

Technologie výroby řadicí páky pro sportovní automobily

Roman Zatloukal

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman ZATLOUKAL**

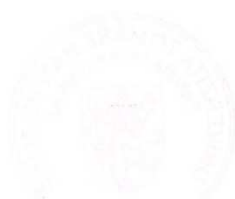
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Technologie výroby rukojeti řadicí páky pro závodní automobily**

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerže na dané téma
2. Zdokumentovat technologii výroby
3. Zhodnotit vybranou technologii výroby



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kamil Kyas

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

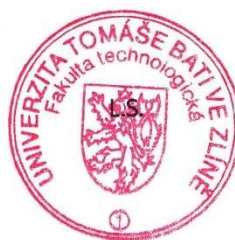
Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

Příjmení a jméno: ZATLOUKAL ROMAN


Obor: PRŮVĚSNÍ INŽENÝRSTVÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 26.5.2010


.....

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

²⁾ Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

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

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývala kompozitními materiály, jejich vlastnostmi a využitím. V praktické části byly popsány základní druhy kompozitních materiálů a technologie, které tyto materiály zpracovávají. Praktická část dokumentovala výrobu součásti z kompozitního materiálu, což zahrnovalo výrobu modelu, výrobu formy a výrobu samotného výrobku.

Klíčová slova: kompozit, laminát, uhlíkové vlákno, pryskyřice

ABSTRACT

In this BA thesis, composite materials, their characteristics and application have been dealt with. In the theoretical part, basic types of composite materials and technologies utilizing them have been described. The practical has been focused on the manufacturing of a component out of a composite material, i.e. manufacturing of its model, its mould and the product itself.

Keywords: composite, laminate, carbon fibre, resin,

Chtěl bych poděkovat ing. Kyasovi za jeho cenné rady a postřehy, které mi pomáhaly při tvorbě této práce. Také bych chtěl poděkovat ing. Volkovi za nepostradatelné rady ke studiu celkově.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	13
1.1 MATRICE	13
1.1.1 Nenasycené polyestery	14
1.1.2 Vinyl-esterové pryskyřice	14
1.1.3 Akrylamaty – hybridní pryskyřice	15
1.1.4 Epoxidové pryskyřice.....	15
1.1.5 Houževnaté epoxidové pryskyřice	16
1.1.6 Tvrdé silikonové pryskyřice.....	17
1.1.7 Tvrdé polyurethanové pryskyřice	17
1.1.8 Formaldehydové pryskyřice.....	17
1.1.9 Fenol-formaldehydové pryskyřice	18
1.2 VÝZTUHY	18
1.2.1 Sklo	19
1.2.2 Uhlík.....	20
2 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ	22
2.1 RUČNÍ KLADENÍ ZA MOKRA, KONTAKTNÍ LAMINOVÁNÍ	22
2.2 RUČNÍ KLADENÍ PREPREGŮ, VYTVRZOVÁNÍ V AUTOKLÁVU	22
2.3 STROJNÍ KLADENÍ PREPREGŮ, VYTVRZOVÁNÍ V AUTOKLÁVU	23
2.4 ŠROUBOVICOVÉ NAVÍJENÍ ZA MOKRA	23
2.5 PÓLOVÉ NAVÍJENÍ ZA MOKRA	24
2.6 AXIÁLNÍ NAVÍJENÍ.....	24
2.7 KLADENÍ ROVINOVÉHO PREPREGU NA OTÁČEJÍCÍ TRN (FORMU)	24
2.8 PULTRUZE	25
2.9 RTM („RESIN TRANSFER MOLDING“).....	25
2.9.1 HS-RTM („High Speed Resin Transfer Mold“)	26
2.9.2 VARTM („Vacuum Assisted Resin Transfer mold“)	26
2.10 VARIM („VACUUM ASSISTED RESIN FILM INFLUSION“).....	26
2.11 VBM („VACUUM BAG MOLDING“).....	27
2.12 RRIM („REINFORCED REACTION INJECTION MOLDING“)	27
2.13 SRIM („STRUCTURAL REINFORCED INJECTION MOLDING“).....	27
2.14 IM („INJECTION MOLDING“)	27
2.15 SMC („SHEET MOLDING COMPOUND“)	28
2.16 STRÍKÁNÍ.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
3 VÝROBA ŘADICÍ PÁKY PRO SPORTOVNÍ AUTOMOBILY	30
3.1 POSTUP VÝROBY	30
3.1.1 Výroba 3D modelu	31
3.1.2 Výroba formy	33
3.1.3 Výroba částí výrobku	35
3.1.4 Spleení výrobku	40

3.1.5	Dokončovací operace	42
4	SHRNUTÍ VÝROBNÍHO PROCESU.....	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	44
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	45
	SEZNAM OBRÁZKŮ	46

ÚVOD

Po době kamenné, bronzové a železné se dá říct, že 20. století nastartovalo dobu plastovou. Plasty jsou polymery, což znamená, že jejich dlouhá makromolekula je tvořena n-počtem jednotlivých, stále se opakujících merů - z toho název polymer. Oproti kovům a jiným materiálům, které se do objevení plastů používaly, mají polymery poměrně dost výhod. Jejich výroba a zpracování je daleko levnější než u kovů a to zejména díky nízkým zpracovatelským teplotám, které jsou u většiny polymerů zhruba pětikrát nižší, než u ocelí. Další nespornou výhodou je možnost velmi efektivní sériové výroby dílů, které většinou nepotřebují další úpravu nebo potřebují jen úpravu minimální. Hustota polymerů je další z výhod, které se oceňují hlavně u různých součástek, krytů přístrojů – například kryt televize, rádia, počítače. Veškeré zbytky, přetoky a zmetky se navíc velice jednoduše opět zpracují, což celkovou efektivitu výroby také zvyšuje. Ovšem na straně druhé s sebou výrobky z polymerů nesou i řadu nevýhod. Hlavní nevýhody jsou hlavně nízká pevnost oproti kovům, což plastové výrobky limituje v použití na namáhaných výrobcích, teplota tání, která zase omezuje použití tam, kde jsou relativně vysoké teploty pro plasty, které by ovšem kovům nečinily absolutně žádné problémy, další nevýhoda je i tzv. „creeping“, což je vlastně „tečení“ namáhaného plastového výrobku v čase, navíc plasty podléhají korozi a má na ně neblahý vliv i ozon a sluneční paprsky, nehledě na to, že z plastů nejsme schopni vyrobit díly tak přesně jako například z kovů a to hlavně kvůli vysoké tepelné roztažnosti plastů. Pokud bychom chtěli mechanické vlastnosti kovů a přitom zachovat nízkou hustotu jako u polymerů, tak se nám naskýtá další možnost, a sice kompozitní materiály. Kompozitní materiály jsou vícesložkové nebo vícefázové materiály, přičemž důležitou roli u nich nehrají pouze složky či fáze, ale i rozhraní mezi nimi – liší se od sebe svými fyzikálními vlastnostmi. Přestože nauka o kompozitech je relativně mladá, jsou kompozity využívány lidstvem od nepaměti a to zejména pro jejich výborné mechanické vlastnosti. Praveký člověk si například vyráběl velmi kvalitní luky ze dřeva a rohoviny, samurajové zase vyráběli samurajské meče z několika plátů oceli, které mají odlišné vlastnosti a až ve finále tvoří dokonalý celek. Dnes se běžně staví budovy z železo-betonu (tvrdý, ale křehký beton + měkké, ale pružné ocelové pruty), používá se sklolaminát (epoxidová pryskyřice + skelná vlákna), například na výrobu van, které se dřív vyráběly z litiny. V neposlední řadě se dnes používá materiál tzv. karbon, což jsou uhlíková vlákna + polymer, tento materiál je tvrdší než ocel a přitom si zachovává nízkou hmotnost, využívá se hlavně v high-tech výrobcích, jako jsou neviditelná letadla, monoposty Formule 1, rámy střelných zbraní,

sportovní náčiní a dokonce i někteří výrobci basových kytar vyrábějí krky z karbonu, právě pro jeho tuhost a tím pádem odpadnutí následného seřizování prohnutí krku, které nastane po natažení strun. Kompozity nahrazují konvenční materiály ve všech odvětvích, například před deseti lety používalo v kanadsko-americké hokejové soutěži NHL hokejky z kompozitu pár hráčů, s tím že hokejka byla i desetkrát dražší než klasická dřevěná hůl, dnes už se v NHL najde jen pár hráčů, co používají klasické dřevěné hole a to spíše jen pár veteránů ze zvyku, důvod je jasný, zatímco před deseti lety spotřeboval průměrný hráč třeba i 100 a více holí za sezónu, dnes mu jich bohatě stačí 20, nehledě na to, že kompozitní hůl je lehčí a to hraje v jakémkoliv sportu velkou roli...

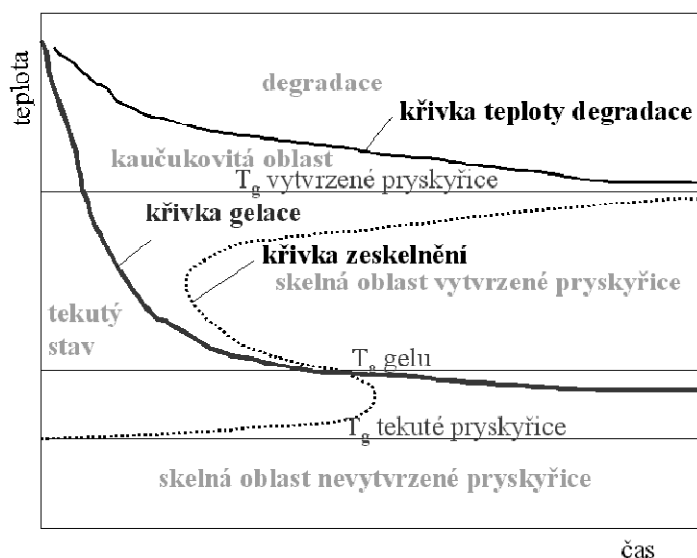
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiál, nebo zkráceně kompozit, je obecně vzato materiál ze dvou, nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi, které dohromady dávají výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí. Každý kompozitní materiál obsahuje minimálně dvě složky. U většiny materiálů jsou to dlouhá nebo krátká vlákna (skelná, uhlíková), tkanina nebo partikulární plnivo (skleněné kuličky), které tvoří výztuž a matrice, která tuto výztuž spojuje.

