....	8
1.2.3 Katalogové projektování	9
1.2.4 Stavebnicové projektování	9
1.2.5 Projektování na základě THU(technicko-hospodářských ukazatelů).....	9
1.2.6 Technologické projektování	9
1.3 Technologický projekt.....	10
1.4 Kompozity	10
1.4.1 Praktické využití kompozitů	11
1.5 Rozdělení kompozitních materiálů do základních typů	12
1.5.1 Strukturní rozdělení kompozitů.....	12
1.5.2 Druhy kompozitních materiálů.....	13
1.5.3 Kovy	13
1.5.4 Plasty	14
1.5.5 Dřevo	14
1.5.6 Moderní materiály	17
1.5.7 Cement a beton	17
1.5.8 Kompozity	17
1.6 Struktura kompozitů	22
1.6.1 Geometrický popis struktury	22
1.6.2 Fyzikální popis struktury	23
1.7 Obrábění kompozitů.....	24
1.7.1 Obrobitelnost	24
1.7.2 Obrábění vláknově vyztužených kompozitů	24
1.7.3 Způsoby zpracování kompozitních materiálů.....	25
1.8 Způsoby určování složek řezné síly	31
1.8.1 Metody a aparatury pro určování řezných sil	31
1.8.2 Nepřímé měření sil	32
1.8.3 Přímé měření řezných sil	32
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	37
2.1 Popis laboratoře.....	37
2.1.1 Vybavení laboratoře	37
2.2 Popis a účel použití strojů a dalších zařízení.....	38
2.3 Konstrukční návrh dynamometru	44
2.3.1 Popis konstrukce.....	44
2.4 Ekonomické zhodnocení.....	45
ZÁVĚR.....	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	48
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	49
SEZNAM PŘÍLOH.....	50

ÚVOD

Ve všech fázích lidského vývoje měla rozhodující vliv na celou civilizaci úroveň materiálů, které člověk znal a používal. Tato závislost se stupňovala s rozvojem civilizace a v dnešní době se stává omezující veličinou technického pokroku prakticky všech odvětví. Nejúčinněji je využita vložená jednotka hmoty a energie u materiálů záměrně k danému účelu konstruovaných, tj. v materiálech kompozitních. Kompozitní materiály se staly v současné době průmyslovými materiály v celém světě.

Slovo „kompozitní“ znamená vytvořený či skládající se ze dvou nebo více odlišných částí. Od původního použití ve vojenském průmyslu (námořnictvo) se postupem času jejich využití rozrostlo do různých odvětví (automobilové, letecké, sportovní, elektronické i spotřební).

Protože, práce konstruktérů všech oborů se stává nepoměrně obtížnější než dosud, když spolu s návrhem prvku je třeba navrhnout i materiál, z něhož budou prvky zhotoveny, a to nejen co do skladby, ale i technologii výroby a žádané životnosti v daných podmínkách. Tohle všechno se zpracovává a zkouší v laboratořích. Ve své bakalářské práci se budu zabývat technologickým projektem provozu laboratoře, ve které se budou mechanicky zpracovávat už zde zmíněné kompozitní materiály.

1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Projektování

Pojem projektování lze chápat jako nepřetržitý proces přípravy k pozitivním změnám výrobního organismu s určením alternativy cíle a optimální varianty jeho dosažení vypracováním potřebné dokumentace, její realizaci a zhodnocení dosaženého výsledku.

Tato definice vychází se systémového pojetí projektování výrobních organismů. Výrobním organismem se zde chápe výrobní organizační jednotka, tj. výrobní dílna, výrobní závod, podnik, resort. Konečným cílem projektování není jen samotné technické řešení, s libovolnými ekonomickými účinky, ale nejlepší technické řešení s nejlepšími pracovními podmínkami s nejvyšší ekonomickou účinností jaké se dá dosáhnout, tedy souhrnné optimální řešení.

1.2 Metody projektování

Metody projektování jsou v podstatě založeny na zásadách projektování. Jsou charakterizovány specifickými postupy a používáním určitých technických pomůcek, které mají vliv na způsob projektování. Všeobecně nevylučuje použití jedné metody použití metod jiných, ale naopak, velmi často teprve kombinace různých metod a jejich jednotlivých postupů přináší nejvyšší efektivnost.

1.2.1 Postupné projektování

Podstata postupného projektování je v tom, že se určí hlavní fáze na vypracování celého projektu i na zpracování jednotlivých částí projektového řešení. Je výhodné postup zpracování znázornit formou schémat nebo vyznačit rámcový průběh a to především tehdy, když se na řešení zúčastňuje více různých odborných skupin. Standardizování postupů projektování není vhodné, protože rozsah zpracování, hloubka zpracování a s tím také postup zpracování je vždy ovlivněn tím, jakého cíle se má dosáhnout.

1.2.2 Modelové projektování

Modelové projektování je způsob projektové práce, pomocí níž se provádí vlastní řešení záměru projektanta, a která umožňuje rychlou tvorbu alternativních řešení. Jako modelové projektování nelze označit pouze zhotovení modelů nebo maket podle grafické předlohy vyhotovené kreslením nebo znázornění skutečnosti ve zmenšeném měřítku.

Mezi základní pojmy modelového projektování patří:

Metoda modelového projektování

- tj. způsob modelového projektování (dvojměrná-plošná, trojměrná-prostorová, objemová a kombinované metody modelového projektování), závislý na druhu modelového prvku, použitých prostředcích a modelové technologii.

Modelová sestava

- tj. znázornění záměru projektanta v určitém měřítku, realizovaná z modelových a speciálních prostředků modelového projektování. Podle toho jaký rozsah záměru projektanta modelová sestava obsahuje, rozeznává se celková nebo dílčí modelová sestava.

Modelový prvek

- je samostatně použitelné zjednodušené znázornění předmětu (projektovaný prvek) v příslušném zmenšeném měřítku. Rozlišuje se dvojměrný (dvojměrná maketa) nebo trojměrný (model) modelový prvek.

Modelová technologie

- je souhrn pracovních postupů nutných k hmotné realizaci záměru projektanta při modelovém projektování.

Orientační měřítková síť

- bývá kreslená, tištěná nebo jiným způsobem vyznačená síť (mříž) v příslušném zmenšeném měřítku. Slouží pro rychlý odhad vzdáleností, dodržení kolmostí nebo rovnoběžnosti při situování modelových prvků.

1.2.3 Katalogové projektování

Je to metoda projektování za pomoci předpisů, postupů, směrných čísel, dílčích řešení a způsobů řešení obsažených ve specifických katalozích. Základní pomůckou katalogového projektování je projektový katalog.

Projektový katalog je systematicky uspořádaný a podle jednotlivých hledisek v abecední a grafické formě sestavený „zásobní systém“ pro záznam a získávání informací, které se trvale upřesňují (projektové údaje, stavebnicové prvky, principiální řešení apod.).

1.2.4 Stavebnicové projektování

Projektová metoda, založená na principu standardizace, při které se využívají stavebnicové projektové díly, které odpovídají určitému stavebnicovému systému. Stavebnicový princip standardizace je projektový princip na bázi materiálních a nemateriálních dílčích řešení, která zahrnují maximální počet možností použití v technické oblasti. Je to umožněno jejich vlastnostmi, které dávají optimální technickoekonomické využití, přičemž nevznikají žádná další řešení mimo řešení vzniklé jejich kombinací. Stavebnicové projektování podtrhuje jeden z dalších rysů projektové činnosti a to kombinování. Pomáhá zkrátit čas na projektování a zvýšit současně kvalitu projektových řešení.

1.2.5 Projektování na základě THU(technicko-hospodářských ukazatelů)

Základem této metody projektování jsou potřebná výchozí data, to jsou technicko-hospodářské ukazatele (to je souhrn číselně, slovně nebo graficky vyjádřených údajů a ukazatelů umožňujících posoudit technicko-ekonomickou úroveň jednotlivých druhů staveb nebo jejich částí a jejich porovnání nebo užívání), které jsou odvozeny od technicko ekonomických parametrů existující stavby nebo její části již dříve uvedené do provozu. Tyto parametry tvoří srovnávací základnu pro porovnání technicko-ekonomické úrovně zpracovaného druhu stavby.

1.2.6 Technologické projektování

Představuje zjednodušeně řečeno komplexní činnost při zpracování technologické rozvahy, určení kapacit a ploch, stanovení struktury a uspořádání výrobní jednotky. Konkrétním výsledkem této činnosti je technologický projekt, jehož rozsah a hloubka

zpracování odpovídá technologické části příslušného stupně přípravné nebo projektové dokumentace, pro který je určen.

1.3 Technologický projekt

Technologický projekt se obvykle vztahuje na provozní soubor nebo dílčí provozní soubor. Provozní soubor (dílčí provozní soubor) je souhrn strojů a zařízení včetně jejich montáží a inventáře investičního charakteru, který slouží k zajištění dílčího samostatného technologického nebo netechnologického procesu a je uváděn do provozu v souvislém čase.

Technologický projekt se neskládá jen z činností následujících za sebou (postupně uspořádání), ale je to celý systém činností navzájem propojených. Je v něm řada paralelně probíhajících často ještě mezi sebou navazujících činností. Při tom se tyto závislosti vytvářejí postupným nasazováním pracovních sil a pracovních prostředků.

Obsahem technologického projektu pro provozní soubory výrobních zařízení je zejména technická zpráva, výkresová dokumentace a seznam strojů a zařízení.

1.4 Kompozity

Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, z nichž aspoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou (fází) samostatně ani prostou sumací. Je to multifunkční materiálový systém, který má charakteristiky neobdržitelné žádným z jednotlivých materiálů. Je to kohezivní struktura, vytvořená fyzikální kombinací dvou nebo více kompatibilních materiálů, lišících se složením a vlastnostmi a někdy i tvarem.

Kompozity jsou složené materiály, které se liší od slitin tím, že jednotlivé složky si ponechávají své charakteristiky, ale jsou tak vloženy do materiálového systému, že se uplatní pouze jejich přednosti a potlačí jejich nedostatky, aby se získalo zlepšení jejich vlastností.

