

Studium gel-coatove vrstvy kompozitních materiálů a identifikace jejich defektů

Ondřej Halík

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej HALÍK**
Osobní číslo: **T09414**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Studium gel-coatové vrstvy kompozitních materiálů
a identifikace jejich defektů**

Zásady pro vypracování:

1. Kompozitní materiály s polymerní matricí, základní složky a vlastnosti
2. Přehled pryskyřic a gel-coatů, vlastnosti a způsob jejich zpracování
3. Problematika defektů vyskytujících se v gel-coatové vrstvě
4. Experimentální zkoumání vybraných plněných a neplněných gel-coatů dle vybraných parametrů
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství kompozitu, Brno, 1999

[2] Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. CERM, s.r.o., Brno, 2002

[3] Kořínek, Z.: Kompozity. dostupné na: www.volny.cz/korinek

[4] Ehrenstein, G. W.: Polymerní kompozitní materiály. Scientia Praha, 2009

[5] Bareš, R. A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 1988

[6] Reinhart, T. J.: Engineered materials handbook. Composites. Vol. 1., ASM INTERNATIONAL, 1987

[7] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 10. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: HALÍK ONDŘEJ

Obor: TZ

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 užít 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 10.5.2011



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

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

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

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

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

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či 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). Odprá-ří autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Kompozitní materiály vyrobené z vláken, pryskyřice a gelcoatu jsou už dnes běžně používány v nejrůznějších aplikacích, jako je lodní průmysl, automobilový průmysl, stavebnictví, design, potrubní rozvody, bazény a mnoho dalších. Gelcoat je první vrstva, která přichází do kontaktu s okolním prostředím, chrání samotný kompozitní materiál před vlivy prostředí a zaručuje jeho stálost a dlouhou životnost.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na rozdělení kompozitních materiálů s polymerní maticí, přehledem pryskyřic a gelcoatů, zpracování gelcoatů a na problematiku defektů vyskytujících se v gel-coatove vrstvě.

Klíčová slova: Kompozitní materiál, gel-coat,

ABSTRACT

Composite material are made from fibres, resin and gelcoat are now commonly used in various application as shipping industry, automotive industry, building, design, pipeline, pools and many other. Gelcoat is first layer that comes into contact with the environment, protects the composite materials from the environment and ensures its stability and durability.

The theoretical part bachelor work is focused on the division of composite materials with polymer matrix overview of resins and gelcoats, treatment gelcoats and the issue of defects occurring in the gelcoats layer.

Keywords: Composite material, gelcoat, mechanical properties

Rád bych poděkoval vedoucí mé práce doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D. za odbornou pomoc, ochotu a cenné rady při vypracování mé bakalářské práce. Dále pak Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za rady a asistenci v laboratořích.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITY	12
1.1 VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	12
1.1.1 Synergický efekt.....	13
1.1.2 Interakce trhlin	13
1.2 PŘÍRODNÍ KOMPOZITY	13
1.3 HISTORIE.....	14
1.4 SKLADBA KOMPOZITU	14
1.5 MATRICE	15
1.5.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)	15
1.5.2 Epoxidové pryskyřice (EP-R)	15
1.6 VÝZTUŽE.....	15
1.6.1 Skelná vlákna	15
1.6.2 Uhlíková vlákna	16
1.6.3 Aramidová vlákna	16
1.7 PLNIVA.....	16
1.8 POVRCHOVÉ OCHRANY.....	16
1.9 SENDVIČOVÉ JÁDRA	17
1.10 INSERTY	17
2 GELCOAT	18
2.1 ROZDĚLENÍ GELCOATU DLE APLIKACE	18
2.1.1 Univerzální gelcoaty	18
2.1.2 Snadno brousitelné a lakovatelné gelcoaty	18
2.1.3 Gelcoaty pro náročné aplikace	18
2.1.4 Gelcoaty pro lodní průmysl.....	19
2.1.5 Antibakteriální gelcoaty	19
2.1.6 Gelcoaty se sníženou hořlavostí.....	19
2.2 PŘÍPRAVA FORMY.....	19
2.3 NANÁŠENÍ ŠTĚTCEM.....	19
2.4 NANÁŠENÍ STRÍKÁNÍM.....	20
2.5 PIGMENTY	21
2.6 VADY VZNIKAJÍCÍ NA GELCOATECH	21
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 PŘÍPRAVA VZORKŮ	27
3.1 FORMA	28
3.2 POUŽITÉ MATERIÁLY.....	28
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	29
4.1 ZKOUŠKA OHYBEM.....	29
4.1.1 Diskuze výsledků zkoušky ohybem	33

4.2	RÁZOVÁ ZKOUŠKA HOUŽEVNATOSTI.....	33
4.2.1	Diskuze výsledků rázové zkoušky houževnatosti	38
5	IDENTIFIKACE DEFEKTŮ GELCOATOVE VRSTVY.....	39
	ZÁVĚR	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK.....	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

ÚVOD

V dnešní době, kdy je rozvoj nových materiálů na bázi polymerů velmi dynamický se klasické konvenční materiály jako je kov, dostávají do pozadí. Proto jsem si za předmět mého studia v bakalářské práci zvolil kompozitní materiály. Přesněji gel-coatovou vrstvu kompozitních materiálů. Tato vrstva chrání samotnou skladbu kompozitu před vnějším prostředím a na její kvalitě závisí životnost výrobku. Tak jak je rozmanité prostředí použití kompozitních materiálů, tak jsou i rozmanité volby gel-coatu. Každá aplikace vyžaduje specifické vlastnosti ochranné vrstvy jako je barevná stálost, nehořlavost, houževnatost a mnoho dalších. Do gel-coatů se často z důvodů úspor, tak i změny vlastností přidávají nejrůznější plniva. Tyto plniva a přísady mají výrazný vliv na vlastnosti této ochranné vrstvy. Dalším výrazným činitelem kvality je i jakost zpracování. Zde je zahrnuta problematika povrchu forem, odformování, nanášení gel-coatu, separace, teplota vytvrzování a další. Při nevhodně zvolených podmínkách vznikají nejrůznější defekty na této ochranné vrstvě. Tyto defekty a příčiny jejich vzniku jsou také obsahem této práce.

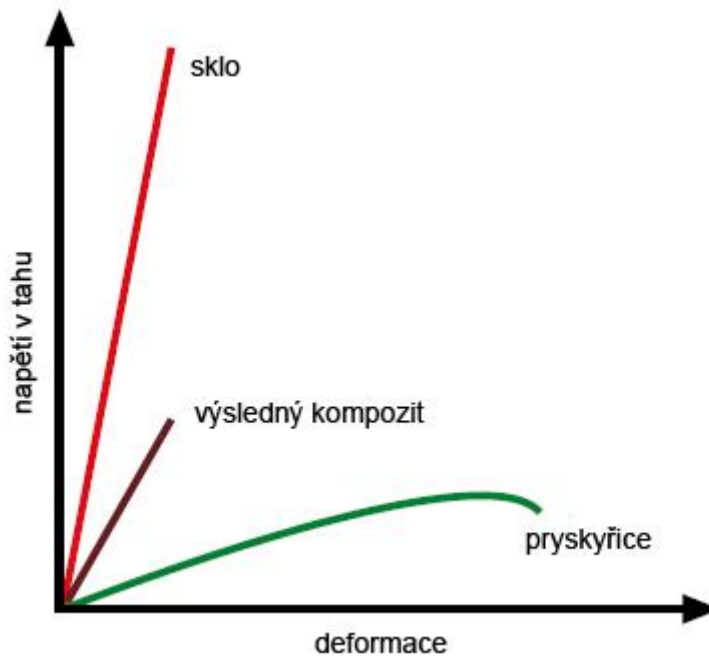
Teoretická část je zaměřena na rozdělení kompozitních materiálů s polymerní maticí a jejich aplikace. Dále je podrobně pojednáváno o gel-coatech, jejich zpracování a rozdělení dle materiálu a oblasti použití.

Praktická část se zabývá zkoumáním mechanických vlastností vybraných vzorků gelcoatů a jejich porovnání. Nakonec byly vybrány výrobky z praxe, kde je známa technologie výroby a u nichž vznikly nějaké defekty. Tyto defekty byly zdokumentovány a popsány příčiny jejich vzniku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITY

Kompozitní materiály jsou složeny ze dvou nebo více chemicky a fyzikálně odlišných složek. Tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka se nazývá výztuž. Spojitá a obvykle poddajnější složka, která zastává funkci pojiva výztuže, se nazývá matrice. Spojením těchto dvou a více složek získáme materiál, který vykazuje lepší vlastnosti než každá s těchto složek samostatně.



Obr. 1. Výsledná vlastnost kompozitu [1]

1.1 Vlastnosti kompozitních materiálů

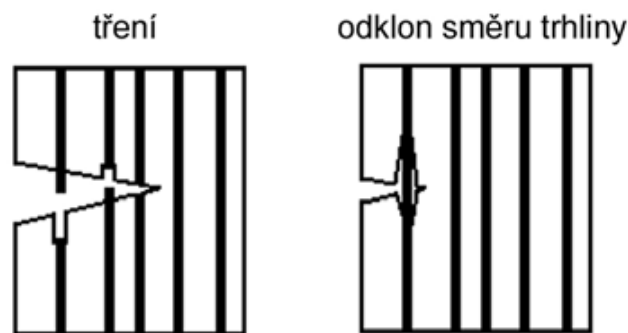
Přednosti kompozitních materiálů jsou především jejich vlastnosti oproti konvenčním materiálům používaných v technické praxi. Při aplikaci kompozitu namísto konvenčního materiálu získáme vyšší pevnost, tuhost a nižší hmotnost při zachování původních rozměrů součástí. Kompozitní materiály se při zátěži výrazně nedeformují. Většinou jejich mez elasticity odpovídá mezi pevnosti. Mají vysokou mez únavy a jsou stabilní. Kompozitní materiály mají vyšší ohnivzdornost v porovnání s používanými lehkými slitinami. Nevýhodou je, že jejich výpary mohou být toxické. Další nevýhodou kompozitů vyrobených s epoxidovou matricí je jejich citlivost na rozpouštědla. Kompozity stárnou v závislosti na prostředí jejich užívání a na vlastnostech povrchové úpravy (gelcoatu).

