

Adheze na rozhraní termoplast-kompozit u vstřikovaných dílů

Bc. Petr Křížek

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Petr Křížek
Osobní číslo:	T18311
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Adheze na rozhraní termoplast-kompozit u vstřikovaných dílů

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární řešení pro danou problematiku
2. Zhotovte zkušební tělesa a proveďte jejich kondicionaci
3. Proveďte experimentální mechanické zkoušky pro zvolené materiály
4. Vyhodnotte dosažené výsledky

Forma zpracování diplomové práce: **Tiská/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
KORINEK, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahrána do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá přilnavostí termoplastu na kompozitní laminát a jejich soudržnosti. Cílem teoretické části bylo popsat obecné rozdělení kompozitních materiálů a jejich technologie. Dále také konstrukce lepených dílů a spojení dvou materiálů na bázi termoplast a kompozit. Praktická část diplomové práce se skládá z přípravy výroby zkušebních tělísek na vstřikovací stroji a z měření pevnosti spojů na zkušebním trhacím stroji Zwick 1456. V neposlední řadě jsou výsledky měření porovnány a vyhodnoceny.

Klíčová slova: adheze, kompozitní materiál, uhlíkový prepreg, termoplast, vlákna, vstřikování

ABSTRACT

This master thesis deals with the adhesion of thermoplastics to composite laminates and their cohesion. The aim of the theoretical part is to describe the general division of composite materials and their technology. Further, the construction of glued parts and the connection of two materials based on thermoplastics and composites. The practical part of this master thesis consists of the preparation for the production of test specimens on an injection molding machine and the measurement of the strength of joints on a Zwick 1456 tensile testing machine. Last but not least, the results are compared and evaluated.

Keywords: Adhesion, composite material, carbon prepreg, thermoplastic, fibers, injection

Tímto bych chtěl velice rád poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborný přístup, vedení a ochotu při vypracovávání diplomové práce. Rád bych také poděkoval svým rodičům za trpělivost, pomoc a podporu při mém studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	14
1.1 HLAVNÍ ÚDAJE O KOMPOZITECH.....	14
1.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLU.....	15
1.2.1 Homogenita a nehomogenita.....	15
1.2.2 Izotropie a anizotropie.....	15
1.3 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA.....	16
1.3.1 Skleněná vlákna	17
1.3.2 Uhlíková vlákna	19
1.3.3 Aramidová vlákna	20
1.4 MATRICE – POJIVO	21
1.5 REAKTIVNÍ PRYSKYŘICE.....	22
1.5.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)	22
1.5.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)	23
1.5.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)	23
1.5.4 Fenolické pryskyřice (PF-R).....	23
1.6 TERMOPLASTY	24
1.6.1 Termoplasty vyztužené krátkými vlákny	24
1.6.2 Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny	24
1.6.3 Termoplastická matrice	25
1.7 TECHNOLOGIE A VLASTNOSTI PREPREGŮ	25
1.8 METODY VÝROBY PREPREGŮ	27
1.8.1 Výroba pomocí rozpouštědla	27
1.8.2 Výroba pomocí horké taveniny	27
1.8.3 Výroba prepregů pomocí SMC (Sheet Moulding Compound)	28
1.8.4 Výroba prepregů práškovou metodou	28
2 TECHNOLOGIE LEPENÉHO SPOJE	29
2.1 TEORIE KOHEZE A ADHEZE	29
2.1.1 Mechanická teorie adheze	30
2.1.2 Chemická teorie adheze	30
2.1.3 Elektrostatická teorie adheze.....	30
2.1.4 Difuzní teorie adheze	31
2.1.5 Fyzikální teorie adheze	31
2.2 MĚŘENÍ ADHEZE NA KOMPOZITECH.....	31
2.2.1 Přímé měření adheze	31
2.2.2 Scratch test	32
2.2.3 Mřížkový test	32

3	VLIVY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU LEPENÉHO SPOJE A KONTAKTNÍHO ÚHLU SMÁČENÍ	33
3.1	VLIV LEPENÉHO SPOJE MATERIÁLU NA VLASTNOSTI SPOJE	33
3.1.1	Geometrie povrchu	33
3.2	VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ SMÁČENÍ.....	34
3.2.1	Smáčivost	34
3.2.2	Kontaktní úhel smáčení.....	34
3.2.3	Drsnost povrchu	35
3.2.4	Polarita	35
3.2.5	Čistota povrchu	35
3.2.6	Rozpustnost a bobtnavost.....	35
3.2.7	Teplotní roztažnost.....	35
3.3	ZPŮSOBY MĚŘENÍ SMÁČIVOSTI.....	36
3.3.1	Metoda nakloněné desky	36
3.3.2	Měření úhlu smáčení na přisedlé kapce nebo přilínající bublině	37
3.3.3	Wilhelmyho metoda vyvažování destičky	37
4	METODY POVRCHOVÝCH ÚPRAV ZVYŠOVÁNÍ ADHEZE U POLYMERŇÍCH A KOMPOZITŇÍCH MATERIÁLU	38
4.1	ÚPRAVA KORÓNOVÝM VÝBOJEM.....	39
4.2	ÚPRAVA PLAZMOU	39
	.....	40
4.3	ÚPRAVA POVRCHU CHEMICKÝM LEPTÁNÍM	40
4.4	ÚPRAVA POVRCHU OZAŘOVÁNÍM	41
4.4.1	Ionizační beta (elektronové záření).....	41
4.5	VÝHODY A NEVÝHODY OZAŘOVÁNÍ POLYMERŮ	42
5	MOŽNOSTI VOLBY SPOJŮ KOMPOZITŇÍCH MATERIÁLŮ	43
5.1	MECHANICKÉ SPOJOVÁNÍ KOMPOZITU.....	44
5.2	KOMBINOVANÉ SPOJENÍ	44
5.2.1	Zalaminování kovového dílce	44
5.3	LEPENÉ SPOJE.....	45
5.3.1	Konstrukce lepených spojŮ	45
5.3.2	Překlátované spoje	46
5.4	SVAŘOVÁNÍ.....	47
5.4.1	Ultrazvukové svařování	47
5.4.2	Vysokofrekvenční svařování.....	48
5.4.3	Svařování laserem	48
5.4.4	Hybridní svařování kompozitŮ na bázi epoxidŮ a uhlíkových vláken	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	50
6	STANOVENÍ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	51

7	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	52
7.1	VOLBA MATERIÁLU	52
7.1.2	Xarec C132.....	54
7.2	VOLBA KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU	54
7.2.1	Materiál SIGRAPREG H W170-PL1/1-E320/45%	54
7.2.2	Tepex dynalite 210fr-C200(8)/45%	55
8	VÝROBA A MĚŘENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	56
8.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	56
8.1.1	Procesní podmínky.....	56
	.....	56
	.....	56
8.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	57
9	STATICÁ ZKOUŠKA ODLUPEM.....	58
	.....	59
10	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY ZKOUŠKY ODLUPEM.....	60
10.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ZKOUŠKY ODLUPU FORMOU TAHU U MATERIÁLU XAREC C132	60
10.1.1	Xarec C132 tlak 115 bar - neopískované	61
10.1.2	Xarec C132 tlak 60 bar - opískované.....	62
10.1.3	Xarec C132 tlak 115 bar - opískované.....	63
	.....	63
10.1.4	Xarec C132 s předehřevem výztuže na 60°C, tlak 60 bar - neopískované.....	64
10.1.5	Xarec C132 s předehřevem výztuže na 60°C, tlak 115 bar - neopískované.....	65
10.1.6	Xarec C132 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 60 bar - opískované.....	66
10.1.7	Xarec C132 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 115 bar - opískované.....	67
10.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ZKOUŠKY ODLUPU FORMOU TAHU U MATERIÁLU GRIVORY G 16	68
10.2.1	Grivory G 16 tlak 60 bar - neopískované.....	68
10.2.2	Grivory G 16 tlak 115 bar - neopískované.....	70
	.....	70
10.2.3	Grivory G 16 tlak 60 bar - opískované.....	71
	71	
10.2.4	Grivory G 16 tlak 115 bar - opískované.....	72
	.....	72
10.2.5	Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 60 bar - neopískované.....	73
10.2.6	Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 115 bar - opískované	74
10.2.7	Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 115 bar - neopískované.....	75
10.2.8	Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 60bar - opískované	76

10.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ZKOUŠKY ODLUPU FORMOU TAHU U MATERIÁLU TEPEX DYNALITE	77
10.3.1	Xarec C132 Tepex dynalite 0,5 mm	77
10.3.2	Xarec C132 Tepex dynalite 1,07 mm	79
10.3.3	Xarec C132 Tepex dynalite 2,0mm	80
10.3.4	Grivory G 16 Tepex dynalite 0,5mm	81
10.3.5	Grivory G 16 Tepex dynalite 1,07mm	82
10.3.6	Grivory G 16 Tepex dynalite 2,0mm	83
10.4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ L DESTIČEK TESTEM ODLUPU VE FORMĚ TAHU	84
10.4.1	Xarec C132 netemperovaný o tlaku 60 bar	85
10.4.2	Xarec C132 netemperovaný o tlaku 115 bar	86
10.4.3	Xarec C132 temperovaný na 60 °C o tlaku 60 bar	87
10.4.4	Xarec C132 temperovaný na 60°C o tlaku 115 bar	88
11	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	90
11.1	VYHODNOCENÍ PEEL TESTU Č. 1- ČTVERCOVÉ TĚLÍSKO	90
11.1.1	Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem při tlaku 60 bar	91
11.1.2	Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem při tlaku 115 bar	92
11.1.3	Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem u neupraveného povrchu	93
11.1.4	Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem a upravené plochy opískováním	94
11.1.5	Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory s termoplastickým kompozitem Tepex dynalite	95
11.2	VYHODNOCENÍ PEEL TESTU Č. 2 - L DESTIČEK	96
11.2.1	Vyhodnocení materiálu Xarec C132 s výztuží SIGRAPREG	96
	DISKUSE VÝSLEDKŮ	97
	ZÁVĚR	105
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	107
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	112
	SEZNAM OBRÁZKŮ	113
	SEZNAM TABULEK	116
	SEZNAM PŘÍLOH	117

ÚVOD

Současná doba se vyznačuje značným navýšením výroby a tím i zvýšenou potřebou požadavků na technickou a konstrukční úroveň finálního produktu, tj. konečného výrobku. Potřeba výroby je technicky-konstrukčně a také i v návaznosti na ekonomiku řešena intenzivně v oblasti vstřikování a kompozitních materiálů, kde adheze tj. přilnavost, je často jedinou spojovací metodou, která nenarušuje vlastnosti citlivých materiálů. Poskytuje nové kombinační schopnosti a dovoluje získat takové tvary a vlastnosti, které nejsou jiným způsobem běžně dosažitelné. Stejně tak jako i jiné metody spojování materiálů: (svařování, nýtování, šroubové spojení, svařování na tupo atd.), má i zástřik kompozitů také některé nevýhody. Limitujícím faktorem, kterým je podmíněn výrobní proces spojení kompozitu a termoplastů a který ovlivňuje tj. (adhezi-pevnost kvalitního spojení zástřik kompozitu). Tento proces zásadně ovlivňuje primární požadavek na nutnost kvalitní povrchové úpravy kompozitu, který musí být zohledněn. Vzhledem k tomuto nedostatku při zástřiku kompozitu patří, především nutnost kvalitní povrchové úpravy u materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi. Kompozitní materiál je soustava několika vzájemně propojených složek substancí. Kompozity se nacházejí téměř ve všech průmyslových oborech, jako je: (automobilový, letecký a stavební průmysl, dále taky v medicíně, ale i u výrobků komerční potřeby, např. u sportovního vybavení, spotřebního zboží atd.). V současné době pronikly kompozitní materiály na bázi termoplastu a kompozitu do standardního využití a v návaznosti trvalého vývoje. Stěží některá skupina materiálů poskytuje tak rozsáhlé možnosti využití jako vlákny vyztužené plasty.

V dnešní době se používají kovové inserty nebo zástřiky což nám umožňuje vyrábět konstrukce s co nejmenší hmotností, ale stále jde hlavně o dostatečné zvyšování tuhosti a pevnosti výrobků. Rozvoj je ve vývoji a v hledání metod jak spojit kompozit s termoplastovým materiálem a docílit tak nejlepších adhezních podmínek. Je to jedním z nejčastějších důvodů, kterým chceme docílit, ekonomický efekt „sériovost výroby“. U samotného kompozitu není sériová výroba tak vysoká jako u vstřikování. Spojení těchto dvou technologií lze předpokládat, že se sériovost může urychlit pomocí robotizace a elektroniky tj. roboty můžou, vkládat kompozitní část do formy a urychlí tím pádem výrobu, elektronicky je možno provádět kontrolu v návaznosti na množství a kvalitu.

Cílem této diplomové práce je měření parametrů spojení a soudržnosti u materiálů: (kompozit-zástřík) a jejím vyhodnocením, který z porovnávaných materiálů vykazuje nejlepší soudržnost-spojení, mezi termoplastem a kompozitem. Zároveň prozkoumat vývoj nových výrobků vykazující vyšších pevnosti než mají stávající termoplasty vyztužené krátkým vláknem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

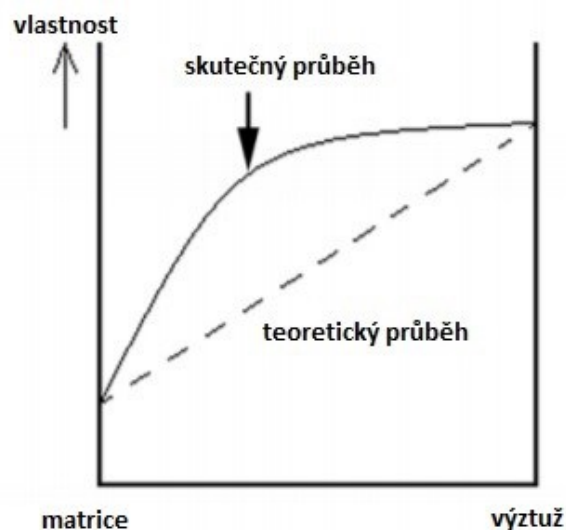
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

1.1 Hlavní údaje o kompozitech

Pod koncepcí kompozitní materiál (kompozity) rozumíme heterogenní materiály složené ze dvou nebo více složek fází materiálů, které se vzájemně zřetelně liší svými mechanickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Zpravidla se jedná o fáze v kompozitu spojené. Takovou tvárnou a pružnou součástí, která zároveň slouží i jako pojivo výztuže nazýváme matrice. Fází, která je nespojitá, houževnatější nazýváme výztuž. Ve srovnání s matricí má výztuž obvykle zřetelně výhodnější mechanické vlastnosti, to znamená, že výztuž má za funkci zlepšovat tvrdost, tuhost, pevnost a další vlastnosti těchto materiálů. Protože se kompozity zpravidla aplikují vzhledem ke své strukturní vlastnosti, definice může být omezena jen na ty materiály, které obsahují výztuž napomáhanou spojovacím materiálem. Kompozity mají charakteristicky nespojitou fázi z vláken nebo částic, která je silnější a tužší než fáze spojené matrice. [1,2]

Pro umělé kompozitní materiály je typické, že se vyrábějí procesy mechanického mísení nebo spojování jednotlivých prvků. Liší se od slitin, které jsou rovněž heterogenní.

Pro kompozitní materiály je typické tzv. synergismus, což vyplývá, že vlastnosti kompozitu jsou lepší než by odpovídala pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek. Existence synergismu je velmi podstatná, protože vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností.[5]



Obr. 1: Synergické chování složek kompozitu. [5]

1.2 Základní rozdělení vlastnosti kompozitních materiálu

Na začátek je nutno definovat základní vlastnosti kompozitních materiálů a jejich rozdělení. Nejběžnější technické materiály jsou homogenní a izotropní.

1.2.1 Homogenita a nehomogenita

Kterýkoli technický materiál je v atomárním měřítku nehomogenní. V kompozitním materiálu se stará o to, aby nehomogenity byly ve větším měřítku, než je atomární. Vyplývá z toho, že kompozit je uvnitř nehomogenní, pochopitelně z hlediska mikroskopie je homogenní. [3]

1.2.2 Izotropie a anizotropie

V obvyklé technické praxi jsou materiály zpravidla výhradně izotropní jenom některé představují výjimku a jeví se jen velmi malou anizotropií. Pro kompozitní materiály tomu tak není, velká část se vyznačuje jako materiály se silnou anizotropií. S anizotropií je pokaždé vždy nezbytně počítat, protože pevnost matrice ve směru a kolmo na vlákna může být různá o několik řádů. [3]

- ***Izotropní materiál***

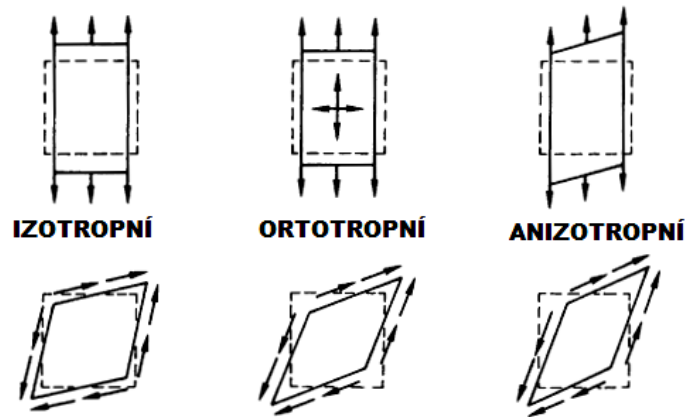
Jde o materiály, které mají ve všech směrech a ve všech místech stejné vlastnosti. Z obvyklého materiálu se jedná například o sklo. Koncové body zatížené na směrových vektorech by vytvořily kouli. [3]

- ***Anizotropní materiál***

Tato skupina se již daleko více týká kompozitních materiálů, protože většina z nich nedosahuje totožných vlastností ve všech směrech. Vlastnost anizotropního materiálu záleží na volbě směru. Koncové body zatížené na směrových vektorech by vytvořily plochu. [3]

- ***Ortotropní materiály***

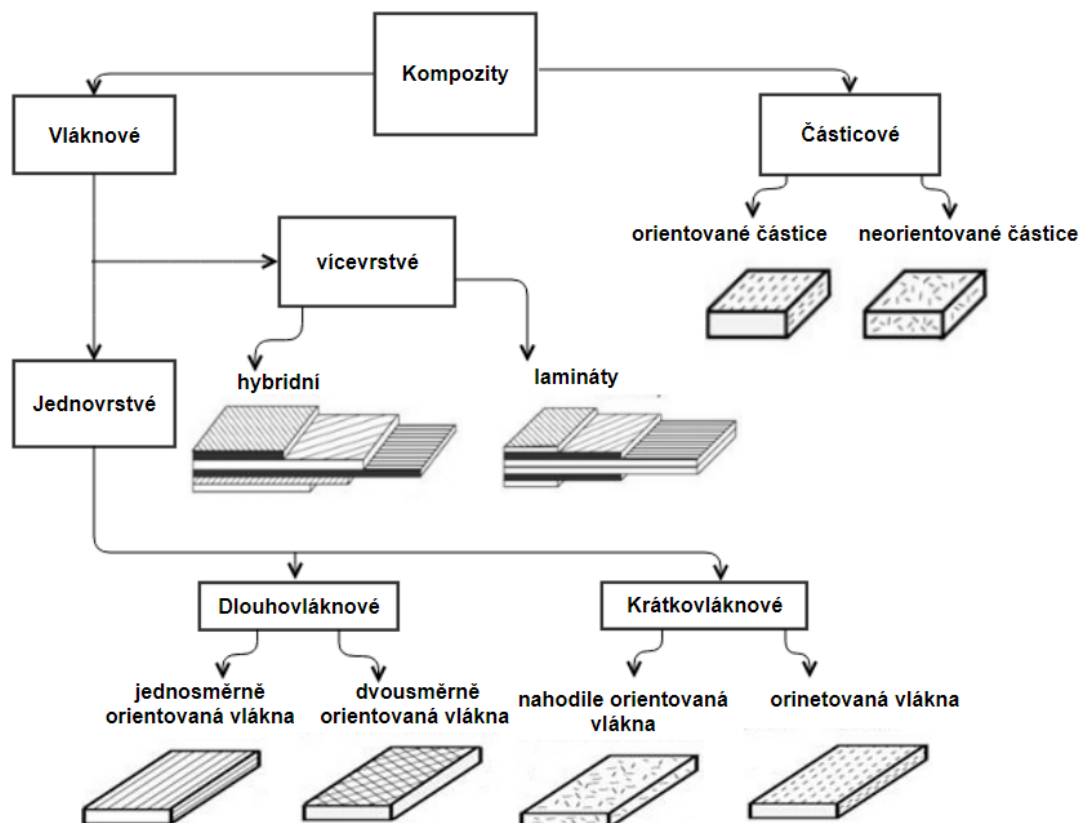
Vlastnosti jsou symetrické dle tří vzájemně kolmých rovin, ve třech kolmých směrech, které jsou tvořeny průsečnicemi těchto rovin (hlavní směry) jsou vlastnosti vzájemně odlišné, nezařazují typické efekty anizotropie. Jestliže uvažujeme o libovolném směrovém vektoru od počátku souřadnic s velikostí, která by vyjadřovala určitou vlastnost, tak koncové body by vytvořily např. kvádr. [3]



Obr. 2: Rozdělení kompozitních z hlediska mechanických vlastností. [4]

1.3 Vyztužující vlákna

Materiál ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka samotná. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu u kompozitního materiálu. Kompozitní materiály vyztužené vlákny výrazně převyšují pevnosti obvyklých slitin. Podstatným ohledem je, aby výztuž ovlivňovala mechanické, chemické nebo fyzikální vlastnosti. Výztuži je pochopitelně nepřeborné množství a je dobré si je zařadit do jednotlivých kategorií. Zásadní pohled rozdělení je podle geometrie nebo materiálu výztuže. Podle geometrického tvaru výztuže je rozdělujeme na kompozity vláknové a částicové. [2,7]

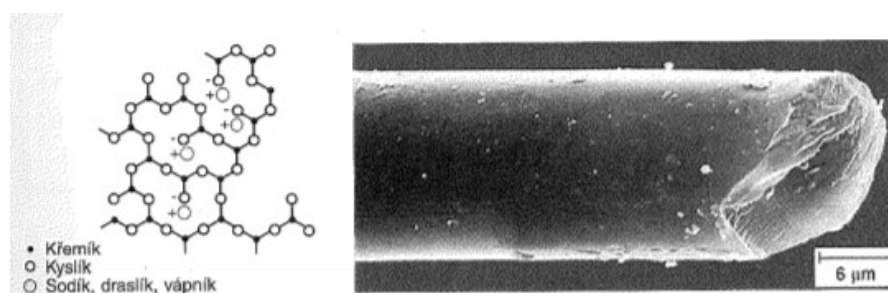


Obr. 3: Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie výztuže [7]

1.3.1 Skleněná vlákna

Skleněná vlákna jsou vlákna anorganická s pravidelným kruhovým průřezem a širokou škálou použití. Ceněná jsou hlavně pro svoje výborné technické vlastnosti, jako jsou vysoká pevnost, vysoká hodnota Youngova modulu v tahu, odolnost vůči vysokým teplotám, nehořlavost, dobrá chemická odolnost a dobré elektrické vlastnosti. Vlastnosti skleněných vláken jsou výhodné zvláště ve výrobě kompozitních materiálů jako vyztužující kontinuální vlákna nebo ve formě stříže. Skleněná vlákna jsou používána ke konstrukci vláknových kompozitu o vysoké kvalitě s vysokými nároky na mechanické a tepelné vlastnosti. Konečné výrobky se využívají především v automobilovém průmyslu, ve stavebnictví, leteckém průmyslu, chemickém průmyslu, elektrotechnice a v jiných odvětvích. V elektrotechnickém průmyslu se aplikují zejména ve výrobě laptopů, počítačů a mobilních telefonů. V současné době se věnuje větší pozornost výrobě a použití skleněných vláken ve formě nekonečného vlákna. Skoro veškerá nekonečná skleněná vlákna jsou vyráběna přímým tažením a jsou vytvořena vytlačováním roztaveného skla přes pouzdro z platinové slitiny, které může mít až několik tisíc jednotlivých otvorů, z nichž každý má v průměru od 0,173 do 3,175 mm. Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou propustností pro záření, proto se označují jako E-sklovina. Je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standardní typ obsadil 90 % trhu.