1.4.1 Praktické využití kompozitů

Vývoj v posledních dvaceti letech ukazuje, že pokrok lidstva postupuje, jak k lepšímu uspokojování jeho spotřeby, tak hlavně k zachování kvality vnějšího prostředí a zlepšení životních podmínek. To vše je do značné míry podmíněno použitím nových materiálů. K významným příkladům těchto trendů patří snahy o snižování hmotnosti silničních a kolejových vozidel, letadel a kosmických prostředků, vedoucí ke snižování spotřeby pohonných hmot, či použití materiálů odolných proti korozi. Snižování hmotnosti dopravních prostředků náhradou ocelových dílců kompozitními je samo o sobě schopno podílet se na snižování spotřeby pohonných hmot až šedesáti procenty. Výsledkem je pak ekonomičtější i ekologičtější doprava. Použití kompozitních materiálů s velkou odolností proti korozi umožňuje prodloužit životnost konstrukcí i ve velmi agresivních prostředích a snížit tak náklady na jejich údržbu na minimum. Nejnovějšími kandidáty pro náhradu kovů a jiných tradičních materiálů v konstrukčních aplikacích jsou proto kompozity na bázi pryskyřic nebo plastů, vyztužené různými typy vláken. Je zřejmé, že oblasti použití vláknově vyztužených kompozitů jsou určeny především vlastnostmi těchto materiálů. K největším uživatelům kompozitních materiálů patří:

- stavebnictví (železniční a lehké konstrukce, ekologické a chemické stavby, papírenské provozy, stavby pro rozvod energie, telekomunikační stavby, nástavby na výškové budovy, pláště budov, okenní rámy, shrnovací vrata, pracovní a obslužné plošiny, lávky a přechody v provozech s agresivnějším prostředím, rošty pro chemické provozy, čističky a úpravní vod, potravinářské provozy, rozvodná zařízení, atd.),
- nákladní doprava (kontejnery, nákladní návěsy, ramena hydraulických zvedáků, výsuvné plošiny, přívěsy za nákladní i osobní automobily),
- výroba prostředků pozemní hromadné dopravy (interiéry kolejových vozidel, součástí karosérií kolejových vozidel, trolejbusy, autobusy),
- výroba osobních automobilů,
- letecký a kosmický průmysl,
- výroba vojenské techniky,
- rozvod elektrické energie (rozdávěče, izolátory, sloupy elektrického osvětlení, kabelové tratě, manipulační tyče, nevodivé obslužné žebříky, atd.).
- výroba sportovních potřeb (golfové hole, luky, hokejky).
- oblast reklamy (billboardy).

1.5 Rozdělení kompozitních materiálů do základních typů

Rozdělit kompozitní materiál je možno podle různých hledisek. Například, podle materiálu matrice, tj. podle základní spojité fáze, rozeznáváme kovové kompozity (slitiny, kovy zpevněné disperzemi, kovy vyztužené částicemi, cermeny, kovy vyztužené vlákny), dále polymerní kompozity (s termoplastovou, reaktoplastovou nebo elastomerní maticí, zpevněné jinými polymery, partikulárními nebo fibrilárními plnivými), keramické kompozity a ostatní anorganické kompozity (obvykle na silikátové, vápenaté nebo síranové bázi), popř. jejich kombinace, nejčastěji u dvoustrukturních nebo vícestrukturních systémů, např. beton z portlandského cementu impregnovaného polymerem.

Jiným hlediskem může být struktura nebo geometrická charakteristika dispergované (vložené) fáze do matrice. Podle toho rozeznáváme disperzní kompozity (disperzní zpevněné kovy), částicové kompozity (partikulární, granulární), s částicemi pravidelných tvarů (koule, destičky) nebo nepravidelných tvarů nebo s plynnými inkluzemi (lehčené polymery, pěnobeton) a vláknové kompozity s dlouhými vlákny (obvykle uspořádanými) nebo s krátkými vlákny (obvykle neuspořádanými nebo jen částečně orientovanými). Granulární částice mohou být z látek různého druhu, dlouhá vlákna jsou obvykle skleněná, uhlíková nebo polymerní, krátká také uhlíková, borová, wolframová, azbestová a další.

Dalším hlediskem může být technologické (výrobní hledisko). Ale základní pro popis vlastností a chování kompozitů je však mechanické hledisko.

1.5.1 Strukturní rozdělení kompozitů

Hlavním určujícím faktorem kompozitů jako celku je jeho superstruktura (nadstruktura). Toto označení používáme k odlišení do struktury fází, jež ovlivňuje situaci zejména na vnitřním rozhraní. Jestliže při abstrakci separujeme jednotlivé přítomné tekuté i tuhé fáze, tvoří tyto fáze vlastní samostatnou infrastrukturu, ovšemže ve stejné konfiguraci, jakou mají v uvažovaném kompozitním systému. Výraz mikrostruktura je určen pro popis strukturního uspořádání substance (látky), tedy např. polykrystalu, jednotlivých minerálů, z nichž je složena některá fáze apod.

Jednotlivé strukturní úrovně nejlépe vyniknou na příkladu konkrétního materiálu, např. cementového betonu. Jeho strukturní uspořádání popisuje superstrukturu, která je složena z infrastruktury pojiva, infrastruktury tekuté fáze (pórů) a infrastruktura plniva.

Pojivo je složeno z řady minerálů ve vlastní struktuře a každý materiál má vlastní infrastrukturu. Totéž platí o každém zrnku plniva. Také třetí infrastruktura (póry) může být tvořena plynem nebo tekutinou, která může být např. roztokem s vlastní strukturou.

Je velký počet superstrukturních systémů, od soustav s jednou spojitou fází a s jednou nebo více dispergovanými fázemi (tzv. jednostrukturní systémy) k soustavám se dvěma nebo více spojitými fázemi, z nichž každá může obsahovat jednu nebo více dispergovaných fází (tzv. dvoustrukturní nebo vícestrukturní systémy). Vícestrukturnost v tomto smyslu přináší obvykle výrazně lepší výsledky ve vlastnostech kompozitů.

Druhým určujícím faktorem kompozitů jako celku (kvantitativně i kvalitativně) jsou mezifázové hranice (rozhraní fází), a tedy specifický vnitřní povrch, daný celkovou stykovou plochou fází v jednotce objemu. Obvykle vyjadřuje povrch částic dispergovaných fází (tuhých i tekutých). Protože jde o systémy, kdy působením chemických a fyzikálních sil na rozhraní zůstává materiál tuhý i za působení vnějších sil, můžeme je označit za strukturní konjugované systémy. Tento systém, jehož částice nemají osově rozměry příliš rozdílné, je granulární systém. Převažuje-li u částic jeden rozměr, jde o fibrilární systém a systém s částicemi, jejichž jeden rozměr proti druhým dvěma rozměrům je minoritní, je laminární systém.

Základním hlediskem pro hodnocení superstruktury je určení, je-li druhá (dispergovaná) fáze vložená do matrice segregována, tj. není ve vzájemném přímém kontaktu, nevytváří vlastní infrastrukturu, je v některém směru fázově nespojitá, nebo je-li naopak agregována.

1.5.2 Druhy kompozitních materiálů

1.5.3 Kovy

- Železo a ocel,
- Kadmium,
- Chrom,
- Kobalt,
- Olovo,
- Hliník,
- Měď
- a další.

1.5.4 Plasty

Termoplasty: mohou být působením tepla opakovaně roztaveny a zpracovány (polysulfany, polyimidi – odolávají teplotám přes 300°C),

Reaktoplasty: dochází zde působením tepla k nevratným chemickým změnám (benzimidazoly, quinoxaliny – též odolávají teplotám přes 300°C),

Elastomery: jsou materiály podobné pryži, většinou vznikají termosetickou reakcí (vulkanizací).

Některé polymerní materiály jsou vysoce elektricky vodivé při různých teplotách. Jiné mají vysokou hydrolytickou stabilitu, oxidační odolnost a super vodivé vlastnosti.

1.5.5 Dřevo

Nejdůležitější materiál z obnovitelných zdrojů. Dřevo patří k nepostradatelným, nenahraditelným a nejlépe zpracovatelným materiálům v životě člověka.

Značný význam má ve stavebnictví, dopravě, nábytkářském a chemickém průmyslu. Veškeré zpracování je dnes zaměřeno na komplexní využití dřevní hmoty. Přednost se dává použití dřeva pro takové výroby, kde se využije jeho specifických vlastností, jež jsou jinými surovinami nenahraditelné. Jsou to zejména vlastnosti technické, hygienické a estetické.

Mikroskopická stavba dřeva

Základem stavby dřeva je buňka. Buňka je schopná přijímat potravu, dýchat, růst a rozmnožovat se. Buňky fyziologicky a morfologicky spojené se nazývají pletiva (vodivá, výztužná, vyživovací aj.). Většina buněk ve dřevě je odumřelá. Tyto buňky mají většinou válcovitý tvar a jsou uspořádány rovnoběžně s osou kmene. Živé buňky jsou ve dřevě uloženy ve vrstvě zvané kambium nacházející se pod kůrou a lýkem.

Makroskopická stavba dřeva

Kmen je hlavním zdrojem dřeva. Kořeny a větve mají prozatím jen malý význam. Pokud se vůbec zužitkovávají, pak pouze jako palivo nebo se zkouší jejich použití pro přípravu různých dřevovláknitých desek.

Části kmene:

- Dřeň je úzký válcovitý útvar, který se v ideálních případech nachází v geometrickém středu kmene. Má většinou kruhový průřez a tloušťka nepřesahuje u našich stromů 2-5mm.
- Dřevní hmota hlavní část kmene je tvořena vlastním dřevem. Dřevo není ve všech částech kmene stejné. Na příčném řezu některými stromy lze pozorovat rozdílné zbarvení dřeva. Vnější část, umístěná blíže kůře, bývá světlejší, nazývá se proto běl. Vnitřní část je naopak tmavší a je to tak zvané jádro.
- Lýko a kůra obalují dřevo stromu a izolují nejaktivnější dělivá pletiva (kambium) od nepříznivých vnějších vlivů. Mají i další funkce (zásobárna živin a prochází jimi živné látky).