1.1.1 Synergický efekt

Výsledné aplikační vlastnosti kompozitu jsou podstatně lepší, než by odpovídalo procentuelnímu zastoupení matrice a plniva v kompozitu. Matematicky lze synergický efekt vyjádřit jako $1+1 \gg 2$. [2]

1.1.2 Interakce trhlin

Poruchy vláken i matrice mohou být čtenější a přesto nevedou ke katastrofickému lomu. Křehká trhlina v matrici se totiž po interakci s vláknem šíří přednostně podél rozhraní vlákna a matrice. U křehkých matric s malým mezním prodloužením (keramické a grafitové matrice) se tento proces podporuje povrchovou úpravou vláken, která zmenší adhezi matrice k vláknu. [3]



Obr. 2. Šíření trhlin [4]

1.2 Přírodní kompozity

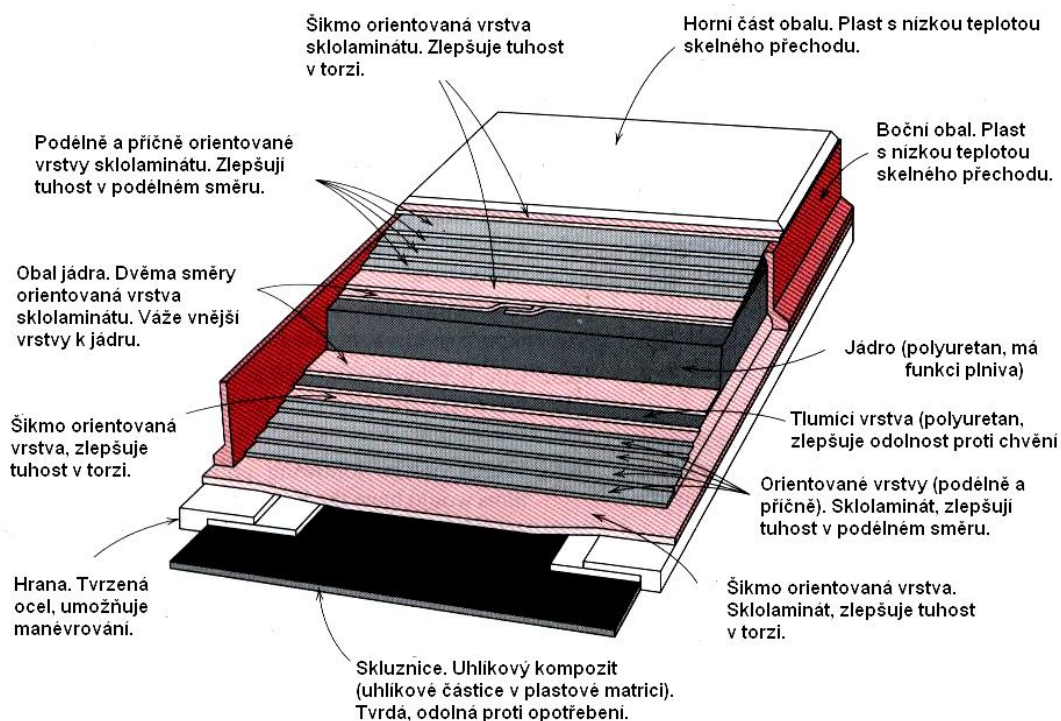
I v přírodě se můžeme setkat s kompozity, aniž bychom si to uvědomovaly. Do takzvaných přírodních kompozitů patří dřevo, kosti, peří, bambus nazývaný též jako skleněné vlákno přírody, svaly, tkáně a další. V přírodě lze totiž nalézt materiály výhradně na bázi kompozitu. Bezdefektní a homogenní materiály se v přírodě vyskytují jen zřídka.

1.3 Historie

Člověk nevědomě vyráběl kompozitní materiály již dávno. Ve starém zákoně je popsána výroba sušených cihel, které byly vyráběny z jílu promíseného se sušenou slámou. Vlákna slámy zabraňovala křehkému lomu cihel a odváděla vlhkost zevnitř. V dnešní době je vývoj kompozitů velmi dynamický z důvodu šetření hmotnosti a tím i menší energetické náročnosti. Největší pokroky ve vývoji kompozitních materiálů jsou v letectví a vojenské technice. S větší výrobou těchto materiálů se snižuje i jejich cena a tak se tyto materiály dostávají i do běžného života. Kompozitní materiály se hojně využívají ve sportu, designu ale i v lékařském odvětví.

1.4 Skladba kompozitu

Kompozity se skládají z matrice a výztuže. Dále podle aplikace kompozitu se používají další pomocné materiály, jako jsou plniva, povrchové ochrany, sendvičové jádra, inserty a další.



Obr. 3. Složení moderní laminátové lyže [5]

1.5 Matrice

1.5.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a dochází k objemovému smrštění o 5 až 9%. Vzhledem k nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké rychlosti vytvrzování a přiměřeně nízké ceně jsou UP-R v mnoha případech nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace. Mezi jejich výhody patří nízká cena, spolehlivost a dobrá odolnost proti povětrnosti. Mezi nevýhody patří působení styrenu na životní prostředí a velké smrštění při zpracování. [6]

1.5.2 Epoxidové pryskyřice (EP-R)

Epoxidové pryskyřice jsou za normální teploty kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přidané pomocné látky, např. rozpouštědla. Epoxidové pryskyřice patří mezi velmi hodnotné termosety s velice dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladu. Pouze 8% se zpracovává ve formě vyztužených kompozitů. Důležitými aplikačními oblastmi jsou zalévací hmoty pro elektroniku, výroba forem, nástrojů a různé povlaky, zejména pro práškové nanášení. Mezi výhody těchto pryskyřic patří vhodnost pro vysokopevnostní aplikace, odolnost proti teplotě a kyselinám a menší smrštění při zpracování 2 až 5%. Mezi nevýhody patří vyšší cena, jsou hůře zpracovatelné díky vyšší viskozitě a možné alergie při zpracování kapalných pryskyřic. [6]

1.6 Výztuže

1.6.1 Skelná vlákna

Důvodem širokého použití skelných vláken je jejich nízká cena, vysoká pevnost a dobrá tepelná a chemická odolnost. Mezi nevýhody patří jejich vysoká hustota, poměrně nízký modul pružnosti, nízká odolnost vůči vlhkosti a abrazi a dále jako u jiných typů vláken jejich špatná adheze k polymerní matici. [2]

1.6.2 Uhlíková vlákna

Uhlíkové vlákna patří mezi nejpevnější ale i nejdražší vlákna používané na výrobu polymerních kompozitů. V minulosti se používaly hlavně v leteckém a kosmickém průmyslu. Postupně byly aplikované do sportovního a automobilového odvětví. Navzdory jejich výjimečným vlastnostem a několikanásobnému poklesu ceny, je spotřeba uhlíkových vláken na výrobu polymerních kompozitů podstatně nižší jako spotřeba skelných vláken. [2]

1.6.3 Aramidová vlákna

Aromatické polyamidové vlákna (aramidy) patří mezi nejpevnější, ale nejdražší vlákna používané na výrobu polymerních kompozitů. Kompozity z těchto vláken mají vysokou odolnost proti proražení či prostřelení, což je předurčuje pro aplikace ve vojenském, ale i sportovním průmyslu. [2]

1.7 Plniva

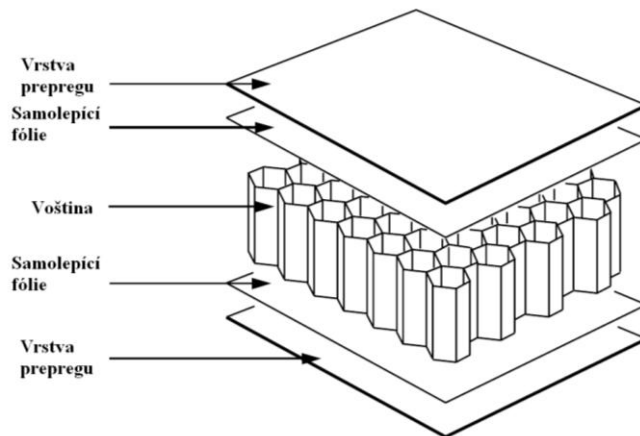
Jedná se o malé, pevné částice interních materiálů, které se přidávají do pojiva s cílem zvýšit pevnost, tvrdost, rozměrovou stálost, zlepšení zpracovatelnosti, snížení hořlavosti a také pro snížení ceny výrobku. Nejužívanějšími plnivy jsou uhličitán vápenatý, mastek, kaolin, křemenná moučka, písek aluminiumtrihydrát (snižuje hořlavost), kysličník hořečnatý (zahušťování SMC prepregů), vločky kysličníku hlinitého (estetické efekty) a další. Pro zvýšení tuhosti a snížení hmotnosti se pro některé aplikace jako plnivo používají duté skleněné mikrokuličky o průměru 20-100 μ . [7]

1.8 Povrchové ochrany

Jako povrchová ochrana se používá gel-coat na pohledovou stranu výrobku a top-coat na nepohledovou stranu výrobku pokud je požadavek na jeho jakost. Jelikož ne vždy vyhovuje gel-coat jako výsledný povrch, používá se dodatečné pigmentování a lakování povrchu. Tyto dodatečné povrchové ochrany zabezpečují chemickou odolnost, jakost povrchu, tlumení odrazu světla a další vlastnosti, které závisí na požití typu povrchové ochrany.

1.9 Sendvičové jádra

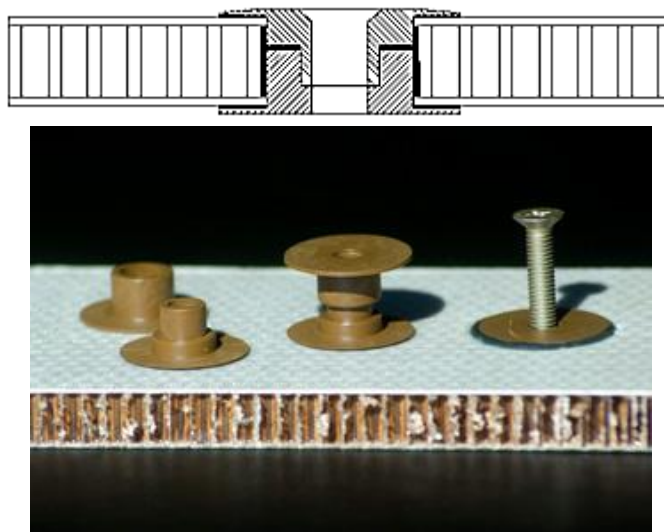
Používají se tam, kde je požadavek na vyšší tloušťku výrobku, nízkou hmotnost a jeho ohybovou tuhost. Jsou na bázi nejrůznějších pěn, voštin, dřeva a dalších materiálů. Při jejich aplikaci se ze zvětšující tloušťkou minimálně zvětšuje hmotnost, ale velmi zvětšuje ohybová tuhost.



Obr. 4. Použití voštiny v laminátech [8]

1.10 Inserty

Používají se na laminátových kompozitních výrobcích, u kterých je požadavek na umístění závitu, ocelového kolíku a podobných elementů. Do výrobku se vsazují při výrobě na předem určené místo na formě, nebo se vlisují do již hotového výrobku. Typické použití je ve voštinových podlahách dopravních letadel jako kotvící členy. [9]



Obr. 5. Použití insertu ve voštině [9]

2 GELCOAT

První vrstva na kompozitu o tloušťce 0,5-0,8 mm, která je v kontaktu s okolním prostředím. Gelcoat poskytuje tvrdý a často pigmentovaný povrch součástí. Ve výjimečných případech může být dekorován strukturou formy. Zabraňuje působení UV záření na samotný kompozit a tím prodlužuje jeho životnost. Nanáší se jako druhá vrstva na formu po separační vrstvě. Nanášení se provádí stěrkou, štětkou nebo pomocí speciální tlakové pistole. Speciální typy gelcoatů poskytují ochranu proti chemicky agresivnímu prostředí, osmóze, zvýšenému UV záření, hoření nebo popraskání.