1.1 Matrice

Matrice je tedy zpravidla měkčí a houževnatější než výztužná vlákna. Aby bylo možno matici zanést mezi vlákna výztuhy a poté s ní pracovat je potřeba ji nejprve zkapalnit, což se děje za pomoci rozpouštědla a následně vytvrdit, k čemuž se zase používají tvrdidla. Vytvrzování je proces vedoucí k vytvoření prostorové makromolekuly s nekonečnou molární hmotností. Vytvrzování probíhá při určité teplotě rychlostí závislou na druhu pryskyřice a typu tvrdidla. Některé technologie vyžadují přídavek urychlovač, aby byla zkrácena doba vytvrzování za studena, naopak ve směsích pro lisovací technologii zase bývá inhibitor reakce pro prodloužení skladovací doby prepregu za normální teploty. Důležitá veličina je takzvaná doba gelace, po jejíchž uplynutí se viskózní pryskyřice změní v tuhou, elastickou hmotu s nízkým modulem pružnosti. Od tohoto okamžiku již pryskyřice ztrácí schopnost protékat a vzlínat mezi vlákny výztuže. [1]



Obr. 1. Diagram TTT (“Time-Temperature-Transformation”)

1.1.1 Nenasycené polyestery

Nemodifikované nenasycené polyesterové pryskyřice mají velké smrštění při vytvrzování a to až 8%, jsou křehké a snadno v nich vznikají mikrotrhlíky. Elektrické vlastnosti jako je nevodivost a hodnota relativní permitivity mají dobré, stejně jako odolnost proti ultrafialovému záření. Pryskyřice z nenasycených polyesterů dobře smáčejí vlákna, ale pevnost vazby mezi matricí a vlákny je menší než u epoxidových pryskyřic. Pro dosažení menšího smrštění při vytvrzování a kvalitnějšího povrchu je nutno použít směsi pryskyřice s plnivou nebo práškovými termoplasty, ovšem tyto přísady mají za následek také snižování tekutosti, a proto se jich používá jen ve směsích určených pro lisování. Nenasycené polyestery patří k nejpoužívanějším pryskyřicím, lineární nenasycený polyester je připraven reakcí dvou funkčních složek (polypropylen-glykol + kyselina ftalová nebo kumaronová, maleinová). Vzniklý před-polymer je rozpuštěn v reaktivním rozpouštědle, jako je například styren. Katalyzátorem síťovací reakce bývají organické peroxidy (methyl-etyl-ke-ton-peroxid) a aktivátorem, či urychlovačem bývá obvykle naften-an olovnatý. Volbou vytvrzovacího systému lze dosáhnout širokého rozmezí doby gelace a doby vytvrzení. Pro přípravu složek je nutno dodržet několik základních pravidel. Skleněná výztuž musí být bezpodmínečně suchá, doporučuje se i zdánlivě suchou tkaninu nebo rohož vysušit v horkovzdušné sušárně při 120°C, aby se z povrchu odstranila absorbovaná vzdušná vlhkost. Při použití lubrikované tkaniny je nutno lubrikant buďto rozpustit chemicky nebo vypálit termicky při teplotě asi 500°C. Připravené tkaniny už nesmí přijít do jakéhokoliv kontaktu se separačními prostředky, což může být i ochranný krém na ruce, používaný pracovníky. [1]

1.1.2 Vinyl-esterové pryskyřice

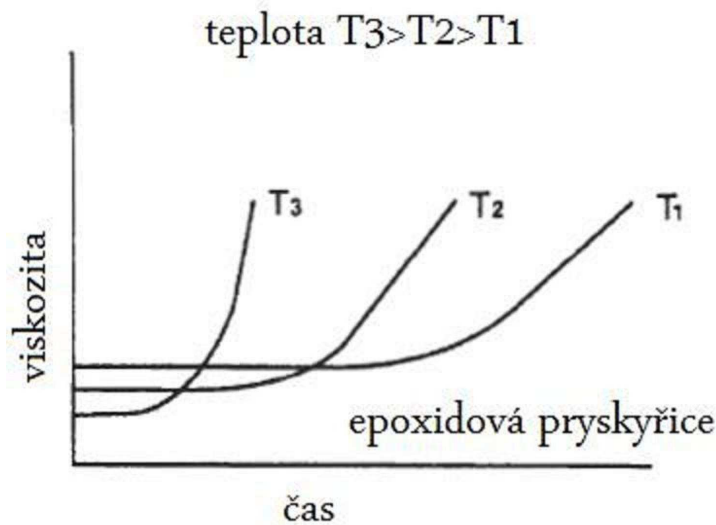
Jsou to nenasycené estery epoxidových pryskyřic. Vyrábějí se buď z bifenyly anebo jako novolakové vinyl-esterové pryskyřice. Obsahují reaktivní rozpouštědlo – obvykle styren. Makromolekula před-polymeru vinyl-esterových pryskyřic má méně reaktivních míst než u nenasycených polyesterů, dvojná vazba je umístěna pouze na koncích řetězce. Důsledkem je menší stupeň zesítnění, vedoucí k větší ohebnosti pryskyřice a větší odolnosti proti tvorbě mikrotrhlínek. Kompozity s vinyl-esterovými pryskyřicemi mají větší mezilaminární smykovou pevnost a větší houževnatost než kompozity s nenasycenými polyestery. Dále mají také lepší odolnost proti korozi, vyšší teplotu skelného přechodu, ale na druhou stranu jsou dražší a jejich vytvrzování trvá déle. [1]

1.1.3 Akrylamaty – hybridní pryskyřice

Pro injektážní technologie je nutno u běžných typů polyesterových a vinylesterových pryskyřic zvyšovat podíl styrenu, aby bylo dosaženo viskozity 0,1 až 1Pa. Přestože existují přísady snižující emisi styrenu při manipulaci s nevytvrzelou pryskyřicí, je použití styrenu vždy spojeno se zvýšenými náklady na zajištění zdravotně nezávadného pracovního prostředí, proto byly vyvinuty pryskyřice, které vyžadují menší podíl styrenu. Jsou to takzvané akrylamaty na bázi akryl-esterové pryskyřice, které vůbec neobsahují reaktivní ředidlo. Nízkoviskózní složkou nahrazující těžký styren je zde polyizokyanát – pryskyřice s podílem uretanové složky). Vytvrzelé akrylamaty mají větší pevnost v tahu a modul pružnosti než nenasycené polyestery a vinyl-estery. Kompozity jsou proto pevnější. [1]

1.1.4 Epoxidové pryskyřice

Jsou to nejvšestranější reaktoplasty pro konstrukční použití. V závislosti na chemické struktuře pryskyřice a použitém tvrdidlu a případných modifikujících složkách mají nejširší rozsah vlastností. V porovnání s ostatními reaktoplasty mají dobrou houževnatost, odolnost proti únavě a tečení, výbornou adhezi k vláknům, uspokojivou teplotní odolnost, výtečnou chemickou odolnost, dobré elektrické vlastnosti a malé smrštění při vytvrzování. V důsledku polárnosti, kterou způsobují přítomné hydroxylové skupiny, jsou navlhavé, takže za přítomnosti vody je nutno počítat se značným zhoršením teplotní odolnosti i u pryskyřic s vysokou teplotou skelného přechodu v důsledku plastifikačního účinku vody. Viskozita epoxidových pryskyřic v nevytvrzeném stavu je větší než u nenasycených polyesterů a vinylesterů. Podle molekulové hmotnosti se jedná o kapaliny až tuhé nelepivé látky. Přidáním reaktivních ředidel, případně modifikátorem pro zvýšení houževnatosti, lze užité technologické vlastnosti výsledné směsi měnit v širokém rozmezí. Vytvrzovací reakce u epoxidových pryskyřic je stupňovitě povahy, probíhá velmi pomalu, takže obvykle nevznikají problémy s exotermickou povahou vytvrzovacího procesu. Další výhodou je, že při vytvrzování epoxidových pryskyřic se neuvolňují vedlejší produkty, takže pro získání kompozitu bez dutin (bublin) není potřeba vysokého tlaku. V případě potřeby urychlení vytvrzovacího procesu lze použít urychlovače – obvykle benzyldimethylamin. Epoxidy jsou použitelné pro všechny technologie, ale jsou dražší než polyestery a vinilestery. [1]



Obr. 2. Graf závislosti viskozity epoxidů na čase a teplotě

1.1.5 Houževnaté epoxidové pryskyřice

Jednofázové vytvrzené epoxidové pryskyřice mají malou lomovou houževnatost a tudíž malou odolnost proti vzniku a šíření trhlin. Zvýšení lomové houževnatosti lze dosáhnout více způsoby, například přidáním reaktivních tekutých kaučuků, speciálně modifikovaných inženýrských termoplastů, reaktivních rozpouštědel, neorganických částic (skleněné mikrokuličky, částičky křemíku nebo částičky trihydrátu hliníku), dvoufázových „core-shell“ nanokuliček nebo částic polysiloxanových kaučuků. Klasické kaučuky snižují teplotu skelného přechodu a modul pružnosti vytvrzené pryskyřice, někdy i oxidační stabilitu, protože podléhají povětrnostnímu stárnutí. Inženýrské termoplasty zase musí být speciálně modifikované pro zvýšení soudržnosti s epoxidovou maticí, jinak se houževnatost pryskyřice naopak může ještě zmenšit. Tzv. „core-shell“ kuličky jsou kuličky o průměru 50-500 nm, které mají zesíťované elastomerní jádro pokryté tvrdou slupkou z termoplastu, tyto modifikátory zvyšují houževnatost beze ztráty jiných termomechanických vlastností. Nejčastěji se používá jádro z butadienakrylátového kaučuku v polymerní slupce. Lomová energie takto modifikované epoxidové pryskyřice je téměř třikrát vyšší, než u nemodifikovaného epoxidu. [1]

1.1.6 Tvrdé silikonové pryskyřice

Jsou připraveny hydrolytickou kondenzací a jsou tvořeny hustě zesíťovanými oligosiloxany s obecným vzorcem R_xSiO_y , kde R je organická složka obvykle s methylenovými nebo fenyklovými skupinami a funkčními skupinami OH a H. Teplotní odolnost, nízká relativní permitivita a malý ztrátový činitel předurčují silikonové pryskyřice pro aplikace, kde je důležitá elektrická izolace při vysokých teplotách a vysokých frekvencích. Silikonové lamináty snášejí teploty 200°C, ovšem krátkodobě se může jednat až o 600°C. Hlavní nevýhodou silikonových pryskyřic je jejich menší pevnost v tahu. [1]

1.1.7 Tvrdé polyurethanové pryskyřice

Polyurethany se vyrábějí reakcí izokyanátu a polyolu, který obsahuje mnohočetné hydroxylové skupiny, jsou houževnatější a odolnější proti únavě než například polyestery. Další výhodou je, že při vytvrzování neuvolňují do ovzduší organické plynné látky. Jsou relativně levné a vhodné především pro kontinuální výrobní procesy jako je pultruze a navíjení. [1]