Struktura skelného vlákna nám spočívá na způsobu jeho přípravy a podmínkách. V technické praxi aplikujeme odlišné druhy skla, které se od sebe liší chemickým složením a vlastnostmi. Následující typy skloviny jsou, S-sklovina v Evropě se označují jako R-sklovina, která má vyšší obsah oxidů Si, Al, Mg než typ E, Včetně o 40 až 70 % větší pevnost. Dále se vyrábí C-sklovina s vysokou odolností proti kyselinám a chemicky agresivním látkám. [2]



Obr. 4: Struktura skelného vlákna [2]

Tab. 1 Složení skloviny a jejich vlastnosti [2]

Sklovina	E	R	C
Složení %			
SiO ₂	54	60	60 - 65
Al ₂ O ₃	14 - 15	25	2 - 6
CaO	-	14	14
MgO	20 - 24	3	1 - 3
B ₂ O ₃	6 - 9	< 1	2 - 7
K ₂ O	< 1	< 1	8
Vlastnosti			
Hustota (g.cm ⁻³)	2,6	2,53	2,52
Mez pevnosti v tahu (N.mm ⁻²)	3400	4400	2400
Modul pružnosti (N.mm ⁻²)	73000	86000	70000
Poměrné prodloužení při přetržení %	< 4,8	< 4,6	< 4,8
Součinitel teplotní roztažnosti (K ⁻¹)	5,0 · 10 ⁻⁶	4,0 · 10 ⁻⁶	6,3 · 10 ⁻⁶
Teplotní měknutí (C°)	850	980	750

Jednotlivá vyztužující vlákna jsou samostatně používána pouze mimořádně. Ze zpracovatelských příčin se zpravidla aplikují upravené produkty. Skleněná vlákna se používají pro textilní zpracování, pro vyztužování termosetů termoplastů a lehčených plastů, pro výrobu povrchových rohoží a papíru. Následující koncepce výztuží nejsou jen pro skleněná vlákna, ale platí i pro ostatní typy vláken: [2]

- **Příze** – je to textilie, která se spřádá z vláken a zpracovává se na tkaniny, pásy a pletené výrobky.
- **Nitě** – vyrábějí se jednostupňově nebo vícestupňově, skládají se z jedné nebo více přízí, které jsou dohromady spředeny.
- **Roving (pramenec)** – je to svazek nekonečných textilních vláken. Skládá se z 20 až 60 konců, spojených z rovnoběžně uložených nestočených vláken nebo tažených rovnou z taveniny (6 až 12 000 elementárních vláken). Zpracovává se sekáním, tkaním, navíjením nebo tažením nekonečného pramene.
- **Rohože ze sekaných pramenců** – netkané plošné výrobky o hmotnosti 300 až 900 g.m⁻². Vyrábějí se z 25 nebo 50 mm dlouhých sekaných vláken nepravidelně plošně uložených. Vlákna jsou uložena do vrstev, nanášena pojivem a po vysušení v pásové sušárně spojena tak, že je možno vzniklou rohož navíjet do rolí, které jsou připraveny pro další použití.

- **Rohože z kontinuálních vláken** – se skládají z nekonečných skleněných vláken, která jsou uložena různorodě bez jakékoliv orientace ve smyčkách v několika vrstvách a jsou vzájemně spojena pojivem.
- **Povrchové rohože** – se vyrábí ze sekaných vláken nebo ze skleněných, uhlíkových nebo termoplastových vláken materiálu. Jsou to netkané, velmi lehké textilie 20 až 50 g.m⁻² pojené matricí v kompozitu rozpustnými pojivy. V kompozitech slouží jako povrchová „nárazníková“ hrubší vrstva, která má zvýšit odolnost proti korozi nebo chemickým látkám. Stejnou nebo lepší odolnost vykazují tenké vrstvy gelcoaty o tloušťce 0,3 až 0,6 mm.
- **Tkaniny** – jsou plošné výrobky z vláken nebo pramenců, které vznikají propojením dvou vzájemně kolmých směrů probíhajících soustav osnovy a útku. Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby. Máme základní tři druhy vazeb, které jsou plátnová, atlasová, keprová.



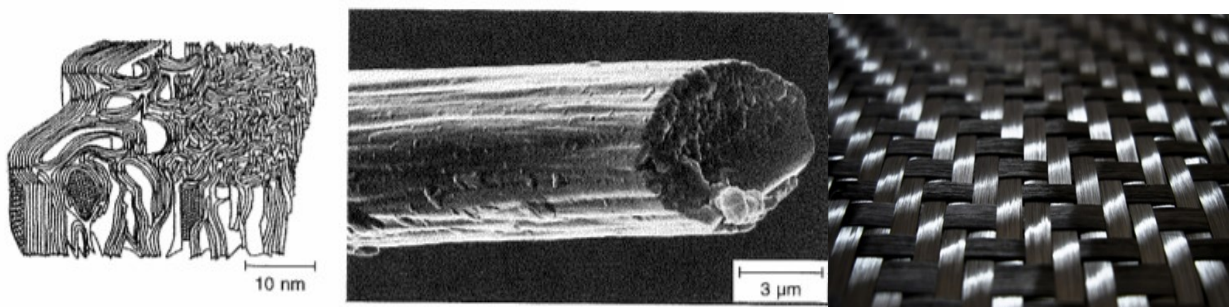
Obr. 5: Základní druhy vazeb vyztužujících tkanin [2]

1.3.2 Uhlíková vlákna

Co se týče základních vlastností, tak jde o materiál tenký cca 5-8 μm a tvořený dominantním podílem atomu uhlíku pospojovanými do drobných krystalů a ty pak ještě do dlouhých uhlíkových vláken. Právě ono speciální a symetrické uspořádání krystalů způsobuje, že je vlákno i přes svoji mikro-velikost má extrémně vysokou pevnost a tuhost, ale nízkou tažnost. Základní organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Zároveň se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafítizací, se zlepšují mechanické vlastnosti. Při teplotě 1800 $^{\circ}\text{C}$ je tvorba grafitové struktury ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu. [2]

Základní surovinou pro zhotovení uhlíkových vláken jsou tři materiály:

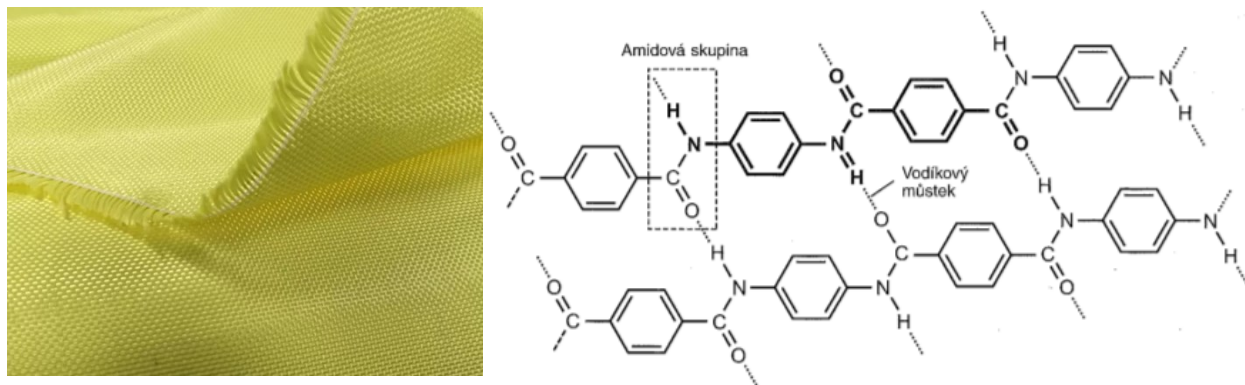
- Celulóza – polysacharid, nejrozšířenější organická látka na Zemi. Přírodním zdrojem jsou rostlinná vlákna. Vyrobená vlákna mají méně dokonalou strukturu, využívají se z velké části jako izolační materiál pro vysoké teploty.
- Polyakrylonitril (PAN) – jsou umělá textilní vlákna vyráběna polymerizací akrylonitrilu, obvykle ve spojení s jinými monomery.
- Smola – nákladným způsobem se připravují vlákna, ale kompenzuje to nízká cena výchozí suroviny. Vlákna mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Pevnost v tlaku je ve srovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řídkší. [2,6]



Obr. 6: Uhlíkové vlákno v detailním pohledu a tkanina [2]

1.3.3 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna mají nejvyšší poměr pevnosti a tuhosti k hmotnosti. Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi a termoplasty. Jsou hydrofilní, proto musí být před použitím vlákna vysušena, protože vlhkost ovlivňuje pevnost spoje mezi vláknem a matricí. Adheze aramidových vláken k matrici je často nižší než u ostatních vláken. Obchodní název těchto vláken je Kevlar. Prvotní specializace kevlaru byla pro zpevnění pneumatik a plastů. Kevlar se vyznačuje nízkou hmotností a vysokou houževnatostí a pevností, která vede k vývoji aplikací kompozitních materiálů k výrobě lan a pneumatik a ve význačné řadě v balistice, pro výrobu neprůstřelných vest s kevlarovou vložkou odolné proti střelám z ručních palných zbraní.[2]



Obr. 7: Tkanina a struktura kevlaru (PPTA)[2]

Molekuly jsou navzájem spojeny vazbami vodíkových můstků. Pravidelné uspořádání fenolenových jader a amidových skupin s vazbami vodíkových můstků propůjčuje řetězcům vysokou tuhost a způsobuje současně vysokou hustotu struktury uspořádání. [2]

1.4 Matrice – pojivo

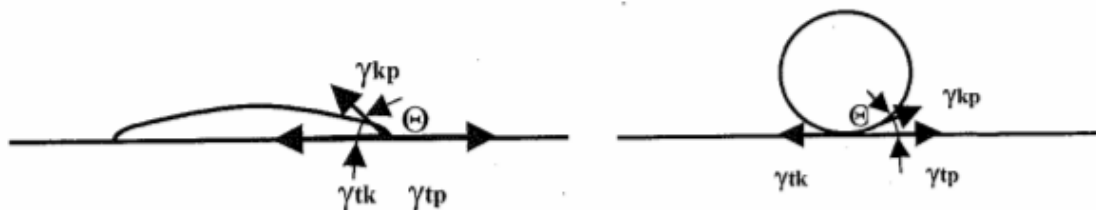
1.4.1 Úloha matrice a její druhy

Kompozitní materiály vyztužené vlákny se komponují nejen z vláken o vysoké pevnosti, ale obzvláště z uloženého materiálu matrice. Pojem matrice se rozumí materiál, který je prostoupený soustavou vláken a dílčích složek tak, že po vyhotovení vznikne tvarově pevný výrobek, který označujeme jako kompozit. Matrice zajišťuje především geometrický tvar výrobku, zavedení a přenos sil, ochranu vláken a to je:

- přenos namáhání na vlákna
- převedení namáhání z vlákna na vlákno
- zajištění geometrického umístění vláken a tvarové stálosti výrobku
- ochrana vlákna před vlivy okolí

Hlavní ohled pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice-vlákno. Pro získání lepší fyzikální a chemické vazby mezi vláknem a maticí se nanese na vlákno konečná úprava vhodná pro zaručený druh matrice. Matrice musí mít patřičnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez bublin. Rozlišujeme především dvě skupiny plastů, které tvoří základ matrice polymerního kompozitního

materiálu, jsou to termoplasty a reaktoplasty. Termoplasty jsou strukturovány z jednotlivých makromolekul vázaných jenom fyzikálními vazbami. S rostoucí teplotou postupně měknou a přecházejí do taveniny. Za to makromolekuly reaktoplastů jsou spojeny do husté sítě a s rostoucí teplotou se nemohou roztavit a většinou ještě zvyšují svoji tuhost a tvrdost. Výhodou termoplastů na rozdíl od reaktoplastů je jejich houževnatost a také jejich zpracování, které probíhá pouze roztavením a ztuhnutím matrice. U termoplastů neprobíhá žádný chemický proces, který by ovlivňoval jakost výrobku nebo narušoval životní prostředí.



Obr. 8: Povrchové energie a kontaktní úhel u kapky kapalné matrice na tuhém povrchu – vlevo dobré smáčení, vpravo špatné smáčení[9]

Nejpoužívanější skupinou reaktoplastů pro výrobu kompozitu jsou termosetické pryskyřice. Prvotně se pro kompozity používaly pouze vyztužené nenasycené polyesterové (UP-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice, které dnes tvoří většinu kompozitních aplikací. Vlákna u termosetů se snadněji zpracovávají, snadněji smáčejí a lépe prosycují. Energetické hodnoty na prosycování vláken jsou podstatně nižší ve srovnání s termoplasty, protože zpracování probíhá při nižších teplotách. Termoplastické pryskyřice se vytvrzují přidávkem katalyzátoru a urychlovače, případně dodáním energie v podobě tepla nebo záření. [2,8,9]

1.5 Reaktivní pryskyřice

Reaktivní pryskyřice jsou nejčastěji používanou skupinou reaktoplastů určených pro výrobu polymerních kompozitů. Vytvrzují se smícháním s tvrdidly. Mezi hlavní tvrdidla patří iniciátory a urychlovače, ale také aldehydy (fenoly). Reaktivní pryskyřice rovněž nazýváme jako licí, laminační, impregnační, prosycovací nebo zalévací (elektro) pryskyřice. [2]

1.5.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Bezbarvá až slabě nažloutlá reaktivní pryskyřice. Vytvrzuje se za obvyklých nebo zvýšených teplot. Účinkem uvolněného reaktivního tepla dochází k smršťování o 5-9%.

Up-R je zásluhou nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké rychlosti vytvrzování a nízké ceně hodně často používán pro výrobu kompozitních materiálů. [2]

1.5.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)

Jsou reaktivnější než UP-R. Mají nižší viskozitu, odolávají vyšším teplotám, jsou houževnatější a chemicky odolné. Zásluhou těchto vlastností se používají v prostředí s vysokým korozním namáháním, (velkorozměrové trouby, pračky, chladicí věže, tepelné regenerátory, přepravní nádrže a další). Značné použití mají v čistírnách odpadních vod. [2]

1.5.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)

EP-R jsou za obvyklé teploty kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat případné pomocné látky, např. rozpouštědla. S tvrdidlem se musí mísit v přesném stechiometrickém poměru. Rozsáhlá paleta tvrdidel má vliv na vlastnosti vytvrzených pryskyřic. Různým výběrem pryskyřic a tvrdidel lze docílit mnoha odlišných vlastností pojiva. Používá se v elektrotechnice zásluhou dobrým izolačním vlastnostem v letectví, kosmonautice, sportovních potřebách a také se používá při výrobě listů větrných elektráren. Díky dobrým mechanickým vlastnostem zvláště dynamickému namáhání, jsou přijatelné pro vysoko pevnostní uhlíkové vlákna. [2]

1.5.4 Fenolické pryskyřice (PF-R)

Podíl na celkové výrobě kompozitu je nízký. Jejich zpracování je ztíženo použitím kyselin a odštěpováním těkavých látek. Jejich přínosem je vysoká tepelná, chemická odolnost a tvarová stálost. Kromě toho mají dobré chování při požáru, nízká hořlavost a malá toxicita kouře. [2]

Tab. 2: Vlastnosti polymerních matic [10]

Typ matrice		Vlastnost		
		Hustota [kg.cm ⁻³]	Pevnost v tahu	Modul pružnosti
Termoset	Polyesterová	1200	80	4000
	Vinylesterová	1150	75	3300
	Epoxidová	1200	130	4500
	Fenolická	1300	70	3000
	Silikonová	1100	35	2200
	Polyimidová	1400	70	4000 - 19000
Typ matrice	PP	900	30	1200
	PPS	1300	65	4000
	PA	1100	70	2000
	PES	1350	85	3000
	PEI	1250	105	3500
	PEEK	1300	90	4000

1.6 Termoplasty

Pro vyztužení termoplastů podle délky vyztužujících vláken se dělí na:

- Vyztužení termoplastů krátkými vlákny ($\approx 0,2$ mm) – hlavně pro vyztužení a zesílení matrice při vstřikování
- Vyztužení termoplastů dlouhými vlákny (až do 25 mm) – většinou se přidávají z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy.
- Vyztužení termoplastů nekonečně dlouhými vlákny – používají se u termoplastů vyztužených skleněnou rohoží, tkaninou nebo jednosměrnými pásy se využívají na polotovary pro další zpracování.

Termoplasty jsou oproti od reaktoplastů za pokojové teploty pevné látky a teprve po zahřátí na teplotu zpravidla nad 200°C jsou dostatečně tekuté. Aplikace rozpouštědel pro snížení viskozity termoplastů je problematické, protože i po odstranění rozpouštědla přetrvává u termoplastů snížená odolnost proti korozi při napětí.

Zatímco se vyztužené termoplasty mohou zpracovávat a tvarovat pouze po zahřátí nad teplotu roztavení, převažuje u reaktivních pryskyřic proces chemického vytvrzování, spojeného s vývojem reakčního tepla. Vlastnosti matrice musí vyhovovat kritériím tvarovatelnosti a chemického vytvrzování. Protože se zpracování reaktivních pryskyřic i termoplastů se provádí lisostříkem za zvýšené teploty a je nutné tento proces ukončit chlazením. [2,11]

1.6.1 Termoplasty vyztužené krátkými vlákny

Podstatným hodnotícím kritériem je cena. Obsah výztuže termoplastů nelze zvyšovat libovolně, protože by mohlo dojít k omezenému smočení vláken, které je nutným předpokladem pro další zpracování. Obsah výztuže je mezi 15 a 50 % hm. Výdaje na zpracování vláken do platu jsou u obvyklých materiálů, jako PS, PVC, a PE, ve srovnání se zpracovatelskými náklady nevyztužených plastů docela vysoká, proto se tyto většinou nevyztužují. Vyztužují se dražší konstrukční materiály, jako PA 6, PA 66, PBT, PC, POM.

1.6.2 Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny

Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny jsou vyráběny pultruzní (tažením) technologií, která zajišťuje úplné pokrytí každého vlákna polymerem. To zaručuje vysokou a konsistentní kvalitu materiálu stejně jak jeho výborné vlastnosti. Prokazují dokonalou pevnost a tuhost, velmi vysokou rázovou odolnost a skvělou tepelnou odolnost. [2,11,12]

1.6.3 Termoplastická matrice

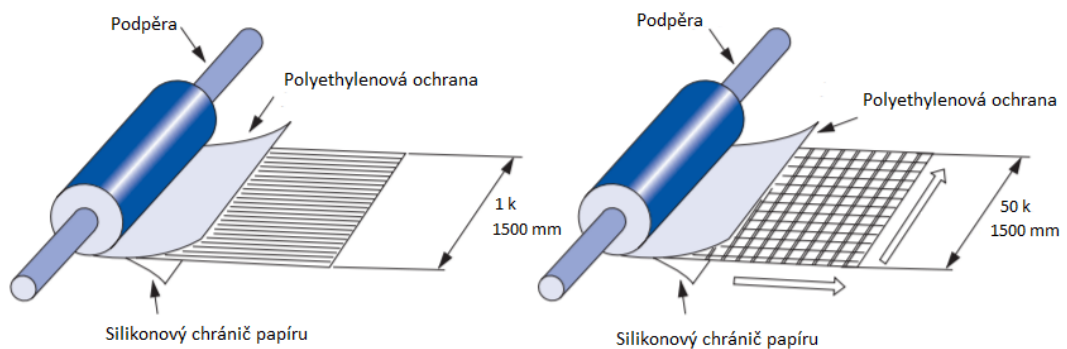
Termoplastická matrice je oproti reaktoplastické houževnatější. Značnou výhodou prepregů s termoplastickou matricí je jejich absolutně neomezená doba skladovatelnosti, která také nevyžaduje ke skladování mrazicí zařízení, protože zde neprobíhá proces vytvrzení, jako tomu je u reaktivních pryskyřic reaktoplastických matric. Veškerý průběh zpracování je proto také mnohem kratší. Termoplastická matrice umožňuje tepelné dotvarování a spojování svařováním, protože mohou být tato polymery vícenásobně taveny. To souvisí i se snadnější recyklací. U matric z termoplastů PPS, PEEK a PEI jsou přijatelné vysokoteplotní aplikace, protože mají tyto polymery vysoké teploty skelných přechodů a tavení.

Ve srovnání prepregů s reaktoplastickou matricí mají však nižší modul pružnosti v tahu, menší pevnost v tlaku a vyšší sklon ke creepu především při zvýšených teplotách. Vlákná jsou obtížněji prosycována matricí, jelikož má při zpracování vysokou viskozitu a někdy dochází jen k obtečení vláken. Je potřeba vyšších tlaků a teplot při zpracování a také má povrch prepregů menší přilnavost, což je důležité pro povrchové úpravy, jako jsou např. nátěry. [2]

1.7 Technologie a vlastnosti Prepregů

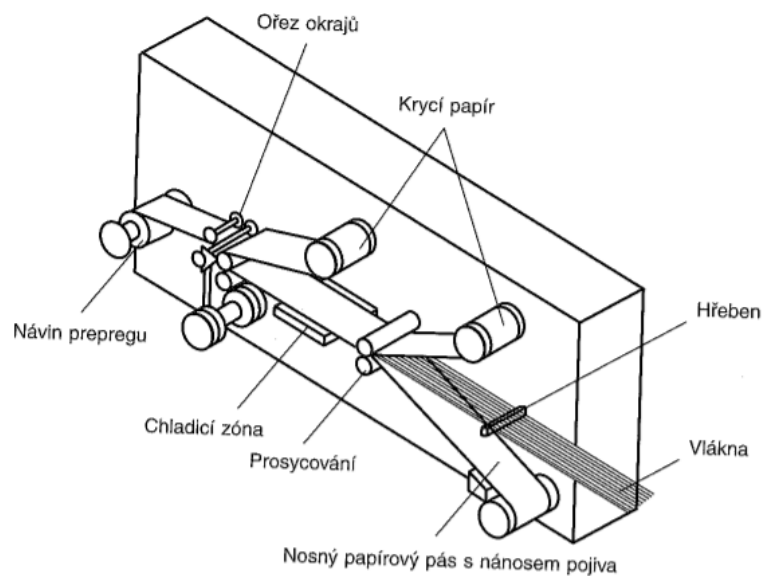
Prepregy jsou polotovary pro výrobu kompozitního materiálu. Jako každý kompozit tak i polotovar prepreg se skládá z výztuže a matrice (pojivo). Výztuž vytváří v tomto případě předimpregnovaná vlákna s polymerní pryskyřicí, která je pouze částečně vyztužena. Prepreg je zkrácený tvar anglického slovíčka preimpregnated fibre. Prepregy jsou ploché útvary požadovaného tvaru a tloušťky vyráběné kladením jednotlivých vrstev na sebe do forem. Dotvarují a dotvrdí se vlivem tepla a tlaku, u termoplastických bez vytvrzení. Pryskyřičná matrice je vyztužena umělými vlákny, jako jsou například sklo, uhlík a aramid. Nejčastěji jsou používány epoxidové, polyesterové a vinylové pryskyřice. Vyrobené kompozitní materiály jsou tepelně odolné, vysoce pevné, extrémně lehké a tuhé. Hlavní výhodou je jednodušší výrobní proces. Z ohledu orientace vláken výztuže a tedy schopnosti přenášet napětí v jednotlivých směrech je můžeme rozdělovat na:

- a) Jednosměrné prepregy
- b) Tkaninové prepregy



Obr. 10 Schéma výroby prepregů, vlevo s jednosměrně uspořádanými vlákny, vpravo s tkaninou [13]

Jednosměrné prepregy mají tloušťku 0,1 až 0,15 mm, tkaninové mají tloušťku podle plošné hmotnosti tkaniny textilní vazby rovingů. Při zhotovení jednosměrně vyztuženého prepregu se odvíjejí pramence vláken ze stojanu s cívkami a vedou se rovnoběžně. Následně jsou srovnány v rovině přes stavitelný hřeben. Tímto způsobem hotový pás vláken se ukládá na papírový nosič vybavený silikonovou vrstvou, na který byla dopředu nanesena vrstva pryskyřice. Pás je řízen na vytápěný válec kalandru, kde pod tlakem nastává prosycení výztuže pojivem. Pás prepregu, prosycený pryskyřicí a oboustranně chráněný nosným papírovým pásem, obíhá chladicí zónou, kde se zastaví vytvrzovací reakce. Prepregy zhotovené na takovém zařízení mají všechna vlákna uložena rovnoběžně.