Rozdělení gelcoatu dle materiálu je obdobné jako u pryskyřic. Epoxidové gelcoaty vynikají vysokou odolností vůči vodě, zvýšenou chemickou odolností v alkalickém prostředí a odolností vůči žloutnutí. Polyesterové gelcoaty jsou levné a nejčastěji používané. Vinylesterové jsou odolné v agresivním a korozivním prostředí.

2.1 Rozdělení gelcoatu dle aplikace

2.1.1 Univerzální gelcoaty

Patří mezi nejběžněji průmyslově používané gelcoaty. Jsou levné a používají se pro nenáročnou aplikaci, kde není potřebná zvýšená chemická a povětrnostní odolnost. Tyto výrobky jsou obvykle používány v interiérech. [10]

2.1.2 Snadno broušitelné a lakovatelné gelcoaty

Tyto gelcoaty jsou často plněny anorganickým plnivem a jsou optimalizovány pro další dodatečné broušení a lakování. Jsou odolné proti praskání a tvorbě trhlin. Často se vytvrzují v sušárnách a jejich použití je hlavně v automobilovém průmyslu do interiéru. [10]

2.1.3 Gelcoaty pro náročnou aplikaci

Gelcoaty v této skupině jsou odolné vůči chemickému prostředí, působení povětrnostních podmínek, žloutnutí, tepelným šokům a mechanickému namáhání. Zachovávají si dlouho barevnou stálost a celistvost. Těchto vlastností se dosahuje použitím nejrůznějších plniv a přísad. Výrobky ošetřeny těmito gelcoaty se uplatňují v medicínském prostředí, chemickém průmyslu, nejrůznější rezervoáry, bazény ale také jako imitace mramoru. [10]

2.1.4 Gelcoaty pro lodní průmysl

Jsou speciálně vyvinuté gelcoaty pro námořní průmysl jako povrchová ochrana kompozitních lodí. Jsou chemicky a tepelně odolné a stálé, nepodléhají nasákavosti a tvorbě bublinek na povrchu. Nejsou vhodné pro barvení z důvodu nízké adheze. Tato nízká adheze lodních gelcoatů zabezpečuje nízký odpor při plavbě. [10]

2.1.5 Antibakteriální gelcoaty

Tyto high-tech gelcoaty využívají antimikrobiální ionty kovu, které se postupně uvolňují a ničí mikroby. Výrobky jsou určeny pro vysoce hygienická pracoviště, jako jsou kuchyně, laboratoře a nemocnice. Antibakteriální gelcoaty firmy Poliya jsou schopny zlikvidovat 85% povrchových bakterií za 24 hodin. [10]

2.1.6 Gelcoaty se sníženou hořlavostí

U těchto gelcoatů jsou aplikovány retardéry hoření. Jsou ideální tam, kde není nutná chemická ani mechanická odolnost, ale požaduje se samozhášivost. Typické aplikace jsou v elektroprůmyslu, dopravě, spínacích skříních a tam kde hrozí samovolné vzplanutí. [10]

2.2 Příprava formy

Celý proces přípravy formy a nanášení gelcoatu by měl probíhat v komoře která je dobře odvětrávaná, osvětlená, bezprašná, relativní vlhkost by neměla přesahovat 70% a teplota by měla být v rozmezí 18-25 °C. Bezchybně vyrobená forma je předpokladem dokonalé vrstvy gelcoatu a vysoké kvality výrobku. Forma se musí před separací důkladně očistit od prachu a jiných nečistot. Separací prostředek se nanáší stříkáním nebo navoskováním. Zvláště při voskování se musí dbát na dokonalé rozleštění separačního vosku. V prostorách kde se tyto operace provádějí, se musí zachovat absolutní čistota a bezprašnost. [11]

2.3 Nanášení štětcem

Při nanášení štětcem je kvalita povrchu závislá na zručnosti pracovníka a jakosti štětce. Zásadně se vždy používají vysoce kvalitní štětce s dlouhým a měkkým vlasem určené pro lakování. Nanášení se provádí souvislými tahy štětce a snažíme se o dodržení konstantní tloušťky vrstvy. Jestliže nemůžeme dosáhnout požadované tloušťky 0,5-0,8 mm, aplikujeme druhou vrstvu na první vytvrzenou vrstvu. Během nanášení neustále kontrolujeme tloušťku vrstvy měrkou. [11]

2.4 Nanášení stříkáním

Při nanášení gelcoatu stříkáním je důležité, aby byla celá forma lehce přístupná a bylo možné nanést vrstvu v jedné operaci. Začne se stříkat vně formy a pohyb se vede přes její okraj směrem dovnitř. Stříkací pistoly je nutno držet kolmo k povrchu formy ve vzdálenosti 50-80cm. V místech kde nemůžeme tento požadavek dodržet (hluboké kapsy, nesnadno přístupné části), použijeme nanášení štětcem. Nástřík se provádí plynulým pohybem s překrytím 20% při stálé rychlosti tak, aby se vytvořila stejnoměrná vrstva po celé ploše formy. Následující stříkání se provádí vždy kolmo k předcházejícímu. Při nanášení se musí neustále kontrolovat tloušťka vrstvy pomocí měřky. [11]



Obr. 6. Nanášení gelcoatu stříkáním [12]

2.5 Pigmenty

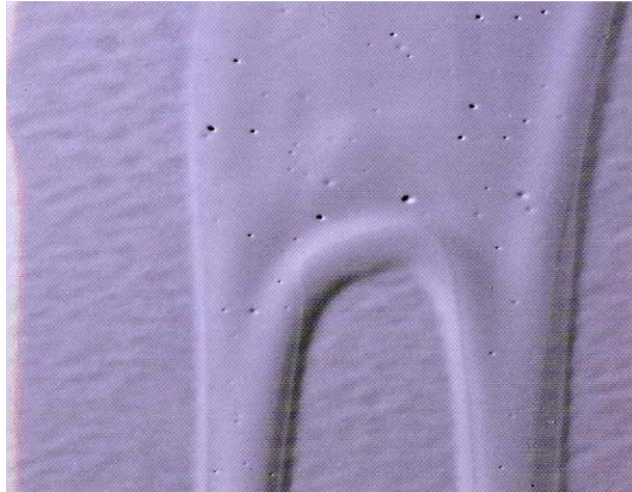
Užívají se pro probarvení gelcoatů na požadovaný odstín. Musí mít dostatečnou kryvost, aby požadovaného odstínu bylo dosaženo s minimálním přídavkem pigmentu, musí být dlouhodobě stabilní vůči UV záření a dalším povětrnostním vlivům, aby byla zaručena stálost odstínu. Z těchto hledisek jsou nejvhodnější anorganické pigmenty, většinou kyslíčnický různých kovů. V poslední době se však v řadě případů přechází na pigmenty organické, aby se vyloučilo znečišťování životního prostředí těžkými toxickými kovy jako je rtuť, olovo, chrom a molybden. Jako bílý pigment je téměř výlučně používána nezávadná titanová běloba.

2.6 Vady vznikající na gelcoatech

Při nedodržení technologických postupů, vznikají na gelcoatech vady. Tyto vady mají za následek vizuální nedokonalost a v horších případech i poškození stavby kompozitu při špatné povrchové ochraně. Vady můžeme rozdělit do dvou velkých skupin. První skupina vad vzniká již při výrobě a to především nedodržením správných technologických postupů. Druhá skupina vad vzniká při používání výrobku. Tyto vady vznikají nesprávným používáním a degradací materiálu. Hranice mezi těmito skupinami je nepatrná a některé vady mohou vznikat i při správném užívání, pokud nebyl dodržen správný technologický postup výroby. Pokud se například zanedbá při výrobě správné množství UV stabilizátoru, může gelcoat degradovat dříve než je životnost výrobku.

Stékání gelcoatu (sagging)

- Příčina:
- Nadměrná vrstva gelcoatu
 - Technika stříkání
 - Vysoký tlak stříkání
 - Pomalá želatinace



Obr. 7. Stékání gelcoatu (sagging) [13]

Viditelná vlákna (fibre pattern)

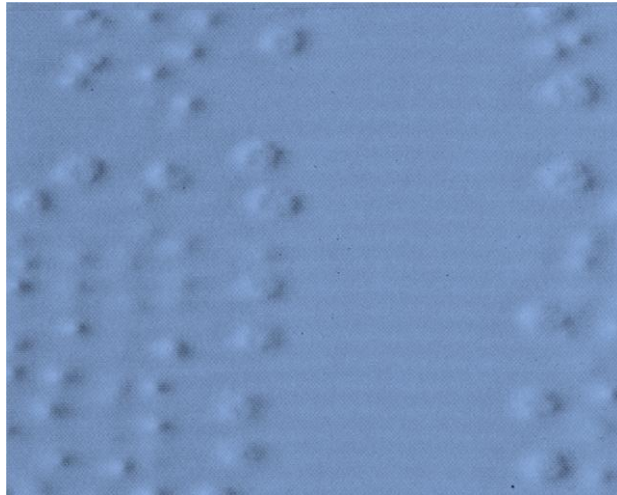
- Příčina:
- Slabá vrstva gelcoatu
 - Nedostatečně vytvrzený gelcoat, předčasné přelaminování
 - Příliš silné válečkování



Obr. 8. Viditelná vlákna (fibre pattern) [13]

Rybí oka (fish eyes)

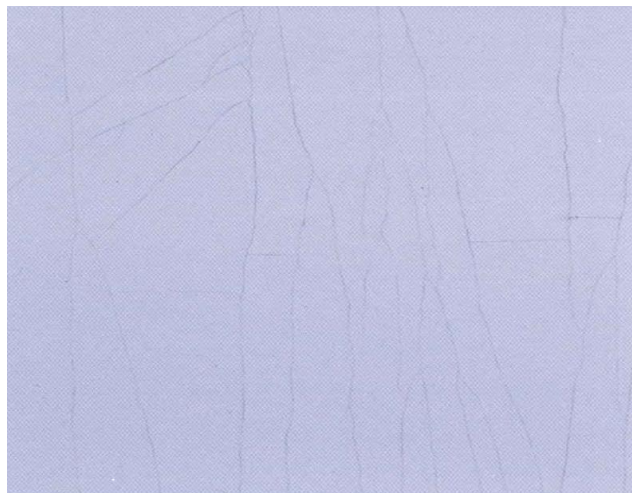
- Příčina:
- Statická elektřina na povrchu formy
 - Špatný separátor
 - Prach a špína na formě, voda nebo kontaminace mazivem
 - Příliš slabá vrstva gelcoatu



Obr. 9. Rybí oka (fish eyes) [13]

Praskání (cracking)