Chemické složení dřeva:

- a) Hlavní složky tvoří 90 až 97% a jsou sacharidické (celulóza, hemicelulózy) a aromatické (lignit).
- b) Doprovodné složky tvoří 3 až 10% a jsou organické (sacharidy, fenoly, terpeny, bílkoviny) a anorganické (soli).

Vlastnosti dřeva

- a) Fyzikální (objemová hmotnost, hygroskopičnost, tepelná a elektrická vodivost, zvukově izolační nebo rezonanční vlastnosti aj.).

Objemová hmotnost má značný význam pro zpracování řezáním. Zvětšováním objemové hmotnosti se přibližně ve stejné míře zvětšuje řezný odpor. Řezný odpor a četné další mechanické a technologické vlastnosti výrazně závisí na vlhkosti dřeva.

- b) Mechanické (tvrdost, pružnost, pevnost v tahu, v tlaku, ve smyku, v ohybu, rázem a další).

Tvrdost dřeva je odpor, který dřevo klade vnikání jiného předmětu i nástroje. Tvrdost dřeva je tím vyšší, čím hustěji jsou uspořádaná jeho vlákna, čím silnější jsou stěny vláken a čím nižší je obsah vody ve dřevě.

Podle tvrdosti dřeva rozdělujeme na:

1. velmi měkká – smrk, borovice, jedle, topol, vrba, lípa.
2. měkká – modřín, douglaska, bříza, olše.
3. středně tvrdá – jilm, platan.
4. tvrdá – dub, buk, jasan, habr, třešeň, jabloň, hrušeň, ořešák, švestka.
5. velmi tvrdá – hloh, palisandr, hikory, citroník.
6. zvláště tvrdá – exotická dřeva ebenová, kvebracho, guajak aj.

Tvrdot dřeva klesá se vzrůstem jeho vlhkosti a naopak, což je třeba uvažovat při zpracování.

- c) Technologické (dělitelnost, štípatelnost, tvárnost, obrobiteľnosť aj.).
- d) Chemické (rozpuštnosť, odolnosť voči pôsobení rôznych chemikálií a stárnutí).

Zpracování dřeva

Dřevo je možné zpracovávat mechanicky nebo chemicky. Při mechanickém zpracování se nezískají nové hmoty, nýbrž zase jenom dřevo, ovšem s jinými ušlechtlejšími vlastnostmi. Při chemickém zpracování existují dvě skupiny operací:

- postupy, při nichž se získává vláknitý podíl dřevní suroviny. Patří sem průmyslová výroba dřevoviny, polobuničiny, buničiny, papíru, lepenky a dřevovláknitých desek.
- postupy, při nichž je dřevo chemickou surovinou. Buď se izolují jednotlivé složky, nebo se dřevo rozkládá za vzniku nových chemických sloučenin.

Mechanické zpracování dřeva se skládá ze tří technologických celků:

- obrábění dřeva bez porušení vazby dřevních vláken,
- obrábění dřeva s porušením vazby dřevních vláken (tzv. dělení),
- spojování získaných útvarů opět do dalších celků.

Obrábění s porušením vazby dřevních vláken dělíme na:

1. štípání
2. loupání
3. řezání - beztrískové (dělení nožem, vysekávání aj.),
- třískové (řezání pilou, frézování, soustružení, dlabání, vrtání, hoblování, broušení aj.),
4. dělení veškeré hmoty na drobné části (drcení, mletí, rozvláknování).

Dodatečná úprava dřeva:

Životnost dřeva a výrobků z něho je v první řadě podmíněna odolností dřeva proti hnilobě, atmosférickým vlivům, poškození ohněm. Aby byla životnost co nejvyšší, je nutné dřevo chránit dodatečnými úpravami. Patří sem:

- řádné uskladnění dřeva,
- vysoušení (přirozený způsob sušení, umělý způsob sušení),
- konzervace (dočasná nebo trvalá),
- nátěry dřeva.

1.5.6 Moderní materiály

Sklovitý kov -nemá krystalickou strukturu, má amorfni formu. Je jako sklo.

Super slitiny -použití při teplotách nad 750°C (tryskové motory).

Keramika -použití při teplotách nad 1200°C.

1.5.7 Cement a beton

Stali se postupně nejmasověji používaným materiálem na světě. Dnes již klasický beton (směs portlandského cementu a přírodního štěrkopísku) je prvním široce používaným kompozitním materiálem (makrokompozitní materiál). K tomuto základnímu typu (vyztužovaného obvykle ocelovými pruty nebo dráty) se postupně přidávala řada dalších materiálů s odlišným pojivem (speciální cementy a jiná minerální, polymerní, bitumenová pojiva a), s různým plnivem a s jinou výztuží (drátěné sítě, ocelové kabely, azbestová, ocelová, skleněná a jiná minerální vlákna).

1.5.8 Kompozity

Mají širokou využitelnost, ale přinášejí i významné materiálové úspory.

Vláknové kompozity

Synergické (spolupůsobení několika složek vedoucí k zesílení účinku) spolupůsobení pevných a tuhých vláken (jako whiskery-vláknové monokrystaly, tažené dráty, skleněná a keramická vlákna) s poddajnou nebo křehkou maticí (kovovou, polymerní, keramickou) umožnilo konstruovat kompozity s vysokou pevností, tuhostí a houževnatostí přesahující vše, čeho bylo dříve dosaženo úpravou tradičních (víceméně homogenních) materiálů. Protože pevnost vláken se zmenšujícím se průřezem roste a tím se zmenšují přirozené defekty, bylo kompozitům tohoto druhu věnováno nejvíce

pozornosti. Bylo dosaženo pozoruhodných výsledků, a bez jejich existence by byl další pokrok techniky ve všech oborech, ale zejména v leteckém, kosmickém a automobilovém průmyslu nemyslitelný.

Nejvyššího potencionálního „ztužení“ kompozitů se dosáhne, jsou-li vlákna namáhána až do meze pevnosti napětím přeneseným matricí. Matrice slouží tedy především k přenosu napětí do vláken, která naopak přinášejí většinu pevnosti kompozitu. Matrice, však také slouží pro spojení vláken do vhodné struktury a chrání je před povrchovým poškozením, které by vedlo ke značné ztrátě jejich pevnosti. Zvláštní pozornost je třeba věnovat stykové ploše (meziploše) mezi matricí a vlákny, neboť musí trvale přenášet napětí trvale s matrice do vláken. S ohledem na to, že vlákna mají v těchto kompozitech převažující úlohu, je třeba se s nimi podrobněji zabývat, než se přistoupí ke speciálním problémům, odlišným podle druhu matrice.

Druhy vláken

Skelná vlákna jsou dominantními vyztužujícími vlákny proto, že mají vysokou pevnost, vysokou tuhost a zejména nízkou cenu (jsou používána ve více než 90% kompozitů). Porovnání skelných vláken s uhlíkovými, která mají ze všech vyztužujících materiálů výrazně nejvyšší tuhost (modul pružnosti v tahu $E = 241 \text{ GPa}$) a ostatními vlákny ukazuje jejich výhody zejména v případě, kdy je uvažována i cena jednotlivých materiálů. „Cenová pevnost,, (poměr hodnoty meze pevnosti v tahu a kilogramové ceny) je u skelných vláken zhruba deset až dvacetkrát vyšší než u ostatních materiálů, „cenová tuhost“ (poměr hodnoty modulu pružnosti v tahu a kilogramové ceny) je vyšší zhruba čtyři až patnáctkrát. Pokud je tedy při výběru vyztužujícího materiálu hlavním kritériem cena, jsou vždy preferována vlákna skelná. Z tohoto hlediska lze tedy položit otázku, co je důvodem toho, že přes nízkou cenu skelných vláken jsou pro výrobu kompozitních materiálů často používány i jiné druhy vyztužujících vláken.

Uhlíková vlákna jsou vyráběna řízenou oxidací a karbonizací polyakrylonitrilových (PAN-nejčastěji užívané v důsledku vysokého obsahu uhlíku), celulózových, ligninových nebo bitumenových vláken. Oxidací a karbonizací při teplotách $2600 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou vyráběna uhlíková vlákna o vysoké pevnosti, grafitizací při zvýšené teplotě ($3000 \text{ }^\circ\text{C}$) grafitová vlákna s vysokou tuhostí. Na trh jsou dodávány ve tvaru krátkých vláken, kontinuálních vláken, vinuté nebo nevinuté příze a kabelů.

Aramidová vlákna jako první uvedla na trh americká firma DuPont v roce 1960, jako důležitý výsledek výzkumných prací, zaměřených zejména na vývoj nylonových (polyamidových) vláken. Pracovníci této firmy zjistili, že z vysoce aromatických polymerů (materiálů obsahujících velké množství benzenových prstenců) lze vyrobit vlákna s vysokou tuhostí a pevností. Název aramid vznikl ze spojení částí dvou slov aromatic polyamide.

Původně byla aramidová vlákna určena zejména pro výrobu kordů automobilových pneumatik, kde si vedla docela dobře, nebyla však schopna vytlačit ocelové kostry a v současné době tuto oblast opouštějí. Nedlouho poté začala být používána jako výztuž v kompozitních materiálech pro běžné použití, kde však z cenového hlediska mohla konkurovat skelným vláknům jenom velmi sporadicky. Velké možnosti aplikace se pro aramidová vlákna otevřely v leteckém a kosmickém průmyslu, protože kompozitní dílce s aramidovou výztuží mají takové vlastnosti, které není možné zajistit použitím žádného jiného druhu vyztužujících vláken.