1.1.8 Formaldehydové pryskyřice

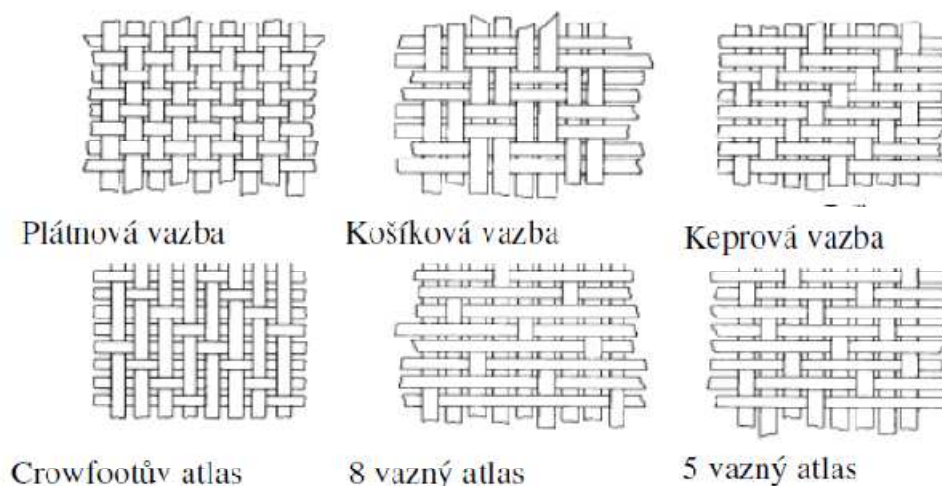
Močovino-formaldehydové a melanino-formaldehydové reaktoplastické pryskyřice jsou produkty polykondenzace. Jsou vhodné především pro injekční vstřikování a RTM. Močovino-formaldehydová je pryskyřice levnější, která dobře odolává tukům, esterům olejů, petroleji, alkoholům, acetonu, detergentům a slabým kyselinám a zásadám, jsou nehořlavé, tepelně odolné a odolné proti poškrábání. Jako tvrdidlo se používají silné kyseliny nebo soli. Kyselost zvyšuje rychlost tvrzení, ale má i neblahý vliv na kovové formy. Produkty z nich jsou hojně používány v domácnostech – kliky, prkénka na toaletách, pracovní desky kuchyňských linek nebo třeba vrchní vrstvy plovoucích podlah. Melanino-formaldehydové pryskyřice mají ještě lepší tepelnou a chemickou odolnost, ale jsou křehké. Vyznačují se dobrou adhezí k vláknům obsahujícím celulózu, což je předurčuje k tvorbě kompozitů zpevněných přírodními vlákny jako je len, bavlna, či konopí. Oproti skleněným kompozitům, jsou bio-kompozity lehčí a díky ohebnosti přírodních složek odolnější vůči únavě, trhlinky matrice se vytvářejí mimo rozhraní vlákno-matrice. [1, 5]

1.1.9 Fenol-formaldehydové pryskyřice

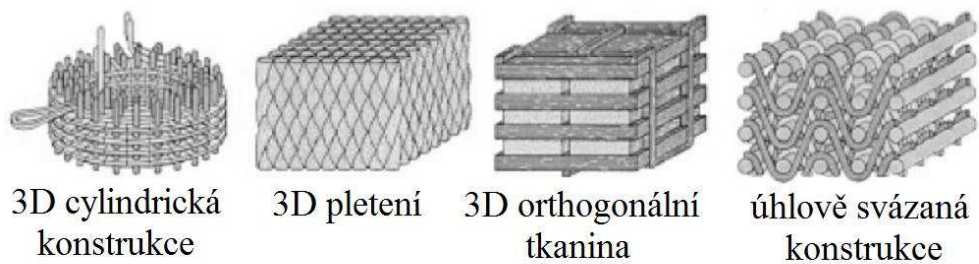
Fenol-formaldehydové pryskyřice se vyrábějí kondenzací fenolu a formaldehydu, mají velmi dobrou rozměrovou stálost i za zvýšených teplot, díky vysoké hustotě zesílení mohou přenášet zatížení i při teplotách vyšších než jejich T_g , jsou nehořlavé a při jejich expozici v plameni nevyvíjejí kouř. Kvůli přítomnosti fenolů nejsou přípustné pro zdravotnické nebo potravinářské účely. Čisté pryskyřice za normální teploty jsou v tuhém stavu a jsou křehké, proto se pro lamináty fenol substituuje a formaldehyd nahrazen vysokomolekulárními aldehydy pro zvýšení ohebnosti, pak se jedná o novolak. Novolak se používá především letecký průmysl a konstrukce osobních vagonů. [1, 5]

1.2 Výztuhy

Výztuha funguje jako kostra kompozitu, může být ve formě plniv (jako jsou skleněné kuličky, nasekaná vlákna), vláken, 2D tkanin z těchto vláken nebo přímo 3D utkané výztuhy. Nejrozšířenějším materiálem výztuh je sklo. Na high-tech technologie se používá většinou uhlík, aramid a jiné velice pevné materiály, ovšem jejich cena je úměrná jejich kvalitám. Poslední dobou se v takzvaných biopolymerech uplatňují přírodní materiály jako len nebo konopí. [1,2]



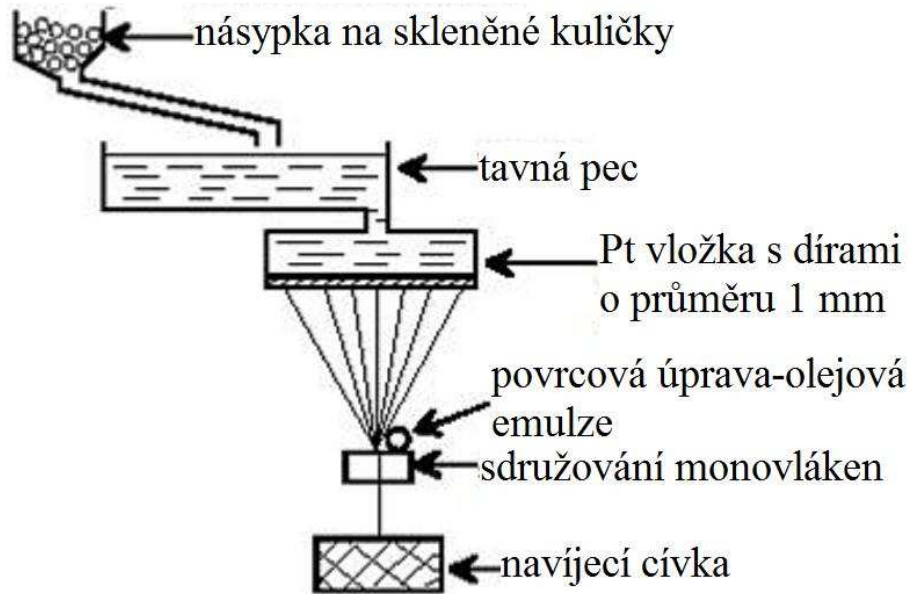
Obr. 3. Příklady 2D tkanin



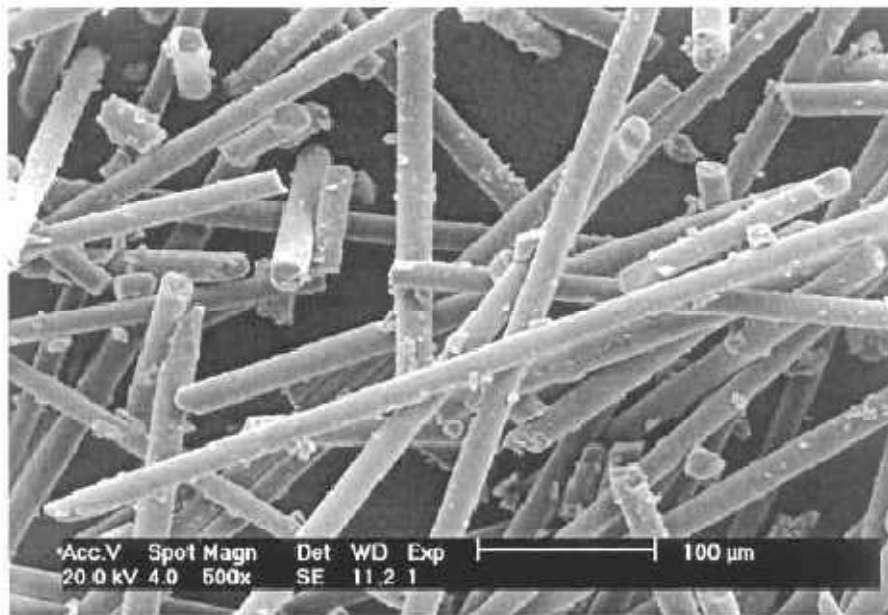
Obr. 4. Příklad 3D výztuže

1.2.1 Sklo

Sklo je odolné proti ohni a mnoha chemikáliím, má poměrně vysokou pevnost v tahu. Vlhkost však pevnost vláken snižuje a odolnost proti trvalému namáhání a pevnost v oděru je rovněž nízká. Průměrná hmotnost je asi 2500 kg/m^3 , bod tání až přes 1000°C , dlouhodobě snáší sklo teploty až 450°C . Skleněné vlákno se vyrábí nejčastěji metodou „sol/gel“, což je metoda, při které se těkáním z disperze tvoří gel – kapalina tak viskózní, že se chová jako pevná látka, gel se pak pomocí dalších metod zvlákňuje. Například při zvlákňování přes trysky se skelná tavenina odtahuje od trysky rychlostí 30-60 m/s a tuhne, jednotlivá vlákna o jemnosti 4-13 μm se pak spojují do jednoho svazku, šlichtují a navíjí. Svazky těchto vláken se odlišují počtem vláken, toto číslo se běžně pohybuje mezi 125-2000 vlákeny. V roce 2005 bylo jen v Evropě zhotoveno přes milion tun kompozit ze skleněných vláken, což činí zhruba přes půl milionů tun skleněných vláken. [1,4]