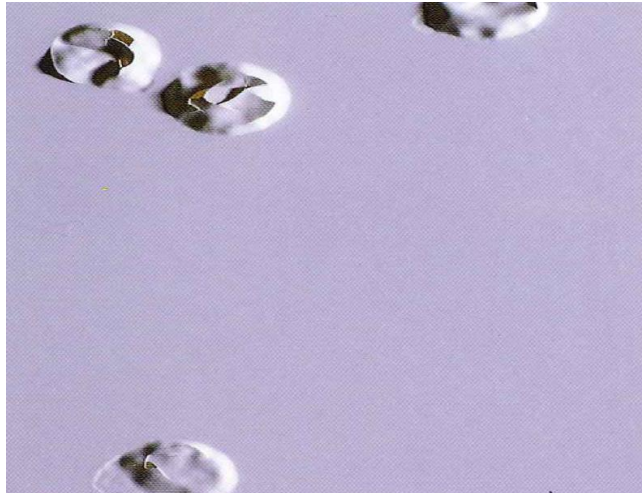
- Příčina:
- Příliš silná vrstva gelcoatu
 - Násilné vyjmutí z formy
 - Příliš tenká vrstva vlastního laminátu



Obr. 10. Praskání (cracking) [13]

Puchýře (blisters)

- Příčina:
- Kapky katalyzátoru na gelcoatu
 - Voda, kontaminované rozpouštědlo
 - Nečistota na vláknech (voda, olej, prach)



Obr. 11. Puchýře (blisters) [13]

Kráterky (craters)

- Příčina:
- Nízká teplota gelcoatu
 - Nedostatečně vyleštěná nebo špinavá forma
 - Prudké vmíchání katalyzátoru
 - Nesprávně fungující stříkací zařízení, vysoký tlak stříkání



Obr. 12. Kráterky (craters) [11]

Malý lesk (matt)

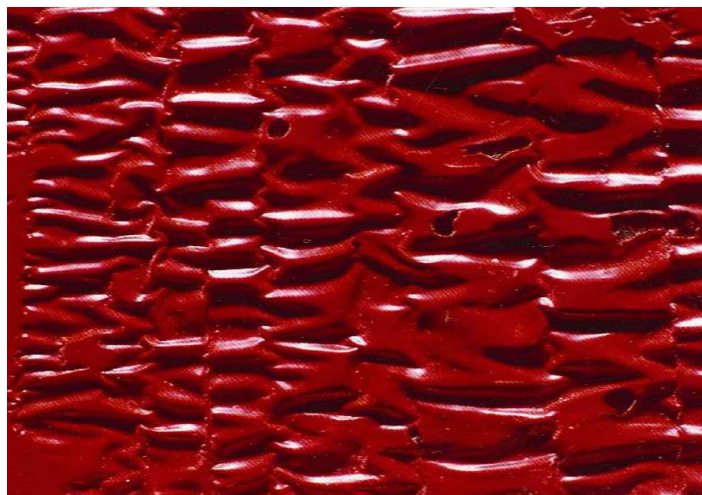
- Příčina:
- Nekvalitní forma
 - Prach a nečistota na povrchu, nedostatečná příprava formy
 - Samovolné uvolnění gelcoatu od formy
 - Nevytvrzený gelcoat



Obr. 13. Malý lesk (matt) [11]

Zvrásnění (wrinkling)

- Příčina:
- Příliš slabá nebo nerovnoměrná vrstva gelcoatu
 - Příliš nízká teplota okolí, nebo gelcoatu
 - Dodatečné přestříkávání, nebo předčasné přelaminování



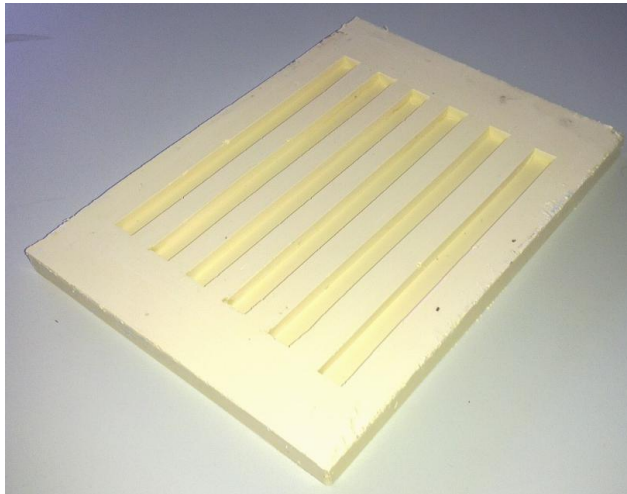
Obr. 14. Zvrásnění (wrinkling) [11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Vzorky byly připraveny ve formě zkušebních tyčinek. Tyto tyčinky byly zaformovány a odlity do silikonové formy, která nám zajistila snadné vyjmutí tyčinek po vytvrzení gelcoat-u.

Forma byla před každým litím dokonale očištěna, abychom zamezily nežádoucím příměsím materiálů od předešlých vzorků. Pak byl připraven samotný gelcoat, který byl dokonale promíchán v původním obalu. Do mísicí nádoby byl nalit připravený gelcoat a zvážen. Jako činidlo bylo použito 2 hmotnostní % MEKP. Po vytvrzení byly tyto vzorky vyjmuty a začištěny pomocí smirkového papíru na konečný tvar.



Obr. 15. Připravená forma



Obr. 16. Vzorky po odformování

3.1 Forma

Forma pro výrobu vzorků byla zapůjčena od firmy FORM. Jedná se o silikonovou formu z dvousložkového kaučuku kondenzačního typu. Po smíchání hmoty s katalyzátorem dochází k vulkanizaci. Silikonová forma dovoluje jednoduché a rychlé odformování bez použití separátorů a taktéž snadné vyjmutí vzorků díky své pružnosti.

3.2 Použité materiály

Všechny gelcoaty byly použity od firmy AZELIS.

Číslo série	Gelcoat	Činidlo
1	SUNCOAT 900 BLANC 9010 FR	2 hm. % MEKP
2	GEL COAT 184 ROUGE 3020/M1	2 hm. % MEKP
3	GEL COAT 184 BLANC 9010	2 hm. % MEKP
4	GEL COAT 184-GRIS 7035	2 hm. % MEKP

Tab. 1. Použité materiály

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Vyrobené vzorky z vybraných materiálů byly podrobeny zkouškám na ohyb a na rázovou houževnatost. Zjišťování těchto vlastností je důležité, protože použití kompozitů s těmito gelcoaty je například u kapot dopravních prostředků, lodí, krytů transportních beden a dalších. U těchto aplikací dochází k mechanickému namáhání například rázy od odletujících kamenů, drobnými nárazy při manipulaci a je nutné, aby se tato vrstva gelcoatu výrazně nepoškodila a nedoformovala.

Z každého gelcoatu byly vyrobeny vzorky po deseti kusech pro každou zkoušku, aby vyhodnocené výsledky měly vypovídající hodnotu daného materiálu.

4.1 Zkouška ohybem

Statická zkouška ohybem se používá zejména pro zkoušení křehkých materiálů což gelcoat bezesporu je. Při zkoušce ohybem se zjišťuje největší průhyb v okamžiku porušení materiálu, který nám charakterizuje houževnatost materiálu. Zkušební vzorek se umístí na dvě podpěry se zaoblením R a vzdáleností L. Při zatížení zkušební vzorku uprostřed, je napětí rozloženo nerovnoměrně. Od maximálních hodnot napětí (tah, tlak) v povrchových vláknech klesá k nule u neutrální osy.

Zkouška byla provedena na univerzálním trhacím stroji ZWICK 1456 dle normy ČSN EN ISO 14125 v laboratoři Ústavu výrobního inženýrství za těchto podmínek. Rozměr použitých vzorků $a=4,9\text{mm}$, $b=10,8\text{mm}$ a $l=70\text{mm}$. Vzdálenost podpěr $L=64\text{ mm}$, zaoblení podpěr $R=5$ a rychlost čelistí 50 mm/min . Teplota okolí 23 °C .

Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456	
Maximální posuv příčnicku	800 mm/min
Snímače síly	2,5 a 20 kN
Teplotní komora	-80/+250 °C
TestExpert software	Tah/Ohyb/Tlak

Tab. 2. Technické údaje ZWICK 1456



Obr. 17. Zkouška ohybem

Série 1. SUNCOAT 900 BLANC 9010 FR			
n=10	\bar{x}	s	V_k
Rm [MPa]	55,27	4,1	7,42
$\epsilon_{Fmax.}$ [mm]	2,43	0,22	9,12
E [MPa]	3599,67	292,42	8,12

Tab. 3. Série 1. Zkouška ohybem

Série 2. GEL COAT 184 ROUGE 3020/M1			
n=10	\bar{x}	s	V_k
Rm [MPa]	50,8	5,17	10,19
$\epsilon_{Fmax.}$ [mm]	5,85	1,13	19,3
E [MPa]	2708,78	494,43	18,25

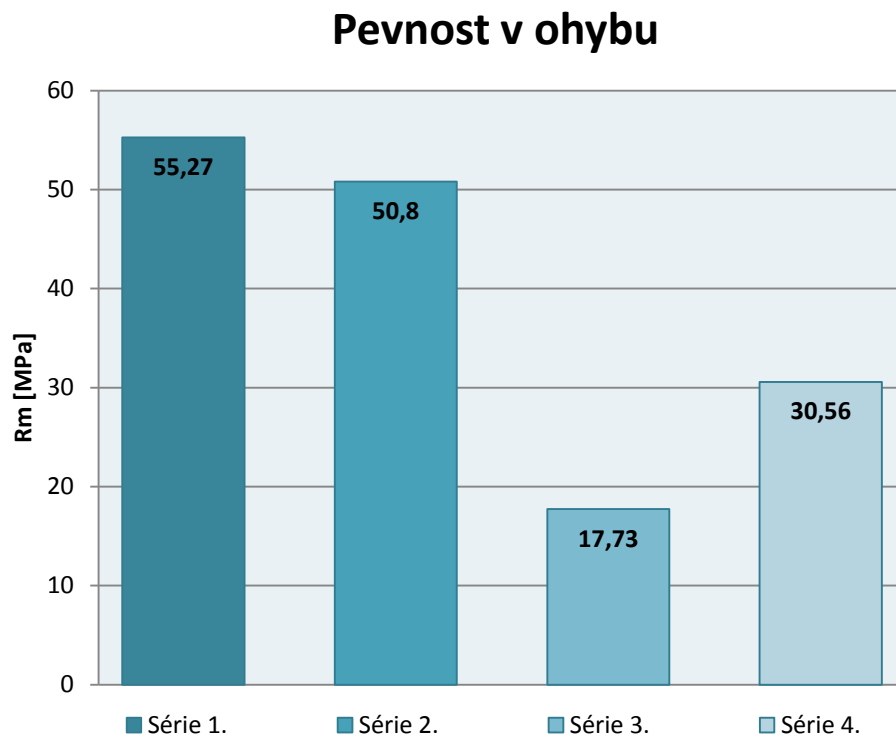
Tab. 4. Série 2. Zkouška ohybem

Série 3. GEL COAT 184 BLANC 9010			
n=10	\bar{x}	s	V_k
Rm [MPa]	17,73	1,31	7,39
$\epsilon_{Fmax.}$ [mm]	7,42	0,9	12,16
E [MPa]	839,62	69,43	8,27