Obr. 11 Výroba jednosměrně orientovaného prepregu [2]

Prepregy s reaktivním termosetickým pojivem mají omezenou dobu zpracovatelnosti a tak se musí až do další doby zpracování skladovat v chladu kolem -20°C . V souvislosti na reaktivitě použitého pojiva jsou prepregy skladovatelné nejvýše 6 měsíců. Přibližně 6 hodin před vlastním zpracováním se prepreg rozmrazí bez přístupu vzduchu, tak aby nedošlo ke srážení vzdušné vlhkosti na povrchu prepegu. To se netýká prepregů s termoplastickou matricí, jelikož u nich tento proces vůbec neprobíhá. Poté se připraví podle stříhového a pokládacího plánu potřebné přířezy pro laminaci. Upevnění polohy přířezů se provádí slabým přitlačením ručním válečkem nebo teflonovou stěrkou. Na povrch výrobku se přiloží elastická separační fólie a výrobek se vytvrdí v autoklávu, nebo metodou lisování ve vyhřívané formě. Hromadná výroba konstrukčních prvků jako například v leteckém průmyslu je celkově automatizována. Prepregový pás je uložen pomocí NC zařízení, výroba je tak ekonomická a reprodukovatelná. [2,9]

1.8 Metody výroby prepregů

Mezi nejznámější a nepoužívanější metody patří Impregnace prostřednictvím rozpouštědla (Solvent Impregnation) a Tavení za tepla (Hot Melt Proces). Ruční výroba je vhodná více pro malosériovou a prototypovou výrobu. Prášková metoda (powder scattering) je vhodná spíše pro termoplastické matrice, ale nebyla prozatím rozšířena pro průmyslovou výrobu. [14]

1.8.1 Výroba pomocí rozpouštědla

Tímto postupem lze vyrábět jen látkové prepregy. Rozpouštědlo způsobuje nízkou viskozitu pryskyřice. Rozpouštědlo je smícháno s pryskyřicí v lázni, do které je zavedena výtuz a je tady nasycena pryskyřicí. Dále v sušárně se odpaří rozpouštědlo, po odpaření rozpouštědla je prepreg rolován se speciální folií do rolí. [15]

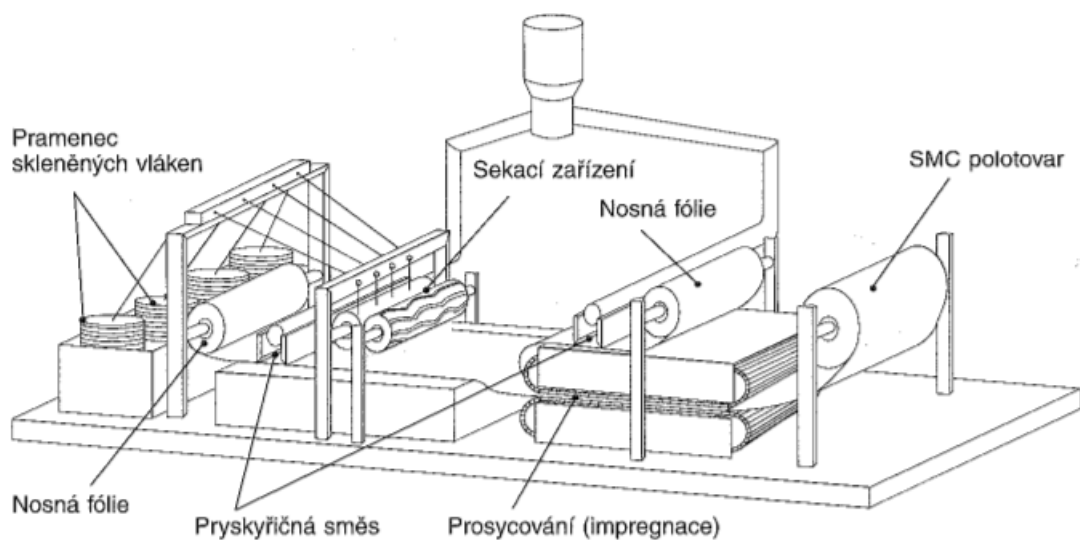
1.8.2 Výroba pomocí horké taveniny

Tento proces je stavěn na působení tepla a tlaku. Skládá se ze dvou výrobních fází. Používá se pro jednosměrná vlákna nebo tkaniny. V prvním stupni je potažen papírový podklad slabou vrstvou pryskyřice. Druhý stupeň zahrnuje impregnaci vlákna nebo tkaniny, spojení vyztužujících vláken a pryskyřic. Za působení tepla a tlaku na vyhřívaných válcích dochází k trvalému spojení pryskyřice a vlákna. Poté je prepreg veden přes chladicí válec, je odstraněna vrstva papírového podkladu. Se speciální folií je konečný prepreg rolován do rolí. [15]

1.8.3 Výroba prepregů pomocí SMC (Sheet Moulding Compound)

SMC je kontinuální proces, který nepatří mezi klasické metody výroby prepregů. Při této metodě jsou skelná vlákna sekána a spojována s polymerní matricí v jeden celek. Kompozit je ve tvaru desek, které se na sebe dále vrství a v lisu za působení tepla a tlaku se vytvarují do požadovaného dílu. U reaktoplastických matric proběhne vytvrzovací reakce.

Přiskyřice se nejdříve v tenké vrstvě nanese na plastovou fólii. Na ní se rovnoměrně nanesou sekaná vlákna. Další fólie s vrstvou přiskyřice je nanese na druhou stranu první se sekanými skelnými vlákny a průchodem mezi válci dojde k prosycení vláken a zhutnění kompozitu. Poté se materiál může navinout na cívku nebo nasekat do bloků. Materiál má omezenou skladovatelnost danou použitím reaktivních přiskyřic. Délka vláken bývá 25 až 50 mm. Pro zlepšení procesu se přidávají ještě různé přísady, jako např. separátory apod. [16]



Obr. 12: Zařízení na výrobu SMC prepregů [2]

1.8.4 Výroba prepregů práškovou metodou

Rozptylování polymerního prášku je možné pro mnoho druhů polymerních materiálů, jak reaktoplastů, tak termoplastů. Prášek prochází přes rozprašovací válec. Dochází k jeho rovnoměrnému rozptylování na výztuž. K roztavení prášku může někdy docházet až při konečné výrobě dílu (např. při lisování). [16]

2 TECHNOLOGIE LEPENÉHO SPOJE

Lepení je technologický proces spojování materiálu (adherendů), pomocí kterých lze dosáhnout trvalého spojení stejných, případně různých materiálu prostřednictvím lepidel (adheziv). Lepidlem se obecně rozumí látka, která je schopna tvořit pevná a trvalá spojení mezi dvěma materiály. Uvedená schopnost závisí od adheze k povrchům lepených materiálu a od koheze samotného lepidla. [17]

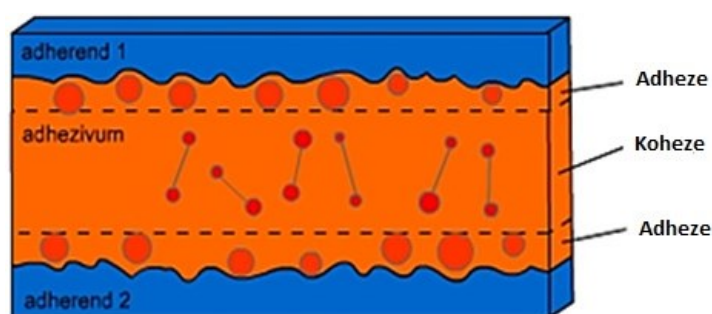
2.1 Teorie koheze a adheze

Každý hodnotný a konstrukčně pevný lepený spoj lze pohlížet za soubor několika navzájem vázaných vrstev, kde rozsah adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám přilehlým i koheze vrstev samých může značně ovlivnit celkovou kvalitu spoje.

Koheze popisuje stav látky (soudržnost lepidla), ve kterém drží její částice působením valenčních a mezimolekulárních sil pohromadě. Velikost koheze udává tzv. kohezni energie, což je velikost energie, které je potřeba k odtržení jedné částičky od ostatních.

Adheze (přilnavost) je vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami. Adheze souvisí s molekulovou strukturou. Je výsledkem působení fyzikálních sil, mezimolekulárních a chemických vazeb. V kompozitních systémech se nejvíc vyskytují tři druhy adheze, a to mechanická, fyzikální a chemická. V nynější době jsou nejčastěji používané teorie adheze především: [17, 20]

- Mechanická teorie
- Chemická teorie
- Fyzikální teorie
- Elektrostatická teorie
- Difuzní teorie



Obr. 13: Adheze a koheze ve spoji [18]

2.1.1 Mechanická teorie adheze

Podle mechanické teorie nastane adheze proniknutím lepidla do pórů, dutin a jiných povrchových nepravidelností na povrchu. Mechanická teorie vychází z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu dojde po zatuhnutí k jeho zaklínění v povrchu lepeného materiálu. Mechanické teorie adheze jsou dnes využívány sporadicky jen ve specifických případech, jako je adheze pryžových směsí k textilním vláknům nebo výroba překližek. Neexistuje absolutně rovné těleso, a tedy i hraniční plocha mezi matricí a vláknem nebude nikdy dokonale rovná a vždy bude obsahovat různé výstupky a prohloubení. Názorně styčné plochy ukazuje obrázek níže. Při zatížení smykem budou všechny vzájemně zaklíněné plochy bránit rozdílnému pohybu vlákna a matrice, jinak by muselo dojít k jejich ustřížení. Velikost zaklínění roste s drsností a s kvalitou vzájemné adheze. Dále se na rozhraní objevují síly třecí. Tyto mohou být dosti významné, protože rozdílné tuhosti jednotlivých složek následně vyvolají velké tlakové síly. [21]

2.1.2 Chemická teorie adheze

Chemická adheze vznikající reakcí matrice a disperze může být v kompozitu velmi pozitivním jevem. Tyto vazební síly působící do vzdálenosti až 0,3 μm , mohou totiž dosáhnout teoretické pevnosti až 70 GPa. Lze je uplatnit za předpokladu, že se matrice s disperzí navzájem prolínají. Na rozhraní se přitom vytvoří mezivrstva, jejíž adheze je silná. Dalším předpokladem je stav, kdy se rozhraní vytvoří z chemické sloučeniny vzniklé z reakce matrice a disperze. I přes výhodné vlastnosti této mezivrstvy existují záporné vlivy nepříznivě ovlivňující kompozit. Těmito vlivy může být na jedné straně stav, kdy difúze mezivrstvy způsobí křehkost s malou pevností, přičemž právě v této vrstvě se začne přednostně šířit porucha. Na straně druhé může vlivem silné difúze nastat poškození větší plochy vlákna, která naopak sníží pevnost tohoto vlákna. Proti tomuto jevu se vláknové kompozity určené do vysokých teplot opatřují difúzní bariérou. [17, 21, 22]

2.1.3 Elektrostatická teorie adheze

Základ pro vznik adheze je založen na dvojité vrstvě, která je vytvořena dotykem dvou rozličných substancí ve spoji. Spoj je kondenzátorem, u kterého se rozdílně nabitě desky přitahují. Jakmile jsou odděleny, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise. [20, 21]

2.1.4 Difuzní teorie adheze

Tato teorie naznačuje, že adheze je rozvíjena prostřednictvím vzájemné difúze molekul mezi lepidlem a lepeným materiálem. Teorie difúze je použitelná přede-vším v případech, kdy lepidlo i lepený materiál jsou polymery s relativně dlouhými řetězci molekul, které jsou schopny pohybu. [21]

2.1.5 Fyzikální teorie adheze

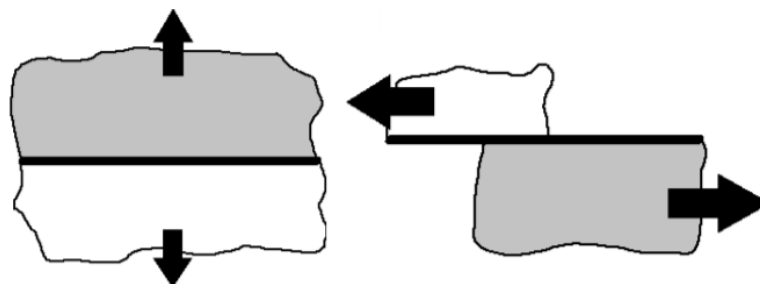
Tento druh adheze souvisí s Van der Waalsovou silou mezi disperzi a rozhraním. Tyto síly působící do vzdálenosti až 0,5 nm mají teoretickou pevnost až 7 GPa. Pokud se podaří dosáhnout horních hodnot pevnosti, lze tuto vazbu považovat za dostatečně pevnou a vhodnou pro rozhraní přijatelné v kompozitních systémech. Tato vazba přímo souvisí se smáčivostí matrice k disperzi. [23]

2.2 Měření adheze na kompozitech

Možnost určit vlastnosti rozhraní fází je pro hodnocení adheze klíčová. Smáčivost fází a příslušné povrchové napětí je s adhezí spjato, ale souvislost mezi nimi je velice složitá, proto existuje celá škála metod, jak experimentálně zjišťovat síly adheze na rozhraní fází. [23]

2.2.1 Přímé měření adheze

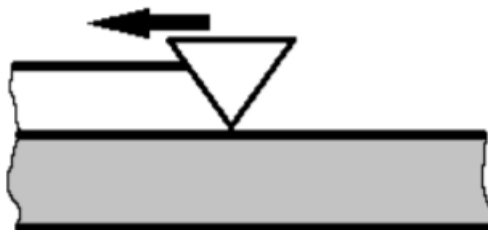
Ke změření adhezního napětí pomocí statických zatěžovacích zkoušek, je nutné vyrobit rovinné rozhraní a to rozhraní zatěžovat tahem v příčné rovině pro stanovení normálového napětí a v rovině podélné pro stanovení smykového napětí. Tečné adhezní napětí lze taky měřit pomocí trojbodového ohybu, kde se smykové napětí vytvoří v neutrální rovině ohybu. Pokud dojde k překročení kritické hodnoty smykového napětí kompozitu, tak dojde k jeho porušení, tzv. delaminaci. [23]



Obr. 14: Princip přímého měření adhezního napětí (vlevo napětí normálové, vpravo napětí smykové) [23]

2.2.2 Scratch test

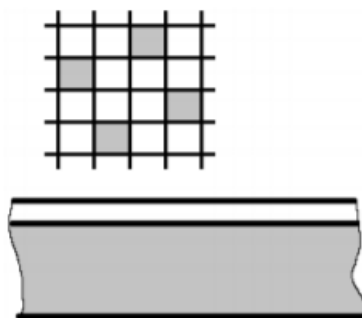
Tento test je možné využít k posouzení tenké vrstvy. Tenká vrstva je umístěna na masivní vzorek z druhého materiálu. Měření se provádí tak, že do zkoušené vrstvy je vytvořen vryp tažením diamantového hrotu s geometrií odpovídající Rockwellovskému hrotu. Přítlačná síla je zvyšována až do doby, kdy dojde k utržení tenké vrstvy. K vyhodnocení adheze slouží přítlačná síla. [23]



Obr. 15: Princip scratch testu [23]

2.2.3 Mřížkový test

Podstatou zkoušky je provést pět rovnoběžných vrypů speciálním nástrojem a dalších pět vrypů, již na první sadu vrypů budou kolmé. Hloubka vrypů je zpravidla až na podkladový materiál s rozstupem, který závisí na hloubce tenké vrstvy. Poté se na vrstvu nalepí lepicí páska a strhne se. Vyhodnocení kvality adheze je množství neodtržených čtverečků. [23]



Obr. 16: Princip mřížkového testu [23]

3 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU LEPENÉHO SPOJE A KONTAKTNÍHO ÚHLU SMÁČENÍ

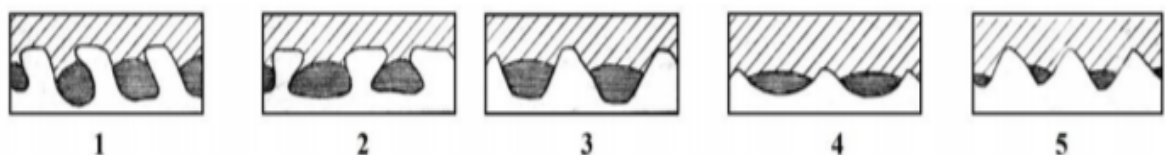
3.1 Vliv lepeného spoje materiálu na vlastnosti spoje

3.1.1 Geometrie povrchu

U lepených ploch rozlišujeme tři druhy povrchu:

- Geometrický povrch daný rozměry spoje
- Mikropovrch jako teoretická styčná plocha
- Účinný povrch skutečně smáčený lepidlem

Geometrický povrch zahrnuje délkové rozměry a tloušťkové tolerance lepené plochy, které charakterizují souběžnost spojovaných ploch a mají zásadní vliv na stejnoměrné rozvrstvení lepidla. Do jaké míry pokryje lepidlo mikropovrch adferendu je záležitostí jeho konzistence, čistoty povrchu a tvaru povrchových nerovností. Pro srovnání leštěný povrch má tvar miskovitých nerovností, které se špatně smáčí a jsou hůře lepitelné, především za normálních teplot a tlaků. Naopak příliš zdrsňený povrch má také nevýhodnou strukturu, lepidlo jen obtížně proniká do prohlubní vyplněných plynem. V tomto případě mluvíme o nerovnosti válcové, kónické uzavřené a kónické otevřené. [24]



Obr. 17: Typy nerovnosti mikropovrchu

1 – válcová nerovnost; 2 – kónická uzavřená nerovnost; 3 – kónická otevřená nerovnost; 4 – miskovitá nerovnost; 5 – kónická plochá nerovnost [24]

Důležitým kritériem při lepení zůstává čistota lepeného povrchu. Plocha určená k lepení by měla být zbavena všech separačně působících látek, především mastnoty, korozních zplodin a adsorbovaných plynů. K odmaštění se používá rozpouštědel na bázi lihu a benzínu, nutné je dbát na to, aby použitý prostředek k odmaštění nedegradoval lepený povrch. Před lepením povrch můžeme též mořit různými chemickými látkami pro zlepšení vlastností. S úspěchem též lze k čištění materiálu před lepením použít ultrazvuk. [20]

3.2 Vlivy ovlivňující smáčení

Předběžné úpravy lepených povrchů jsou pro dosažení maximální pevnosti spoje velmi důležité. Hlavním cílem je odstranění všech látek, která by se mohla podílet na vytvoření slabé vazebné vrstvy. Rozhodujícím úkolem je dosažení co největší smáčivosti povrchu lepidlem, čímž se vytvářejí lepší podmínky pro vznik adhezních vazeb. Způsoby předběžných úprav je možné rozdělit na fyzikální a chemické operace.

Fyzikální operace zahrnují jednak mechanické opracování (např. broušení, kartáčování, pískování a obrábění) a také nemechanické opracování, jako je odmašťování, čištění ultrazvukem, sušení nebo ozařování ultrafialovým zářením.

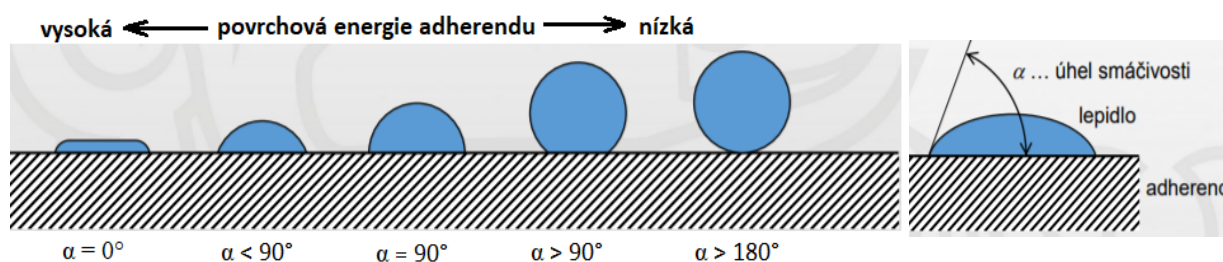
Chemické operace zahrnují moření, anodickou oxidaci nebo použití základních nátěrů reaktivních látek (primerů). [24, 25]

3.2.1 Smáčivost

Smáčivost je schopnost kapaliny udržovat kontakt s pevným povrchem, vyplývající z mezimolekulární interakce. Stupeň smáčení je určen projevem adhezních a kohezních sil, což jsou přitažlivé a odpuzivé síly mezi částicemi povrchových vrstev dvou stýkajících se látek. Smáčivost je důležitá při lepení nebo přilnavosti dvou materiálů. Smáčivost a povrchové síly, které řídí smáčení, jsou rovněž odpovědné za další související efekty, včetně tak zvaného kapilárního efektu. [25]

3.2.2 Kontaktní úhel smáčení

Při lepení plastů je důležité si uvědomit, že ne všechny druhy plastů jsou lepitelné. Povrchová energie lepidla musí být nižší než povrchová energie adherendu. Pro určení lepitelnosti můžeme materiál hodnotit pomocí kontaktního úhlu smáčení.