Polyetylenová vlákna. Zkratkou UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) je v průmyslově vyspělých krajinách označován polyetylen s ultra vysokou molekulovou hmotností. Z tohoto materiálu jsou vyráběna vlákna Spectra®, Dyneema® a Tekmilon®. Molekulárním vzorcem se UHMWPE nijak neliší od obyčejného polyetylenu, jeho molekulární hmotnost je však 10 až 100krát vyšší. V důsledku této skutečnosti jsou fyzikální vlastnosti UHMWPE vláken srovnatelné s vlastnostmi skelných, uhlíkových nebo aramidových vláken.

UHMWPE vlákna mohou být použita v kombinaci s většinou komerčních pryskyřičných matric, jako jsou vinylestery, epoxidy nebo polyestery. U některých pryskyřic je však vazba s povrchem vláken příliš pevná (důsledek chemických vlastností vláken) a proto se vlastnosti vláken plně neprojeví ve strukturních vlastnostech kompozitního dílce. Pro zlepšení adheze mezi vlákny a většinou komerčních pryskyřic byly vyzkoušeny různé metody úpravy povrchu vláken, avšak pouze s omezenými obchodními výsledky.

Dalším limitujícím faktorem použití UHMWPE vláken je jejich sklon ke creepu a ztrátě pevnosti při vyšších teplotách. Tento typ vláken by proto neměl být používán pro výztuhu kompozitů určených do prostředí s teplotou přesahující 93°C, ani pro aplikace s dlouhodobým mechanickým zatížením, dokonce při pokojové teplotě.

I přes uvedená omezení pro konstrukční aplikace je užití UHMWPE vláken poměrně široké. Například kompozity pro plachetnice světových jachtařských soutěží jsou běžně vyztužovány těmito vlákny. Vzhledem k nenasákavosti, nízké hmotnosti, schopnosti plavat na vodě, odolnosti proti abrazi a cyklickému únavovému namáhání jsou též velmi dobrým materiálem pro výrobu námořních lan.

Částicové kompozity

I když obecně kompozitní materiál je definován dvěma nebo více synergicky spolupůsobícími fázemi, může být struktura kompozitu značně rozdílná. Aby bylo možno určit, o který typ kompozitu jde, je třeba znát některé základní charakteristiky struktury kompozitu, např. zda jedna nebo obě fáze jsou spojité, jaký je tvar dispergované fáze a zda jsou částice v systému segregovány nebo agregovány. Převažující úloha matrice v částicových kompozitech je důvodem, proč se výrazně liší vlastnosti kompozitů s kovovou, keramickou nebo polymerní matricí. Jinak mají tyto kompozity větší modul pružnosti v tahu, tvarovou stálost za tepla a tepelnou vodivost a menší smrštění při chladnutí z teplot zpracování a tepelnou roztažnost než polymery. Částice jsou většinou vyrobeny mikromletím anorganických materiálů.

Kompozity I. typu

Jejich hlavní charakteristikou je, že dispergovaná fáze (plnivo) je segregovaná v matrici a nevytváří vlastní, svébytnou (agregovanou) strukturu.

Kovové matrice-tyto systémy jsou charakterizovány strukturou, která je odolná zpětným a rekrytalizačním procesům, a to i při teplotách blížících se transformační nebo tavné teplotě matrice. Nejvyšší výhodou těchto systémů je proto rozšíření využitelného teplotního rozsahu komerčních materiálů.

Polymerní matrice-vlození různých plniv (jíl, běloba, černé saze, křemenná moučka, slída, kaučuk atd.) do polymerních materiálů výrazně působí na jejich pevnost, tuhost a jiné vlastnosti důležité při konstrukčním využití. Kaučukové částice vložené do polymeru, který je obvykle křehký, vytvářejí energetické bariéry růstu trhlin a zvyšují pevnost kompozitu. Vložení tuhého plniva ovlivňuje mechanické vlastnosti kompaktu i povrchu (tvrdost, odolnost obrusu), stupeň křezování, teplotní a elektrickou vodivost a zlepšuje odolnost proti ohni, barevnou stálost a vzhled.

Minerální matrice-mezi kompozitní materiály I. typu lze zařadit i mnohé materiály, které se běžně používají desetiletí nebo století. Přední místo zaujímá cementový tmel nebo cementová malta. Struktura čerstvých i zatvrdlých cementových tmelů a malt je extrémně složitá. Existuje téměř nekonečné množství různých kompozit bezvodých cementových složek, množství vody v cementovém tmelu, typů a velikostí plniva a objemového poměru cementového tmelu a plniv. Mezi ty kde se voda používá, patří cementový gel, kdy voda prostupuje koloidní částice vytvářející tuhou spojitou strukturu.

Další široké spektrum kompozitů I. typu poskytují keramické systémy. Z strukturního hlediska jde o jednoduchou nebo složenou anorganickou matici obsahující oddělené částice většinou granulárního, ale též destičkového nebo vláknitého typu. Matrice po vypálení práškové směsi poskytuje krystalický materiál, jehož základní atomické uspořádání umožňuje dosáhnout nízkou teplotní a elektrickou vodivost a, který je tuhý, křehký, s vysokou teplotní a chemickou stabilitou při zvýšených a vysokých teplotách.

Kompozity II. a III. typu

Jakmile dojde v kompozitu k agregaci granulárních částic, tj. k nejtěsnějšímu možnému upořádání částic v objemové jednotce při zachování geometrické kontinuity matrice, vede další snižování matrice v systému k vytváření nejdříve uzavřených pórů, později otevřených, spojitých pórů postupným prostorovým propojením původně uzavřených vakancí (neobsazených uzlů krystalové mřížky).

1.6 Struktura kompozitů

1.6.1 Geometrický popis struktury

Na rozdíl od slitin, u nichž platí fázové pravidlo (v termodynamickém smyslu) pro fáze, jež sou v rovnováze, neplatí pro složené systémy, u nichž je jeden materiál záměrně (nuceně) přidán k druhému. Tyto systémy mají přídatné stupně volnosti (tj. povahu a množství přidané fáze), které hrají důležitou úlohu v chování kompozitu.

V každém materiálu existují póry a vakance podmikronových rozměrů, které převážně zodpovídají za rozdíl mezi skutečnou a teoretickou pevností a ovlivňují mikrostrukturu materiálu nebo strukturu fází. V monovlákně je velikost póru menší v rozsahu 1,5 až 20nm. Póry vniklé v materiálu buď úmyslně, nebo nedokonalostí míšení a zpracování jsou podstatně větší, s průměrem min. 100 μ m. Tyto póry již spolu vytvářejí superstrukturu kompozitu.

Při geometrickém popisu struktur je vhodné uvažovat dva druhy systému:

Systémy s jednou spojitou fází

Při geometrickém popisu systému je třeba uvažovat jednak charakteristiky dispergované fáze, zejména:

- Tvar částic (o tvaru difundovaných částic můžeme předpokládat, že se přibližuje kouli nebo válci, který podle poměru výšky k průměru charakterizuje částice od destiček k vláknům).
- Velikost a distribuce velikosti částic (určují texturu materiálu a spolu s objemovým fází také vnitřní povrch, který je důležitý pro interakční chování fází).
- Koncentrace částic (je objemová část dispergované fáze, která se někdy uvádí jako hmotnostní podíl, avšak s ohledem na rozdílné měrné hmotnosti fází a různé povrchy jsou takové údaje téměř bezcenné pro popis a predikci chování kompozitu).
- Koncentrační distribuce částic (popisuje rozsah smíšení fází a lze jí považovat za nejdůležitější jednotlivé měřítko homogenity systému, i když ne jediné. Koncepce homogenity je velmi důležitá, neboť určuje rozsah reprezentačního objemu a

stupeň odlišnosti fyzikálních vlastností reprezentativního objemu a zúčastněných materiálů v kompaktu).

- Orientace částic (ovlivňuje izotropii systému a jednou z největších výhod při návrhů konstrukcí z kompozitů je zamýšlená orientace).
- Topologie částic (tím rozumíme jejich vzájemný prostorový vztah).

Systemy se dvěma nebo s více spojitými fázemi

Materiály patřící do této skupiny zaujímají v kompozitech významné místo, neboť mají zvlášť významné vlastnosti.

1.6.2 Fyzikální popis struktury

Fyzikální popis struktury je nesrovnatelně obtížnější než geometrický popis a zdá se, že dosud neexistuje objektivní jednotná teorie, která by zahrnovala všechna rozdílná hlediska, parametry a interakce. Vzhledem k velké rozmanitosti materiálů nebude patrně možno takovou teorii plně vybudovat. Každá studie materiálů vyžaduje nejdříve definici analytického modelu, který adekvátně reprezentuje skutečné materiálové chování.

Do fyzikálních charakteristických složek a systému patří:

- fyzikální stav dispergované fáze (plynná, kapalná, tuhá fáze),
- složení matrice,
- fyzikální interakce fází ve struktuře,
- mezifázové rozhraní.

1.7 Obrábění kompozitů

1.7.1 Obrobitelnost

Definice a rozdělení obrobitelnosti

Pod pojmem obrobitelnosti materiálu rozumíme souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. Mírou vhodnosti je potom ekonomický a kvalitativní výsledek procesu obrábění.

Podle způsobu a rozsahu hodnocení rozlišujeme absolutní, relativní a komplexní vyjádření obrobitelnosti:

- absolutní obrobitelnost – je vyjádřena absolutní hodnotou ukazatele obrobitelnosti,
- relativní obrobitelnost – porovnáváme vlastnosti určitého materiálu s vlastnostmi základního nebo etalonového materiálu a vztah vyjádříme převodovým číslem nebo indexem obrobitelnosti,
- komplexní obrobitelnost – jedním číselným ukazatelem vyjadřujeme několik technologických vlastností zkoumaného materiálu.

Materiál je tím lépe obrobitelný čím je:

- vyšší řezná rychlost při dané trvanlivosti břitu,
- větší trvanlivost břitu při dané řezné rychlosti,
- menší řezný odpor, měrný řezný odpor a práce řezání,
- menší drsnost a větší přesnost obrobené plochy,
- nižší teplota řezání a menší měrné řezné teplo.