Obr. 5. Způsob výroby vláken

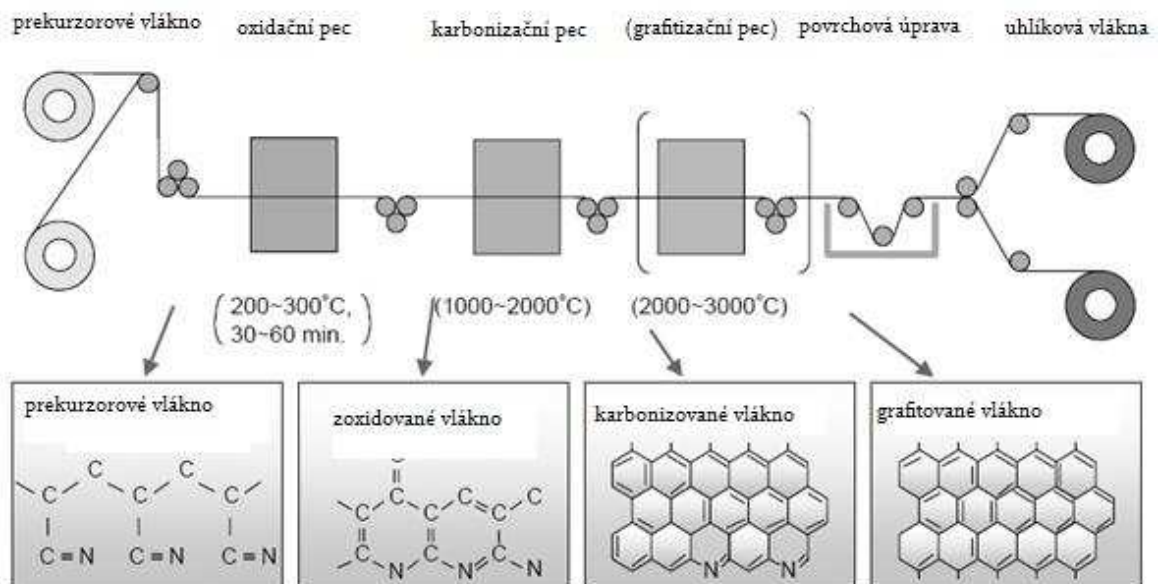


Obr. 6. Snímek nasekaných skleněných vláken určených jako plnivo do kompozitu

1.2.2 Uhlík

Uhlíkové vlákno (též karbonová vlákna, z angl. carbon fibres) je název pro vlákno obsahující uhlík v různých modifikacích. Jedná se o dlouhý, tenký pramen materiálu o průměru 5–8 μm složeného převážně z atomů uhlíku. Atomy uhlíku jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystaly, které jsou více méně orientovány paralelně k dlouhé

ose vlákna. Krystalové uspořádání způsobuje, že vlákno je na svou tloušťku velmi pevné. Hustota vlákna je asi 1750 kg/m^3 . Několik tisíc uhlíkových vláken, která jsou smotána, tvoří společně přízi, která může být použita samotná nebo vetkána do tkaniny. Surovina používaná k výrobě uhlíkových vláken se nazývá prekurzor. Asi 90% uhlíkových vláken je vyrobeno z polyakrylonitrilových vláken. Zbývajících 10% je vyrobeno z viskóзовých vláken nebo jsou vyrobena ze smol-dehtu, což jsou zbytky po krakování ropy. Všechny tyto materiály jsou organické polymery, které jsou charakteristické dlouhými řetězci molekul spojených atomy uhlíku. Přesné složení každého prekurzoru se u jednotlivých výrobců liší a je považováno za výrobní tajemství. Výroba vláken z viskózy má výtěžek uhlíkových vláken pouze 20 - 25 %, výroba z polyakrylonitrilových vláken má výtěžek 45 - 50 % a nejvýhodnější je výroba ze smol, kde je výtěžek 75-80 % a navíc lze připravit vysoce orientované struktury. Z prekurzorů se uhlíková vlákna vyrábějí řízenou pyrolýzou. Celosvětová roční produkce všech druhů uhlíkových vláken se v roce 2004 odhadovala na 18.000 tun. Vzhledem ke svým vlastnostem (pevnost, malá hmotnost, nehořlavost, dobrá elektrická vodivost, nízká tepelná vodivost) se tato vlákna uplatňují ve strojírenství, leteckém průmyslu, v kosmonautice a v řadě dalších oborů. [3]



Obr. 7. Schematický postup výroby uhlíkového vlákna

2 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ

Technologie výroby kompozitu se odlišují v několika hlavních věcech a to jestli je forma otevřená nebo uzavřená, používáme-li vlákna a pryskyřici zvlášť nebo používáme tzv. prepreg (vlákna obalená matricí, tady je nutno prepreg ohřát na teplotu, kdy se matrice na vláknech spojí s matricí předchozí vrstvy) a jestli je prepreg kladeno ručně nebo strojově.

2.1 Ruční kladení za mokra, kontaktní laminování

Ručním kladením výztuže na otevřenou formu lze vyrobit i velmi rozměrné a tvarově náročné výrobky. Výztuž musí být v podobě tkaniny nebo rohože, pryskyřice při teplotě výroby musí téci. Prosycování výztuže tekutou pryskyřicí je prováděno ručně pomocí štětce, stěrky nebo válečku. Pro zlepšení prosycení se často používají válečky složené z jednotlivých disků, mezi nimiž jsou mezery umožňující tok pryskyřice. Odpařování reaktivního rozpouštědla lze eliminovat použitím pryskyřic s vosky, vytvářející na povrchu stojící pryskyřice nepropustnou vrstvu. Vyrobene díly se vytvrzují většinou za studena – pokojové teplotě a dotvrzují se za zvýšené teploty (80°C). [1]

2.2 Ruční kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu

Jde o technologii vhodnou pro kusovou výrobu mechanicky namáhaných kompozitových dílů. Do otevřené formy opatřené vrstvou separátoru nebo neporézní fólií je vložena odtrhová vrstva tkaniny z vláken PET, PA nebo skla E. Tato vrstva chrání povrch kompozitu před znečištěním a je snímána před lepením nebo barvením. Dále jsou podle zvolené skladby laminátu do formy pokládány orientované nařezané prepregy, aby se zvětšila lepivost prepregů. Je možno je nahřívat horkým vzduchem (horkovzdušná pistole), po položení potřebného počtu vrstev je na vrchní vrstvu opět položena odtrhová vrstva a poté vrstva umožňující únik přebytečné pryskyřice do odsávací vrstvy. Odsávací vrstva je překryta neprodyšnou fólií, na které jsou položeny odvzdušňovací vrstvy skleněného textilu umožňující odsátí vzduchu. Hermetičnost prostoru zajišťuje polymerní fólie nebo pro opakované použití elastomerní vak vyrobený většinou ze silikonového kaučuku. V tlakové nádobě – tzv. autoklávu – dojde k vytvoření vakua (a tím pádem k sobě jednotlivé vrstvy přitlačuje atmosférický tlak) a k ohřevu na 120° až 200°C. Přetlakem v autoklávu se k sobě vrstvy tkaniny přitlačí ještě více a je tak zaručen minimální obsah pryskyřice v kompozitním díle. Doba působení teploty v autoklávu se volí podle rychlosti vytvrzování pryskyřice. Chladnutí dílu musí být pomalé, aby mohla být dostatečně

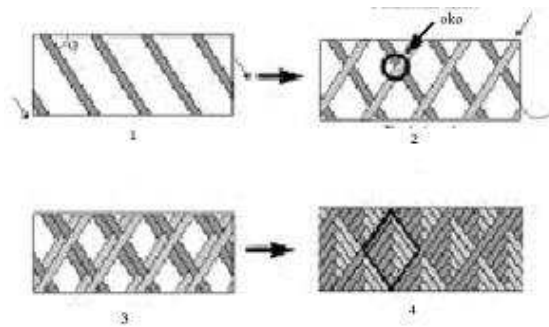
relaxována vnitřní pnutí v kompozitu, vzniklá různou tepelnou roztažností složek i jejich různou směrovou orientací. [1, 6]

2.3 Strojní kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu

Jde o technologii s použitím kladečního stroje. Počítačem řízené kladeční stroje jsou vybaveny kladeční hlavou, která se pohybuje nad otevřenou formou a má dostatečný počet stupňů volnosti. Kladeční hlava sejme separační fólii, předejde prepreg a kladkou jej přitiskne k předchozím vrstvám. Pro reaktoplastické matrice, zpracovávané při mírně zvýšených teplotách, vyhovuje kladka tvořená polyethylenovými disky, na které se pryskyřice v tekutém stavu nelepí. Na konci jedné položené stopy kladeční hlava prepreg odřízne. Tloušťka dílů může být značná – například tloušťka povrchu křídla letounu F-22 v místě upevnění křídla k trupu činí 15 mm, tato vrstva je tvořena 120 vrstvami prepregu. Strojní kladení je oproti ručnímu mnohem rychlejší – tím pádem levnější a vylučuje chybu člověka – je zaručena směrová orientace. [1]

2.4 Šroubovicové navíjení za mokra

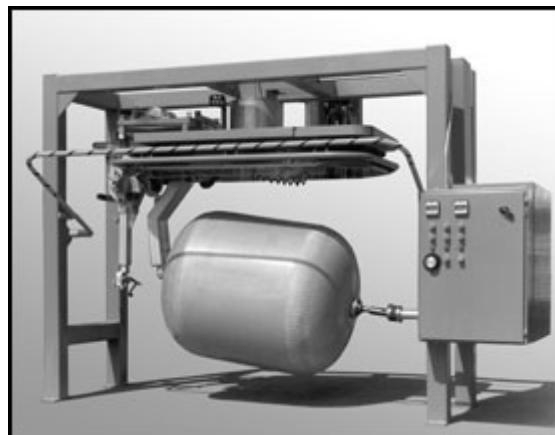
Stroje pro šroubovicové navíjení je možno přirovnat k soustruhům. Navíjení rovingů smočených v pryskyřici (obvykle se v pryskyřici brodí pouze kotouč a přes jeho horní povrch se vedou vlákna) je používáno při výrobě rotačních i nerotačních nádob s konvexními povrchy (trubky, těla raket). Vhodné orientace vláken ve stěně nádoby je dosahováno volbou vhodné posuvové rychlosti kladečního zařízení. Vhodného množství pryskyřice se docílí průchodem rovingu tryskou, která přebytečnou pryskyřici odstraní a volbou vhodného tahového napětí v navíjeném rovingu. Roving se klade na otáčecí trn. Pokud jsou výrobky menších rozměrů, tak se trn vytlačí pomocí lisu, u větších výrobků se používají trny tvořené segmenty, které se před sejmutím výrobku sklopí. V případě, že se vyrábí vzduchotěsná nádoba (např. tlakové nádoby na kapaliny pro letadla) tak se trn vyrobený z vzduchotěsného polymeru nechá uvnitř výrobku a zaručuje vzduchotěsnost, o pevnost se pak už postará kompozit. Při šroubovicovém navíjení je nutno nádoby uzavírat víky, které se vyrábějí zvlášť. [1]



Obr. 8. Způsob navíjení

2.5 Pólové navíjení za mokra

Stroje pro pólové navíjení používají tenkostěnnou formu. Vlákná jsou nanášena ramenem, které se pohybuje okolo formy, takže vlákna jsou kladena i v oblasti pólů formy. [1]