Obr. 18: Smáčení povrchu kapalinami [19]

$\alpha > 180^\circ$ - Zcela nesmáčený povrch; $\alpha > 90^\circ$ – málo smáčený povrch; $\alpha = 90^\circ$ – dostatečně smáčený povrch; $\alpha < 90^\circ$ částečně smáčený povrch; $\alpha = 0^\circ$ úplně smáčený povrch

3.2.3 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu, se může vyskytovat i u pečlivě připravených reálných povrchů. Drsný povrch je obvykle lépe smáčen dobře smáčejiícími kapalinami než povrch hladký, zatímco u špatně smáčejiících kapalin je tomu naopak. [26]

3.2.4 Polarita

Slabě a středně polární hmoty, jako je polyvinylchlorid, polymethylmetakrylát, dále polyestery, fenoplasty. Silně polární hmoty, zejména polyamidy, se lepí hůře než hmoty slabě polární. Některé nepolární hmoty, jako je polyetylén a polypropylén, jsou velmi těžce lepitelné až nelepitelné. Tento problém v praxi řešíme úpravou povrchu oxidací, čímž zvýšíme místní polaritu. Další možností, jak zlepšit lepitelnost, je přidání polárních plniv, polárních kopolymerů, změkčovadel a dalších přísad do lepidla. [24]

3.2.5 Čistota povrchu

Absolutní kontakt lepidla s povrchem lepené hmoty předpokládá, že plocha určená k lepení je zbavena všech separačně působících látek, zejména mastnoty a korozních zplodin z výrobního procesu. K odmašťování se používají rozpouštědla a moření chemickými látkami. Termoplastické hmoty lze odmašťovat jen takovými rozpouštědly a roztoky, které termoplastickou hmotu nenapadají. Ve všech případech vyhovují vlašné roztoky saponátů. [20, 24]

3.2.6 Rozpustnost a bobtnavost

Řada termoplastických polymerů se rozpouští nebo bobtná v organických rozpouštědlech, která jsou obsažena v roztocích, popř. disperzních lepidlech. Při práci s kompaktními tlustostěnnými materiály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodou (lepí se i čistými rozpouštědly), kdežto při lepení fólií, kdy může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [20, 24]

3.2.7 Teplotní roztažnost

Je známo, že tuhé materiály zvětšují zahřátím svůj objem a po ochlazení se znovu smršťují do původního rozměru a polohy, ale není tomu vždy tak. Tyto změny závisí na složení materiálu a na jeho struktuře, tvaru a teplotě. Ve směru uspořádání makromolekul hmoty a vláken plniv bývá zvětšení rozměrů vždy vyšší a naopak u materiálů s neorientovanou strukturou je zvětšení rozměrů ve všech směrech stejné. [24]

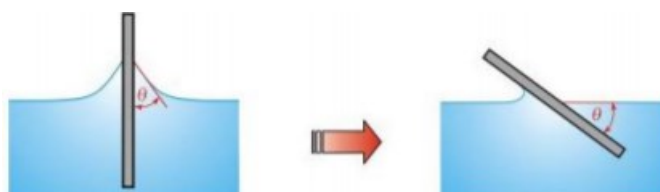
Tab. 3: Teplotní roztažnost některých materiálu [28]

	Polymer	Zkratka	$\alpha [K^{-1}]$
TERMOPLASTY	Nízkohustotní polyetylen	PE-LD	$25 \cdot 10^{-5}$
	Vysokohustotní polyetylen	PE-HD	$20 \cdot 10^{-5}$
	Polypropylen	PP	$(15 \div 18) \cdot 10^{-5}$
	Polybutylentereftalát	PBT	$6 \cdot 10^{-5}$
	Akrylonitril-butadien-styren	ABS	$(6 \div 11) \cdot 10^{-5}$
	Pěnový polystyren	PS-GP	$(6 \div 8) \cdot 10^{-5}$
	Polyamid 66	PA-66	$(1 \div 8) \cdot 10^{-5}$
	Polyoxymetylen	POM	$(1 \div 10) \cdot 10^{-5}$
	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	$(7 \div 8) \cdot 10^{-5}$
	Měkčený polyvinylchlorid	PVC-P	$(15 \div 21) \cdot 10^{-5}$
	Polykarbonát	PC	$(6 \div 7) \cdot 10^{-5}$
	Polytetrafluoretylen	PTFE	$(10 \div 12) \cdot 10^{-5}$
REAKTOPLASTY	Fenoplasty		$(3 \div 5) \cdot 10^{-5}$
	Aminoplasty		$(5 \div 6) \cdot 10^{-5}$
	Epoxidové pryskyfice	EP	$(1 \div 4) \cdot 10^{-5}$
VULKANIZOVANÝ KAUČUK	Přírodní kaučuk	NR	$(20 \div 40) \cdot 10^{-5}$
	Butadien-akrylonitrilový kaučuk	NBR	
	Butadien-styrenový kaučuk	SBR	
	Chloroprenový kaučuk	CR	
	Etylen-propylenový kaučuk	EPM	
	Silikonové kaučuky	Q	$19 \cdot 10^{-5}$
	Sklo		$0,5 \cdot 10^{-5}$
	Ocel		$1,1 \cdot 10^{-5}$
	Měď		$1,65 \cdot 10^{-5}$

3.3 Způsoby měření smáčivosti

3.3.1 Metoda nakloněné desky

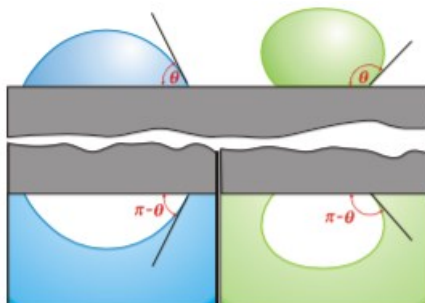
Deska ze zkoumaného materiálu je vnořena do kapaliny a poté nakláněna tak dlouho, až je povrch kapaliny na jedné straně destičky rovný k čáře styku mezi deskou a kapalinou. V tomto okamžiku svírá hladina kapaliny s rovinou destičky úhel smáčení θ . Při měření je důležité zajistit, aby povrchy měřené kapaliny i destičky byly dokonale čisté. Metoda je používána pro měření malých úhlů (menších než 10°). [29]



Obr. 19: Měření úhlu smáčení na nakloněné desce [29]

3.3.2 Měření úhlu smáčení na přisedlé kapce nebo přilínající bublině

Úhel smáčení může být vyhodnocen na základě tvaru kapek umístěných na čisté desce zkoumaného materiálu nebo bublin přilínajících k desce ponořené do kapaliny. [29]

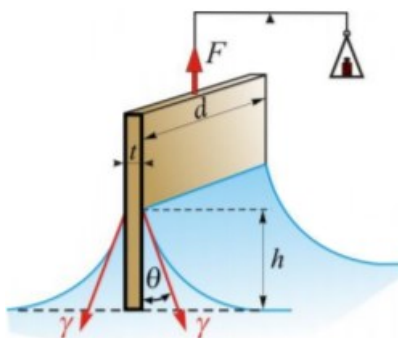


Obr. 20: Přisedlé kapky a přilínající bubliny [29]

Dříve byl používán mikroskop vybavený goniometrickým okulárem, což umožňovalo přímo odečíst úhel smáčení nebo úhel byl vyhodnocován z fotografie kapky. V obou případech není přesnost metody vysoká a značně závisí na zkušenostech experimentátora. V současnosti lze tuto metodu používat ve spojení s počítačem, kde při použití videokamery pro snímání obrazu kapky a počítače pro jeho digitalizaci a vyhodnocení dokážeme vyhodnotit úhel smáčení s přesností okolo 1° . [29]

3.3.3 Wilhelmyho metoda vyvažování destičky

Tenká destička šířky d , dobře smáčená studovanou kapalinou, se upevní na vahadlo vah a ponoří do kapaliny. Na povrchu destičky se z obou stran tvoří menisky, jejichž tvar a maximální výška vzestupu h je určena Laplaceovou-Youngovou rovnicí. Celková hmotnost vzlínající kapaliny připadající na jednotku obvodu destičky pak nezávisí na tvaru menisku a při nulovém úhlu smáčení je rovna povrchovému napětí. Pro sílu F (obvykle se měří při takové poloze destičky, kdy její dolní hrana je přesně ve výši hladiny kapaliny), kterou je nutno vynaložit pro vyvážení destičky o šířce d a tloušťce t . [30]



Obr. 21 Vyvažování destičky [30]

4 METODY POVRCHOVÝCH ÚPRAV ZVYŠOVÁNÍ ADHEZE U POLYMERNÍCH A KOMPOZITNÍCH MATERIÁLU

Metody úpravy povrchu se dají dělit na mechanické, chemické a fyzikální. Prvním předpokladem dobré adheze je těsný kontakt povrchů dvou materiálů a s ním související smáčivost povrchů charakterizovaná povrchovou energií. Dalším faktorem, který ovlivní kvalitu adheze, je druh vazby mezi dvěma stykovými plochami. Při těsném kontaktu povrchů dvou materiálů se vždy uplatní slabá vazba prostřednictvím van der Waalsových sil. Jestliže povrchy nesou elektrický náboj opačného znaménka, potom je vazba zpevněna elektrostatickou přitažlivou silou. V případě jisté drsnosti povrchů je adhezní vazba zprostředkována navíc čistě mechanicky. Tento typ vazby se projeví především při namáhání ve smyku. Významnější typ adhezní vazby vzniká na rozhraní dvou polymerních materiálů, kdy může dojít k vzájemné difúzi (interdifúze) volných konců molekulárních řetězců a vytvoření spletců, které vedou k podstatnému zpevnění vazby. Tohoto typu je využíváno u kompozitů s termoplastickou maticí, kde vyztužující vlákna jsou povrchově upravena pomocí vazebných činidel. Obecně k vzájemné difúzi může dojít i u nepolymerních materiálů. Nejpevnějším typem adhezní vazby je chemická vazba (kovalentní, iontová). Tohoto typu vazby je využito u skleněných vláken vyztužených polymerních kompozitu, kde maticí je termosetová pryskyřice. [21, 37, 38]

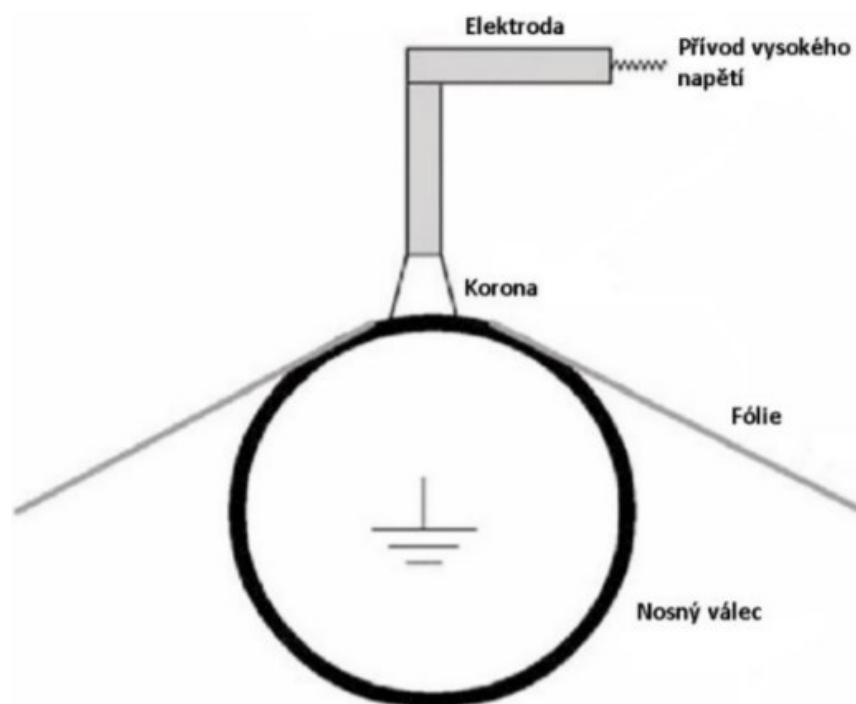
V případě dokonalé adheze (přilnavosti) mezi polymerem a vláknem nesou dlouhá vlákna veškerá napětí na kompozitním materiálu, takže nepevná, ale deformovatelná matrice je prakticky bez napětí. S nárůstem objemového podílu vláken v kompozitu a poklesem průměru vláken vzrůstá význam mezivrstev (mezifáze). Při obvyklém objemovém podílu vláken 30 – 60 % a průměru vláken 8 – 16 mm je vliv mezifáze na mechanické vlastnosti kompozitu dominantní. Špatná adheze vede ke ztrátě vyztužujícího efektu vláken a tedy ke snadnému poškození kompozitního materiálu. [21, 37, 38]

V této kapitole se budeme zabývat nejčastějšími postupem úpravy povrchů u polymerů a kompozitu ke zvýšení adheze

Mezi zásadní postupy úprav povrchů polymerů se řadí hlavně zvyšováním ošetřením korónovým výbojem, plamenem, plazmou a chemickým leptáním. Veškeré výše dotyčné metody mají za funkci zvýšit povrchovou energii a zdokonalit smáčivost, což vede ke zvýšení pevnosti a zlepšení kvality adheze na rozhraní materiálu. [21, 37, 38]

4.1 Úprava korónovým výbojem

Tato metoda se používá pro úpravu povrchového napětí fólií z polymerů, hliníkových fólií, papíru a kartónů před potiskováním, laminováním nebo povlakováním. Korónový výboj plazmatu se vytváří přiváděním vysokého napětí na ostré hroty elektrod, na kterých se tvoří plazma, která probíhá při atmosférickém tlaku. Schéma úpravy korónovým výbojem je zobrazeno na obrázku (Obr. 22). Plastová fólie je zavedena na válec, který je zpravidla potažen dielektrickým materiálem. Elektrody jsou situovány poblíž povrchu fólie a na ně je přiváděno vysoké napětí. [20, 39, 17]

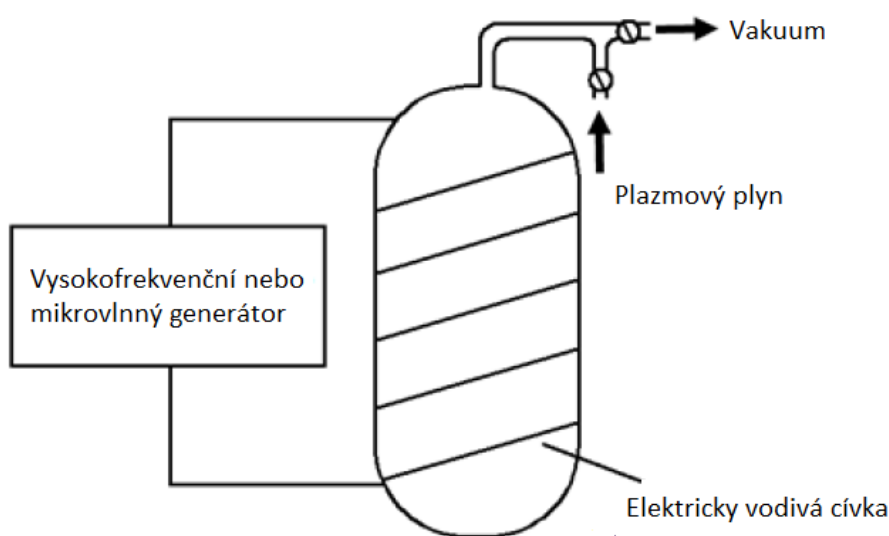


Obr. 22. Schéma úpravy korónovým výbojem za účelem zvýšení povrchové energie plastové fólie. [20]

4.2 Úprava plazmou

Plazma je někdy stanovena za čtvrté skupenství látky. Tvoří se při zahřívání pevné látky, kdy dojde zpočátku k roztavení na kapalinu a při ještě vyšších teplotách se kapalina mění na plyn. Tato metoda spočívá ve vystavení povrchu polymeru účinkům působení plazmy, generovaného doutnavým výbojem vysokofrekvenčním generátorem (Obr. 20). Pro polyetylen byla potřebná pouze velmi krátká doba úpravy (přibližně 9 sekund), zatímco

větší kontaktní časy byly požadovány pro další polymery, jako byl např. PTFE. Používané plazmové plyny (kyslík, helium, dusík) jsou vybrány tak, aby zahrnuly rozsáhlý sortiment chemických reakcí. V tomto průběhu jsou atomy vyřazeny z povrchu za vzniku silné, smáčitelné a zesítené vrstvy. Samotný proces nepoškozuje a nemění vlastnosti a objem materiálu, neodstraňuje z povrchu značné množství materiálu a je šetrnější k životnímu prostředí. Nevýhodou je potřeba drahých plynů a vyšší cena zařízení. Metoda plazmové úpravy může být použita na různé plastové díly a dokonce i na práškové složky, jako jsou pigmenty a plniva. [20, 21, 37, 40]



Obr. 23. Schéma úpravy plazmou [20]

4.3 Úprava povrchu chemickým leptáním

Chemická úprava je jednou z nejúčinnějších způsobů úpravy povrchu plastů před lepením. Tímto způsobem mohou být měněny fyzikální i chemické vlastnosti povrchu. Chemickému ošetření často předchází čištění povrchu, za účelem odstranění povrchových nečistot. Výhody čištění povrchu předem spočívá především ve snížení kontaminace chemického roztoku a v lepší interakci mezi povrchem a roztokem. Obvykle je povrch plastového dílu omyt mýdlem a roztokem detergentu s následným ponořením nebo natřením ošetřující chemickou látkou (kyseliny, oxidační látky a jiné aktivní chemikálie) kde se povrch na aktivuje a pak lepený povrch lépe drží. Následně po ošetření je plastový díl očištěn pomocí vody a sušen při zvýšené teplotě. [17, 37, 39]

4.4 Úprava povrchu ozařováním

Úprava povrchu polymerů ozařováním je pořád se rozvíjející oblast, která dosahuje stále větší pozornost ze strany průmyslu.

Mezi hlavní druhy záření, které se využívají pro úpravu povrchu polymerů, náleží hlavně iontové a ionizační záření. Do ionizačního záření se pak zařazuje gama záření z radioaktivního izotopu, beta (elektronové) záření a rentgenové záření. Veškeré předvedené druhy se vůči sobě značně liší, a však u všech probíhá přenášení energie na atomy ozařovaného materiálu. Porovnání těchto záření je znázorněné v tabulce (Tab. 4). [41, 42]

Tab. 4. Porovnání gama, beta a rentgenové záření [41]

Vlastnost	Gama záření	Beta (elektronové) záření	Rentgenové záření
Hloubka průniku	velká	nízká	velká
Výkon	nízký	vyšší	nízký
Provozní náklady	vyšší	nízké	vyšší
Rychlost ozařování	nízká	vyšší	nízká
Zdroj	radioaktivní izotop	elektrická energie	elektrická energie
Zařízení	snadná obsluha a údržba	složitá obsluha a údržba	složitá obsluha a údržba
Stínění	nepřetržitě záření, vyžaduje více stínění	lze zapnout a vypnout, méně náročné na stínění	lze zapnout a vypnout méně náročné na stínění

4.4.1 Ionizační beta (elektronové záření)

S ionizačním beta zářením je možno měnit fyzikální, mechanické vlastnosti ozařovaného materiálu. V této době je ionizační záření nejvíce používáno pro sterilizaci např. výrobků ve zdravotnictví, potravin a zemědělských produktů a taktéž k modifikaci materiálů síťování polymerů. U ionizačního beta záření jsou elektrony vytvářeny za vysokého vakua prostřednictvím žhavé katody. Elektrony vyzařované z katody jsou následně urychleny v elektrostatickém poli, které vzniká mezi katodou a anodou. Velikost hloubky průniku do materiálu se zvětšuje s rostoucí energií elektronů. Záleží rovněž na hustotě ozařovaného materiálu a geometrii výrobku. Jak jde vidět z předchozí tabulky (Tab. 4) beta záření má zřetelně vyšší rychlost ozařování než záření gama, zásluhou čemuž výrobky podléhají záření jenom v řádu několika sekund na rozdíl od hodinám až dnům u gama záření.

Naopak hloubka průniku je u beta záření zřetelně nižší (až 5 krát v porovnání s gama zářením). Ionizační beta záření je pro své vlastnosti nejpoužívanějším zářením pro úpravu polymerů. [41, 42, 43]

4.5 Výhody a nevýhody ozařování polymerů

V porovnání s chemickými metodami na úpravu povrchů polymerních materiálů, které mají podobné působení, vykazuje ozařování při vzájemném porovnání jak výhody, tak i určitá omezení, na které se musím brát ohled. [41]

Mezi výhody patří hlavně vyšší výkon, úspora energie (zpracování probíhá při pokojové teplotě), nižší citlivost na vlhkost, vyšší čistota a nižší toxicita procesu.

Ozařování polymerů má také několik nevýhod a limitujících faktorů. Mezi hlavní nevýhody patří vysoká finanční nákladnost celého ozařovacího systému, která potřebuje značné kapitálové investice. [37, 41]

I přes dotyčná negativa je potenciál úpravy polymerů ozařováním značný, protože výhody této metody vysoce přesahují nevýhody a vlastnosti dosažené touto metodou dosahují shodné, nebo dokonce v některých situacích i vyšší kvality, ve srovnání s konkurenčními metodami. [41, 42]

5 MOŽNOSTI VOLBY SPOJŮ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Neustálé rozšiřování lehkých kompozitů je výzvou k hledání nových příležitostí. Jednou z klíčových problémů je bezpečné spojování těchto materiálů. Tradiční spojovací systémy, které byly navrženy pro plechy, jako například nýty, šrouby či zalisovávací prvky, která byla vyvinuta pro kovy, nejsou často kompatibilní s kompozity nebo při zpracování vyžadují značné kompromisy. Například navařovací šrouby, které byly určeny pro přivaření ke kovům nelze efektivně spojovat s plasty. Lehké kompozitní panely musí být tenké a jejich nízká tloušťka mnohdy neumožňuje použití tradičního spojovacího materiálu. Vlastnosti tenkých uhlíkových vláken nelze zlepšit ani vysekáváním a vrtáním. Krátce řečeno: Designeři a technologové, kteří se díky kompozitům blíží k novým horizontům, se nechtějí nechat omezit stávajícími řešeními spojování materiálů, které nejsou s kompozity kompatibilní. [27, 31]

Vložení spojovacích prvků do kompozitů je běžným požadavkem a slouží k tomu, aby se dosáhlo bezpečného a vizuálně nenápadného spojení. Integrace spojovacích prvků při výrobním procesu kompozitních dílů vede k řešení, které umožňuje následnou efektivnější finální montáž. Díky této integraci do licích forem při výrobě kompozitů je spojovací prvek plně začleněn do výrobku a tím odpadá další operace. Integrované spojovací prvky se vyznačují svojí nenápadností a stabilitou. To jsou některé z jednoznačných výhod vkládání spojovacích prvků. Pokud začlenění spojovacích prvků není konstrukčně možné, může dojít k omezení konstrukce výrobku a negativnímu ovlivnění efektivní výroby. Kompromisy pak mohou způsobit snížení kvality výrobku nebo zvyšují jeho tloušťku a hmotnost. [31]

Základní přehled metod spojování kompozitních materiálů rozlišujeme na:

- Mechanické spojení
- Kombinované spojení
- Lepené spojení
- Svařovací spojení

5.1 Mechanické spojování kompozitu

Spoj mezi kovovým a kompozitním materiálem lze provést tradičními mechanickými způsoby spojování materiálů. Lze sem zařadit spojování šrouby, nýty a čepy. K vytvoření tohoto spoje je nutné vytvoření otvorů do jednoho či do všech spojovaných dílců a následné vložení spojovacího elementu. Výraznou nevýhodou je skutečnost, že vyvrtáním otvoru do materiálu oslabíme jeho místní pevnost, což může zvláště u vláknového kompozitu znamenat výrazné snížení pevnosti celého dílce. [17]

Výhody mechanických spojů:

- Rychlá, snadná a levná metoda
- Zajištěná pevnost v tahu i smyku
- Snadná kontrola
- Rozebíratelné spoje (kromě nýtování)
- Nevyžadují přípravu povrchu

Nevýhody mechanických spojů:

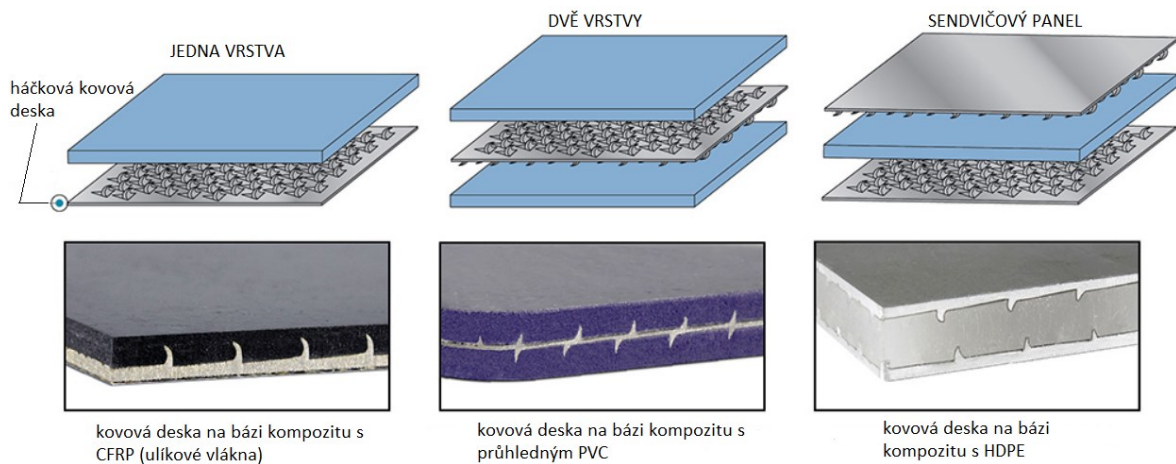
- Zvyšuje se hmotnost sestavy
- Díra narušuje strukturu kompozitového dílu
- Netěsnost spojů a tím i riziko elektrochemické koroze
- Vyčnívající matice či hlavy šroubů, nýtů a čepů

5.2 Kombinované spojení

5.2.1 Zalaminování kovového dílce

Spoj kovového a kompozitního materiálu lze vytvořit přímo při výrobě kompozitního dílce zalaminováním kovového dílce do objemu kompozitu. Ve své podstatě se jedná o druh lepení, jelikož kovový materiál je v celku připevněn polymerem (matricí) se schopností adheze a koheze. Kovový dílec se v podstatě stane součástí kompozitního dílu a je matricí spojen s vyztužujícími elementy. V případě namáhání spoje je nutné vhodně upravit povrch kovového dílce pro lepší adhezi matrice ke kovu a tím zvýšení pevnosti spoje mezi materiály. Tímto způsobem jsou vytvářeny tzv. inserty, díly zakomponované do matrice kompozitu pro místní zpevnění dílce. Pevnost spoje mezi kovovým dílem (insertem) a

kompozitem je v případě neupravení geometrie vyztužujících prvků kompozitu vzhledem k insertu daná pouze adhezními a kohezními schopnostmi materiálu matrice. [32]



Obr. 24: Zalamínování kovového dílce [32]

5.3 Lepené spoje

Pro konstruktéra má lepení jako vytváření spojů mnoho výhod. Lepené spoje jsou na rozdíl od nýtových či šroubových spojů nepropustné pro kapaliny. Lepením se nenarušuje hladkost povrchu a tedy ani estetický vzhled výrobku. Nezhoršují se též mechanické vlastnosti konstrukčního materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. Při dynamickém namáhání konstrukce rozvádí lepený spoj vzniklé pnutí mnohem rovnoměrněji než kterýkoliv jiný mechanický spoj.