Tab. 5. Série 3. Zkouška ohybem

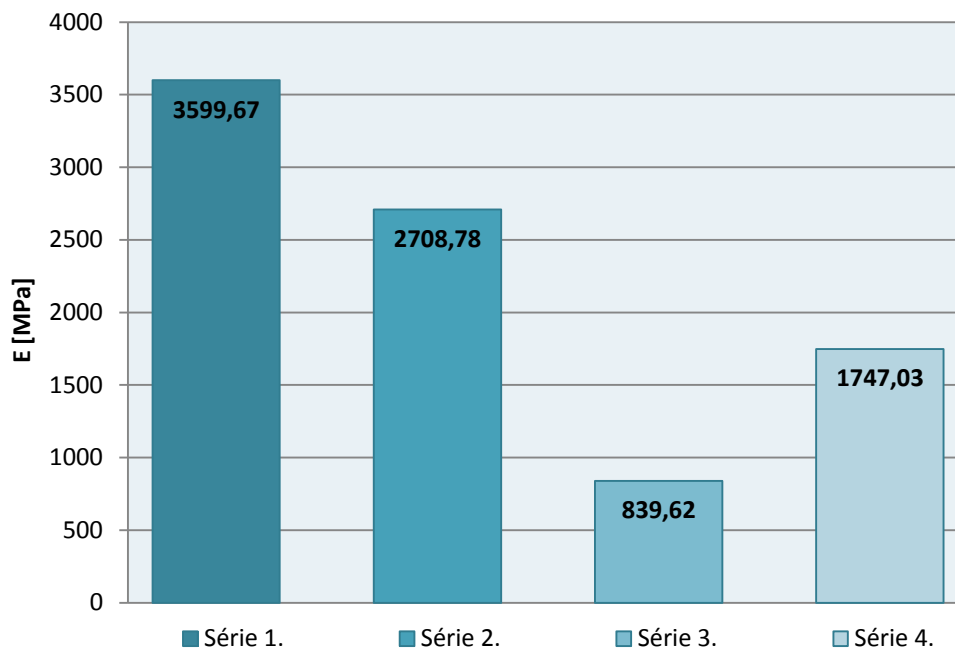
Série 4. GEL COAT 184-GRIS 7035			
n=10	\bar{x}	s	V_k
Rm [MPa]	30,56	2,81	9,2
$\epsilon_{Fmax.}$ [mm]	4,93	1,04	21,09
E [MPa]	1747,03	293,9	16,82

Tab. 6. Série 4. Zkouška ohybem



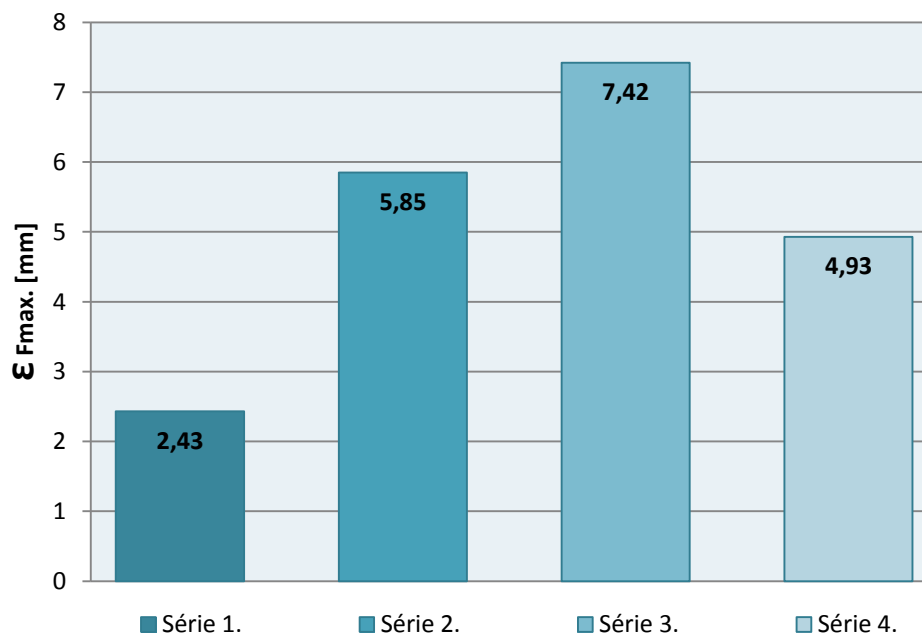
Obr. 18. Graf pevnosti v ohybu

Modul pružnosti



Obr. 19. Graf modulu pružnosti

Maximální průhyb před porušením



Obr. 20. Graf maximální průhyb před porušením

4.1.1 Diskuze výsledků zkoušky ohybem

Cílem měření gelcoatů v ohybu, bylo zjištění a porovnání vlastností jednotlivých sérií. U pevnosti v ohybu se nejlépe choval materiál série 1. (SUNCOAT 900 BLANC 9010 FR) $R_m=55,27$ MPa. Modul pružnosti je taktéž největší u série 1. $E=3599,67$ MPa. Při měření maximálního průhybu před porušením, se nejlépe choval materiál série 3 (GEL COAT 184 BLANC 9010). Jeho průhyb je před porušením $\varepsilon_{F_{max.}}=7,42$ mm. Celkové porovnání jednotlivých sérií je patrné z grafů.

4.2 Rázová zkouška houževnatosti

Zkouška rázové houževnatosti materiálu spočívá v namáhání tělesa rázem. To znamená, že působící síla na těleso je koncentrována do krátkého časového intervalu. To souvisí s vlastnostmi materiálu, schopností rychle absorbovat energii, tedy deformovat se určitou rychlostí. Na rozdíl od statického namáhání například v ohybu, kdy dojde k porušení materiálu až při extrémním průhybu, tak s rostoucí rychlostí namáhání se materiály stávají křehčími. To znamená, že k porušení materiálu dojde již při malém průhybu. Toto je důsledek toho, že některé rovnovážné pochody v materiálu nemají dostatek času k tomu, aby proběhly. Lomy, které se při pomalém namáhání jeví jako tažné, se mění na křehké.

Zkouška byla provedena na zkušebním zařízení CEAST Resil Impactor Junior v laboratoři Ústavu výrobního inženýrství dle normy ČSN EN ISO 179-2 (640612) za těchto podmínek. Rozměr použitých vzorků $a=5$ mm, $b=10$ mm a $l=70$ mm. Hmotnost kladiva 2,192 kg, délka kladiva 0,5 m, počáteční úhel kladiva 40° a nárazová energie 2,51 J. Teplota okolí 23°C .



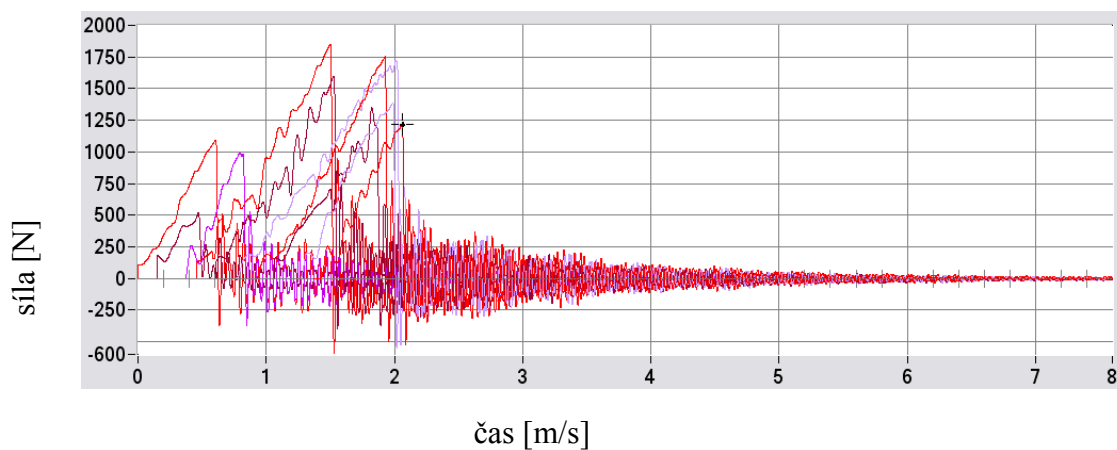
Obr. 21. Zkušební zařízení CEAST Resil Impactor Junior

Zkušební zařízení CEAST Resil Impactor Junior	
Hmotnost kladiva	2,192 kg
Délka ramene	0,5 m
Počáteční max. úhel	140°

Tab. 7. Technické CEAST Resil Impactor Junior

Série 1. SUNCOAT 900 BLANC 9010 FR			
n=10	F_m [N]	A_m [kJ/m ²]	A_b [kJ/m ²]
1	1091,49	5,96	6,15
2	523,06	2,04	2,36
3	988,14	4,00	4,70
4	1845,20	11,78	11,99
5	1594,38	10,26	10,53
6	1721,68	11,85	12,07
7	1751,93	11,03	11,24
8	1349,87	7,95	8,91
9	1386,42	9,06	9,27
10	1213,75	7,04	7,27
\bar{x}	1346,59	8,10	8,45
s	388,07	3,18	3,11

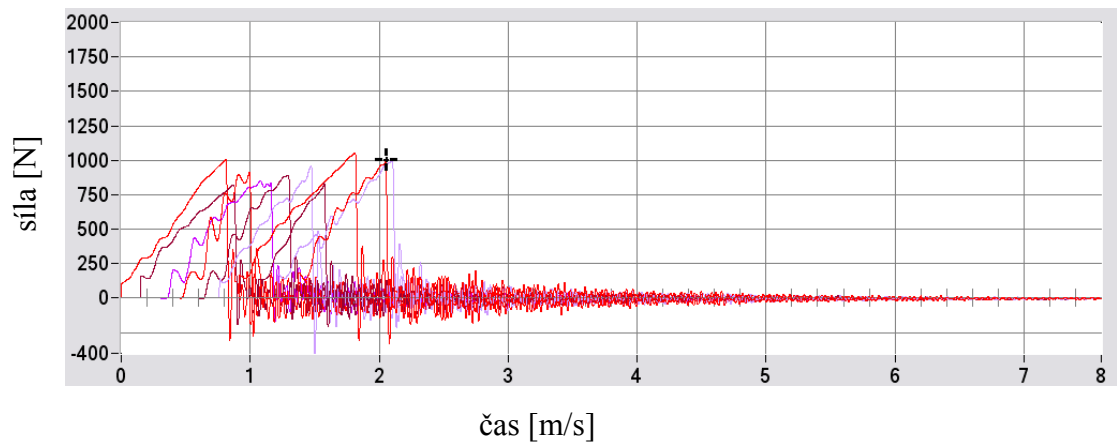
Tab. 8. Rázová houževnatost série 1.



Obr. 22. Grafické vyhodnocení série 1.