1.7.2 Obrábění vláknově vyztužených kompozitů

Většina kompozitních dílců vhodných pro obrábění je vyztužena skelnými vlákny v různé formě, orientaci a obsahu. Zejména maximální obsah skla je velmi důležitým faktorem, který limituje obráběcí proces. U kompozitních materiálů je nutno dbát na čistý řez, což vyžaduje ostrý břit. Při nadměrném opotřebení břitu se vlákna odlamují, místo aby byly běžně odřezávány, čímž dochází k delaminaci materiálu. Pro účely obrábění kompozitních materiálů jsou nejvhodnější jemnozrné slinuté karbidy a polykrystalický

diamant (PKD). Tyto moderní řezné materiály se správnou geometrií a ostrým břitem snižují řezné síly a vytvářejí přesnější a čistější řezy. Rozhodující význam mají správné řezné podmínky. Záleží na vhodně zvoleném posuvu na otáčku a na zajištění dokonalého řezu, to znamená na zamezení tření nástroje o povrch obrobku. Při navrhování řezných podmínek je nutno přihlížet k odlišným vlastnostem kompozitních materiálů ve srovnání s kovy.

Kompozitní materiály vyráběné ve tvaru plechů, trubek, desek a různých profilů, je třeba nevyhnutelně obrábět. Základní problém je ve správné volbě technologie obrábění a řezných nástrojů. Na obrábění kompozitních materiálů s křehkými vysokopevnými vlákny jsou vhodné výlučně diamantové řezné nástroje. Z hlediska jejich životnosti poznáme dva druhy diamantových nástrojů:

- a) Nástroje s dlouhou životností. Vyrábějí se práškovou metalurgií. Diamantové částice se míchají s kovovým práškem a spékají se do tvaru nástroje.
- b) Nástroje s krátkou životností se vyrábějí plátováním tenkých vrstev diamantových části na ocelový řezný nástroj.

1.7.3 Způsoby zpracování kompozitních materiálů

Vývoj kompozitních materiálů si vyžadoval vyvíjet jejich základní způsoby zpracování jako řezání, opracování, tváření a spojování. Při řešení této problematiky bylo nevyhnutelné brát na zřetel tvrdé a křehké zpevňující vlákna náchylné na porušení, jako i použití vhodných nástrojů z hlediska jejich opotřebování. Při tváření kompozitních materiálů je třeba vycházet z jejich nízké deformace do porušení. Při spojování je třeba uvažovat rozdílný koeficient roztažnosti složek a v případě jejich spojování s klasickými konstrukčními materiály zase rozdílný koeficient roztažnosti obou materiálů.

Při výběru vhodných způsobů obrábění kompozitních materiálů je třeba brát v úvahu následující hlediska:

- a) poruchy matrice, které mohou vznikát např. při ohýbání kompozitních materiálů anebo jejich obrábění,
- b) poruchy vláken způsobené nevhodnými technologiemi obrábění a nevhodným použitím řezných nástrojů. Např. svařováním při použití vysokých teplot, je možné porušit vlákna. Ohýbáním kompozitních materiálů napříč uložení vláken při malém poloměru ohybu způsobuje lámání křehkých vláken,

- c) redukovatelnost obrábění – při obrábění se velmi rychle otupí nástroje a mění své rozměry,
- d) možnost jejich zpracování přímo na montáži pomocí přenosných strojů,
- e) účinnost zpracování – při jejich obrábění je třeba uvažovat rychlost změny nástrojů, jejich životnost, kvalitu povrchu obrobku a dodržení rozměrů. Tak např. elektrojiskrové vrtání dává dokonalejší kvalitu povrchu než mechanické vrtání, jenže druhý způsob je rychlejší,
- f) ekonomika zpracování.

Na základě dnešních výzkumů v oblasti kompozitních materiálů s kovovou maticí zpevněnou křehkými vysokopevnými vlákny se v praxi osvědčily tyto způsoby zpracování:

Obrábění

- stříhání
- broušení
- **řezání**

Řezání je jeden ze základních způsobů oddělování kompozitních materiálů. Na řezání se výhodně používá kotoučová nebo pásová pila s diamantovými plochami. Při řezání tenkých materiálů na bázi epoxy-bórových vláken není třeba požívat chladicí kapalinu, kdežto při řezání kompozitních materiálů s kovovou maticí je to nevyhnutelnost. Pásové pily se používají na řezání hrubších kompozitních materiálů. Řezy jsou velmi přesné, takže jsou vyhovující i na řezání vzorků pro mechanické zkoušky. Shodnost vzorků je lepší jako $\pm 0,025\text{mm}$. Řezání kompozitních materiálů navzájem spojených např. Ti slitinou si vyžaduje chladicí kapalinu. Kvalita povrchu řezu slitiny titanu je lepší jako kompozitního materiálu. Dlouhé řezy se s výhodou dělají kotoučovou pilou za použití chladicí kapaliny. Průměr kotoučové pily s plátem diamantové vrstvy je 280 až 300mm. Řezání kotoučovou pilou je přesné a ekonomicky výhodné.

- **frézování a soustružení**

Při frézování a soustružení materiálů s kovovou maticí zpevněnými křehkými a tvrdými vlákny, je třeba nevyhnutelně použít řezné nástroje plátované diamantem, které se musí při řezání dokonale chladit. Při tomto způsobu obrábění platí pro nástroje a upevnění materiálu na stroj ty samé zásady jako při vrtání. Nanejvýš při tomto způsobu obrábění se používají počítačem řízené stroje.

- vrtání

Při vrtání otvorů do kompozitních materiálů se zahřívají řezné nástroje, čímž se jednak poškozuje kompozitní materiál, např. epoxy-bórové vlákno, jednak se snižuje životnost řezného nástroje. Kompozitní materiály tenčí jak 3mm se mohou vrtat bez chladicí kapaliny. Při vrtání silnějších materiálů se nevyhneme použití spékány diamantový vrták s diamantovým hrotem, který se při vrtání chladí kapalinou proudící pod tlakem alespoň 50MPa.

Ekonomicky výhodnější je rotační vrtání při působení ultrazvuku. Jako nástroj se používá diamantový vrták, který při otáčkách 6000min^{-1} vibruje ve směru osy frekvencí 20kHz maximální amplitudou 0,025mm. Ultrazvuková vibrace snižuje tření a tím se sníží i opotřebení nástroje o 10 až 20%. Tento způsob vrtání se nedoporučuje pro relativně měkké materiály, jako jsou např. epoxy-bórové vlákno, titán anebo oba navzájem spojené.

Ultrazvukové vrtání např. Ti, podstatně snižuje životnost řezného nástroje. Při vrtání musí být kompozitní materiál dokonale upevněný na stole vrtačky, jinak vzniká možnost porušení materiálu oddělením jednotlivých vrstev. Když vrtáme kompozitní materiál spojený klasickým kovovým materiálem, je výhodné začít vrtat v tom materiálu, do kterého se vrtá lehčeji. Základem úspěšného a ekonomického vrtání je dokonalé chlazení řezného nástroje.

V praxi se velmi často vyskytuje požadavek zahlubování otvorů a to zejména při spojování kompozitních materiálů nýtováním a sešroubováním. Na zahlubování, a to i kuželového tvaru se používají diamantové nástroje, které se musí intenzívně chladit. Problémem při vrtání a zahlubování kompozitních materiálů s kovovou maticí je střídavé zatěžování řezného nástroje, což způsobuje snížení řezné rychlosti. Rotační ultrazvukové vrtačky částečně tento nedostatek odstraňují.

Ekonomickým způsobem zhotovování otvorů v kompozitních materiálech s kovovou maticí je stříhání pod lisem. Životnost stříhacích nástrojů je překvapivě vysoká. Únavové zkoušky ukázali, že materiál se stříhanými otvory má o málo vyšší životnost než materiál s vrtanými otvory.

- elektrojiskrové obrábění

Elektrojiskrové obrábění kompozitních materiálů patří mezi progresivní způsoby obrábění. Jeho výhodou jsou, že:

- a) využívá různé druhy obrábění jako řezání, vrtání, broušení, zahlubování aj.,
- b) možnost dělat několik operací současně,
- c) kvalita opracovaného povrchu je dostatečně dobrá,
- d) nezpůsobuje porušení vláken ani matrice,
- e) dovoluje obrábět materiály složitých tvarů,
- f) používá jednoduché a ekonomicky výhodné rezné nástroje.

Na tento způsob obrábění se výhodně používají elektrojiskrové vrtací, řezací a obráběcí stroje. Kromě uvedených strojů se na obrábění kompozitních materiálů používají elektrochemické obráběcí stroje, např. elektrochemická tvarová bruska, kterou je možné použít i na rovinné broušení.

- ultrazvukové obrábění
- vystružování
- zahlubování
- děrování

Tváření

- ohýbání
- skružování
- tváření za tepla
- tváření za studena

Spojování

Kompozitní materiály s kovovou maticí se vyznačují lepšími mechanickými vlastnostmi při zvýšených teplotách v porovnání s materiály s maticí z plastu. V praktickém používání je třeba je spojit navzájem nebo s klasickými konstrukčními materiály. Problematika spojování kompozitních materiálů s kovovou maticí je složitá a střetáváme se s následujícími problémy:

- a) mnohé druhy zpevňujících vláken používaných v kompozitních materiálech jako jsou B, C a Al_2O_3 , jsou neslučitelné s přídavným kovem, potřebných na jejich spojení,
- b) při spojení se porušuje kontinuita vláken, což se nedá nahradit žádným způsobem spojení,
- c) koncentrace napětí vznikající v přeplátovaném spoji nebo okolo díry způsobuje pokles pevnosti kompozitního materiálu,
- d) při tavném svařování roztavením matrice kompozitního materiálu klesá výrazně pevnost zpevňujících vláken,
- e) vlivem tepelné energie dodané do spoje klesá celková pevnost kompozitního materiálu,
- f) v případě použití klasické deformace při spojování kompozitního materiálu vzniká nebezpečí porušení křehkých vláken.