Vývoj moderních syntetických lepidel vyřešil řadu problémů souvisejících se zpracováním plastických hmot. Umožnil vrstvit klasické materiály – dřevo, textil, kovy, atd. Pomocí lepených spojů lze zhotovovat antikorozi obklady, trubkové spoje, sendvičové konstrukce i velkoplošné panely. [33]

5.3.1 Konstrukce lepených spojů

Lepené spoje mohou být namáhány v tahu, tlaku, ve smyku, v odlupování, v rázové pevnosti, v kroucení apod. Chování lepeného spoje v každém z těchto případů namáhání je velmi specifické a jeho pevnost se bude dle druhu zatížení lišit.

Konstrukce musí být upraveny tak, aby spoj byl co nejméně namáhán v odlupování a v krutu, na něž je většina druhů lepidel náchylná. V těchto případech se namáhání soustřeďuje pouze do určitých míst spoje, což vede k lokálnímu přetížení a následnému

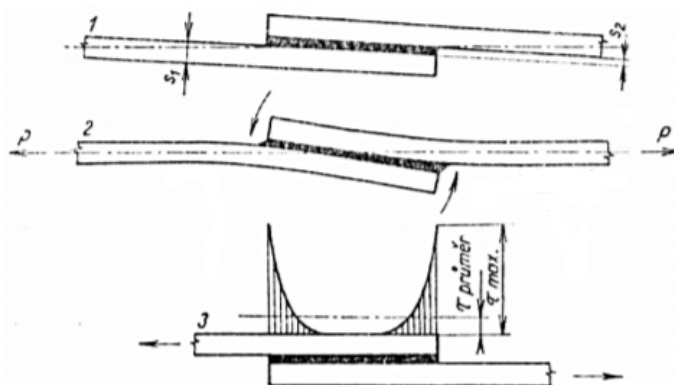
poškození filmu lepidla. Vhodná konstrukce spoje by měla zajišťovat pouze namáhání spoje na smyk, jelikož právě v tomto případě vykazuje většina druhů lepidel nejvyšší pevnost. [33]

Druhy lepidla dle způsobu tuhnutí:

- Lepidla vytvrzovaná chemickou reakcí
- Lepidla vytvrzovaná dodáním energie (UV záření, teplo)
- Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí
- Lepidla vytvrzovaná v důsledku vsáknutí a odpařením rozpouštědla
- Lepidla tavná
- Lepidla stále lepivá

5.3.2 Překlátované spoje

Spoje jednostranně překlátované patří mezi plošné spoje a využívají se zejména při lepení tenkých materiálů (folie, plechy, profily, tkaniny, papír...). V těchto případech lze zanedbat vliv ohybového momentu vznikajícího následkem excentricky zatíženého spoje jako tomu je u souboru tlustších adherendů. U jednostranně překlátovaných spojů se tahové napětí soustřeďuje především na obou koncích překlátování a působí zde jako síla podporující odlupování. Při zvyšujícím se zatížení se na obou koncích překlátování zvětšuje napětí až do kritického momentu, kdy se spoj směrem od konců překlátování ke středu spáry naruší a roztrhne. Největší hodnoty pevnosti většina lepidel vykazuje při namáhání ve smyku. Při tomto druhu namáhání vzniká napětí v rovině spoje vyvolané vnější silou, která na tuto rovinu tečně působí. Tečné (smykové) namáhání spoje lze vyzorovat na lepených spojích plošných a rotačních (trubkové, válcové) při jejich namáhání na tah, tlak či krut. [34]



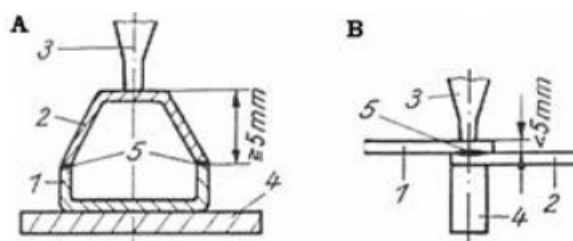
Obr. 25: Deformace jednostranně překlátovaného spoje [34]

5.4 Svařování

Svařování plastů je technologie spojování dílů z plastů za použití tepla nebo tlaku s přídatným materiálem nebo bez něho, přičemž se ve svařovací zóně spojovaných ploch nachází materiál ve viskózně-tekutém stavu. Svařování plastů lze použít pouze pro termoplasty, které se dají přivedeným teplem převést do plastického, popř. tekutého stavu. Reaktoplasty nelze svářet, protože po zpracování jsou dále již netavitelné, nelze je již převést do plastického stavu. Výhodné jsou termoplasty s širokou oblastí viskózního stavu (horní a spodní teplotou teploty tání resp. teploty viskózního toku) a termoplasty s pozvolným přechodem do tekutého stavu, např. PVC, PS, PE, PP. Termoplasty se strmým přechodem, např. PA, jsou pro svařování méně vhodné. Ještě větší opatrnosti je nutné dbát u termoplastů náchylných k oxidaci za vyšších teplot, např. u POM. Při použití dvou odlišných druhů plastů nebo např. u plněných plastů, a to jak u základního materiálu, tak i mezi přídatným a základním materiálem, je potřeba uvažovat s výrazným poklesem pevnosti svarového spoje. Tyto svarové spoje nemohou splňovat náročné podmínky, kladené na jejich pevnost a jsou určeny pouze pro podřadné účely. [35]

5.4.1 Ultrazvukové svařování

Tato svařovací technologie využívá mechanického kmitání o vysoké frekvenci a energii, která se třením mění na tepelnou. Působením tepla, které vzniká třením na styčných plochách nebo absorpcí ultrazvukové energie v materiálech na místě sváru, dochází v daném místě nejdříve ke změknutí a potom tavení (a tím vzájemnému promíchání styčných materiálů), takže v příslušném kontaktním místě vznikne (po ztuhnutí vrstvy promíšených materiálů) pevná vazba. Proto se přítlačná síla nechává působit ještě po ukončení ultrazvukových kmitů, aby spoj přešel z plastického do tuhého stavu. Obě dvě tyto fáze zaberou obvykle pouhých několik sekund. V dnešní době se však již běžně tato technologie používá ke svařování téměř veškerých plastů i kovů. Uplatňuje se při svařování plastických materiálů a kompozitů, které by s použitím běžných metod byly jen špatně, či vůbec nespojitelné. Nejvíce uplatnění má pro spojování polotovarů a vylisků z termoplastických hmot. [27, 35]

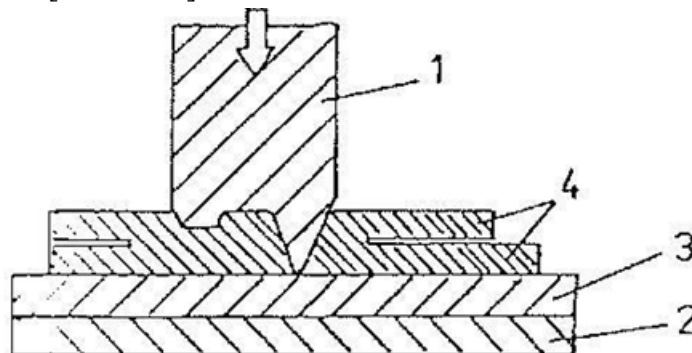


Obr. 26: Ultrazvukové svařování

1, 2 – svařované materiály, 3 – sonotroda, 4 – pevný doraz,
5 – svarový spoj, A – svařování v dalekém poli, B – svařování
v blízkém poli [35]

5.4.2 Vysokofrekvenční svařování

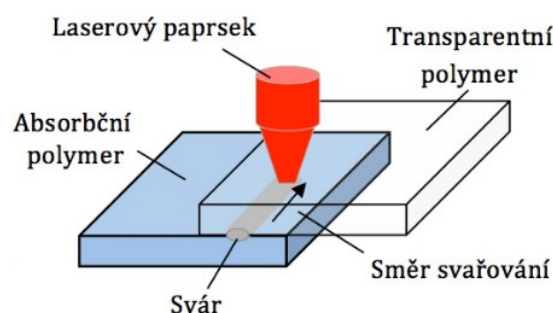
Spočívá v umístění tenkých svařovacích dílů mezi desky pracovního kondenzátoru tzv. elektrody, z nichž jedna nebo dvě vytvářejí svařový šev. Po přivedení elektrického napětí se materiál rychle zahřeje na svařovací teplotu a tlakem elektrod je spojen. Vysokofrekvenčně se svařují tenké a plošné materiály (fólie, koženky, textilie) především z měkkého i neměkčeného PVC. Lze svařovat i některé další typy plastů ABS nebo PET. V mnoha případech nahrazuje šití, a dosahuje se tak při menší pracnosti větších pevnostních spojení. [27, 35, 36]



Obr. 27: Vysokofrekvenční svařování
1- pohyblivá tvarová elektroda, 2 – spodní rovinná elektroda,
3 – izolační podložka, 4 – svařované fólie [35]

5.4.3 Svařování laserem

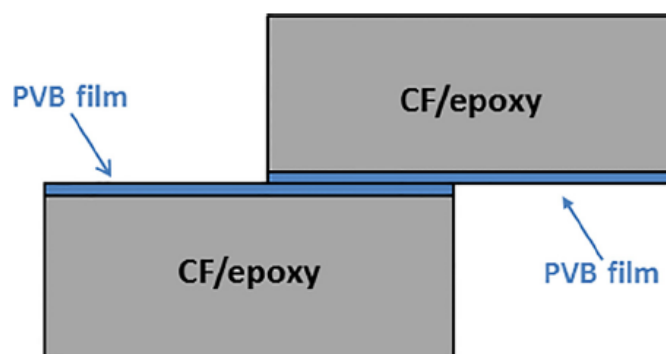
Základní princip laserového svařování polymerů spočívá v překrytí dvou plastů, kdy horní část plastu je transmisní pro vlnovou délku laseru (laser prochází přes materiál) na spodní polymer, který naopak velmi absorbuje laserový paprsek a tedy i mění jeho energii na tepelnou (zahřívá se). Schopnost absorbovat laserové světlo je důsledkem chemických barviv nebo pigmentů, také nazývaných „absorbéry“, které se přidávají k polymeru před lisováním. Při svařování laserem je absorbér přidán pouze do spodní absorbující části, zatímco horní část musí být k vlnové délce transparentní. Mezi zásadní výhody spojené s laserovým svařováním polymerů patří tedy neviditelný spoj prováděný vysokou rychlostí s velmi nízkým tepelným příkonem a minimálním ovlivněním okolí sváru. [32, 36]



Obr. 28: Svařování laserem [36]

5.4.4 Hybridní svařování kompozitů na bázi epoxidů a uhlíkových vláken

V tomto novém šíření designu z více materiálů vyžaduje vývoj nových technik spojování schopných překonat nevýhody mechanického upevnění nebo lepení. Přístup ke spojování termosetových matricových kompozitů (TSC) navržených v této studii je založen na termoplastické fólii vytvrzené nízkým bodem tání, která je přidána jako poslední vrstva ve stohovací sekvenci kompozitního laminátu. Během vytvrzování termoplastický film částečně pronikne do první vrstvy termosetového kompozitu, vedoucí k makromechanickému blokování jako hlavní spojení mechanismu mezi termoplastickým filmem a podkladovým kompozitem. Po vytvrzení termoset lze sestavit svařováním. Svařování se provádí ultrazvukovým a indukčním svařováním. Výběr materiálu spojovací vrstvy je omezen různorodě. Záleží na požadavcích, jako je teplota zpracování, vysoká adheze k dodržování TSC a mechanickým vlastnostem výsledného svařovaného spoje. Tato nová studie byla použita poprvé svařováním pro spojení termosetu kompozitní struktury metodou pro odporové svařování TPC na základě tenkého termoplastického filmu z polysulfonu PSU. V současné době se používá materiál spojovací vrstvy Polyvinylbutyral (PVB). Je to semikrystalický termoplastický polymer s teplotou tání 150 – 170°C. Nejčastěji se používá pro aplikace, které vyžadují silnou vazbu. Vyznačuje se optickou číroostí a jeho dobré přilnavosti k mnoha povrchům. Vyrábí se z polyvinylalkoholu reakcí s butyraldehydem. Hlavní použití má ve výrobě automobilových čelních skel, kde je použit jako mezivrstva vrstveného skla. V současné době je zaměřeni na svařování TSC adherendů prostřednictvím nové spojovací termoplastické vrstvy PVB s nízkou teplotou tání velký zájem. [27]



Obr. 29: Schématické znázornění spoju TSC před svařováním s PVB fólií [27]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vypracovat literární studii se zaměřením praktické části na prozkoumání a zjištění za jakých podmínek u vybraných typů polymerních termoplastických materiálu bude nejvýhodnější soudržnost s materiálem kompozitním. Zkušební prvek byl vyhotoven na vstřikovacím stroji, kde byla vložena kompozitní výztuž do připravené formy a zastříknuta. Technologie vstřikování kompozitů s termoplastem se používá a je zaměřena na komplexní služby v oblasti výroby plastových dílu hlavně pro automobilový průmysl. Vliv adheze na pevnost spoje zastříknutého kompozitu bylo zjišťováno tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456. Cílem bylo zjistit soudržnost vstřikovaného uhlíkového kompozitu termoplastickým materiálem.

Zásady pro vypracování diplomové práce byly následující:

1. Vypracovat literární rešerši pro danou problematiku
2. Zhotovit zkušební tělesa a provést jejich kondicionaci
3. Provedení experimentu mechanickou zkouškou pro zvolené materiály
4. Vyhodnocení dosažených výsledků

7 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Pro experimentální část byly vybrány dva druhy polymerního materiálů a dva druhy kompozitního materiálu, které se běžně používají v průmyslu. Zkušební tělesa jsou vyrobena technologií vstřikováním.

7.1 Volba materiálu

Pro vstřikování byly zvoleny dva typy zástupců termoplastických polymerních materiálů. Z obchodního názvu se jednalo o termoplasty:

- Grivory G 16
- Xarec C132

7.1.1 Grivory G16

Tento semikrystalický speciální termoplastický konstrukční materiál, jehož základní stavební jednotkou je polyftalamid (PPA). Tvoří nízkou hmotnost, pevnost a vysokou rozměrovou stálost a to i při vysokých teplotách použití, kde v mnoha oblastech plně nahrazuje kovové části výrobků. Grivory G 16 je vhodným materiálem na zpracování v oblasti vstřikování. Vykazuje nízkou absorpci vlhkosti s vhodnými mechanickými vlastnostmi a dobře odolává chemickým vlivům proti kyselinám a zásadám. Grivory G16 je také dobře odolný vůči UV záření a vysokým teplotám. Materiál Grivory G 16 je vyráběn z výztuží s uhlíkovými vlákny. Čím větší podíl vláken, tím větší tuhost a pevnost výsledného materiálu. Tento typ semikrystalického polymeru má teplotu zesklnění $T_g = 125$ °C a teplotu tání $T_m = 260$ °C. Obě hodnoty jsou podstatně vyšší, než mají běžné polyamidy PA-6 a PA-66 (viz tab. 6). Dobře odolává creepu, cyklickému a teplotnímu namáhání. Vzhledem k jeho vlastnostem a ceně představuje jakýsi kompromis mezi tradičními konstrukčními a speciálními polymery, ale i drahými materiály.

Tab. 5 Charakteristické vlastnosti materiálu Grivory G 16 [28]

Grivory G 16	
Hustota [kg/m^{-3}]	1180
Pevnost v tahu [MPa]	83
Pevnost v ohybu [MPa]	80
Rázová houževnatost [kJm^{-2}]	2 až 8
Navlhavost [%]	7

Tab. 6: Hodnoty přechodových teplot zesklnění (T_g) a tání (T_m) u vybraných polymerů [28]

Polymer	Struktura	Název	Zkratka	T_g [°C]	T_m [°C]
TERMOPLAST	semikrystalické	Polyethylen nízkohustotní	PE-LD	-120	110
		Polyethylen vysokohustotní	PE-HD	-120	130
		Polypropylen	PP	-15	160
		Polyoxymethylen	POM	-50	170
		Polyamid 6	PA-6	50	220
		Polyamid 66	Pa-66	50	250
		Polyethylentereftalát	PET	75	250
		Polybutylentereftalát	PBT	75	225
		Polytetrafluorethylen	PTFE	125	340
		Polyetheretherketon	PEEK	145	340
	amorfní	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	85	-
		Standardní polystyren	PS-GP	95	-
		Akrylonitril-butadien-styren	ABS	105	-
		Styren-akrylonitril-akrylát	SAN	105	-
		Akrylonitril-styren-akrylát	ASA	100	-
		Polymethylmetarylát	PMMA	110	-
		Polykarbonát	PC	150	-
		Polysulfon	PSU	190	-
		Polyimid	PI	>400	-
VULAKNIZOVANÝ ELASTOMER	amorfní	Přírodní kaučuk	NR	-70	-
		Butadien-styrenový kaučuk	SBR	-50	-
		Isoprenový kaučuk	IIR	-55	-
		Butylkaučuk	IIR	-75	-
		Chloroprenový kaučuk	CR	-40	-
		Ethylen-propylen-dién-terpolymer	EPDM	-60	-
		Silikonový kaučuk	Q	-85	-
REAKTOPLAST	amorfní	Epoxidová pryskyřice	EP	>75	-
		Fenol-formaldehydová pryskyřice	PF	>150	-
		Polyesterová pryskyřice	UP	>60	-

7.1.2 Xarec C132

Xarec C132 je vysoce výkonný semikrystalický termoplast. Je vyroben polymerací styrenu, jako je tomu u polystyrenu (PS), i když se zde používá katalytická polymerace za použití metallocenových katalyzátorů což je druh katalyzátoru pro polymeraci z olefinů. Xarec C132 kombinuje vlastnosti polystyrenu (PS), které obyčejné polystyreny nevládní jako je nízká hmotnost, odolnost proti hydrolyze, dobrá zpracovatelnost a velmi dobré elektrické vlastnosti, s vhodnou tepelnou a chemickou odolností krystalických plastů. Má i vysokou odolnost vůči kyselinám a zásadám. Materiál Xarec C132 je vyztužen skleněnými vlákny, které se používají na nejrůznější účely od nárazníků na auta, přes čluny a vrtule větrných elektráren. Tento polymer se vyznačuje teplotou zeskenění $T_g = 60\text{ °C}$ a teplotou tání $T_m = 280\text{ °C}$. Veškeré náležitosti o materiálu jsou dostupné v příloze P II Technický list termoplastu Xarec C132.

Tab. 7. Charakteristické vlastnosti materiálu [28]

Xarec C132	
Hustota [kg/m^{-3}]	1250
Pevnost v tahu [MPa]	120
Pevnost v ohybu [MPa]	185
Rázová houževnatost [kJm^{-2}]	13 až 43
Navlhavost [%]	0,01

7.2 Volba kompozitního materiálu

Aby se uskutečnilo testování adheze na rozhraní termoplast a kompozit, musela být vložena část výztuže do vstřikovací formy a zastříknuta termoplastem. V první řadě se jednalo o reaktoplastický kompozit SINGRAPREG. Dalším kompozitním materiálem, na kterém se podílela výroba zkušebních tělísek byl termoplastický kompozit Tepex dynalite.

7.2.1 Materiál SIGRAPREG H W170-PL1/1-E320/45%

Tento reaktoplastický před impregnovaný kompozitní materiál SIGRAPREG je prepreg, kde na tkaninu je nanášena epoxidová pryskyřice Epoxy E320 v před vytvrzeném stavu. Tkanina je složena s hybridní kombinace v jednom směru uhlíkové vlákno ve druhém

směru aramidové vlákno. Je ideální vhodnou volbou pro výrobu tuhých, silných a velmi lehkých vláknitých kompozitu, které jsou často vyžadovány pro odlehčené díly, high-tech aplikace a komponenty vystavené extrémnímu namáhání. Dodávají komponentům vynikající mechanické vlastnosti. Veškeré náležitosti o materiálu jsou dostupné v příloze P IV: Technický list SIGRAPREG.

7.2.2 Tepex dynalite 210fr-C200(8)/45%

U termoplastického kompozitu se jedná o výztuž uhlíkovou vlákny vyztužené termoplastem, které jsou díky své vysoké pevnosti, tuhosti a odolnosti při nižší tloušťce skvělým konstrukčním materiálem. Materiál Tepex dynalite má keprovou vazbu. Je to inovativní systém materiálu připravený k přizpůsobení tak, aby vyhověl specifickým požadavkům a vlastnostem aplikace v široké škále aplikací průmyslových odvětví. Jeho charakteristika klade hlavně na maximální pevnost při jeho minimální hmotnosti. Tepex dynalite se skládá z více vrstev souvislých vyztužených vláken v matrici technických termoplastů. Struktura kontinuálního vlákna, plně konsoliduje s termoplastickým polymerem. Typickými aplikacemi, kde můžeme uplatnit tento materiál je v automobilovém průmyslu a ve sportovním odvětví.

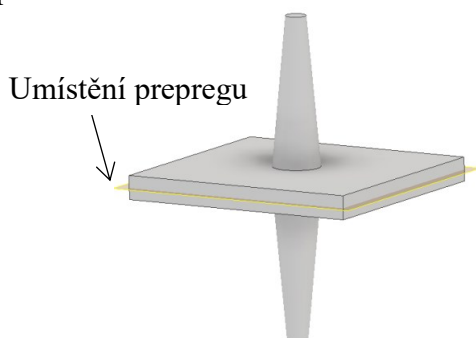
8 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

8.1 Výroba zkušebních těles

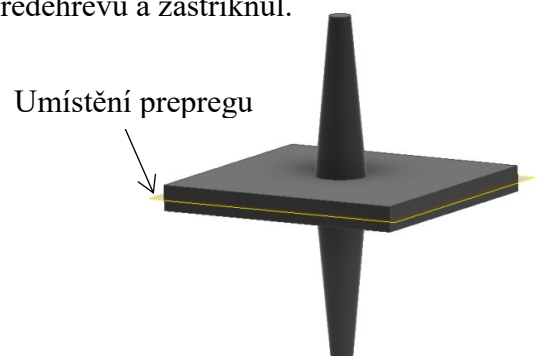
Všechny zkušební vzorky byly zhotoveny vstřikováním, v dílnách Ústavu výrobního inženýrství na vstřikovacím stroji Arburg 420 C. Celkem se zhotovily tři sady zkušebních tělísek. Na výrobu se použila jednonásobná vstřikovací forma s vyměnitelnou tvarovou dutinou pro tvar destičky čtverce s upínací kuželovou stopkou na obou stranách, která vznikla ze studeného vtokového systému. Další zkušební tělíska se vyráběla ve tvaru L destičky, která měla jinou tvarovou dutinu formy. Každá série vzorků měla jiné podmínky vstřikování a jinou povrchovou strukturu drsnosti. V první sérii se vyráběly vzorky ve tvaru čtverce, kde byla vstřikována po 10 kusech při tlaku 60 baru a prvních 5 kusů mělo upravený povrch opískováním. Druhá série se vstřikovala za zvýšeného tlaku 115 baru po 10 kusech a prvních 5 kusů bylo opískováno. Třetí série byla po 20 kusech se vstřikovacím předehřevem 60°C. U prvních 10 kusů se jednalo o tlak 60 bar s 5 vzorků opískovaných. U dalších 10 kusů byl tlak zvýšený na 115 baru a 5 kusů opískovaných. Celkově těchto 40 kusů vzorků první sady zkušebních tělísek mělo zakomponováno reaktoplastický uhlíkový prepreg a zastříknuty byly materiálem Xarec C132 a Grivory G 16. V druhé sadě byly vyrobeny termoplastické kompozity s čtvercovou destičkou Tepex dynalite a zastříknuty byly materiálem Xarec C132 a Grivory G 16. Která byla ve třech sériích po třech vzorcích. Každá série měla jinou tloušťku termoplastického kompozitu. Ve třetí sadě se vyráběli L destičky s termoplastem Xarec C132 reaktoplastickým uhlíkovým prepregem SIGRAPREG.