Série 2. GEL COAT 184 ROUGE 3020/M1			
n=10	F_m [N]	A_m [kJ/m ²]	A_b [kJ/m ²]
1	1002,00	7,75	7,95
2	823,03	6,70	6,90
3	852,02	6,44	7,69
4	916,30	4,97	5,17
5	891,09	6,14	6,39
6	956,63	6,81	7,03
7	1053,68	9,08	9,31
8	834,37	4,65	4,84
9	998,22	8,40	8,61
10	1008,30	7,29	7,46
\bar{x}	933,56	6,82	7,14
s	77,60	1,32	1,33

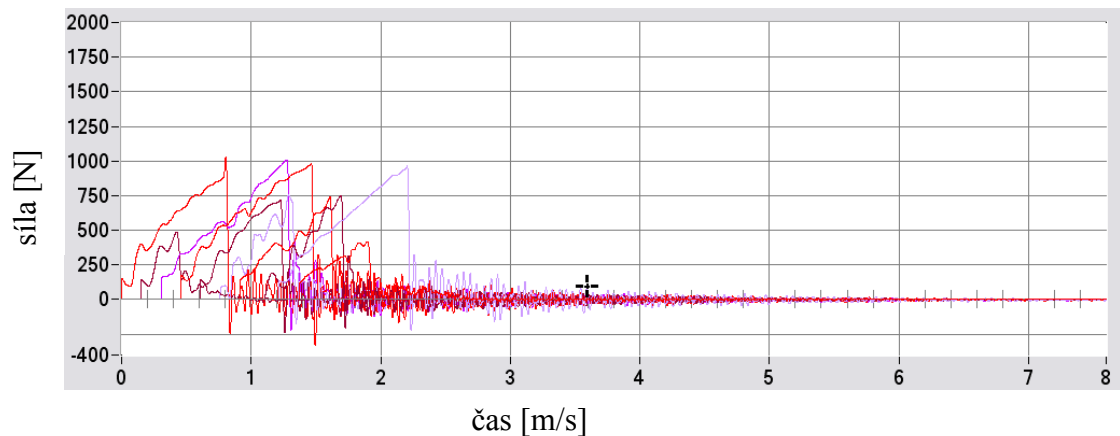
Tab. 9. Rázová houževnatost série 2.



Obr. 23. Grafické vyhodnocení série 2.

Série 3. GEL COAT 184 BLANC 9010			
n=10	F_m [N]	A_m [kJ/m ²]	A_b [kJ/m ²]
1	1025,95	7,86	8,08
2	487,77	1,58	2,46
3	1009,57	8,91	9,14
4	981,84	9,55	9,70
5	715,90	5,36	5,54
6	753,71	3,86	4,39
7	744,89	5,31	5,49
8	749,93	4,42	4,62
9	965,45	9,02	9,17
10	418,45	2,83	3,05
\bar{x}	785,34	5,87	6,16
s	202,75	2,67	2,53

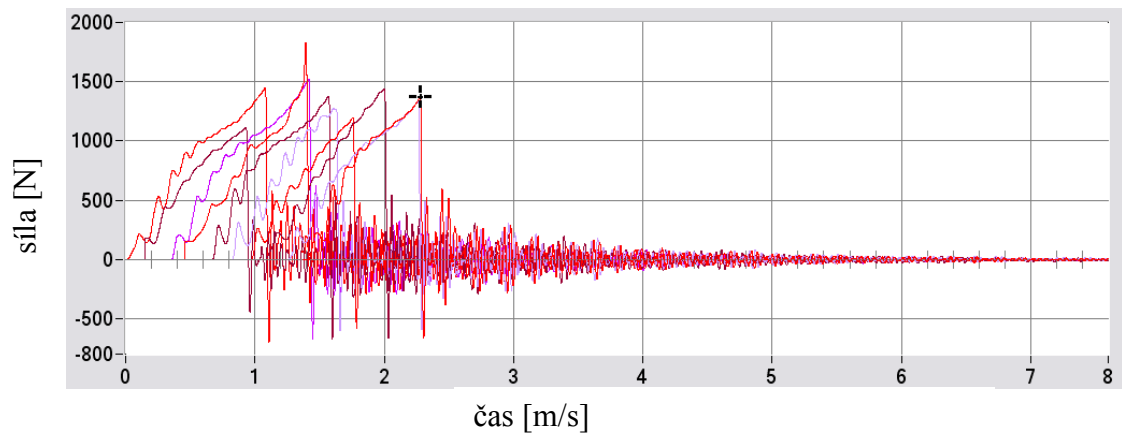
Tab. 10. Rázová houževnatost série 3.



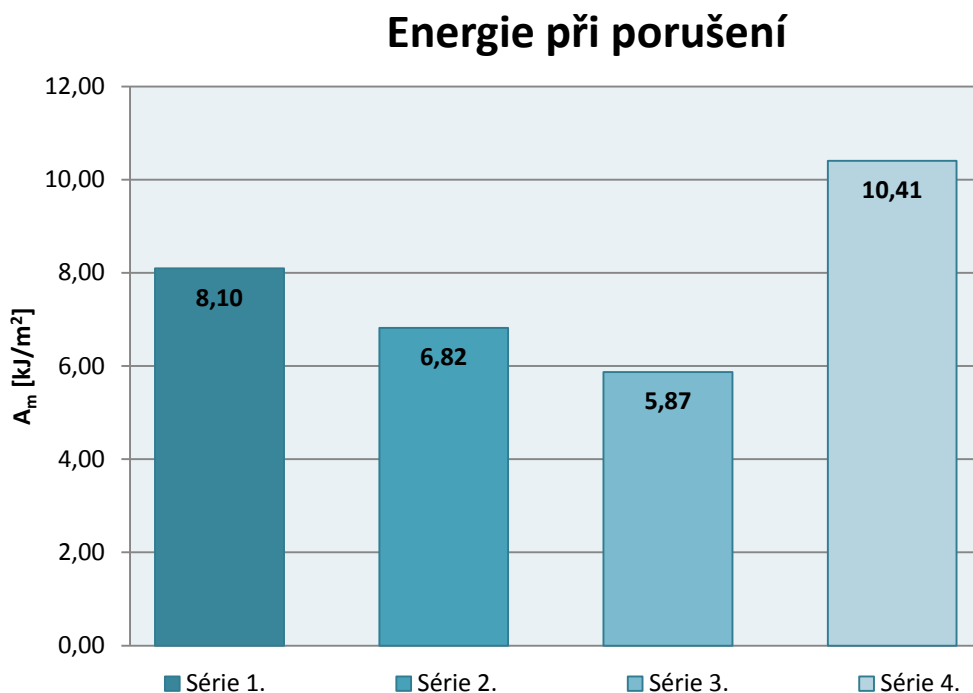
Obr. 24. Grafické vyhodnocení série 3.

Série 4. GEL COAT 184-GRIS 7035			
n=10	F_m [N]	A_m [kJ/m ²]	A_b [kJ/m ²]
1	1446,92	11,63	11,78
2	1109,14	9,01	9,21
3	1516,24	11,98	12,12
4	1831,33	10,56	10,84
5	1375,08	10,94	11,10
6	1275,51	8,99	9,55
7	1193,58	8,74	8,95
8	1436,83	10,36	10,53
9	1329,70	11,35	11,50
10	1371,29	10,50	10,67
\bar{x}	1388,56	10,41	10,62
s	187,33	1,09	1,03

Tab. 11. Rázová houževnatost série 4.



Obr. 25. Grafické vyhodnocení série 4.



Obr. 26. Graf energie při porušení

4.2.1 Diskuze výsledků rázové zkoušky houževnatosti

Rázová zkouška houževnatosti slouží jako porovnání jednotlivých sérií materiálů proti vnikání tělesa vysokou rychlostí. Nejlépe se choval materiál série 4. (GEL COAT 184-GRIS 7035). U tohoto materiálu dosahovala maximální energie potřebná k přeražení zkušební vzorku $A_m=10,41$ kJ/m². Jako nejslabší materiál se chovala série 3. (GEL COAT 184 BLANC 9010). Zde dosahovala maximální energie potřebná k přeražení vzorku hodnotu $A_m=5,87$ kJ/m². Celkové srovnání jednotlivých sérií je dobře patrné z grafu.

5 IDENTIFIKACE DEFEKTŮ GELCOATOVE VRSTVY

V této části se zaměřím na určení defektů výsledné vrstvy gelcoatu po odformování. Jedná se o výrobky z provozu. Tyto vzorky poskytla firma FORM. Určení typu vady a její příčiny, by mělo vést k zdokonalení technologie výroby a vyvarování se neshodných výrobků.



Obr. 27. Defekt vzorku č. 1.

Typ defektu: Praskání (cracking)

Technologie zpracování: RTM-stříkaný gelcoat

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Jedna z možností vzniku této vady je nesprávná tloušťka vrstvy gelcoatu. A to jak příliš slabá tak i silná. Abychom dodržely potřebnou tloušťku vrstvy je zapotřebí důsledně kontrolovat tyto kritická místa pomocí speciální měřky. Další a pravděpodobnější příčinou vzniku je neopatrné odformování. Při vyjímání z formy dochází k deformaci výrobku. Na místech jako jsou rohy a složitější tvarové plochy dochází k napětí v gelcoatu, což má za následek praskání. Řešením tohoto problému je opatrné vyjmutí z formy a zabezpečit minimální deformaci výrobku při odformování.



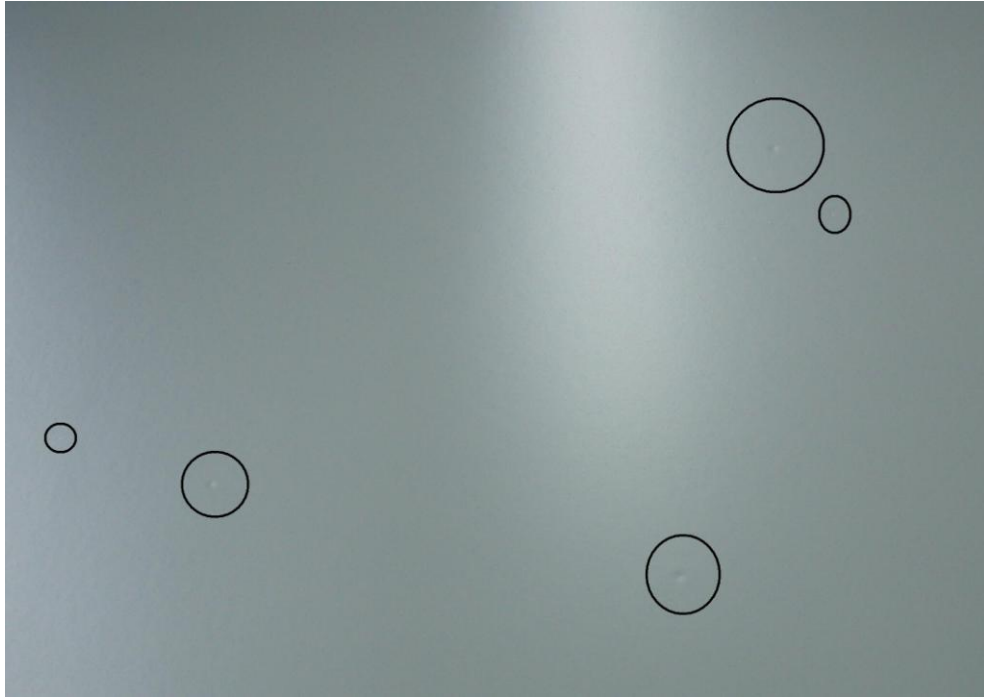
Obr. 28. Defekt vzorku č. 2.