Obr. 9. Stroj pro pólové navíjení

2.6 Axiální navíjení

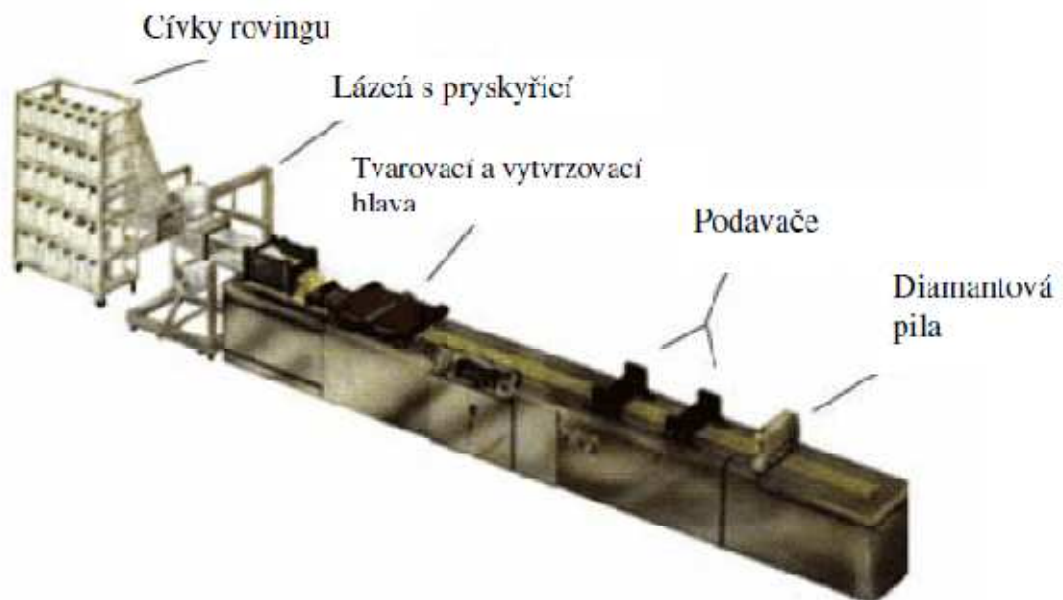
K položení vláken v axiálním směru, které zvyšují odolnost výrobku při axiálním tlaku, lze použít zvláštní techniky v angličtině nazývané „pin supported winding“. Téměř axiálně položená vlákna jsou na koncích jádra držena systémem radiálních trnů. [1]

2.7 Kladení rovinového prepregu na otáčející trn (formu)

Oproti klasickému navíjení „za mokra“ metoda rovinového prepregu umožňuje vyrábět i tvary s konkávními plochami. [1, 6]

2.8 Pultruze

Při klasické pultruzi je výztuž kontinuálně impregnována tekutou UP nebo VE pryskyřicí a vtahována do tvarovací a vytvrzovací hlavy. V ohřívané části vytvrzovací hlavy je pryskyřice vytvrzena a hotový profil je odtahován housenkovými pásy nebo dvojicí střídavě popojíždějících vozíků a řezán na potřebnou délku. Ve vytvrzovací hlavě se používá buďto principu mikrovlnného ohřevu pro skleněná vlákna nebo indukčního pro vlákna uhlíková. Pultruzové linky mívají obvykle horizontální členění. Nyní se pro pultruzi používají i prepregy a velmi kvalitní přímé i zakřivené profily, které je potom možno použít pro primární prvky letadel (Airbus A 380). [1, 2]



Obr. 10. Linka na pultruzi

2.9 RTM („Resin Transfer Molding“)

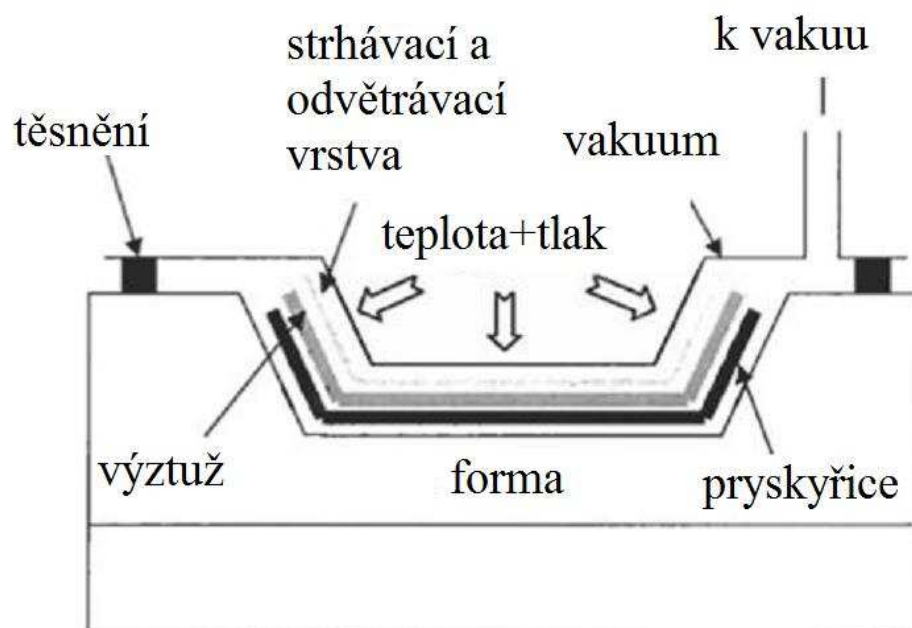
Jde o technologii s uzavřenou formou, při které se při použití UP a VE nedostávají do okolí reaktivní rozpouštědla. Ohřátá pryskyřice a ohřáté tvrdidlo se pomocí nízkotlakých čerpadel dopravují do mísící hlavy bezprostředně před injektáží směsi do dutiny hliníkové nebo ocelové formy. Výhodou RTM je, že rub i líc výrobku jsou hladké a rozměry výrobku jsou přesné. Podíl rýžujících vláken je menší než u předchozích metod, takže pevnost celého výrobku také. Jako výztuž se většinou používají tkaniny nebo rohože, jež jsou již předtvarované – tzv. „preform“. Vlákna v rohoži musí být odolná proti posunutí při toku pryskyřice. U rohoží se sekanými vlákny se používá vazebný prostředek, který je rozpustný v pryskyřici, pro RTM jsou ale vhodnější kontinuální vlákna než sekaná. [1, 2]

2.9.1 HS-RTM („High Speed Resin Transfer Mold“)

Je metoda RTM, která je využívána hlavně v automobilovém průmyslu pro výrobu velkosériových dílů, jako například dveřní výplně. [1,2]

2.9.2 VARTM („Vacuum Assisted Resin Transfer mold“)

Je metoda RTM, kde se pryskyřice s malou viskozitou vstříkne do formy s vytvarovaným preformem, která má na konci toku zdroj vakua, tím pádem je tok poháněn samotným vstříknutím a navíc podtlakem. [1, 2]



Obr. 11. Schéma VARTM

2.10 VARIM („Vacuum Assisted Resin Film Inflation“)

Tato technologie je vhodná pro výrobu sendvičových velkoplošných výrobků, jako jsou chladírenské železniční vagóny, čluny a karoserie autobusů). Při VARIM technologii rozvod polyesterové nebo vinylesterové pryskyřice zajišťují hadice a tzv. distribuční médium, které se z povrchu vytvrzeného výrobku sejme (je odděleno od výrobku odtrhovou vrstvou). Krycí fólie zamezuje odpařování reaktivního rozpouštědla (obvykle styren u UP a VE pryskyřic). Mezi nosné vrstvy je možno vložit jádro (pěnové, voštinové) nebo distanční tkaninu. [1, 2]

2.11 VBM („Vacuum Bag Molding“)

U metody VBM je oproti VARIM navíc odsávací vrstva a odvzdušňovací vrstva je kolem celého dílu. Technologie VBM je vhodná pro výrobu menších dílů. Používá jednoduchou formu, jedna plocha dílu je tedy vždy hladká. Po odsátí vzduchu z prostoru pod vakem (většinou folie z PA66, pro sériovou výrobu pak vak ze silikonového kaučuku) dojde ke stlačení vrstev již obsahujících pryskyřici pouze účinkem atmosférického tlaku. Přebytná pryskyřice je odsáta odsávacím vakem. [1, 2]

2.12 RRIM („Reinforced Reaction Injection Molding“)

Tato technologie se používá výhradně s polyuretanovými pryskyřicemi. Výztužná vlákna jsou nasekána v pryskyřici, aby celá suspenze mohla být vstříknuta do uzavřené formy.

[1, 2]

2.13 SRIM („Structural Reinforced Injection Molding“)

U této technologie je pretvarovaná výztuž vložena do formy, která se následně uzavře a je do ní vstříknuta pryskyřice. [1, 2]

2.14 IM („Injection Molding“)

Tato technologie používá termoplast vyztužený krátkými skleněnými vlákny a užívá se tam, kde není možné jako konstrukční materiál použít samotný termoplast – a to z důvodu požadavků na pevnost a tuhost nebo kvůli ekonomičnosti výroby tam, kde by byly například plechové díly příliš nákladné. Výrobky vyrobené touto technologií jsou lehké a mají dobré jak elektrické, tak i tepelné izolační vlastnosti. Výstřík se zhotovuje na vstřikovacím stroji. Mezi výhody této technologie patří vysoká produktivita, malé energetické nároky, možnost výroby i značně členitých dílů, větší tuhost, pevnost, odolnost proti tečení, přesnost rozměrů a tvarová stálost, větší teplota tvarové stálosti a houževnatost. Samozřejmě má tato technologie i své nevýhody a to především větší opotřebení formy a činných částí vstřikovacího stroje, proto se šnek, válec a trysky musí vyrábět z nitrídaných ocelí. Další nevýhodou je vznik slabých míst ve výstřiku při špatné orientaci vláken. [1, 2]

2.15 SMC („Sheet Molding Compound“)

Při této technologii se používá vyhřívaná dvoudílná forma, do které se vkládá polotovar pro lisování (který můžeme nazývat opět prepreg), který se sevřením formy vytvaruje a vytvrdí. Tato technologie má poměrně vysoké pořizovací náklady, takže se používá výhradně ve vysokosériové výrobě – např. automobilový průmysl. Prepreg se vyrábí jako návin oddělený separační fólií a musí nějakou dobu „zrát“, za tuto dobu změni pryskyřice svou viskozitu a místo tekuté se stane jen lepkavou, ale tuhou. Pro lepší povrch se díl zastříkává katalyzovanou pryskyřicí. [1]

2.16 Stříkání

Na negativní nebo pozitivní otevřenou formu se stříká směs katalyzované pryskyřice a krátkých vláken. Při ručním způsobu je do stříkací pistole zaveden roving, který se v pistoli seká. Rozprašování směsi způsobuje značné odpařování reaktivního rozpouštědla. Pro stříkání je tedy zapotřebí použít pryskyřice s větším množstvím rozpouštědla. Nejlepším způsobem ochrany pracovníků před parami rozpouštědla je tedy použití stříkacího robotu. [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 VÝROBA ŘADICÍ PÁKY PRO SPORTOVNÍ AUTOMOBILY

Jednalo se o výrobu madla řadicí páky převodovky, která byla určená do sportovních automobilů. Šlo spíše o designovou záležitost a u zvoleného materiálu bylo jasné, že snese daleko větší zatížení, než člověk vyvine při jeho normálním používání, při řazení rychlostních stupňů. Madlo bylo tvořeno třemi skořepinami z kompozitu, které se pak slepily dohromady epoxidovým lepidlem. Do madla se zároveň vlepil duralový díl, který zajistil spojení madla se zbytkem řadicí páky, vyvrtaly díry pro uchycení páčky ovládající pomoci lanka spojku a vyfrézoval otvor, ve kterém měla být tato páčka umístěna.