8.1.1 Procesní podmínky

Pro vstřikování těchto termoplastu byly určeny procesní podmínky z materiálových listů. Nejdříve se zadala teplota vstřikovací formy na 80°C. Teplota taveniny materiálu při vstřikování je 310°C. Byla na to připravena forma, kde se do ní vložil prepreg předem vytvrzený a ten se zastříknul termoplastem. Prepreg před samotným vstřikováním se předehříval na 60°C nebo se vložil do formy bez předehřevu a zastříknul.



Obr. 30. Zkušební těleso Grivory G 16 s prepregem SIGRAPREG



Obr. 31. Zkušební těleso Xarec C 132 s prepregem SIGRAPREG

8.2 Vstříkovací stroj

Vzhledem k technickým parametrům a rozměrům vstříkovací formy byl zvolen vstříkovací stroj ARBURG 420 C Allrounder Advance. Tento vstříkovací stroj je určen pro univerzální řešení všech funkcí v oblasti vstříkování. [44]

Tab. 8. Parametry vstříkovacího stroje ARBURG 420 C [44]

Parametr	Hodnota
Maximální uzavírací síla	1000 kN
Maximální vyhadzovací síla	40 kN
Výška formy	250 mm
Upínací deska	570 x 570 mm
Maximální otevírací síla	35/175 kN
Vzdálenost mezi sloupky	420 x 420 mm
Průměr šneku	40 mm
Maximální tah šneku	150 mm
Objem dávky	188 cm ³
Účinná délka šneku	20 L/D
Čas otevíracího cyklu	1,8 - 294 s - mm
Rychlost toku taveniny	102/ 140/ 182 cm ³ /s
Řízení energie vstříkovacího čerpadla	15 kW



Obr. 32. Vstříkovací stroj ARBURG 420 C Allrounder Advance [44]

9 STATICKÁ ZKOUŠKA ODLUPEM

Provedení zkoušky odlupem probíhá formou tahu na normálovou plochu, která je spojena. Zkouška byla provedena v laboratoři Ústavu výrobního inženýrství na stroji Zwick 1456. Zkoušku jsem si přizpůsobil vlastním požadavkům podobných zkoušce odlupu lepením, protože zkouška odlupu vstřikováním není mezinárodně normována. Inspiraci jsem vzal z Americké normy ASTM, kde existuje norma pro lepení. Zvolil jsem dvě provedení zkušebních těles. První tvar zkušebního tělesa je ve tvaru čtvercové destičky o rozměrech 50x50 mm s kuželovým vtokem. Druhé provedení zkušebního tělíska je ve tvaru L destičky o rozměrech 55x55 mm. Zkušební vzorek se rovnoměrně upne mezi čelisti a po zařazení tvaru se začne zatěžovat tahovou silou F , dokud nedojde k přetržení nebo jinému porušení. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny počítačovým softwarem TestExpert, který je součástí trhačího stroje. Tento program nám umožňuje rychle a snadné vyhodnocení měřených a požadovaných veličin spolu s tahovým diagramem. Jedná se o zařízení na statické a dynamické testování polymeru, kompozitu, laminátu, textilií a pěnových materiálů. Zařízení je složeno z pevného rámu, pohyblivého příčnicku se šroubovicí, upínacího zařízení a elektromotoru s převodovkou. Technické data zkušebního stroje jsou v (Tab. 9).



Obr. 33. Zkušební stroj Zwick 1456 s mechanickými čelistmi pro zkoušku odlupem ve formě tahu

Tab. 9. Technické parametry zkušebního stroje Zwick 1456

Zkušební stroj Zwick 1456	
šířka pracovního prostoru	420 mm
celková výška	2012 mm
celková šířka	630 mm
maximální posun v příčnici	800 mm/min
snímač síly	2,5 a 25 kN
maximální zkušební síla	20 kN
teplotní rozsah zkoušek	70 až 290 °C
celková hmotnost	150 kg
možnosti testování	tah/ tlak/ ohyb

Pro můj experiment byly z naměřených dat použity pouze veličiny vyhodnocující: maximální síla F_{max} [N] deformační práce W při síle F [N.mm].

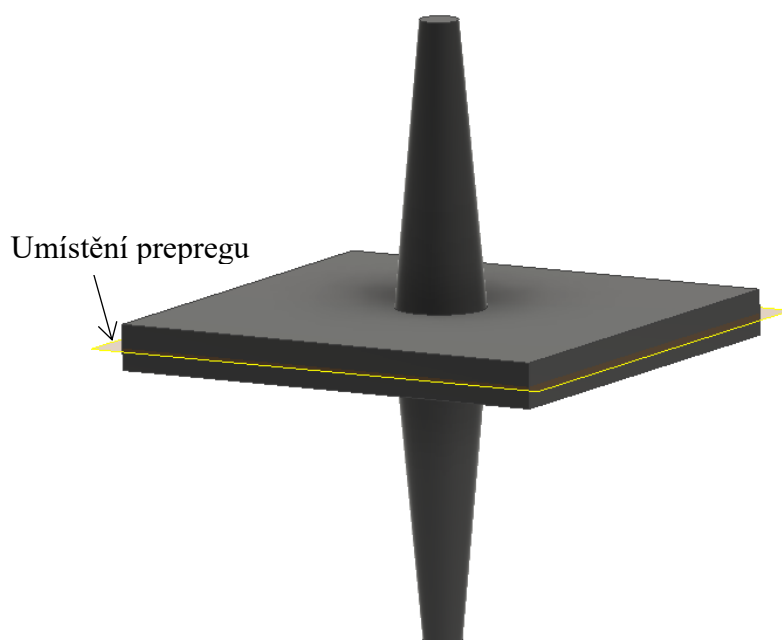
10 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY ZKOUŠKY ODLUPEM

Měření bylo prováděno v sériích. Každá série měla odlišné vlastnosti zpracovatelských podmínek vstřikování a povrchové úpravy. Ke každému měření je uvedena tabulka a společný graf, ve kterém je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci pro každý typ odlupu ve formě tahu. Zkouška byla realizována při teplotě 25 °C. Jednotlivé vzorky byly postupně vkládány do mechanických čelistí zkušebního stroje a změřeny.

10.1 Výsledky měření zkoušky odlupu formou tahu u materiálu Xarec

C132

První zkušební těleso, které jsem testoval na zkoušku odlupem ve formě tahu, byl materiál Xarec C132 s reaktoplastickým uhlíkovým kompozitem SIGRAPREG.

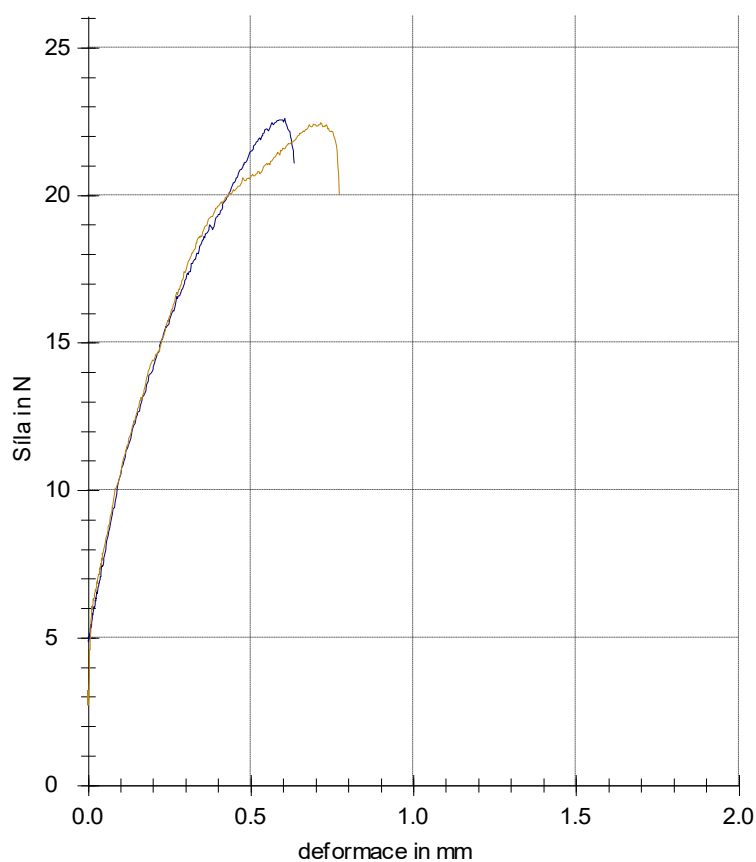


Obr. 34. Zkušební vzorek Xarec C132 s vyztuží reaktoplastického uhlíkového prepregu SIGRAPREG

10.1.1 Xarec C132 tlak 115 bar - neopískované

Tab. 10. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	22,6	9,78	50	50
2	22,5	12,19	50	50
\bar{x}	22,5	10,98	50	50
s	0,1	1,7	0	0
v	0,43	15,52	0	0



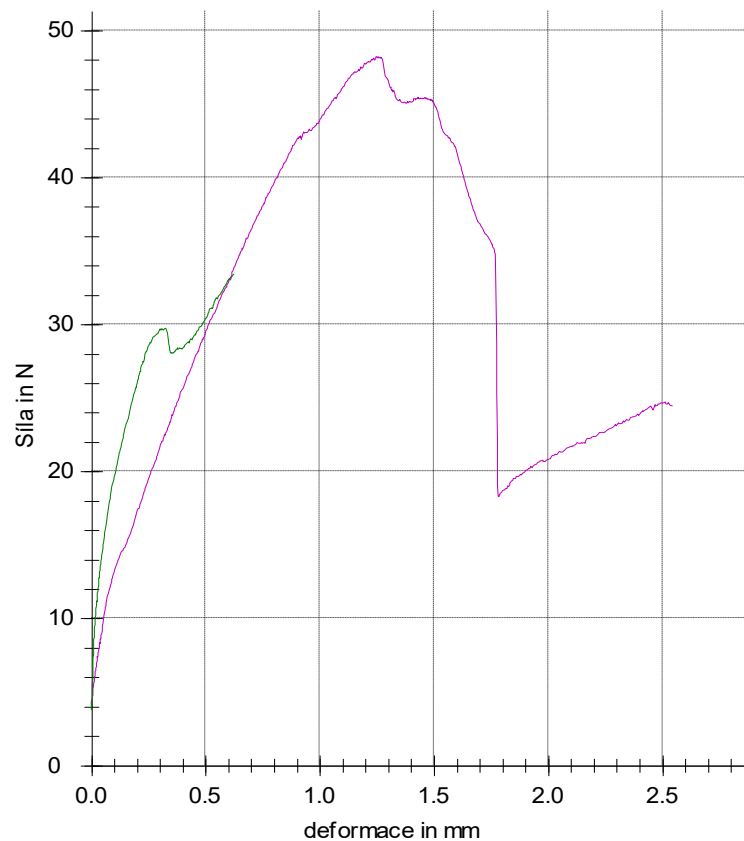
Obr. 35. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 10) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 se vstřikovacím tlakem 115 bar a neopískované ploše uvedeny hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 35) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a vidíme naměřené vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**.

10.1.2 Xarec C132 tlak 60 bar - opískované

Tab. 11. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	33,5	16,32	50	50
2	48,2	39,81	50	50
\bar{x}	40,85	28,1	50	50
s	10,4	16,61	0	0
v	25,56	59,19	0	0



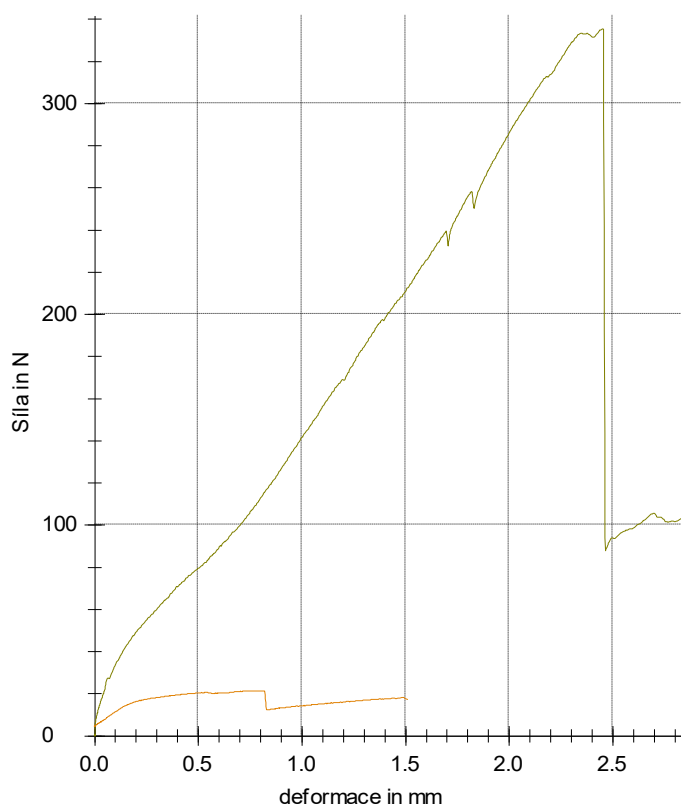
Obr. 36. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 11) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 se vstřikovacím tlakem 60 bar a upravené ploše opískováním uvedeny hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 36) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**.

10.1.3 Xarec C132 tlak 115 bar - opískované

Tab. 12. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	335,4	434,3	50	50
2	21,4	12,9	50	50
\bar{x}	178,4	223,62	50	50
s	222	297,89	0	0
v	124,46	133,21	0	0



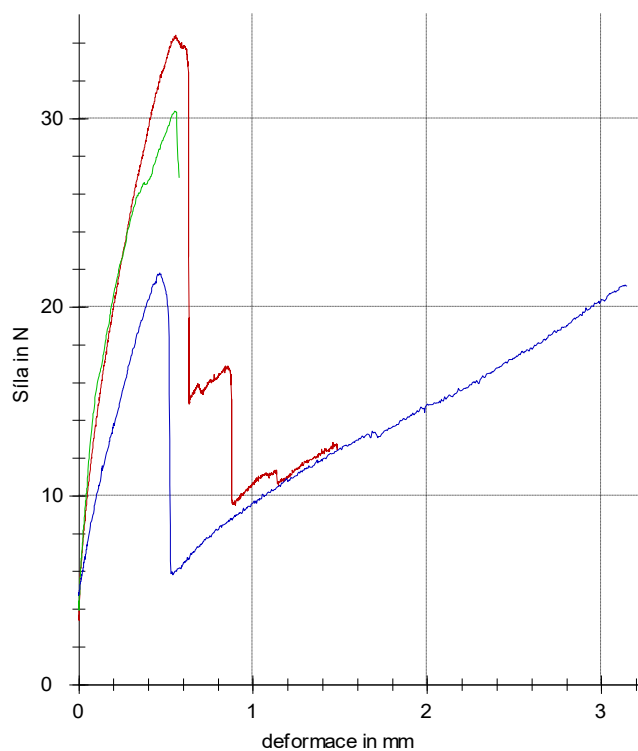
Obr. 37. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 12) jsou k vidění pro zkušební tělíska Xarec C132 se vstřikovacím tlakem 115 bar a upravené ploše opískováním uvedeny hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 37) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**.

10.1.4 Xarec C132 s přehřevem výztuže na 60°C, tlak 60 bar - neopískované

Tab. 13. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	34,4	12,75	50	50
2	30,4	12,04	50	50
3	21,8	6,72	50	50
\bar{x}	28,8	10,5	50	50
s	4,25	106,3	0	0
v	12,63	7,53	0	0



Obr. 38. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

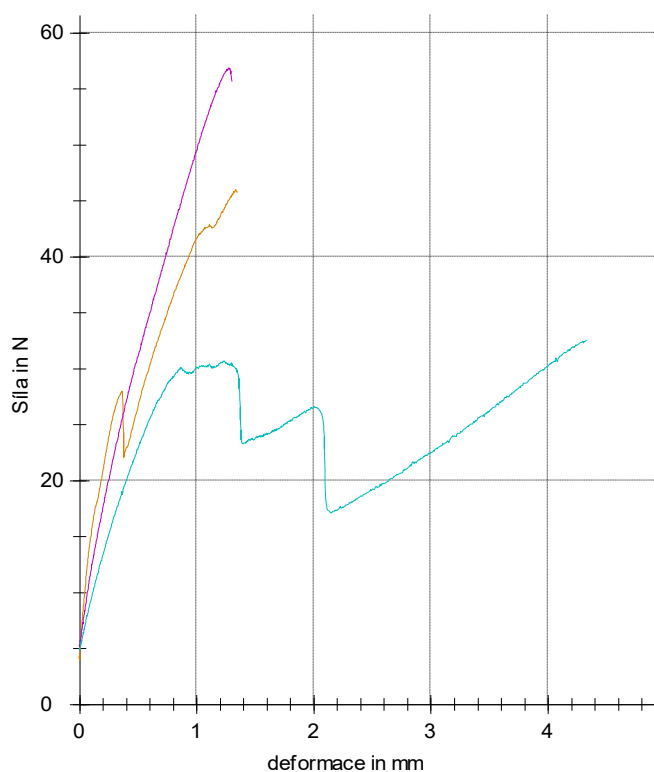
Z následující tabulky (Tab. 13) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s přehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 60 bar a neopískované ploše uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 38) je zobrazena síla v závislosti na poměrné

deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 1.

10.1.5 Xarec C132 s předehřevem výztuže na 60°C, tlak 115 bar - neopískované

Tab. 14. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	46	42,26	50	50
2	56,9	44,75	50	50
3	32,6	104,92	50	50
\bar{x}	45,2	63,98	50	50
s	12,2	35,48	0	0
v	26,98	55,46	0	0



Obr. 39. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

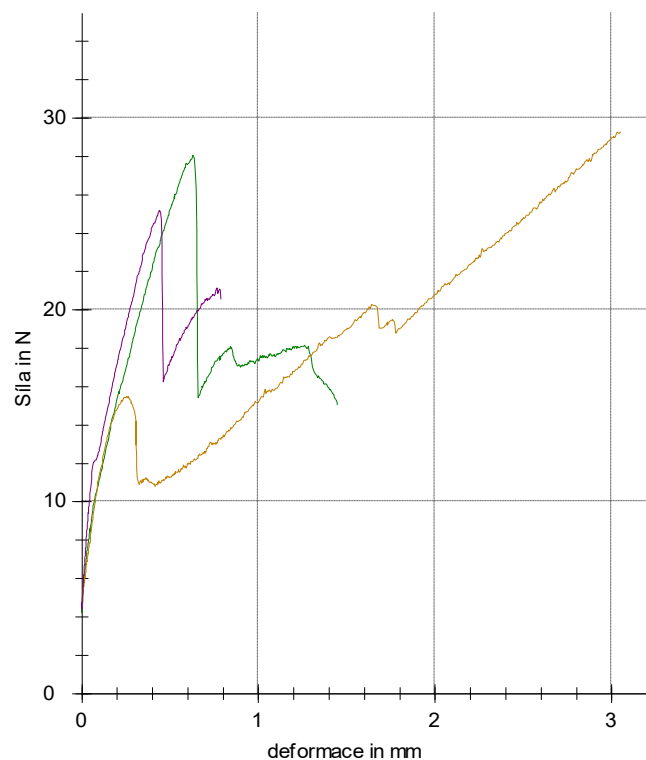
Z následující tabulky (Tab. 14) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s předehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 115 bar a neopískované ploše uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 39) je zobrazena síla v závislosti na poměrné

deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušební vzorku n. 2.

10.1.6 Xarec C132 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 60 bar - opískované

Tab. 15. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	28,1	11,72	50	50
2	29,3	57,17	50	50
3	25,2	7,69	50	50
\bar{x}	27,5	25,53	50	50
s	2,1	27,48	0	0
v	7,65	107,66	0	0



Obr. 40. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

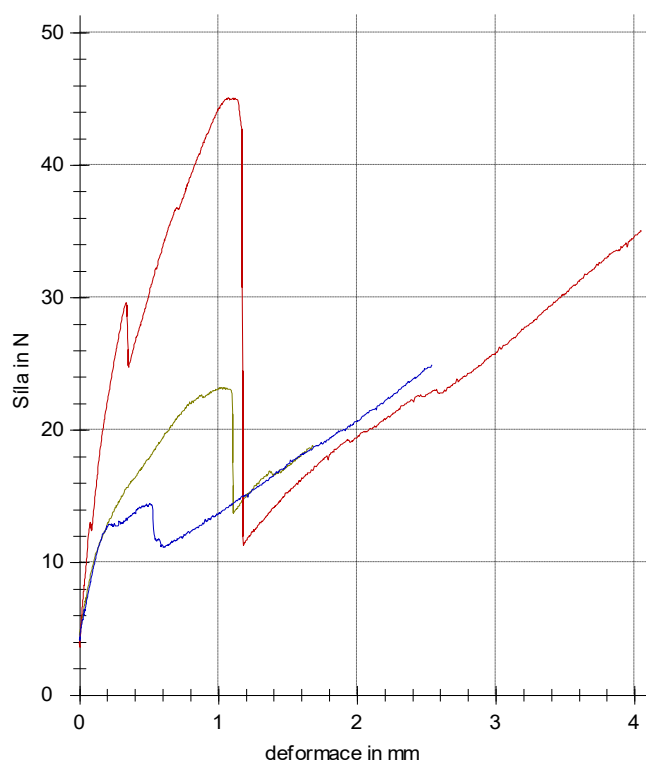
Z následující tabulky (Tab. 15) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s předehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 60 bar a upravené ploše opískováním uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušební tělíska a a b [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 40) je zobrazena síla v závislosti na

poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 2.

10.1.7 Xarec C132 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 115 bar - opískované

Tab. 16. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	23,3	17,42	50	50
2	45,1	32,94	50	50
3	24,9	41,7	50	50
\bar{x}	31,1	30,69	50	50
s	12,2	12,3	0	0
v	39,12	40,07	0	0



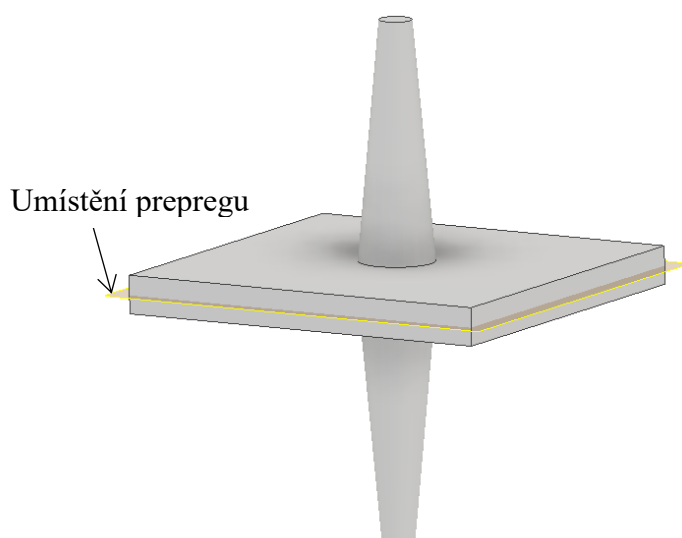
Obr. 41. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem

Z následující tabulky (Tab. 16) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s předehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 115 bar a upravené ploše opískováním uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 41) je zobrazena síla v závislosti na

poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušební vzorku n. 2.

10.2 Výsledky měření zkoušky odlupu formou tahu u materiálu Grivory G 16

Další zkouškou odlupu ve formě tahu, které jsem testoval, byl materiál Grivory G 16 s reaktoplastickým uhlíkovým kompozitem SIGRAPREG.