V současné době je rozpracováno několik způsobů spojování, jako difúzní svařování, pájení, odporové svařování, mechanické spojování (nýty, šrouby aj.) a lepení. Pro určité typy kompozitních materiálů je třeba volit vhodnou technologii spojování.

- odporové bodové svařování

Vzdálenost dobových svarů se volí stejná jako při svařování klasických materiálů. Spoj takto spojeného materiálu je citlivý na stříhovou pevnost, jejíž hodnota je jen jedna desetina tahové pevnosti.

- difúzní svařování

Difúzní svařování kompozitních materiálů s kovovou maticí s klasickými kovovými konstrukčními materiály se provádí při zvýšené teplotě tlakem obvykle ve vakuu nebo v ochranné atmosféře.

Způsoby difúzního spojování:

- jednoduché přeplátování,
- dvojitě přeplátování,
- stupňovité přeplátování,
- tupý spoj s příložkami,
- šikmý spoj.

- lepení

Tato metoda se často používá i napříč tomu, že je účinná jen do určitých pracovních teplot. Uplatnění našla zejména v leteckém průmyslu. Kvůli nevyhnutelnosti velkého přeplátování se při lepení zvyšuje hmotnost konstrukce. Výhodně se dá použít na spojení kompozitních materiálů nižší pevnosti, kde se dosahuje účinnost spojení výši jak 70%. Lepení kompozitních materiálů navzájem nebo s klasickými konstrukčními materiály je spolehlivé a jednoduché.

Způsoby lepení:

- jednoduché přeplátování,
- dvojité,
- stupňovité přeložení,
- šikmý spoj.

- pájení

Při přeplátovaném způsobu spojení můžeme využít i pájení, kde pájka je ve tvaru fólie (tloušťka asi 0,08mm) a má nižší bod tavení než oba spojované materiály. Při pájení je třeba dodržovat zásady, které platí pro pájení klasických konstrukčních materiálů. Jako pájecí materiál se používají slitiny na bázi křemíku s hliníkem s teplotou tavení 590°C a slitiny na bázi zinku, hliníku a mědi s teplotou tavení 380°C, které se používají jako měkké pájky. Ty mají o 10% nižší hodnotu pevnosti jako tvrdé pájky. Pájení se může provádět na vzduchu, ve vakuu i v různých ochranných atmosférách (argon aj.).

- tavné svařování

Hlavním problémem při spojování kompozitních materiálů tímto způsobem je, že v ohraničeném prostoru je třeba roztavit jednu složku kompozitního materiálu bez poškození složky druhé. Obvykle vysoká koncentrace teploty v místě spojení porušuje a nebo alespoň snižuje pevnost vláken. Uvedenou technologií se úspěšně svařuje např. kompozitní materiál na bázi Ti-W. Na konci obou spojovaných míst se chemicky odleptá matrice tak, aby vlákna vyčnívali asi 0,25mm. Vlákna se navzájem přeloží a udělá se tavný svár natupo s přídavným materiálem. Účinnost spojení je téměř 100%. Teď se pozornost soustředí i na svařování nejčastěji používaných kompozitních materiálů na bázi Al-B. Na tavné spojení se používá svařování v ochranné atmosféře argonu wolframovou elektrodou a jako přídavný materiál se používají slitiny na bázi křemíku s hliníkem, které dobře smáčí bórová vlákna. Dobré výsledky spojení se dosáhli svařováním kompozitních materiálů i elektronovým paprskem.

- **mechanické způsoby**

Kompozitní materiály se mechanicky spojují šrouby, nýty a čepy. Porušení v místě spojení materiálu může nastat buď tahem, stříhem a nebo kombinovaným způsobem. Účinnost spojení kompozitního materiálu spojeného tímto způsobem je o 1,2krát větší u materiálu s vícesměnovým uložením vláken než u jednosměrně uložených vláken. Velmi často se používá kombinace lepení s nýtováním. Při tomto způsobu spojení se mírně zvýší účinnost spoje. Mechanické spoje dávají relativně nízkou pevnost, ale napříč nízké účinnosti spoje se uvedený způsob spojování v praxi často používá. Další nevýhodou je značné zvyšování hmotnosti z důvodu nevyhnutelnosti přeplátování a použití spojovacích prvků.

- svařování elektronovým paprskem
- kombinované spoje
- bodové spojování

1.8 Způsoby určování složek řezné síly

1.8.1 Metody a aparatury pro určování řezných sil

Existuje několik způsobů při určování řezných sil:

- určování řezných sil na základě analytických vzorců (z geometrie nože a rozměrů třísky),
- určování řezných sil pomocí měrného odporu řezného odporu,
- určování řezných sil z empirických vzorců,
- měření řezných sil při obrábění.

Jelikož velikost jednotlivých složek řezné síly je ovlivňována řeznými podmínkami, jsou výsledky získané výpočtem ze vzorců pouze přibližné a v praxi je nutno je porovnat s experimentálně zjištěnými výsledky.

Řeznou sílu a její složky můžeme při obrábění měřit dvojím způsobem:

- nepřímým měřením sil,
- přímým měřením sil dynamometrem.

1.8.2 Nepřímé měření sil

Pro běžná měření v praxi obvykle vystačíme s méně přesnými metodami určení střední hodnoty řezné síly: změřením výkonu motoru stroje nebo kroutícího momentu na vřetenu. Z těchto hodnot vypočítáme tangenciální složku F_z . Zde patří:

1. Měření výkonu zatížení obráběcího stroje wattmetrem.
2. Určování řezné síly pomocí brzdy s dynamometrem.

1.8.3 Přímé měření řezných sil

Nepřesnost metod nepřímého měření řezných sil vede k užívání přesnějších metod přímého měření řezné síly a jejich složek pomocí dynamometru. Metoda spočívá v měření pružných deformací některého vhodného elementu dynamometru, které vznikají při zatížení řeznou silou, resp. její složkou. Z deformací tohoto elementu se po zesílení usuzuje na velikost i směr jednotlivých složek řezné síly. Řezné síly můžeme vhodnými prostředky sledovat nejen staticky (střední hodnotu), ale i dynamicky znázorňovat jejich průběh oscilografy. Měření deformací ztěžovaného elementu dynamometru může být na principu mechanickém, hydraulickém, pneumatickém, kapacitním, odporovém, elektrickém, indukčním, magnetickém, optickém aj.

Podle počtu složek řezných sil, které současně měříme, dělíme dynamometry na jednosložkové, dvousložkové nebo tříložkové. Mnohdy jimi měříme kroutící moment. Podle druhů operací, pro něž dynamometr používáme, rozlišujeme dynamometry pro soustružení, vrtání, frézování, broušení, řezání atd. Požadavky na aparaturu k měření řezných sil jsou:

- tuhost,
- malá setrvačnost,
- přesnost,
- citlivost,
- stabilita cejchování,
- dostatečný měřicí rozsah,
- minimální ovlivňování složek navzájem,
- minimální rozměry a hmotnost,
- spolehlivost.

- Dostatečná tuhost dynamometru je nutná k tomu, aby deformacemi tělesa nebyl ovlivňován řezný pochod a zůstaly zachovány řezné podmínky. Tuhost dynamometru musí být větší, než je tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek. Zpravidla je tuhost dynamometru v rozmezí 10 až 500N μm^{-1} v závislosti na velikosti měřené síly.
- Malá setrvačnost dynamometru je důležitá k tomu, aby jím bylo možno měřit síly, které kolísají v rychlém sledu za sebou. Nejvýraznější je požadavek vysoké vlastní frekvence dynamometru, která má být 5 až 8krát vyšší než je frekvence změn řezné síly, a to v rozsahu 5000 až 20000Hz. Požadavek nízké setrvačnosti vede k omezení vlivu třecích sil použitím pružného materiálu snímačů a zmenšením počtu stykových míst.
- Přesnost měření na dynamometru je další charakteristickou hodnotou. Určuje se pomocí tzv. relativní nepřesnosti, tj. rozdílem mezi skutečnou hodnotou a hodnotou naměřenou, udanou v procentech samotné metody. Vzhledem k požadované přesnosti měřicí metody 0,5 až 2% je třeba vyloučit všechny vlivy, které nepřesnost ovlivňují.
- Dostatečná citlivost dynamometru v určitém rozsahu měření ovlivňuje minimální zachycenou změnu měřené složky řezné síly. Čím je rozsah měření sil větší, tím je nižší citlivost aparatury.
- Stabilita cejchování. Cejchovní křivka má mít pokud možno lineární průběh a nesmí vykazovat hysterezi. Pouze na začátku měřicího rozsahu při měření malých sil je výhodná vyšší citlivost.
- Dostatečný měřicí rozsah, popřípadě možnost tento rozsah měnit, ovlivňuje univerzálnost použití dynamometru pro různé případy obrábění. Horní hranice měřicího rozsahu je často omezena dovoleným zatížením siloměrných tělísek.
- Ovlivňování složek řezné síly navzájem nesmí být vůbec nebo jen nepatrné, a to vždy stabilní. Ovlivňování složek je pak možno předem zjistit a při cejchování aparatury vyloučit.
- Malé rozměry a hmotnost vycházejí nejvýhodněji při použití všech elektrických měřicích metod.
- Spolehlivost aparatury a jednoduchá obsluha umožňuje použít méně kvalifikovanou obsluhu zařízení. Tomuto požadavku dobře vyhovují pneumatické a hydraulické dynamometry.

Dynamometr se obvykle skládá ze tří základních částí:

1. Pružný článek, který se vlivem vnějšího zatížení pružně deformuje nebo pružně se přemísťuje atd.
2. Snímač, který mění mechanickou změnu pružného článku na hodnotu elektrickou nebo tlakovou.
3. Přijímač, který zpracovává signál snímače, zesiluje jej, a popřípadě jeho velikost zaznamenává.