Obr. 12. Kompletní řadicí páka

3.1 Postup výroby

Postup výroby se dělil do několika částí:

- výroba modelu z materiálu MDF
- výroba formy
- výroba dílů výrobku
- slepení výrobku
- dokončovací operace

Protože se jednalo o výrobu jen malosériovou (5-10 kusů za týden), nebylo ekonomicky výhodné investovat do technologicky vyspělejších postupů a forem, jako technologie se v tomto případě nabízelo tzv. ruční kladení za mokra. Vzhledem k tvaru výrobku a k tomu, že se finální výrobek slepil ze tří částí, tak i forma stačila velice jednoduchá a levná.

3.1.1 Výroba 3D modelu

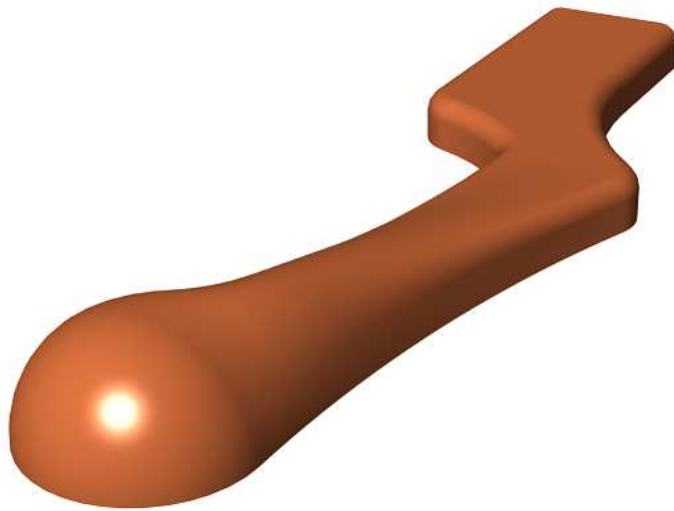
K výrobě formy byl potřeba model, který odpovídal finálnímu výrobku. Tento model sloužil pouze k výrobě formy, takže nároky na materiál, ze kterého byl zhotoven, nebyly příliš vysoké. Jako materiál se mohl použít napěněný polystyren, polyuretanová pěna, dřevo, nebo MDF. Důležité bylo, aby zvolený materiál byl lehce opracovatelný, a aby byl tvarově stálý. Pro naši aplikaci zcela vyhovovalo MDF. Zkratkou MDF se označují středně tvrdé dřevovláknité desky. MDF je zkratka z prvních písmen anglického názvu Medium Density Fibreboard. MDF materiál vzniká lisováním dřevných vláken, jež jsou vyráběny chemicko – mechanickou cestou, do desek.



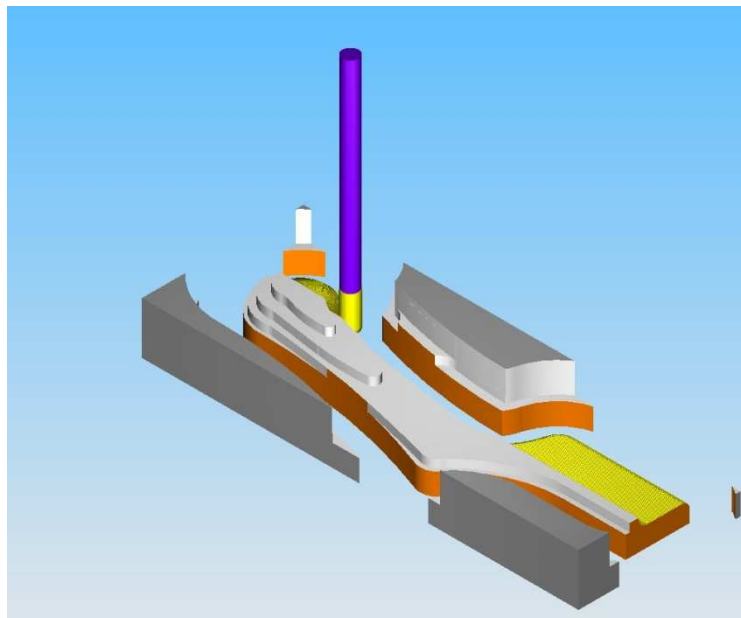
Obr. 13. Desky z materiálu MDF

Model z MDF byl vyroben na CNC stroji CMC ARES 4826 TUCU, do kterého se importovala data výrobku, která se získala v programu SolidCAM. Výrobek byl přitom k dispozici vymodelovaný v programu Solid Works jako zadání výrobku. Model se na CNC stroji vyrobil jako dvě zrcadlové části, důvodem bylo snadné uchycení ve stroji a pro další výrobu formy výhodné „rozpůlení“ modelu. Model, který vyrobil CNC stroj ještě neměl požadovanou kvalitu povrchu, a proto bylo potřeba jeho povrch ještě vybrousit jemným brusným papírem. Po vybroušení modelu do požadované jakosti povrchu se na

model nanesl PUR plnič, který povrch ještě více zjemní a učinil jej odolnějším vůči chemikáliím. PUR plnič je vlastně polyuretanová základová hmota, která po asi 1-2 hodinovém zaschnutí, vytvoří vrstvu, která je pevná, pružná a odolává různým vlivům. Tuto vrstvu bylo potřeba ještě jednou vybrousit velmi jemným brusným papírem, tentokrát ale pod vodou, aby se docílilo, co nejlepší kvality povrchu. Po vybroušení pod vodou byl model připraven k výrobě formy.



Obr. 14. Jedna ze dvou zrcadlových polovin vytvořena v programu Solid Works



Obr. 15. Simulace frézování modelu v programu Solid Cam

3.1.2 Výroba formy

Princip výroby formy spočíval v tom, že se nejdřív model rozdělil na části podle toho jak, je možné výrobek vyrobit, u zadaného výrobku se jednalo o tři části, které se vyrobily zvlášť a poté se slepily dohromady. Model se tedy pomyslně rozdělil na část, která tvořila horní polokouli madla a část, která tvořila zbytek, ta se následně rozdělila v ose na dva souměrné díly. Hranice se naznačily čarami. Aby bylo možno výsledné skořepiny k sobě perfektně slepit, bylo nutné, aby zde vytvořená skořepina měla přesahy, které pak bylo možno přesně zařezat. Toho se docílilo tak, že na čáry, které značily rozdělení modelu, se nalepila tenká vrstva materiálu, který vytvořil stěnu v pravém úhlu k modelu. Běžně se používá například linoleum. V tento okamžik se využilo toho, že byl model ze dvou částí, mezi které se vlepilo zmiňované linoleum, což ušetří spoustu práce a zaručí perfektní kolmost stěny k výrobku. Jakmile byl model takto připraven, nanese se na něj tzv. Gel-Coat, který později vytvořil kvalitní vnitřní povrch v budoucí formě a přitom se nespojí s PUR plničem, takže se forma lehce oddělila od modelu. Ochrana Gel-Coat je aplikace chránící sklolaminátové výrobky před vystupováním skelných vláken. Velmi populární je použití například k ochraně lodí a karoserii obecně. Gel-Coat je čista pryskyřice z nenasyčeného ortoftalického nebo izoftalického polyesteru. Je aplikován automaticky na podpurný povlak před pryskyřicí. Vrstva Gel-Coatu se poté vlivem teploty přemění z kapaliny na gel. Polyesterová pryskyřice se nanese na vrstvu gelového Gel-Coatu a vlivem vysoké teploty se chemicky neodělitelně spojí, což eliminuje problém oddělování vrstev (peeling) díky tomu, že již nejde o dvě samostatné části. Na model, na kterém byl nanesený Gel-Coat, se pak metodou ručního kladení za mokra nakladly kusy plátňové tkaniny ze skelného vlákna, napuštěné epoxidovou pryskyřicí. Platí zde, že čím víc vrstev se naklade, tím je forma pevnější, ovšem 5-6 vrstev už bohatě stačilo k tomu, aby byla forma dost pevná. Po nanesení každé vrstvy se malým válečkem vytlačila z tkaniny přebytečná pryskyřice, která by výslednou tuhost kompozitu zhoršovala. Po nanesení všech vrstev se nechala budoucí forma i s modelem vytvrdit za normální teploty asi 14 dní, aby měl Gel-Coat dost času na perfektní vytvrdnutí. Po uplynutí této doby se model z formy vyjmul a vnitřní povrch formy se opět jemně vybrousil. Po vybroušení se na vnitřní povrch aplikoval obyčejný bezbarvý lak, který je odolný proti pryskyřicím. Lak dodal vnitřnímu povrchu formě dokonalý povrch, který byl od ní požadován. Tímto způsobem vznikly zároveň tři části formy. S každou částí se v budoucnu pracovalo samostatně, to znamená, že každý díl formy sloužil k výrobě jedné ze tří skořepin, ze kterých byl finální výrobek slepen.



Obr. 16. Role tkaniny ze skelného vlákna, vpravo detail tkaniny



Obr. 17. Dvě části formy, nalevo vnitřní a napravo vnější část-viditelná hrana potřebná k přesnému a jednoduchému zařezání skořepiny, které je nutné pro dokonalé lícování při lepení.



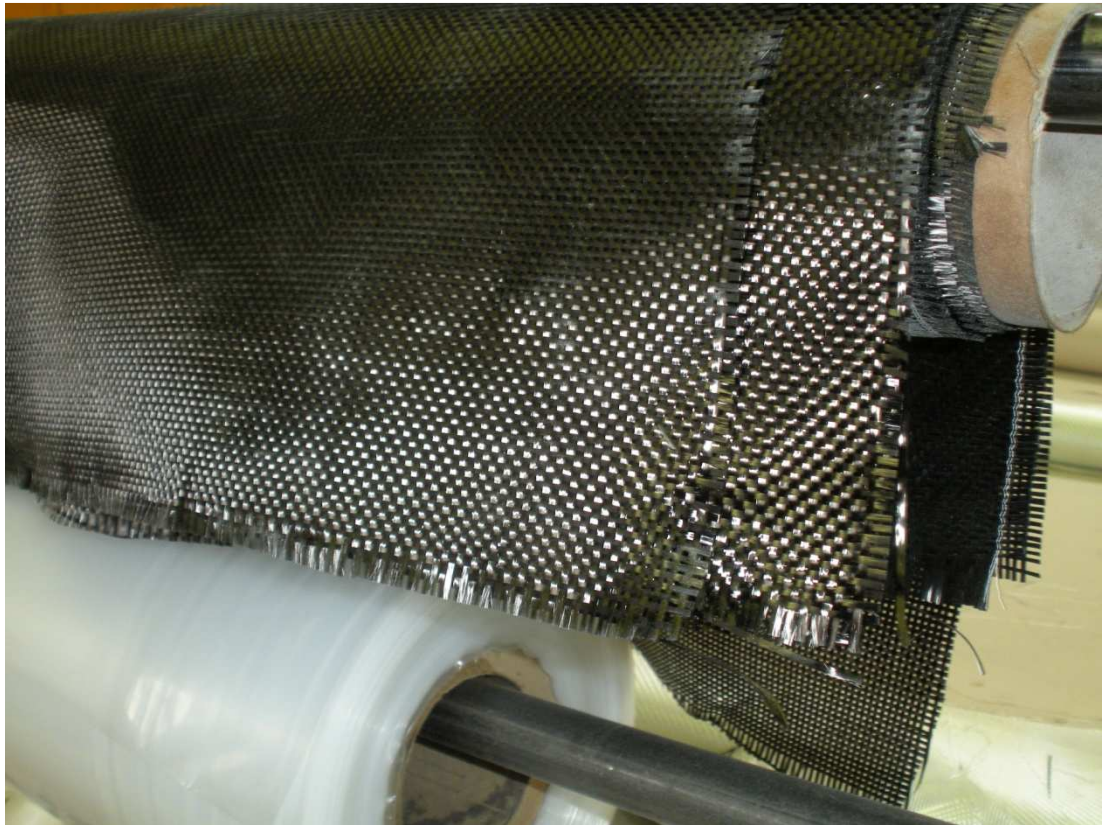
Obr. 18. Třetí část formy pro výrobu polokulové skořepiny, tvořící hlavu madla