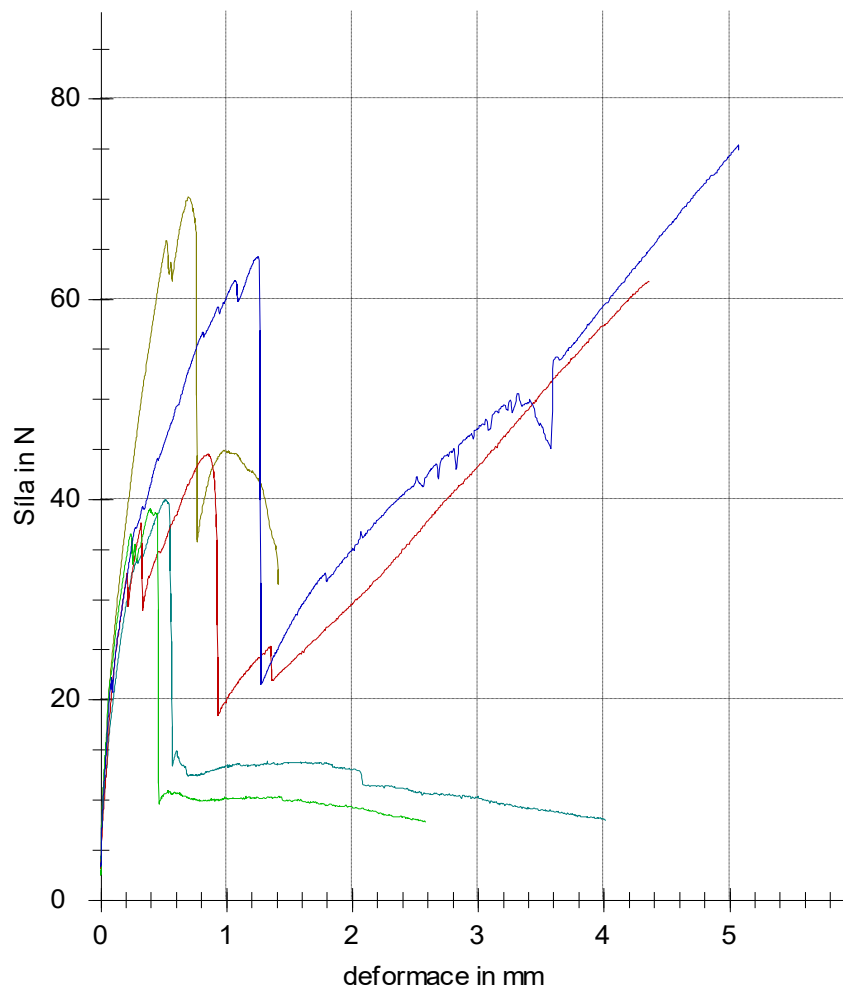


Obr. 42. Zkušební vzorek Grivory G 16 s výztuží reaktoplastického uhlíkového prepregu SIGRAPREG

10.2.1 Grivory G 16 tlak 60 bar - neopískované

Tab. 17. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	40	14,84	50	50
2	70,2	33,43	50	50
3	39,1	11,63	50	50
4	44,5	16,85	50	50
5	64,8	165,84	50	50
\bar{x}	52,8	56,44	50	50
s	15,7	73,57	0	0
v	29,71	130,35	0	0



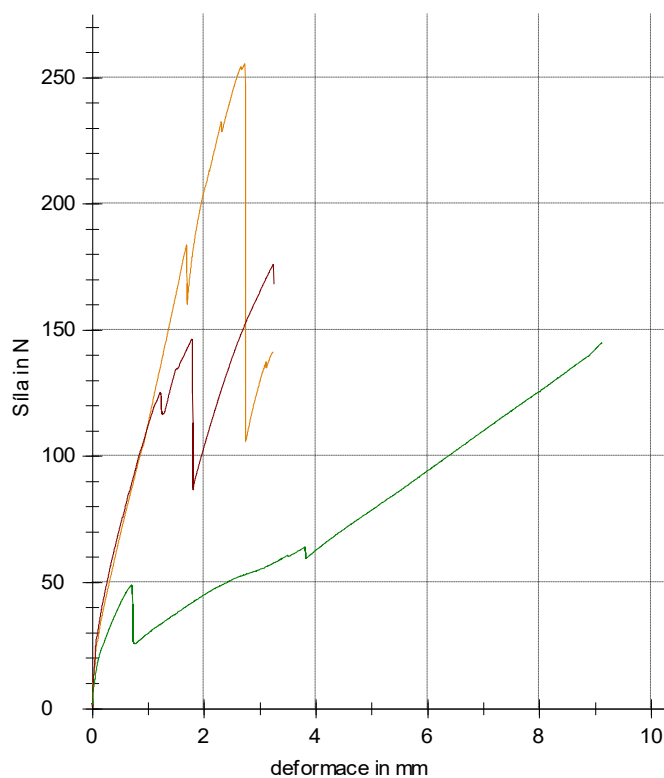
Obr. 43. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepreg

V tabulce (Tab. 17) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 se vstřikovacím tlakem 60 bar a neopískované ploše uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **F_{max}** [N], deformační práce **W** při síle **F_{max}** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 43) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **F_{max}**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **F_{max}** u zkušebního vzorku n. 2.

10.2.2 Grivory G 16 tlak 115 bar - neopískované

Tab. 18. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	255,7	397,6	50	50
2	176,3	370,1	50	50
3	145,1	709,3	50	50
\bar{x}	192,3	492,28	50	50
s	57,1	188,32	0	0
v	29,68	38,25	0	0



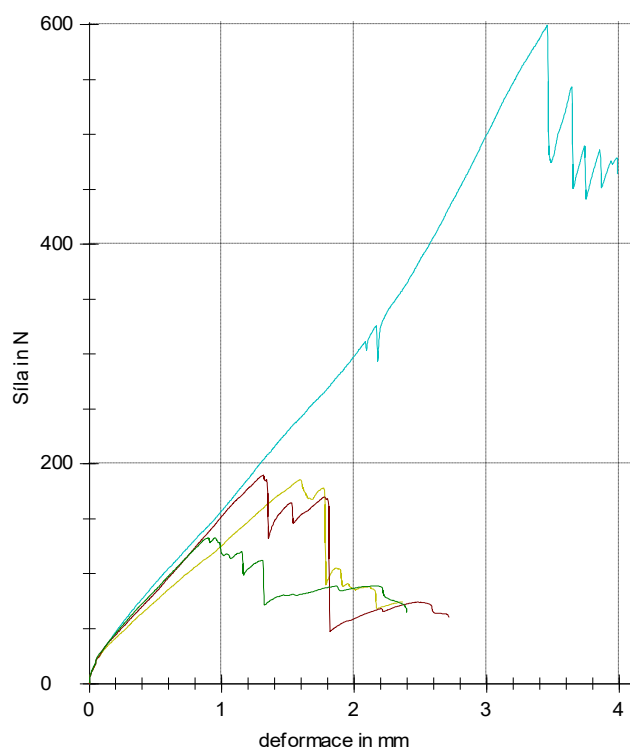
Obr. 44. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 18) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 se vstřikovacím tlakem 115 bar a neopískované ploše uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 44) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **Fmax** u zkušebního vzorku n. 2.

10.2.3 Grivory G 16 tlak 60 bar - opískované

Tab. 19. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	599,6	959,8	50	50
2	185,6	166,11	50	50
3	189,9	137,5	50	50
4	132,9	69,73	50	50
\bar{x}	277	333,29	50	50
s	216,6	419,63	0	0
v	78,2	125,91	0	0

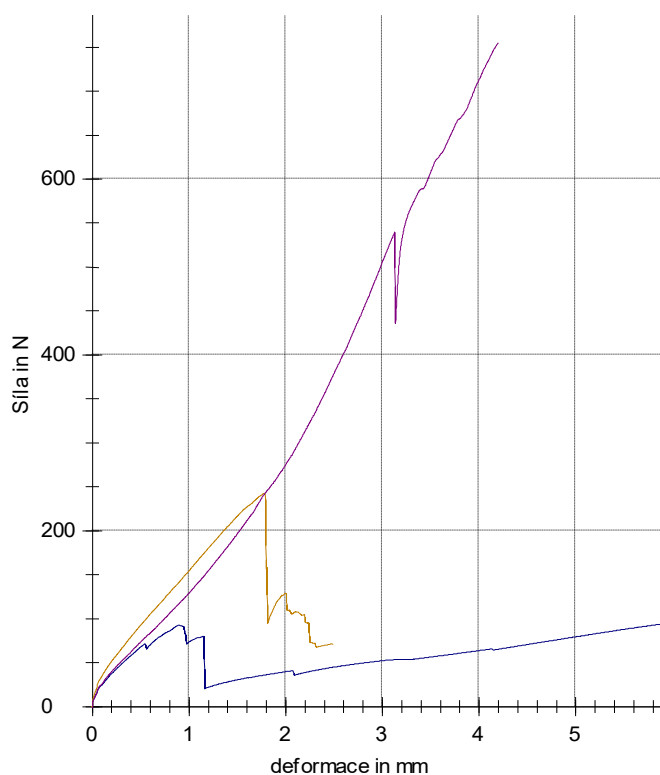
Obr. 45. Závislost mezi silou a deformací -
Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 19) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 se vstřikovacím tlakem 60 bar a upravené ploše opískováním uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 45) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **Fmax** u zkušebního vzorku n. 1.

10.2.4 Grivory G 16 tlak 115 bar - opískované

Tab. 20. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	94,2	352,59	50	50
2	242,6	248,19	50	50
3	754,9	1403,05	50	50
\bar{x}	363,9	667,94	50	50
s	346,7	638,76	0	0
v	95,27	95,63	0	0



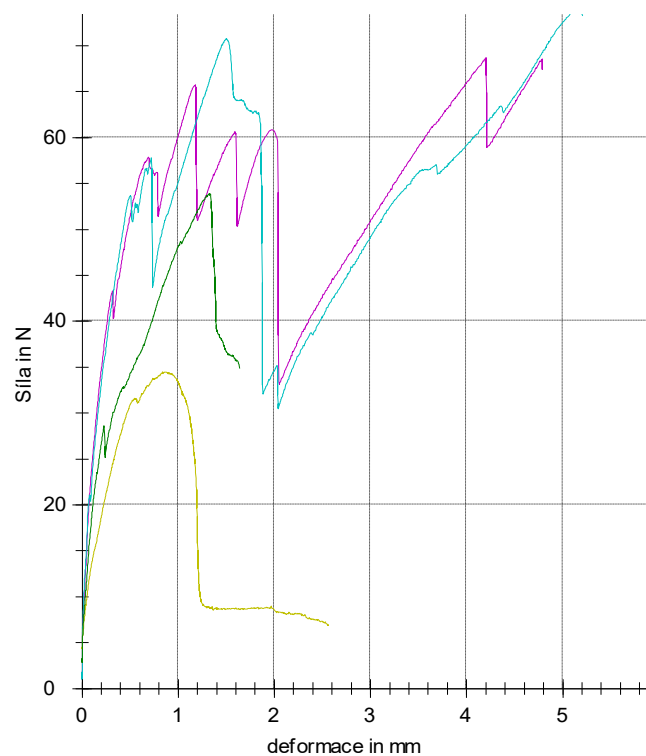
Obr. 46. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 20) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 se vstřikovacím tlakem 115 bar a upravené ploše opískováním uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 46) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **Fmax** u zkušebního vzorku n. 3.

10.2.5 Grivory G 16 s předeřevem výztuže 60°C, tlak 60 bar - neopískované

Tab. 21. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	73,9	279,7	50	50
2	34,5	44,2	50	50
3	53,9	62,03	50	50
4	65,8	55,6	50	50
\bar{x}	56,8	110,4	50	50
s	19,7	139,3	0	0
v	36,4	120,4	0	0



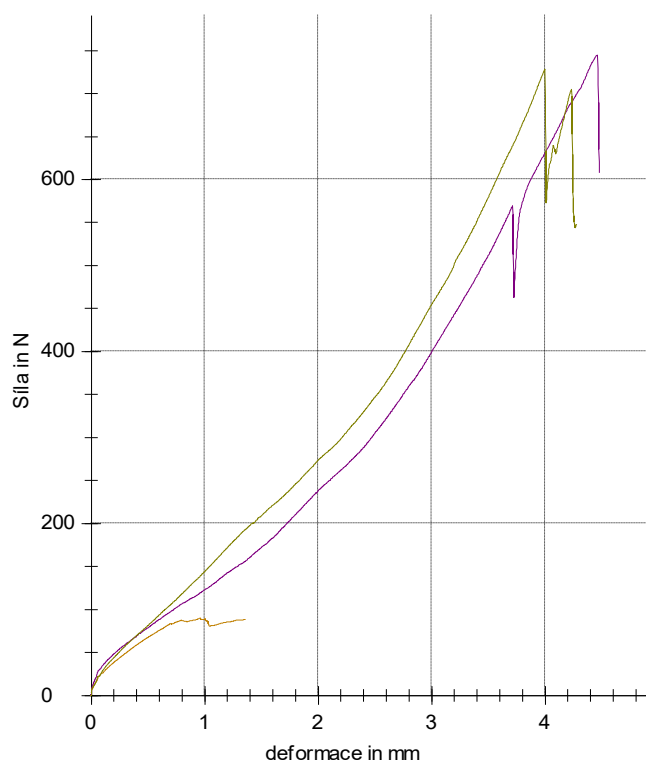
Obr. 47. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 21) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s předeřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 60 bar a neopískované ploše uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 47) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly Fmax. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly Fmax u zkušebního vzorku n. 1.

10.2.6 Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 115 bar - opískované

Tab. 22. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	89,8	58,48	50	50
2	744,5	1387,17	50	50
3	728,1	1223,62	50	50
\bar{x}	520,8	889,76	50	50
s	373,3	724,53	0	0
v	71,69	81,43	0	0



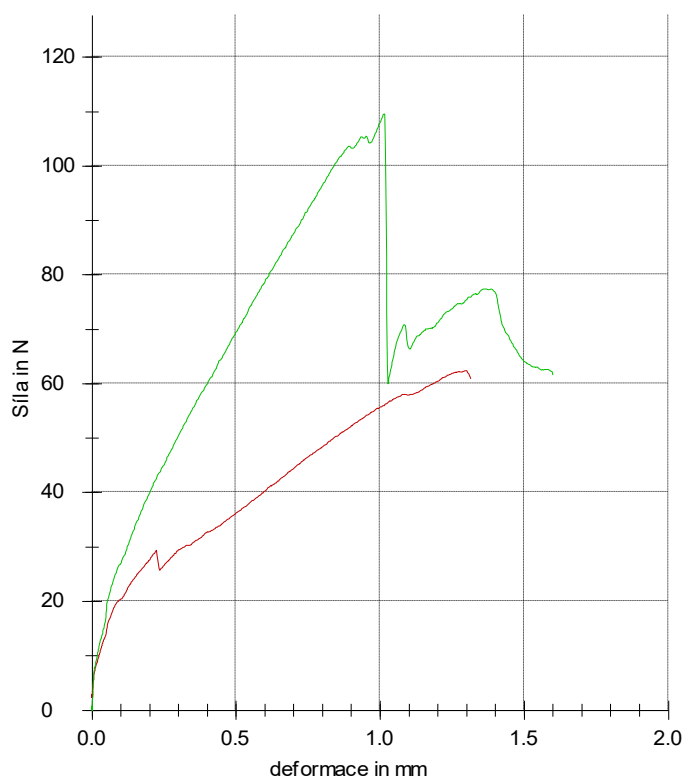
Obr. 48. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepreg

V tabulce (Tab. 22) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s předehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 115 bar a upravené ploše opískováním uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 48) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a vynesené hodnoty maximální síly Fmax. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly Fmax u zkušební vzorku n. 2.

10.2.7 Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 115 bar - neopískované

Tab. 23. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	62,4	53,69	50	50
2	109,7	68,64	50	50
\bar{x}	86	61,16	50	50
s	33,4	10,57	0	0
v	38,82	17,28	0	0



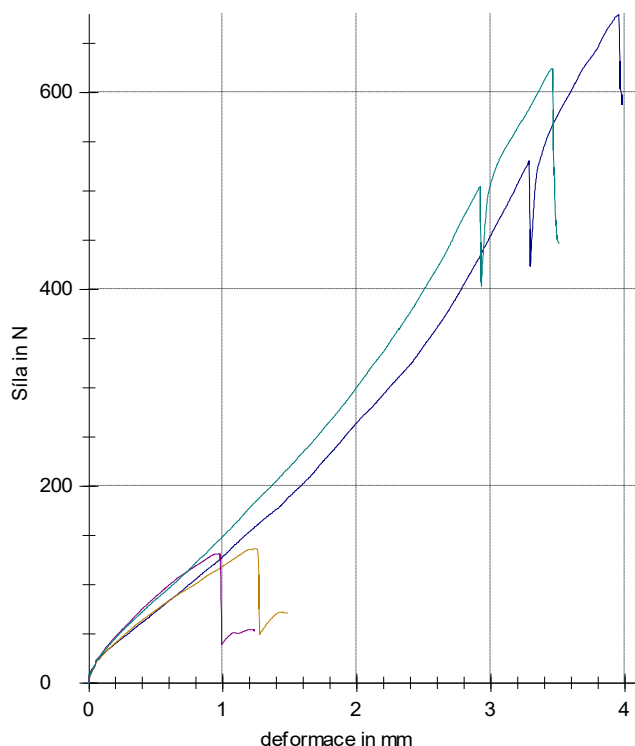
Obr. 49. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 23) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s předehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 115 bar a neopískované ploše uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 49) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **Fmax**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **Fmax** u zkušebního vzorku n. 2.

10.2.8 Grivory G 16 s předehřevem výztuže 60°C, tlak 60bar - opískované

Tab. 24. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	679	1153,71	50	50
2	624,3	965,58	50	50
3	136,3	101,29	50	50
4	131,3	78,91	50	50
\bar{x}	392,7	574,87	50	50
s	299,9	565,09	0	0
v	76,35	98,3	0	0

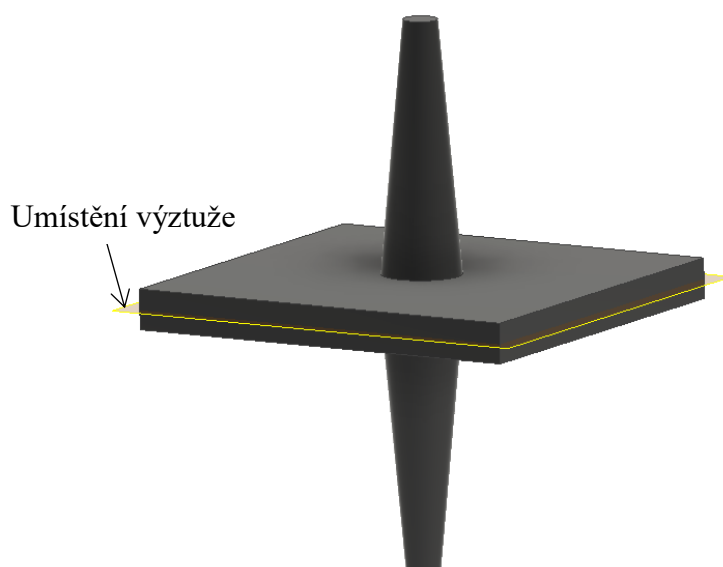


Obr. 50. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem

V tabulce (Tab. 24) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s předehřevem výztuže na 60°C, vstřikovacím tlakem 60 bar a upravené ploše opískováním uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. V tabulce je dále uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 50) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly Fmax. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly Fmax u zkušebního vzorku n. 1.

10.3 Výsledky měření zkoušky odlupu formou tahu u materiálu Tepex dynalite

Další zkouškou odlupu ve formě tahu, byl materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s termoplastickou uhlíkovou výztuží Tepex dynalite. Nejdříve byly měřeny zkušební tělíska s materiálem Xarec C 132 s různými typy tloušťek termoplastického kompozitu Tepex dynalite. A poté následovalo měření s materiálem Grivory G 16 s termoplastickým kompozitem Tepex dynalite o různých tloušťkách. U výztuže byly použity tři typy různých tloušťek a každé mělo jiné označení matrice. První tloušťka byla 0,5 mm s označením materiálu Tepex dynalite 201-C200(2)/45%. Druhá tloušťka byla 1,07 mm s označením Tepex dynalite 210fr-c200(5)/52%. Třetí tloušťka byla 2,00 mm s označením Tepex dynalite 210fr-C200 (8)/45%.

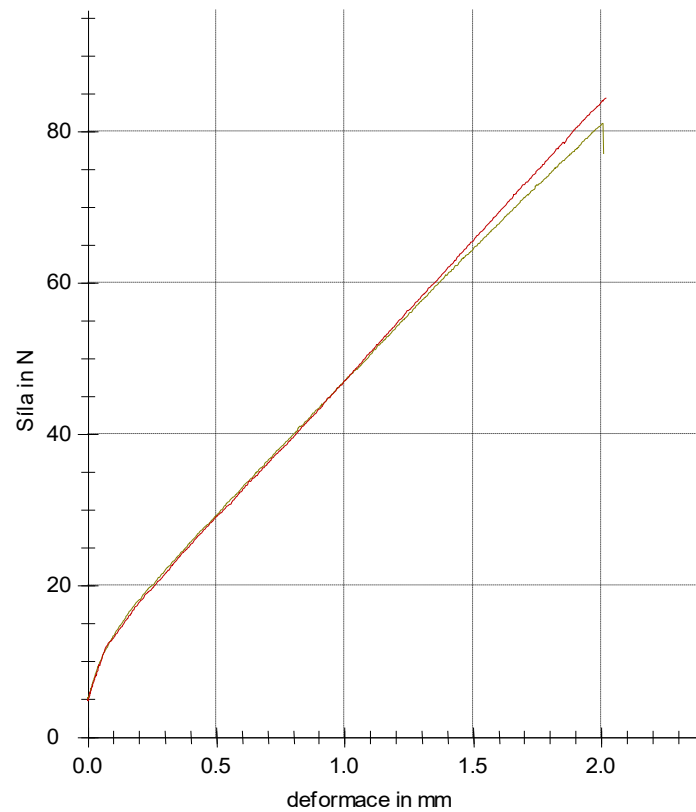


Obr. 51. Zkušební vzorek Xarec C132 s termoplastickou uhlíkovou výztuží Tepex dynalite

10.3.1 Xarec C132 Tepex dynalite 0,5 mm

Tab. 25. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	81,1	93,61	50	50
2	84,5	95,74	50	50
\bar{x}	82,8	94,68	50	50
s	2,4	1,51	0	0
v	2,92	1,59	0	0



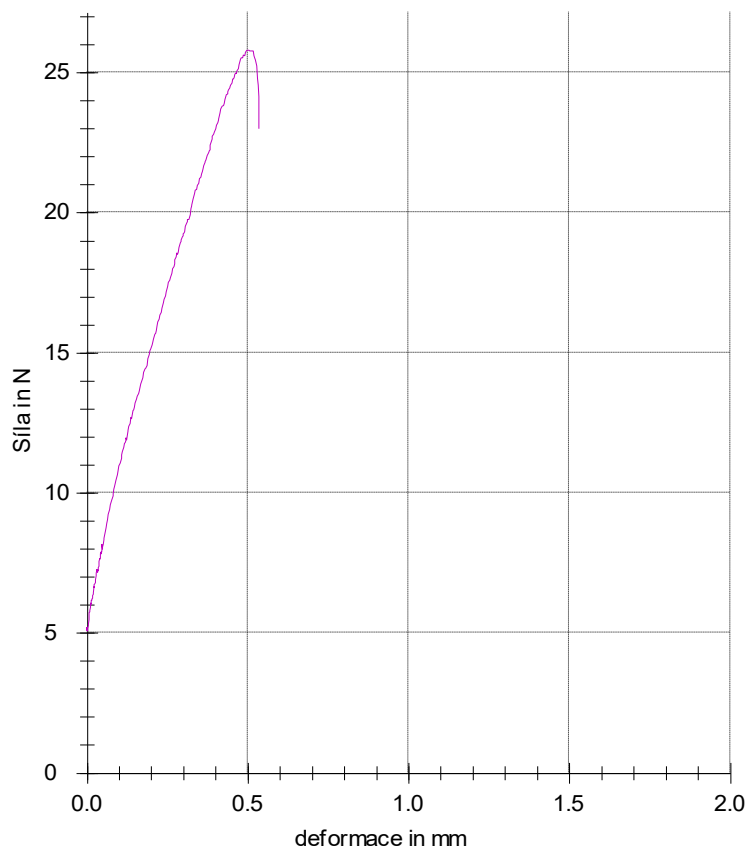
Obr. 52. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a termoplastický kompozit Tepex 0,5 mm

Z následující tabulky (Tab. 25) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s termoplastickou kompozitní destičkou Tepex dynalite o tloušťce 0,5 mm uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 52) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 2.