Typ defektu: Viditelná vlákna (fibre pattern)

Technologie zpracování: Ruční laminace-stříkaný gelcoat

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Pro vznik této vady jsou tři hlavní předpoklady. Jako první a nejvíc pravděpodobný je nedostatečně vytvrzený gelcoat. Zde je nutné lépe pohlídat gel-time aby nedocházelo k vystupování vláken. Druhou příčinou je silné válečkování. Pokud není gelcoat dostatečně vytvrzený (lepkaví), dochází při válečkování i tak k vystupování vláken. Při válečkování je nutné dbát na konstantní přítlak po celé zpracovávané ploše. Poslední možností vzniku vady je slabá vrstva gelcoatu. Tuto vrstvu je potřebné v kritických místech kontrolovat při nanášení gelcoatu.



Obr. 29. Defekt vzorku č. 3.

Typ defektu: Kráterky (craters)

Technologie zpracování: Ruční laminace-stříkaný gelcoat

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Tento typ defektů je typický pro gelcoaty s vyšší viskozitou (např. samozhášivé gelcoaty). Další nevhodná situace nastává, když gelcoat nemá dostatečnou teplotu zpracování a případné bublinky nemají díky vyšší viskozitě možnost uniknout. Příčiny vzniku kráterků jsou také nesprávně seřízené stříkací zařízení, prudké vmíchání katalyzátoru nebo nízká teplota gelcoatu. Dalším nejčastějším problémem vzniku kráterků je nečistá forma s mastnotami. Při každé aplikaci separátoru musí být forma dokonale očištěna a odmaštěna. Dále se musí dbát na dokonalé rozleštění separátoru po povrchu formy. Pracovní prostředí při nanášení gelcoatu musí být čisté a bezprašné. Jakékoliv nečistoty v pracovním prostředí mají za následek vznik defektů.



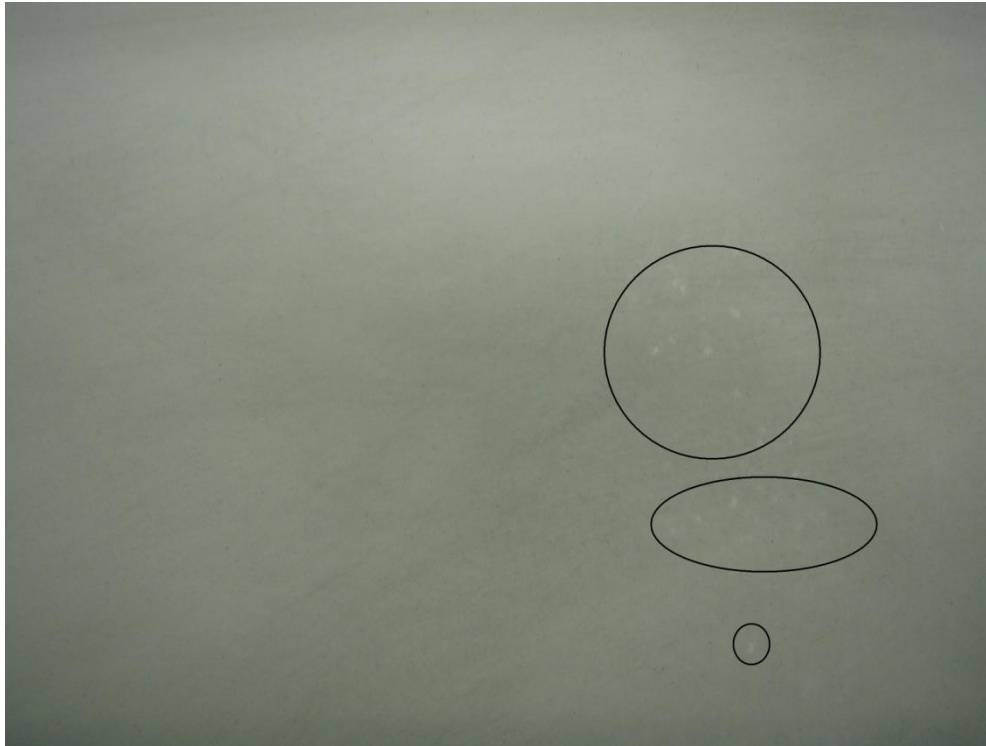
Obr. 30. Defekt vzorku č. 4.

Typ defektu: Vystupující pryskyřice (protruding resin)

Technologie zpracování: Ruční laminace-stříkaný gelcoat

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Zde je nejčastější příčinou vzniku defektu slabá vrstva gelcoatu. Je zapotřebí kontrolovat tato kritická místa již při aplikaci gelcoatu pomocí měrky. Nejčastěji se v tomto případě jedná o bodový defekt. V tomto konkrétním případě se jedná nejpravděpodobněji o lokální nečistotu, nebo vměstek z plochy formy. Je nutné, aby při zpracování a nanášení gelcoatu byla zachována absolutní čistota prostředí.



Obr. 31. Defekt vzorku č. 5.

Typ defektu: Rybí oka (fish eyes)

Technologie zpracování: Ruční laminace-stříkaný gelcoat

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Hlavní příčina defektu je přeseparovaná forma. Je to defekt, který se často taktéž vyskytuje na nových formách. Pokud je příčina defektů nová forma, tak po výrobě několika kusů tato vada ustoupí. Vadu je taktéž možné odstranit použitím separátoru s menším kluzem. Dalším nejčastějším problémem vzniku rybích očí je nečistá forma s mastnotami. Při každé aplikaci separátoru musí být forma dokonale očištěna a odmaštěna. Dále se musí dbát na dokonalé rozleštění separátoru po povrchu formy.



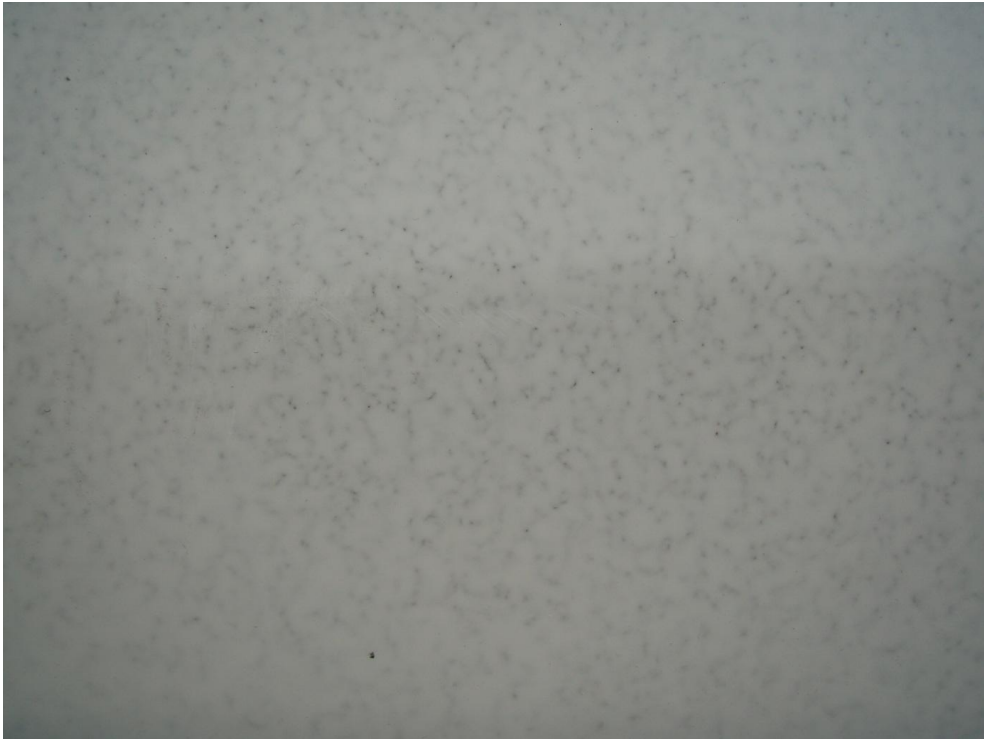
Obr. 32. Defekt vzorku č. 6.

Typ defektu: Krokodýlí efekt (crocodile effect)

Technologie zpracování: Ruční laminace

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Příčinou vzniku tohoto defektu je nedostatečně vytvrzený gelcoat respektive brzké laminování. Taktéž tuto vadu způsobuje nedostatečná vrstva gelcoatu. Často se stává, že prostoupí laminovací pryskyřice přes poškozenou vrstvu gelcoatu až na povrch výrobku.



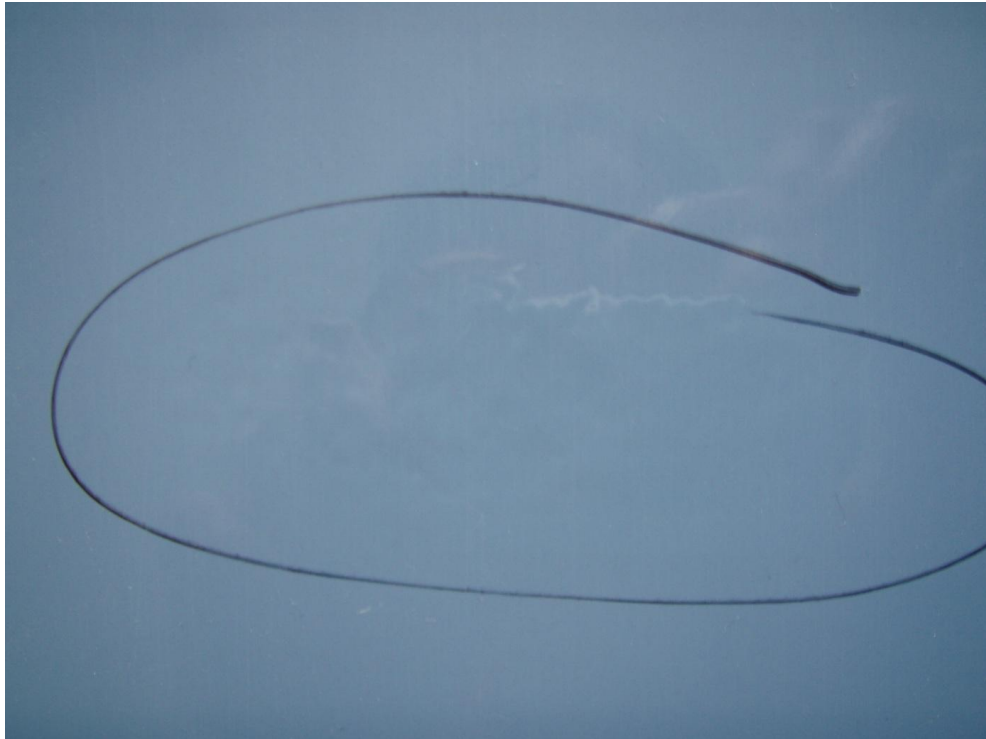
Obr. 33. Defekt vzorku č. 7.