3.1.3 Výroba částí výrobku

Ke zhotovení výrobku bylo nutno vyrobit tři části, které se následně slepily dohromady. Každá z těchto částí se vyrobila stejnou technologií a ze stejných materiálů. Jediný rozdíl byl v barvě použitých uhlíkových tkanin. Vrchní zakulacená část měla být světlá, a proto se použila uhlíková tkanina bílé barvy, zbytek výrobku byl z černé uhlíkové tkaniny. Tkaniny z uhlíkových vláken jsou na trhu k dostání ve všech různých barevných provedeních, takže v tomto ohledu nenastávají žádné problémy. To samé platí i o pryskyřicích, potažmo o Gel-Coatech a PUR plnicích, které mohou být v různých provedeních. U formy může být například levá strana zelená a pravá modrá pro rychlé a přehledné určení strany formy.



Obr. 19. Barely s použitým Gel-Coatem



Obr. 20. Role tkaniny z uhlíkového vlákna, tzv. plátňová vazba

Vnitřní povrch formy se před začátkem práce lehce postříkal separačním prostředkem. Může se použít například obyčejný silikonový olej. Po vystříkání se na povrch dutiny nanese Gel-Coat, který u budoucího výrobku zaručí dokonale rovný povrch, kopírující dutinu a ze které nebudou vystupovat vlákna tkaniny. Poté se do dutiny začaly technologii ručního kladení za mokra klást dílce z uhlíkové tkaniny tvaru obdélníku velké zhruba tak, aby odpovídaly tvaru dutiny. Dílce byly namočené v epoxidové pryskyřici a po vložení do dutiny, se válečkem dokonale vtlačily do dutiny tak, aby co nejlépe kopírovaly plochu dutiny, navíc se tímto úkonem vytlačila přebytečná epoxidová pryskyřice, která by mechanické vlastnosti kompozitu zhoršovala. Tímto způsobem se nakladly ještě 3-4 vrstvy, které byly pro výrobek absolutně dostačující. Po nakladení poslední vrstvy se forma i s výrobkem nechala odležet asi 16 hodin za pokojové teploty. Epoxidových pryskyřic je na trhu velká škála. V dílně, kde se výrobek vyráběl, se běžně používají epoxidové pryskyřice firmy Reichhold, takže byla použita právě tato. Epoxidová pryskyřice, byla k dispozici v kovovém barelu, sama o sobě je tekutá. K tomu aby se vytvrdila, bylo nutné ji smíchat v přesném poměru s tvrdidlem, které v pryskyřici odstartoval proces tvrdnutí. Od druhu použitého tvrdidla se odvíjela doba tvrdnutí. Za účelem zkrácení doby vytvrdnutí se dala použít i speciální pec, která je k tomu určená. Vytvrzení v této peci by trvalo zhruba

3-4 hodiny, přičemž by v peci byla teplota od 40°C do 45°C. Použití pece by ovšem nebylo ekonomicky výhodné, protože při výrobě pěti až deseti kusů za týden, bylo k dispozici dost času na tvrdnutí při normální teplotě. Nebylo tudíž nutné spotřebovávat elektrickou energii na provoz pece.

Tab. 1. Doba gelace epoxidové pryskyřice s použitím různých tužidel za různých teplot

	Doba tvrdnutí při (20-25)°C	Doba tvrdnutí při (40-45)°C
Tužidlo 135	4-5 hodin	50 minut
Tužidlo 136	6-7 hodin	1-2 hodiny
Tužidlo 137	10-12 hodin	3-4 hodiny
Tužidlo 501	2-3 hodiny	40-50 minut
Tužidlo 502	4-5 hodin	60-80 minut
Tužidlo 285	2-3 hodiny	45-60 minut
Tužidlo 286	3-4 hodiny	60-90 minut
Tužidlo 287	5-6 hodin	80-120 minut

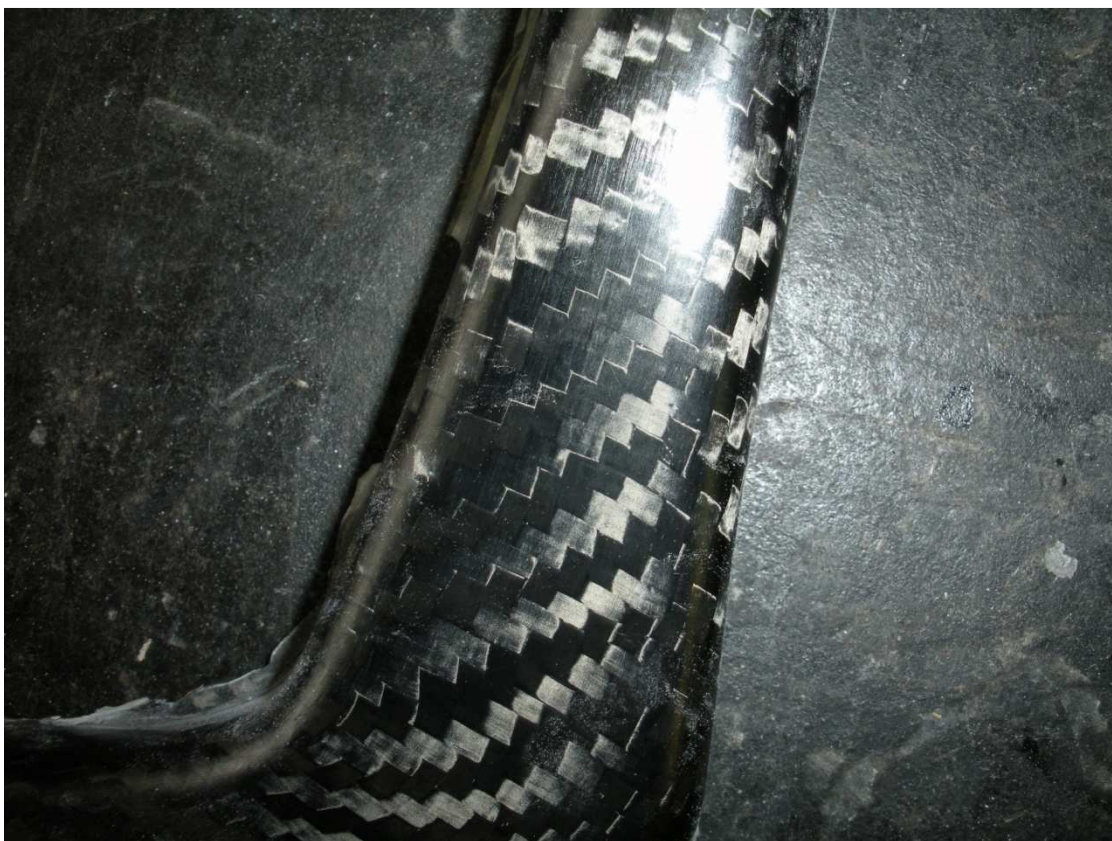
Po uplynutí doby vytvrzování se skořepina z formy vyjmula. Vzhledem k tvaru výrobku a separační vrstvy se silikonovým olejem nečinilo vyjmutí žádný problém a postačila k němu relativně malá síla. Stejným způsobem se následně vyrobily další dvě části potřebné ke kompletaci celého výrobku.



Obr. 21. Výrobek z již vytvrzeného kompozitu ve formě



Obr. 22. Výrobek vyjmutý z formy



Obr. 23. Detail povrchu výrobku a jeho kvality po vyjmutí z formy

Hmotnostní poměr mísení: na 100 dílů pryskyřice 40 ± 2 díly tužidla

Pryskyřice [g]	Tužidlo [g]	Pryskyřice [g]	Tužidlo [g]	Pryskyřice [g]	Tužidlo [g]
5	$2 \pm 0,1$	105	$42 \pm 2,1$	205	$82 \pm 4,1$
10	$4 \pm 0,2$	110	$44 \pm 2,2$	210	$84 \pm 4,2$
15	$6 \pm 0,3$	115	$46 \pm 2,3$	215	$86 \pm 4,3$
20	$8 \pm 0,4$	120	$48 \pm 2,4$	220	$88 \pm 4,4$
25	$10 \pm 0,5$	125	$50 \pm 2,5$	225	$90 \pm 4,5$
30	$12 \pm 0,6$	130	$52 \pm 2,6$	230	$92 \pm 4,6$
35	$14 \pm 0,7$	135	$54 \pm 2,7$	235	$94 \pm 4,7$
40	$16 \pm 0,8$	140	$56 \pm 2,8$	240	$96 \pm 4,8$
45	$18 \pm 0,9$	145	$58 \pm 2,9$	245	$98 \pm 4,9$
50	$20 \pm 1,0$	150	$60 \pm 3,0$	250	$100 \pm 5,0$
55	$22 \pm 1,1$	155	$62 \pm 3,1$	255	$102 \pm 5,1$
60	$24 \pm 1,2$	160	$64 \pm 3,2$	260	$104 \pm 5,2$
65	$26 \pm 1,3$	165	$66 \pm 3,3$	265	$106 \pm 5,3$
70	$28 \pm 1,4$	170	$68 \pm 3,4$	270	$108 \pm 5,4$
75	$30 \pm 1,5$	175	$70 \pm 3,5$	275	$110 \pm 5,5$
80	$32 \pm 1,6$	180	$72 \pm 3,6$	280	$112 \pm 5,6$
85	$34 \pm 1,7$	185	$74 \pm 3,7$	285	$114 \pm 5,7$
90	$36 \pm 1,8$	190	$76 \pm 3,8$	290	$116 \pm 5,8$
95	$38 \pm 1,9$	195	$78 \pm 3,9$	295	$118 \pm 5,9$
100	$40 \pm 2,0$	200	$80 \pm 4,0$	300	$120 \pm 6,0$