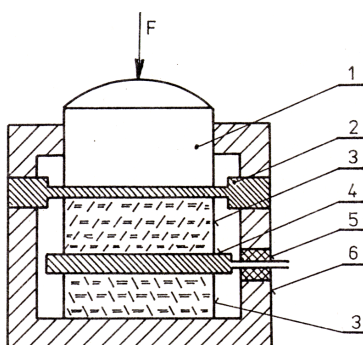
Druhy snímačů:

Tenzometrické snímače

Drátkové tenzometry – jejich princip je založen na změně odporu vodiče se změnou rozměrů při deformaci. Stanovíme-li tedy změnu odporu tenzometru vlivem deformace, můžeme vypočítat napětí v místě, kde je tenzometr přilepen.

Piezoelektrické snímače

Piezoelektrické snímače síly jsou založeny na piezoelektrickém jevu, který spočívá ve vlastnostech některých krystalických dielektrik. Na nich vzniká vlivem deformace elektrická polarizace a tím elektrický náboj. Jakmile mechanické napětí zmizí, dostává se dielektrikum do původního stavu.



Obr. 1 Princip piezoelektrického snímače (1 – přítlačný element, 2 – membrána, 3 – piezoelektrické krystaly, 4 – elektroda, 5 – izolační průchodka, 6 – snímač)

Měřicí metody používané u dynamometru:

- mechanické,
- hydraulické,
- pneumatické,
- elektrické.

Elektrické dynamometry

Jsou největší a také nejrozšířenější skupinou. U všech typů těchto dynamometrů je základem měření přeměna měřené veličiny na veličinu elektrickou. Přitom se využívá řady fyzikálních vlastností a jevů, které tento převod zprostředkují. Získaná elektrická veličina je dále upravována a měřena vhodným citlivým elektrickým přístrojem, cejkovaným v jednotkách měřené veličiny.

Předností elektrických metod měření je větší přesnost a citlivost, rychlost měření a jednoduchá registrace. Nevýhodou je větší pořizovací cena a vyšší náklady na údržbu zařízení. Podle typu změny měřené veličiny na veličinu elektrickou dělíme dynamometry na ty s aktivním snímačem (odporový, indukčnostní, kapacitní, magnetický) a s pasivním snímačem (piezoelektrické).

Mechanické dynamometry

U mechanických dynamometrů se používá jako pružného článku a snímače nejčastěji deformace nosníku se změřením průhybu číselníkovým úchylkoměr, siloměrných tělísek s úchylkoměrem, pružných membrán, cejkovaných pružin nebo pákových ústrojí. Přesnost mechanického dynamometru je 1 až 2%. Nevýhody mechanických dynamometrů jsou velké:

- závislost deformace na teplotě,
- obtížná změna rozsahu měření,
- vůle mezi součástmi dynamometru,
- velká setrvačnost,
- proměnlivé součinitele tření mezi pohyblivými se částmi.

Dynamometry hydraulické

U hydraulických dynamometrů se využívá nestlačitelnosti kapalin. Řeznou silou nebo kroutícím momentem při obrábění se deformuje pružný člen-membrána, jejíž deformace se přenáší kapalinou na ukazující nebo registrační zařízení.

Nedostatkem hydraulických dynamometrů je jejich malá tuhost a citlivost, nutnost odvodušňování, nutnost dobrého těsnění, vyšší setrvačnost a ovlivnitelnost změnou teploty.

Výhodou je jednoduchost a možnost jednoduché konstrukce vícesložkových dynamometrů. Přesnost hydraulických dynamometrů je asi 1%.

Dynamometry pneumatické

U pneumatických dynamometrů se používá k měření sil (podobně jako u mechanických dynamometrů) siloměrných tělísek. Tato tělíška se vlivem řezné síly deformují. Z trysky určitého průřezu, umístěného na jedné z plošek tělísek, vytéká tlakový vzduch na protiplochu umístěnou v malé (v určitém rozsahu stavitelné) vzdálenosti.

Jelikož množství vzduchu vyteklé za určitou dobu závisí též na vzdálenosti plochy od trysky, mění se změnou této vzdálenosti množství vyteklého vzduchu, a tím protitlak. Tuto změnu tlaku měříme. Nevýhodou měřící metody je její značná setrvačnost. Výhodou je velká jednoduchost přístroje, možnost změny citlivosti a snadná obsluha.

Na závěr je nutno říci, že vlastní konstrukce dynamometrů jsou velmi různorodé a je jich takový počet, že není možno se jimi zde zabývat podrobněji.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Popis laboratoře

V laboratoři budou rozmístěny stroje sloužící k obrábění kompozitních materiálů menších velikostí. Stroje budou umístěny na stolech, které budou na kolečkách s brzdou, takže s nimi bude snadná manipulace a při pracovním cyklu lze kolečka zabrzdit. Stroje budou malé, snadno a dobře ovladatelné. Budou napájeny z elektrické sítě, ale do chodu bude vždy uveden při pracovní činnosti vždy jen jeden stroj, jak z důvodů praktických, tak i bezpečnostních. Odsávání bude řešeno tak, že každý stroj bude mít svůj vlastní adaptér na odsávání a pomocí bajonetové rychlospojky se snadno a rychle připojí na odvod hadicí k odsávací skříni. V laboratoři budou též umístěny skříňe na nářadí a velký rýsovací stůl. Dále se bude pomocí měřicího přípravku (dynamometr) měřit kroutící moment. Přípravek bude umístěn na hřídeli jednoho ze strojů.

2.1.1 Vybavení laboratoře

Stroje k obrábění kompozitních materiálů

1. Kotoučová stolní pila	TK 2500 ECO
2. Univerzální dřevoobráběcí stroj	
3. Kombinovaná pila	KT 210
4. Talířová bruska	PBT 305
5. Zarovnávačka a hoblovačka	GAHD 260 W
6. Horní svislá frézka Bosch	GOF 2000 CE
7. Stolní sloupová vrtačka	
8. Dvoukotoučová bruska	FSMC 200/150

Další použité zařízení:

Odsávací skříň	POC 20
----------------	--------

2.2 Popis a účel použití strojů a dalších zařízení



Obr. 2 Kotoučová stolní pila

Tato kotoučová pila byla konstruována k řezání dřeva a plastů, které odpovídají velikosti pily. Možnost nastavení výšky řezu a úhlu řezu. Na tomto stroji se provádí řezání podélné, příčné, úzkých (šířka menší než 125mm) i extrémně úzkých (šířka menší než 30mm) kusů, řezání úhlů (šikmé řezy) a zkracování materiálu. Na stroji je doporučeno používat řezné kotouče osazené karbidem. Stroj je vybaven adaptérem na odsávání prachu.



Obr. 3 Univerzální dřevoobráběcí stroj

Stroj je kombinací kotoučové pily a hoblovačky (počet zubů 2). V základním provedení je stroj řešen jako stolní kotoučová pila. Snadná přestavba pily na hoblovku a opačně. Používá se na zkracování, řezání podélné, příčné, srovnávání ploch i hran materiálu ze dřeva i plastu.



Obr. 4 Kombinovaná pila

Pila má podstavec i otočný stůl z hliníku. Používá se na řezání úhlů (rozsah vychýlení -45° až $+45^\circ$ a řezy pod úhlem 0 až 45°) a zkracování materiálu (maximální řezná výška 35mm). Stroj je vybaven adaptérem na odsávání.



Obr. 5 Talířová bruska

Kvalitní a robustní talířová bruska určená pro nasazení v náročných podmínkách středně sériových provozů. Je určena pro broušení dřeva, plastů i kovů při použití různých hrubostí brusného papíru. Používá se na broušení čelní, příčné, podélné, menších ploch. Ideální pro broušení hran, odstraňování starých nátěrů apod. Stůl je možno nastavit do jakéhokoliv úhlu od 0 do 45° .



Obr. 6 Zarovnávačka a hoblovačka

Kvalitní a univerzální stroj s velkou plochou hoblovacího stolu (1030mm^2), počtem nožů 2, hoblovací hloubkou 3mm, maximální rychlostí posuvu 5m/min a velkou výškou protahu (160mm). Používá se na úpravu ploch i hran materiálu ze dřeva i plastu. Je vybaven adaptérem na odsávání prachu a vyhazovačem třísek.



Obr. 7 Horní svislá frézka

Tento stroj se používá na frézování plošné, pod úhlem, řezání, zarovnávaní, drážkování materiálu ze dřeva, z plastu i kompozitních materiálů. Má rychlé a snadné nastavení hloubky frézování. Je vybaven adaptérem na odsávání prachu.



Obr.8 Stolní sloupová
vrtačka

Tento stroj vyniká řadou nadstandardních funkcí (posuv stolu, nastavení hloubky vrtání s dorazem) a možnostmi, které přinášejí vysokou užitnou hodnotu. Je konstruován pro vrtání, vrtání pod úhlem, vykružování, zahlubování, sukování, vystružování v různých materiálech. Pracovní stůl lze natáčet, až o 360° pomocí otočného čepu a naklápět do úhlu $\pm 45^\circ$.



Obr. 9 Dvoukotoučová bruska

Tato dvoukotoučová bruska s pomaloběžným (přes šnekový převod hnaným) kotoučem se používá na broušení, zarovnávání, broušení profilových materiálů z kovu a plastu. Možnost broušení pilových kotoučů, ostření vrtáků. To vše lze za mokra i za sucha. Práce na ní je tichá a bez vibrací.