Typ defektu: Prosvítání pryskyřice (showing resin)

Technologie zpracování: Ruční laminace-stříkaný gelcoat

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Nesouvislá vrstva gelcoatu. Podobná vada jako při defektu vystupující pryskyřice ale plošného charakteru. Vada se dá odstranit důsledným sledováním tloušťky vrstvy gelcoatu pomocí měrky.



Obr. 34. Defekt vzorku č. 8.

Typ defektu: Zvrásnění (wrinkling)

Technologie zpracování: Vakuová infuze

Příčiny vzniku vady a jejich odstranění:

Příčinou tohoto konkrétního defektu je suché místo v laminátu neboli nedostatečně prosycený laminát. Základní příčinou vzniku těchto vad je nedostatečná hodnota vakua. Únik vakua má za následek proudění vzduchu do laminátu a následný vznik vzduchové bubliny v laminátu. Gelcoat nemá pevný základ a tudíž je zvrásněný.

ZÁVĚR

V teoretické části práce jsem se věnoval základnímu rozdělení kompozitů s polymerní matricí a jejich rozdělení dle materiálu. Dále byly popsány gelcoaty, jejich vlastnosti, důležitost ve skladbě kompozitu a rozdělení dle použití. Dále byla popsána technologie zpracování gelcoatu a jeho aplikace. Jedna část teoretického bloku byla věnována vadám gelcoatů, jejich vizuální identifikaci a příčinám vzniku.

Praktická část byla rozdělena do dvou bloků. Cílem prvního bloku bylo porovnání mechanických vlastností vybraných gelcoatů. Byly testovány čtyři vzorky materiálu. První zkouška se zabývala chováním při trojbodém ohybu a druhá zkouška se zabývala rázovou houževnatostí. Jednotlivé charakteristiky jsou popsány za každou zkouškou v praktické části. Grafické i číselné vyhodnocení je obsahem této práce. Cílem druhého bloku byla identifikace defektů gelcoatu na výročních z praxe. Tyto defekty byly vyfoceny a byl určen jejich název. Dále jsou popsány možné příčiny vzniku těchto defektů a možnosti jejich odstranění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Gurit* [online]. [cit. 2012-03-07]. Dostupný z URL: <<http://www.gurit.com/guide-to-composites.aspx>>
- [2] Liptáková, T.; Alexi, P.; Gondár, E.; Khunová, V.: *Polymérne technické materiály* [online]. [cit. 2012-02-20]. Dostupný z URL: <http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/10/polymerne_konstrukcne_materialy.pdf>
- [3] Ptáček, L.: *Nauka o materiálu II*. CERM, s.r.o., Brno, 2002.
- [4] Kořínek, Z.: *Kompozity*. [online]. [cit. 2012-02-13]. Dostupný z URL: <<http://www.volny.cz/zkorinek/>>
- [5] *Pedagogická fakulta MU katedra fyziky* [online]. [cit. 2012-03-07]. Dostupný z URL: <<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>>
- [6] Ehrenstein, G. W.: *Polymerní kompozitní materiály*. Scientia Praha, 2009.
- [7] *Havel Composites* [online]. [cit. 2012-01-05]. Dostupný z URL: <<http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popis-materialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>>
- [8] *Hexcel Prepreg technology* [online]. [cit. 2012-03-07]. Dostupný z URL: <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Prepreg_Technology.pdf>
- [9] *Manufacturer of High Tech Inserts & Clip Nuts* [online]. [cit. 2012-03-12]. Dostupný z URL: <<http://www.clipnuts.com/index.html>>
- [10] *Poliya Gelcoats* [online]. [cit. 2012-02-13]. Dostupný z URL: <<http://www.poliya.net/products/polijel/>>
- [11] LSE gelcoats.: *Návod na manipulaci s gelcoaty* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupný na vyžádání z URL: <<http://www.ashland.com/products/maxguard-gelcoats>>
- [12] *Graco řešení pro práci s kapalinami* [online]. [cit. 2012-02-13]. Dostupný z URL: <http://gww.graco.com/file/602/779/frp_gelcoat_app_2.jpg>
- [23] *Reilchhold* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupný na vyžádání z URL: <<https://www.reichhold.com/en/default.aspx>>

-
- [34] Jančář, J.: *Úvod do materiálového inženýrství kompozitu*. ÚCHM FCH VUT Brno, Brno, 1999.
- [15] Bareš, R. A.: *Kompozitní materiály*. SNTL Praha, 1988.
- [16] Reinhart, T. J.: *Engineered materials handbook*. Composites. Vol. 1., ASM INTERNATIONAL, 1987.
- [17] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{x}		Aritmetický průměr
R	[mm]	Poloměr zaoblení podpěr
L	[mm]	Vzdálenost podpěr
a	[mm]	Tloušťka zkušební vzorku
b	[mm]	Šířka zkušební vzorku
l	[mm]	Délka zkušební vzorku
n		Počet testovaných vzorků
s		Směrodatná odchylka
V_k		Variační koeficient
R _m	[MPa]	Pevnost v ohybu
$\mathcal{E}_{F_{max}}$	[mm]	Maximální průhyb před porušením
E	[MPa]	Modul pružnosti
F _m	[N]	Maximální hodnota rázové síly
A _m	[kJ/m ²]	Energie potřebná k přeražení tělesa
A _b	[kJ/m ²]	Celková energie
UP-R		Unsaturated polyester resin
EP-R		Epoxy resin
MEKP		Methyl ethyl ketone peroxide

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Výsledná vlastnost kompozitu [1]</i>	12
<i>Obr. 2. Šíření trhlin [4]</i>	13
<i>Obr. 3. Složení moderní laminátové lyže [5]</i>	14
<i>Obr. 4. Použití voštiny v laminátech [8]</i>	17
<i>Obr. 5. Použití insertu ve voštině [9]</i>	17
<i>Obr. 6. Nášení gelcoatu stříkáním [12]</i>	20
<i>Obr. 7. Stékání gelcoatu (sagging) [13]</i>	22
<i>Obr. 8. Viditelná vlákna (fibre pattern) [13]</i>	22
<i>Obr. 9. Rybí oka (fish eyes) [13]</i>	23
<i>Obr. 10. Praskání (cracking) [13]</i>	23
<i>Obr. 11. Puchýře (blisters) [13]</i>	24
<i>Obr. 12. Kráterky (craters) [11]</i>	24
<i>Obr. 13. Malý lesk (matt) [11]</i>	25
<i>Obr. 14. Zvrásnění (wrinkling) [11]</i>	25
<i>Obr. 15. Připravená foma</i>	27
<i>Obr. 16. Vzorky po odformování</i>	27
<i>Obr. 17. Zkouška ohybem</i>	30
<i>Obr. 18. Graf pevnosti v ohybu</i>	31
<i>Obr. 19. Graf modulu pružnosti</i>	32
<i>Obr. 20. Graf maximální průhyb před porušením</i>	32
<i>Obr. 21. Zkušební zařízení CEAST Resil Impactor Junior</i>	33
<i>Obr. 22. Grafické vyhodnocení série 1.</i>	34
<i>Obr. 23. Grafické vyhodnocení série 2.</i>	35
<i>Obr. 24. Grafické vyhodnocení série 3.</i>	36
<i>Obr. 25. Grafické vyhodnocení série 4.</i>	37
<i>Obr. 26. Graf energie při porušení</i>	38
<i>Obr. 27. Defekt vzorku č. 1.</i>	39
<i>Obr. 28. Defekt vzorku č. 2.</i>	40
<i>Obr. 29. Defekt vzorku č. 3.</i>	41
<i>Obr. 30. Defekt vzorku č. 4.</i>	42
<i>Obr. 31. Defekt vzorku č. 5.</i>	43
<i>Obr. 32. Defekt vzorku č. 6.</i>	44

<i>Obr. 33. Defekt vzorku č. 7.</i>	45
<i>Obr. 34. Defekt vzorku č. 8.</i>	46

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Použité materiály</i>	28
<i>Tab. 2. Technické údaje ZWICK 1456</i>	29
<i>Tab. 3. Série 1. Zkouška ohybem</i>	30
<i>Tab. 4. Série 2. Zkouška ohybem</i>	30
<i>Tab. 5. Série 3. Zkouška ohybem</i>	30
<i>Tab. 6. Série 4. Zkouška ohybem</i>	31
<i>Tab. 7. Technické CEAST Resil Impactor Junior</i>	34
<i>Tab. 8. Rázová houževnatost série 1.</i>	34
<i>Tab. 9. Rázová houževnatost série 2.</i>	35
<i>Tab. 10. Rázová houževnatost série 3.</i>	36
<i>Tab. 11. Rázová houževnatost série 4.</i>	37

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Naměřená data-ohyb

PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÁ DATA-OHYB

		a	b	Rm	$\epsilon_{Fmax.}$	E
	n	mm	mm	MPa	mm	MPa
Série 1.	1	4,9	10,8	55,21	2,73	3378,5
	2	4,9	10,8	48,44	2,17	3298,49
	3	4,9	10,8	55,77	2,19	3983,91
	4	4,9	10,8	51,8	2,36	3322,03
	5	4,9	10,8	51,24	2,09	3773,52
	6	4,9	10,8	62,64	2,65	3874,96
	7	4,9	10,8	57,2	2,46	3575,87
	8	4,9	10,8	59,53	2,47	4042,59
	9	4,9	10,8	55,31	2,66	3381,78
	10	4,9	10,8	55,58	2,5	3365,1
Série 2.	11	4,9	10,8	40,94	3,77	2117,98
	12	4,9	10,8	46,84	4,38	2432,89
	13	4,9	10,8	46,64	5,87	2145,38
	14	4,9	10,8	51,24	6,07	2365,82
	15	4,9	10,8	52,95	5,61	2615,59
	16	4,9	10,8	53,97	7,44	2763,24
	17	4,9	10,8	47,58	7,14	2551,23
	18	4,9	10,8	57,47	6,33	3448,75
	19	4,9	10,8	56,36	6,4	3334,4
	20	4,9	10,8	53,99	5,45	3312,55
Série 3.	21	4,9	10,8	21,09	9,35	856,73
	22	4,9	10,8	17,33	7,15	860,76
	23	4,9	10,8	17,99	6,93	854,01
	24	4,9	10,8	17,28	6,86	899,08
	25	4,9	10,8	16,97	6,58	840,88
	26	4,9	10,8	17,74	6,85	906,46
	27	4,9	10,8	18,45	6,94	919,33
	28	4,9	10,8	16,89	7,06	766,49
	29	4,9	10,8	17,04	7,91	797,67
	30	4,9	10,8	16,51	8,59	694,79
Série 4.	31	4,9	10,8	32,71	4,31	2068,13
	32	4,9	10,8	25,6	4,97	1255,66
	33	4,9	10,8	33,06	3,97	2169,09
	34	4,9	10,8	32,7	5,72	1636,09
	35	4,9	10,8	33,56	6,3	1900,2
	36	4,9	10,8	28,45	3,51	1736,58
	37	4,9	10,8	30,13	4,32	1910,74
	38	4,9	10,8	27,85	4,11	1625,92
	39	4,9	10,8	33,02	5,6	1833,12
	40	4,9	10,8	28,54	6,47	1334,77