Obr. 24. Pomocné hodnoty pro míchání pryskyřice s tužidlem

3.1.4 Slepění výrobku

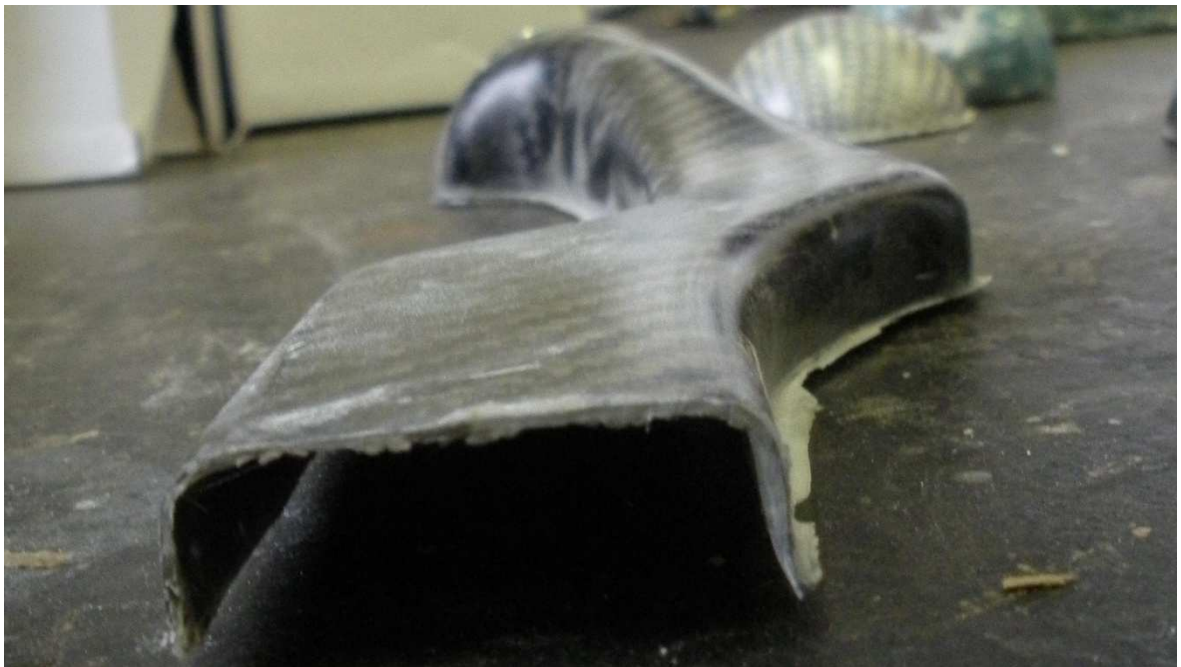
Části výrobku vyjmuté z formy byly již téměř dokonalé, ale aby se mohly části slepit dohromady, bylo potřeba, aby spolu části dokonale lícovaly. Vyrobené části ovšem měly po celém obvodu přesahy přes hrany, které bylo potřeba odstranit a zarovnat přesně po hraně, která nám určovala přesnou dělicí rovinu výrobku. K tomuto se použila kotoučová bruska, na které se tohoto zarovnání snadno dosáhnulo. Ke slepení částí se použilo epoxidové lepidlo, toto lepidlo muselo být pigmentované, aby na slepeném výrobku nebyly vidět případné nedokonalosti ve spojích. Epoxidové lepidlo bývá obvykle dvousložkové, takže se nejprve musí promíchat v poměru složek 1:1. Po smíchání složek, se musí lepidlo spotřebovat asi do dvou minut, takže se lepidla nikdy nemíchá větší množství. Po nanesení lepidla na obě protilehlé strany zevnitř výrobku se části výrobku včetně duralového dílu zajišťujícího budoucí spojení s řadicí pákou spojily a zafixovaly textilní lepicí páskou. Po uplynutí 24 hodin, kdy už bylo lepidlo vytvrzené na svoji funkční tuhost, se mohly začít provádět další úpravy výrobku.



Obr. 25. Všechny části výrobku před opracováním pro lepení



Obr. 26. Části z rubové strany



Obr. 27. Detail tloušťky stěny

3.1.5 Dokončovací operace

Po sejmutí textilní lepicí pásky bylo nutné zarovnat případné přetoky lepidla, které se mohly vyskytnout. Toto bylo provedeno jemným smirkovým papírem. Po tomto očištění bylo ještě potřeba připravit výrobek na následnou montáž páčky ovládající spojku, což zahrnovalo vyvrtání dvou děr na uchycení páčky pomocí čepu a vyfrézování otvoru k zapuštění páčky do výrobku pomocí ruční frézky. Tyto operace se prováděly ručně, přičemž byl výrobek uchycen ve stolním svěráku pomocí k tomu vyrobenému přípravku. Výrobek se pak zbavil všech nečistot a vyleštil pomocí hadru. Po očištění se na hranici vrchní světlé části nalepil po obvodu červený pásek ze samolepící PVC folie, která měla designový účel. Poté se výrobek ještě nastříkal bezbarvým lakem, aby byl povrch naprosto dokonalý a působil pohledově co nejelegantněji.



Obr. 28. Zkompletovaná řadicí páka i s páčkou na ovládání spojky

4 SHRUTÍ VÝROBNÍHO PROCESU

Byl zadán požadavek na výrobu madla řadicí páky, které mělo být vyrobeno z kompozitního materiálu tzv. karbonu, což je materiál složený z uhlíkové tkaniny a epoxidové pryskyřice. K dispozici byl model výrobku vymodelovaný v programu Solid Works. Bylo nutné vyrobit model, díky němuž bylo možno následně vyrobit formy určené k výrobě částí skořepiny výrobku. Model se vyrobil na CNC fréze z materiálu MDF. Forma byla vyrobena z kompozitu obsahujícího tkaninu ze skleněných vláken a epoxidové pryskyřice. Forma měla tři části a každá část byla určena k oddělené výrobě části skořepiny. Byly vyrobeny tři části výrobku z kompozitního materiálu obsahujícího uhlíková vlákna a epoxidové pryskyřice, které se po opracování na vhodnou kvalitu slepily dohromady epoxidovým lepidlem, přičemž byl do spodní části vlepen i duralový díl, který měl za úkol zajistit spojení kompozitového madla se zbytkem řadicí páky. Nakonec byly do slepeného výrobku vyvrtány a vyfrézovány otvory pro umístění páčky na ovládání spojky a výrobek byl nalakován bezbarvým lakem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kořínek Kompozity, 2005. České Vysoké Učení Technické v Praze, Ústav Materiálového Inženýrství. <http://www.volny.cz/zkorinek/> (accessed Feb 10, 20).
- [2] Tong, L.; Mouritz, A. P.; Bannister, M. K. *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*, 1st ed.; Elsevier: Oxford, U.K., 2002.
- [3] Zoltec co. <http://www.zoltek.com/carbonfiber/made.php> .
- [4] Wikipedia. http://cs.wikipedia.org/wiki/Skleněná_textilní_vlákna
- [5] TOMIS, F. *Gumárenská plastikařská technologie*. 2.přepr. Brno: VUT v Brně, 1986. 289 s. ISBN 55-552-87.
- [6] TOMIS, F.; HELŠTÝN, J.; KAŇOVSKÝ, J. *Formy a přípravky*. 1. Brno: VUT v Brně, 1979. 278 s. ISBN 55-835-79.
- [7] HLUCHÝ, M.; KOLOUCH, J.; PAŇÁK, P. *Strojírenská technologie 2 – Polotovary a jejich technologičnost 1*. Díl Praha: SCIENTIA spol. s.r.o., 1999. 316 s. ISBN 80-7183-117-4.
- [8] PTÁČEK, L. a kolektiv.: *Nauka o materiálu 2*. CERM Brno, 2002
- [9] Reichhold co.
- [10] BLAŽEK, R. *Technologický projekt provozu pro mechanické zpracování vláknových kompozitu*. 2006. 50 s. Bakalářská práce. UTB Zlín.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PVC	polyvinylchlorid
°C	stupeň Celsia
MDF	Medium Density Fibreboard
NHL	National Hockey League
mm	milimetr
nm	nanometr
μm	mikrometr
Pa	pascal
PET	polyethyltereftalát
PE	polyethylén
PA66	polyamid 66
kg/m ³	kilogram na metr krychlový
T _g	teplota skelného přechodu
T _m	teplota tečení

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Diagram TTT (“Time-Temperature-Transformation”)</i>	13
<i>Obr. 2. Graf závislosti viskozity epoxidů na čase a teplotě</i>	16
<i>Obr. 3. Příklady 2D tkanin</i>	18
<i>Obr. 4. Příklad 3D výztuže</i>	19
<i>Obr. 5. Způsob výroby vláken</i>	20
<i>Obr. 6. Snímek nasekaných skleněných vláken určených jako plnivo do kompozitu</i>	20
<i>Obr. 7. Schematický postup výroby uhlíkového vlákna</i>	21
<i>Obr. 8. Způsob navíjení</i>	24
<i>Obr. 9. Stroj pro pólové navíjení</i>	24
<i>Obr. 10. Linka na pultruzi</i>	25
<i>Obr. 11. Schéma VARTM</i>	26
<i>Obr. 12. Kompletní řadicí páka</i>	30
<i>Obr. 13. Desky z materiálu MDF</i>	31
<i>Obr. 14. Jedna ze dvou zrcadlových polovin vytvořena v programu Solid Works</i>	32
<i>Obr. 15. Simulace frézování modelu v programu Solid Cam</i>	32
<i>Obr. 16. Role tkaniny ze skelného vlákna, vpravo detail tkaniny</i>	34
<i>Obr. 17. Dvě části formy, nalevo vnitřní a napravo vnější část-viditelná hrana potřebná k přesnému a jednoduchému zařezání skořepiny, které je nutné pro dokonalé lícování při lepení.</i>	34
<i>Obr. 18. Třetí část formy pro výrobu polokulové skořepiny, tvořící hlavu madla</i>	35
<i>Obr. 19. Barely s použitým Gel-Coatem</i>	35
<i>Obr. 20. Role tkaniny z uhlíkového vlákna, tzv. plátnová vazba</i>	36
<i>Obr. 21. Výrobek z již vytvrzeného kompozitu ve formě</i>	38
<i>Obr. 22. Výrobek vyjmutý z formy</i>	38
<i>Obr. 23. Detail povrchu výrobku a jeho kvality po vyjmutí z formy</i>	39
<i>Obr. 24. Pomocné hodnoty pro míchání pryskyřice s tužidlem</i>	39
<i>Obr. 25. Všechny části výrobku před opracováním pro lepení</i>	40
<i>Obr. 26. Části z rubové strany</i>	41
<i>Obr. 27. Detail tloušťky stěny</i>	41
<i>Obr. 28. Zkompletovaná řadicí páka i s páčkou na ovládání spojky</i>	42

Seznam tabulek

Tab. 1. Doba gelace epoxidové pryskyřice s použitím různých tužidel za různých teplot