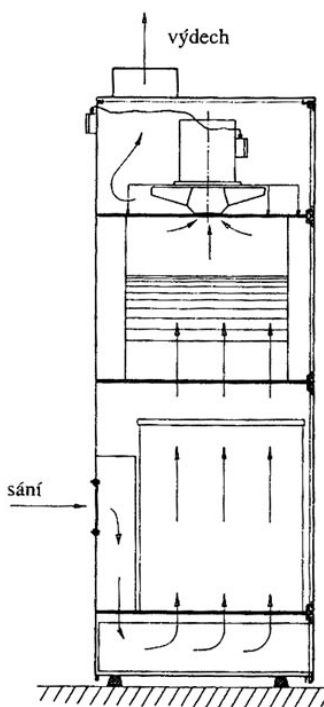


Obr. 10 Odsávací skříň

Funkce odsavače

Znečištěný vzduch, přiváděný odsávacím potrubím nebo pomocí odsávacího ramene, prochází nejprve prostorem zásobníku, kde dochází k odloučení těžších odsávaných částic vlivem poklesu rychlosti vzduchu. Následně vzdušina prostupuje filtrační komorou s kapsovým filtrem, který zachycuje jemné nečistoty do velikosti cca $3\mu\text{m}$ a aerosoly (event. olejovou mlhu), a pak je vedena přes ventilátorovou komoru na výtlak.

V případě požadavku na záchyt prachových částic menších než $3\mu\text{m}$ nebo na záchyt plyných škodlivin a par lze jako součást odsavače před či za ventilátorovou komoru zařadit skříň II. stupně filtrace s příslušnými filtračními vložkami. Přefiltrovaný vzduch je možno přes kryt s mřížkami vypouštět zpět do odsávaného prostoru nebo odvést vzduchotechnickým potrubím napojeným na kryt s nátrubkem mimo halu. Průchod vzduchu odsavačem POC ukazuje obr. 10.



Obr. 11 Odsávací skříň-funkce

2.3 Konstrukční návrh dynamometru

Dynamometr jako přístroj bude sloužit pro měření kroutícího momentu při řezání kotoučovou pilou a bude umístěn na hřídeli tohoto stroje.

Jeho konstrukce je provedena tak, že při měření je namáhána torzním napětím čtveřice prvků-ramena, na nichž jsou umístěny drátkové tenzometry. Aby bylo možné přenést signál od tenzometrů z pohyblivé (otáčející se) části na nepohyblivou část, kde budou umístěny snímače a vyhodnotit výsledky. Je nepohyblivá část pevně zafixována k vlastní konstrukci pily.

2.3.1 Popis konstrukce

Pohyblivou část tvoří řemenice 5, k ní nasunutý na čtyři kolíky 17 a přišroubovaný čtyřmi šrouby 9 kryt náboje 6 a náboj 3. V náboji 3 jsou zasunuty do drážek a přivařeny čtyři ramena 2, které jsou i s nábojem 3 uloženy v řemenici 5. Na svých koncích mají ramena 2 umístěny dvě kuličky 1, které jsou zasunuty v drážkách řemenice 5. Hrana drážky v řemenici 5 tlačí na kuličku 1 a tím se deformuje rameno 2, když je řemenice 5 v pohybu. Vzniklou změnu rozměrů při deformaci snímají drátkové tenzometry 4, umístěné na ramenech 2. Souosost náboje 3 a řemenice 5 zajišťuje axiální jehličkové ložisko 14, které je nalisováno na náboji 3. Ložisko 14 se opírá o ramena 2, o kryt náboje 6a proti pohybu je zajištěno pojistným kroužkem 15. Náboj 3 je uložen na hřídeli 8 a roztáčí ji přes pero 12. Řemenice 5 a náboj 3, aby bylo zabráněno osovému posuvu, jsou přišroubovány šroubem 11 k hřídeli 8. Otáčivý pohyb celé této části zajišťuje klínový řemen.

Nepohyblivou část tvoří věnec 7. Je uložen na ložisku 13, které je nalisováno na hřídeli 8 a proti pohybu zajištěno pojistným kroužkem 16. Věnec je ještě přišroubován čtyřmi šrouby 10 ke skříni stroje.

Kryt náboje 6 spolu s věncem 7 jsou zhotoveny z materiálu 11500, ramena 2 spolu s nábojem 3 jsou zhotoveny z materiálu 11 373. Řemenice 5 je zhotovena z materiálu 12060 a kalena.

Výrobní výkres sestavení i jednotlivých dílů jsou doloženy v příloze.

2.4 Ekonomické zhodnocení

V této části se zabývám ekonomickým zhodnocením, tj. spočítání celkových nákladů na tvorbu všech stolů, které bude zapotřebí vyrobit do provozu pod obráběcí stroje. Jelikož budou vyrobeny tři druhy stolů a každý druh bude jinak konstrukčně zpracován, aby odpovídal daným požadavkům (rozměrům stroje, rozměrům celého provozu kde budou stoly rozmístěny). Počítal jsem náklady na výrobu každého stolu zvlášť a pak jsem je sečetl. Pro představu uvádím všechny součásti, které budou zapotřebí na zhotovení jednoho stolu. Tj. materiál na zhotovení rámu, materiál na zhotovení desky stolu, materiál na zhotovení úchyty kola (podložka a matice), samotné kola a čas práce, v němž je započítáno rozměření, krácení, svařování, vrtání, broušení a finální úprava rámu spojená s nátěrem. Dále přichycení desky stolu a montáž koleček.

Stolů bude vyrobeno celkem devět. Jedná se tedy o sériovou výrobu, kde čas práce se snižuje a tím pádem se odhadovaná cena, všech stolů kompletně zhotovených, se bude přibližně pohybovat kolem čtrnácti tisíc korun.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá vypracováním technologického projektu provozu pro mechanické zpracování kompozitů. Provoz je umístěn v laboratoři, kde jsou multifunkční obráběcí stroje. Pod tyto stroje bylo zapotřebí navrhnout stoly, na kterých jsou stroje umístěny.

Dalším úkolem bylo navrhnout rozmístění strojů a dalších zařízení. To vše je řešeno s ohledem na rozměry jak strojů, tak i laboratoře. Centrální odsávání nešlo v daných podmínkách laboratoře uskutečnit. To znamená, že na každý stroj byl navržen adaptér na odsávání odpovídající daným požadavkům.

Součástí bakalářské práce také bylo navrhnout přípravek na měření kroutícího momentu – dynamometr. Kde se přes drátkový tenzometr, umístěný na deformačním elementu, snímá napětí, které se pak přenáší pomocí skupiny snímačů na zapisovač, kde se vyhodnocují údaje na grafu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Bareš, R.: Kompozitní materiály. SNTL Praha ,1988
- (2) Bhagwan, D.; Lawrence, D.: Vláknové kompozity. SNTL Praha ,1987
- (3) Blažej, A.; Pokludová, E.: Nekovové materiály. SNTL Praha ,1980
- (4) Táborský, L.; Šebo, P.: Konstrukční materiály spevněné vlákny. ALFA Bratislava ,1982
- (5) Buda, J.; Békés, J.: Teoretické základy obrábění kovů. ALFA Bratislava ,1977
- (6) Liemert, G. a kolektiv.: Obrábění. SNTL Praha ,1974
- (7) Vígner, M. a kolektiv.: Obrábění. SNTL Praha ,1984
- (8) Borský, M.; Müller, J.: Technologické projekty. VUT Brno ,1981
- (9) Ptáček, L. a kolektiv.: Nauka o materiálu 2. CERM Brno ,2002
- (10) Varkoček, J. a kolektiv.: Dělení, obrábění a tváření materiálu. MZLU Brno ,1996
- (11) Vasilko, K. a kolektiv.: Výrobné inženýrstvo . TUK Prešov ,2003

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
PAN	polyakrylonitril	
UHMWP	polyetylén s ultra vysokou molekulovou hmotností	
μ	mikro	[10 ⁻⁶]
°C	stupeň Celsia	
PKD	polykrystalický diamant	
B	chemický prvek-bór	
C	chemický prvek-uhlík	
Ti	chemický prvek-titan	
Al	chemický prvek-hliník	
W	chemický prvek-wolfram	
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Princip piezoelektrického snímače (1 – přítlačný element, 2 – membrána, 3 – piezoelektrické krystaly, 4 – elektroda, 5 – izolační průchodka, 6 – snímač).....	34
Obr. 2 Kotoučová stolní pila.....	38
Obr. 3 Univerzální dřevoobráběcí stroj	38
Obr. 4 Kombinovaná pila.....	39
Obr. 5 Talířová bruska.....	39
Obr. 6 Zarovnávačka a hoblovačka	40
Obr. 7 Horní svislá frézka.....	40
Obr.8 Stolní sloupová vrtačka	41
Obr. 9 Dvukotoučová bruska.....	42
Obr. 10 Odsávací skříň	42
Obr. 11 Odsávací skříň-funkce	43

SEZNAM PŘÍLOH

- P 1 : TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY STOLŮ
- P 2 : VÝROBNÍ VÝKRES ROZMÍSTĚNÍ STOLŮ – PŮDORYS
- P 3 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY STOLU Č. 1
- P 4 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY STOLU Č. 2
- P 5 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY STOLU Č. 3
- P 6 : VÝROBNÍ VÝKRES DÍLŮ STOLU Č. 1
- P 7 : VÝROBNÍ VÝKRES DÍLŮ STOLU Č. 2
- P 8 : VÝROBNÍ VÝKRES DÍLŮ STOLU Č. 3
- P 9 : VÝROBNÍ VÝKRES ÚCHYTU
- P 10 : VÝROBNÍ VÝKRES RAMENE DYNAMOMETRU
- P 11 : VÝROBNÍ VÝKRES NÁBOJE DYNAMOMETRU
- P 12 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY NÁBOJE DYNAMOMETRU
- P 13 : VÝROBNÍ VÝKRES ŘEMENICE DYNAMOMETRU
- P 14 : VÝROBNÍ VÝKRES KRYTU NÁBOJE DYNAMOMETRU
- P 15 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY ŘEMENICE DYNAMOMETRU
- P 16 : VÝROBNÍ VÝKRES VĚNCE DYNAMOMETRU
- P 17 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY DYNAMOMETRU (ČÁST 1)
- P 18 : VÝROBNÍ VÝKRES SESTAVY DYNAMOMETRU (ČÁST 2)