10.3.2 Xarec C132 Tepex dynalite 1,07 mm

Tab. 26. Naměřené hodnoty

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	25,8	8,36	50	50



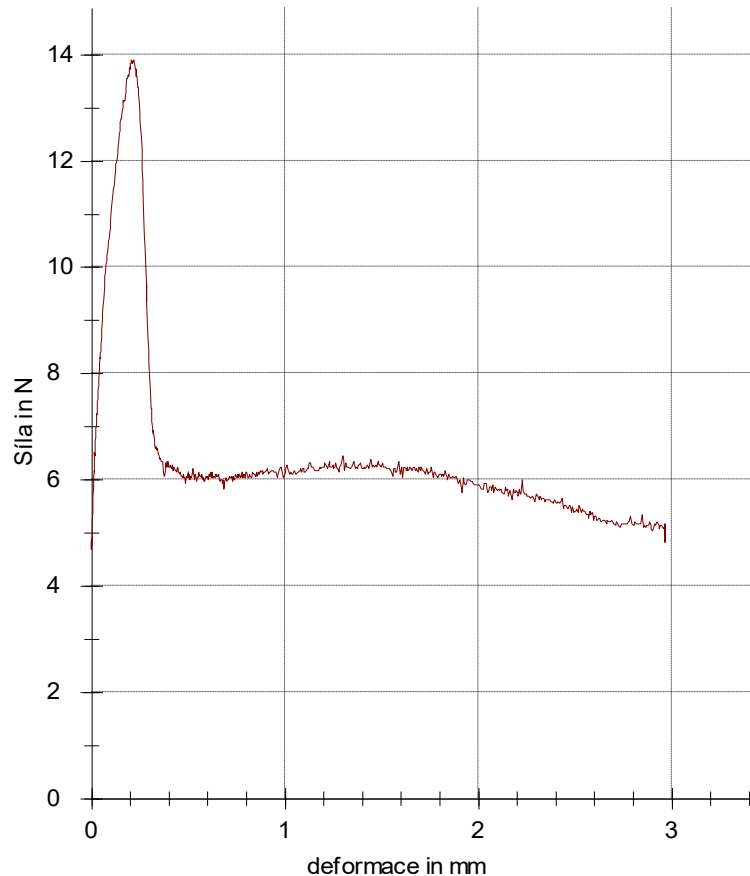
Obr. 53. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a termoplastický kompozit Tepex 1,07mm

Z následující tabulky (Tab. 26) jsou pro zkušební tělísko Xarec C132 s termoplastickou kompozitní destičkou Tepex dynalite o tloušťce 1,07 mm uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Na Obr. 53) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřenou hodnotu maximální síly **Fmax**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **Fmax** pouze u jednoho zkušebního tělesa. Z důvodu slabé soudržnosti a nedostatku materiálu se nepodařilo další tělíska vyhodnotit.

10.3.3 Xarec C132 Tepex dynalite 2,0mm

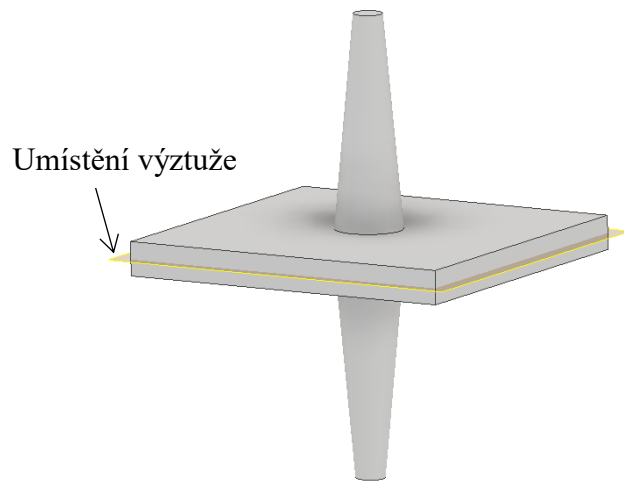
Tab. 27. Naměřené hodnoty

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	13,9	6,89	50	50



Obr. 54. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a termoplastický kompozit Tepex 2,0mm

Z následující tabulky (Tab. 27) jsou pro zkušební tělísko Xarec C132 s termoplastickou kompozitní destičkou Tepex dynalite o tloušťce 2,00 mm uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Na (Obr. 54) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřenou hodnotu maximální síly **Fmax**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **Fmax** pouze u jednoho zkušebního tělesa. Z důvodu slabé soudržnosti a nedostatku materiálu se nepodařilo další tělíska vyhodnotit.

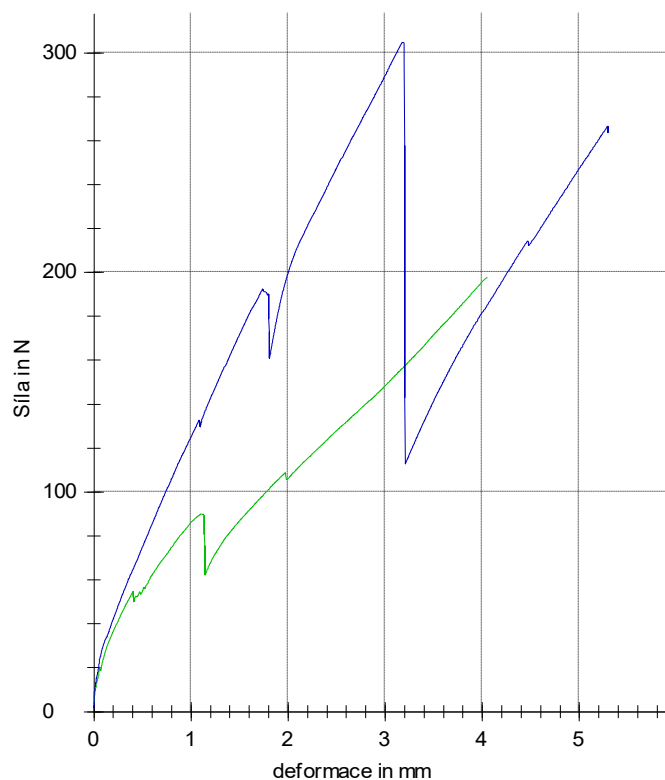


Obr. 55. Zkušební těleso Grivory G 16 s termoplastickou uhlíkovou výztuží Tepex dynalite

10.3.4 Grivory G 16 Tepex dynalite 0,5mm

Tab. 28. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	308,78	416,24	50	50
2	197,9	268,95	50	50
\bar{x}	253,34	342,6	50	50
s	78,4	26,6	0	0



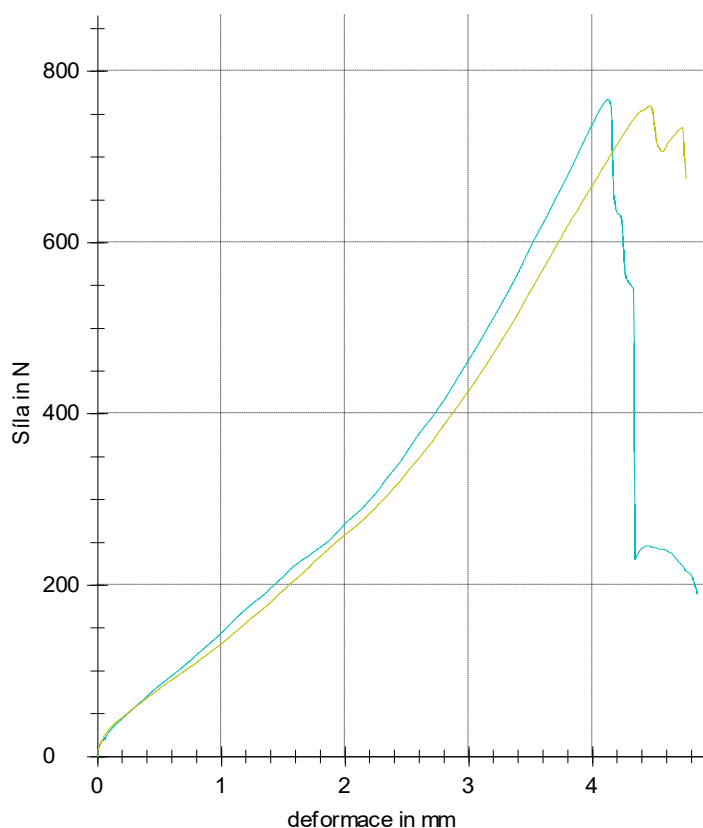
Obr. 56. Závislost mezi silou a deformací – Grivory a termoplastický kompozit Tepex 0,5mm

Z následující tabulky (Tab. 28) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s termoplastickou kompozitní destičkou Tepex dynalite o tloušťce 0,5 mm uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Na (Obr. 56) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a na kterém vidíme naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 1.

10.3.5 Grivory G 16 Tepex dynalite 1,07mm

Tab. 29. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	767,6	1335,89	50	50
2	760,1	1486,22	50	50
\bar{x}	763,9	1411,06	50	50
s	5,3	106,3	0	0
v	0,7	7,53	0	0



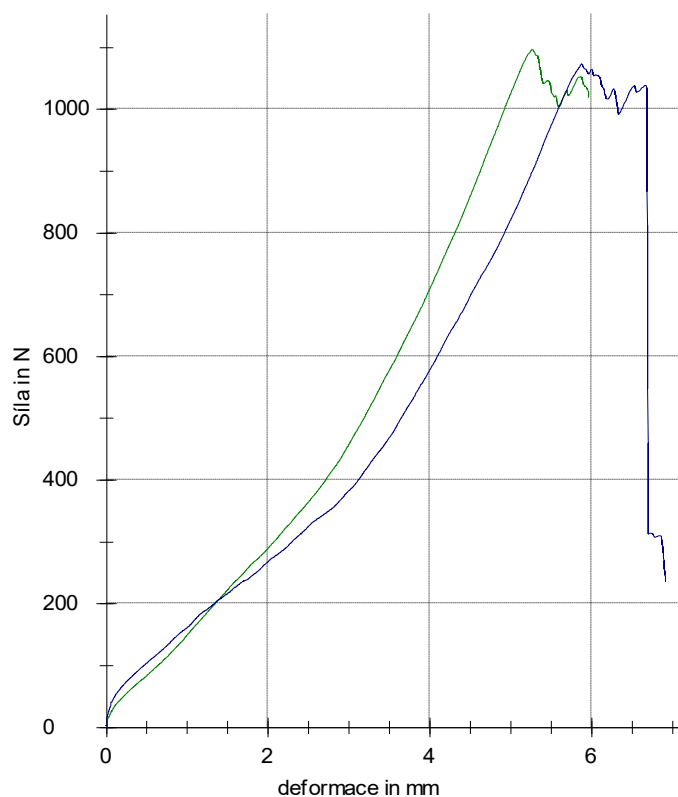
Obr. 57. Závislost mezi silou a deformací – Grivory a termoplastický kompozit Tepex 1,07mm

Z následující tabulky (Tab. 29) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s termoplastickou kompozitní destičkou Tepex dynalite o tloušťce 1,07 mm uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 57) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 1.

10.3.6 Grivory G 16 Tepex dynalite 2,0mm

Tab. 30. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	1096,5	2391,65	50	50
2	1073,5	2644,73	50	50
\bar{x}	1085	2518,19	50	50
s	16,26	178,9	0	0

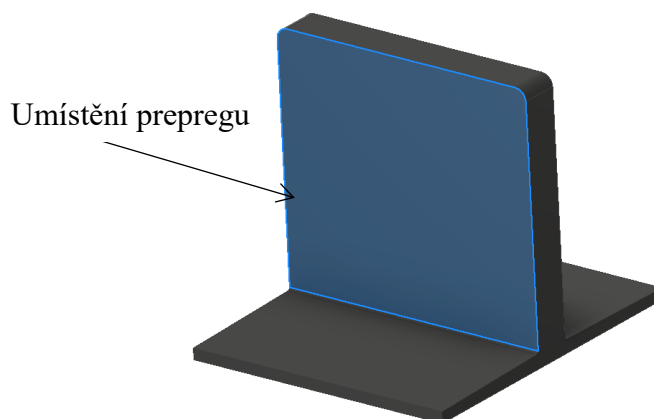


Obr. 58. Závislost mezi silou a deformací – Grivory a termoplastický kompozit Tepex 2,0mm

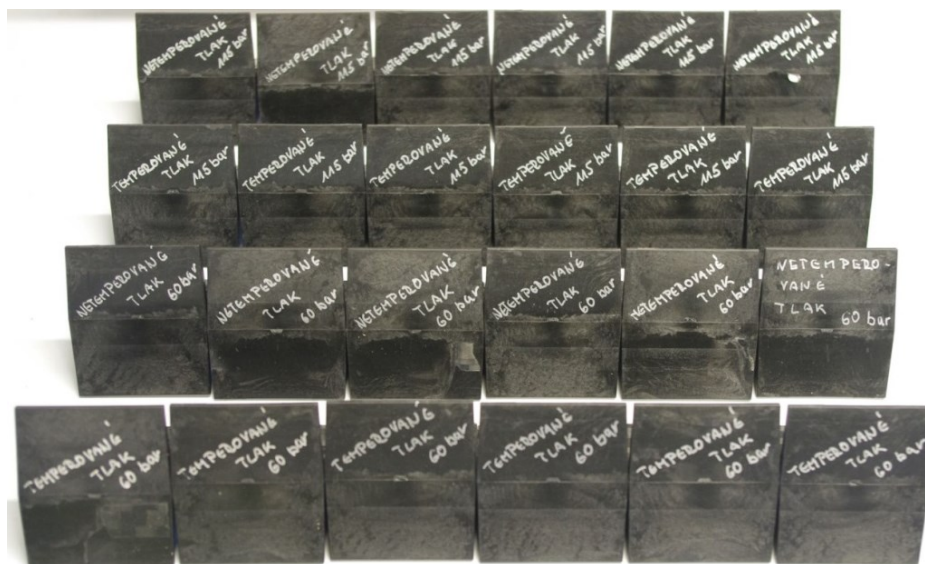
Z následující tabulky (Tab. 30) jsou pro zkušební tělíska Grivory G 16 s termoplastickou kompozitní destičkou Tepex dynalite o tloušťce 2,00 mm uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Na (Obr. 58) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 1

10.4 Výsledky měření L destiček testem odlupu ve formě tahu

Provedení statické zkoušky odlupem peel testu ve formě tahu jsou určeny pro stanovení odolnosti proti odlupování lepených spojů mezi vnějšími vrstvami a jádrem sendvičových konstrukcí, kdy testování probíhá v rámci stanovených zkušebních podmínek. V této zkoušce bylo testováno celkem 24 zkušebních těles ve 4 sadách po 6 kusech. Zkušební tělesa ve tvaru L byly vyrobeny z termoplastického materiálu Xarec C132 s výztuží SIGRAPREG. Každá sada měla jiné podmínky vstřikování.



Obr. 59. Zkušební destička L s uhlíkovým prepregem

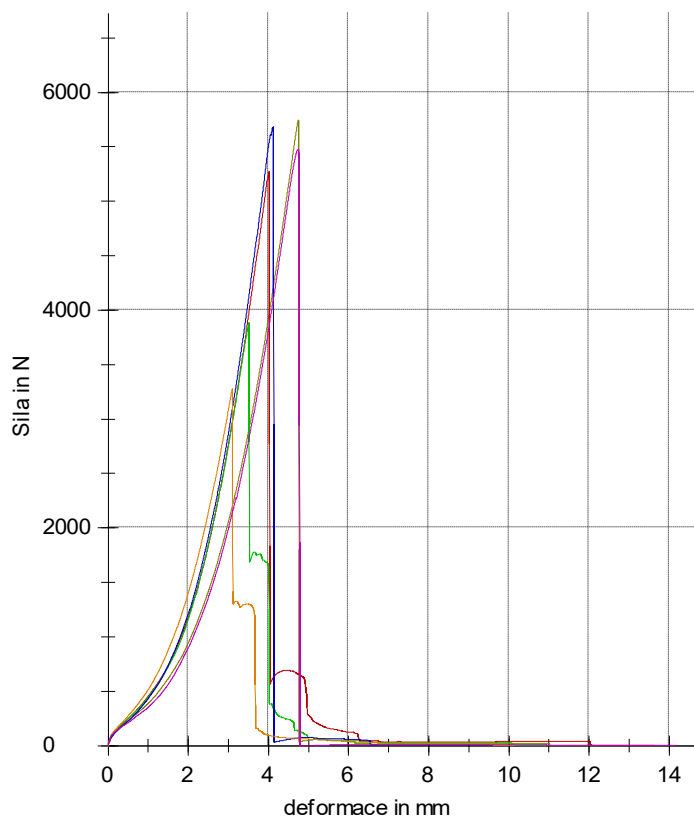


Obr. 60. Zkušební destičky L a jejich podmínky vstřikování

10.4.1 Xarec C132 netemperovaný o tlaku 60 bar

Tab. 31. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	Fmax [N]	W při Fmax [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	5744,1	8793,99	55	55
2	5270,6	6936,11	55	55
3	3884,3	4563,31	55	55
4	5681,1	7772,62	55	55
5	3272,3	3660,53	55	55
6	5474,2	8490,83	55	55
\bar{x}	4887,8	6702,9	55	55
s	1045,9	2126,1	0	0
v	21,4	31,72	0	0



Obr. 61. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a uhlíkový prepreg

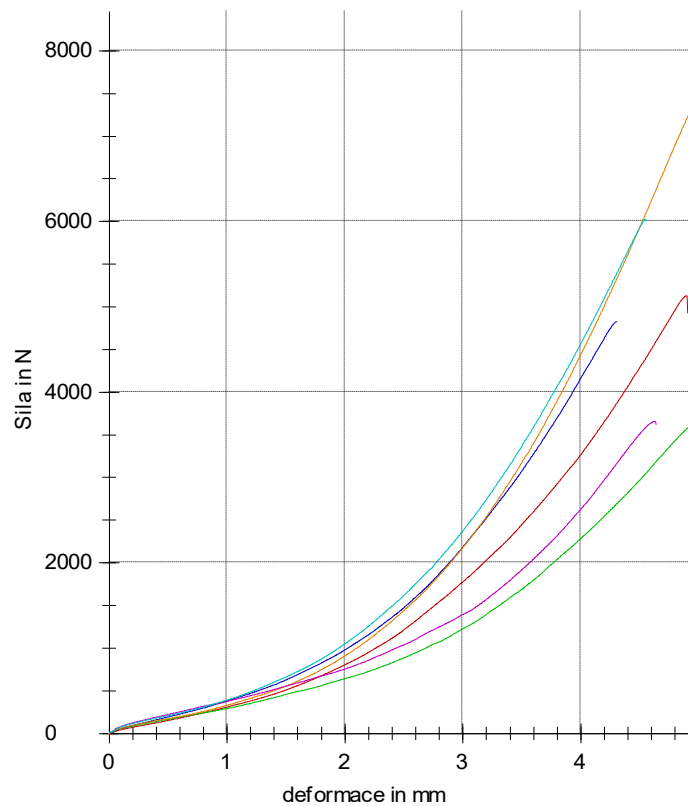
Z následující tabulky (Tab. 31) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s netemperovanou výztuží a vstřikovacím tlakem 60 bar uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **Fmax** [N], deformační práce **W** při síle **Fmax** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient.

Na (Obr. 61) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 1.

10.4.2 Xarec C132 netemperovaný o tlaku 115 bar

Tab. 32. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	5128,3	8133,46	55	55
2	3604,8	6009,14	55	55
3	4827,2	6825,72	55	55
4	7354	11126,59	55	55
5	3658,2	5757,31	55	55
6	6026,7	8849,16	55	55
\bar{x}	5099,867	7783,563	55	55
s	1437,284	2030,049	0	0
v	28,18	26,08	0	0



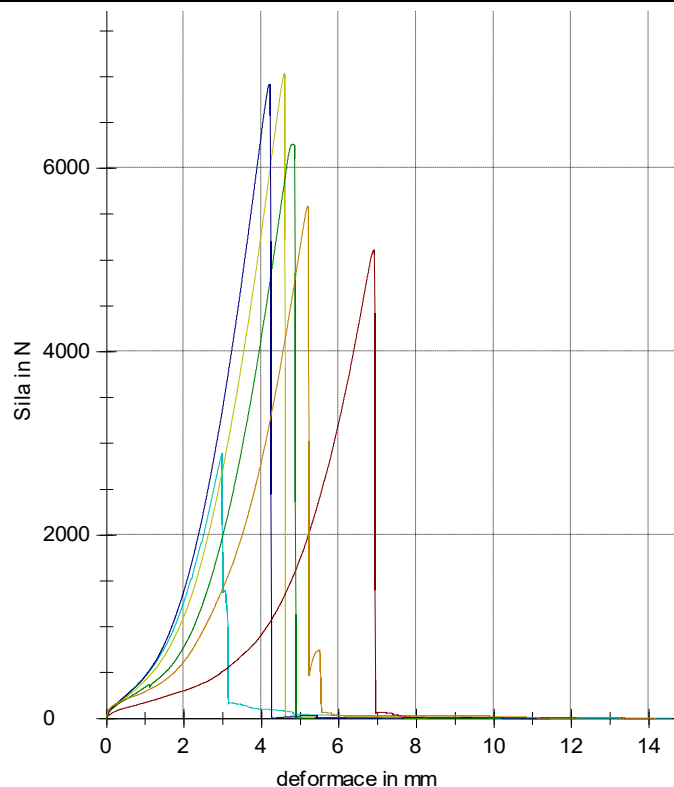
Obr. 62. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a uhlíkový prepreg

Z následující tabulky (Tab. 32) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s netemperovanou výztuží a vstřikovacím tlakem 115 bar uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **F_{max}** [N], deformační práce **W** při síle **F_{max}** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 62) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max}. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 6.

10.4.3 Xarec C132 temperovaný na 60 °C o tlaku 60 bar

Tab. 33. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F _{max} [N]	W při F _{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	2890,4	3039,11	55	55
2	7033,1	10381,96	55	55
3	5108,9	8901,16	55	55
4	6261,9	9349,33	55	55
5	6917,1	9587,96	55	55
6	5585,6	8592,99	55	55
\bar{x}	5632,8	8308,75	55	55
s	1536,5	2653,9	0	0
v	27,28	31,94	0	0



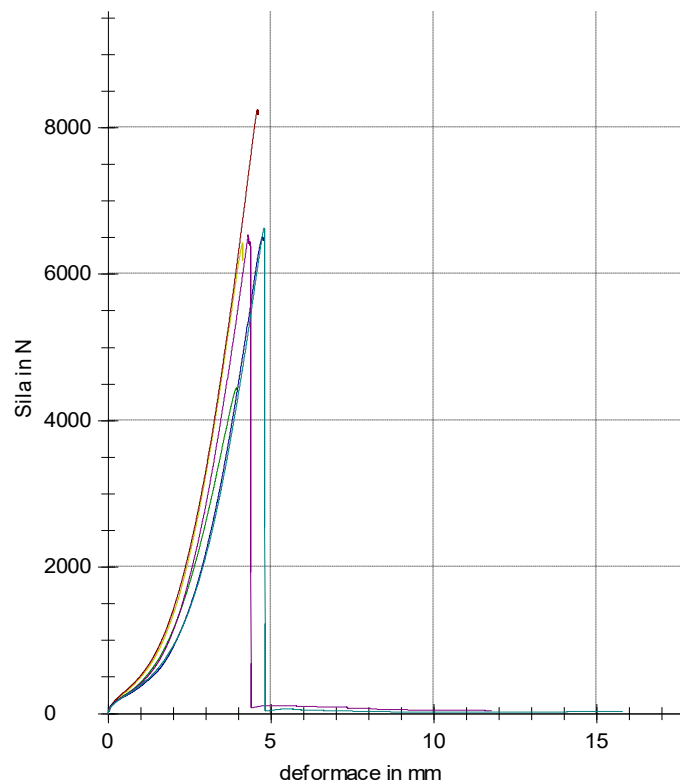
Obr. 63. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 uhlikový prepreg

Z následující tabulky (Tab. 33) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s temperovanou výztuží o teplotě 60°C a vstřikovacím tlakem 60 bar uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla F_{max} [N], deformační práce W při síle F_{max} [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska a a b [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 63) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly F_{max} . Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly F_{max} u zkušebního vzorku n. 2.

10.4.4 Xarec C132 temperovaný na 60°C o tlaku 115 bar

Tab. 34. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky

Počet vzorků n	F_{max} [N]	W při F_{max} [N.mm]	a [mm]	b [mm]
1	6427,5	8803,86	55	55
2	8249	12482,24	55	55
3	4447,5	6123,78	55	55
4	6507,1	9710,97	55	55
5	6535,5	8817,33	55	55
6	6629	9823,43	55	55
\bar{x}	6465,933	9293,6	55	55
s	1207,311	2056,05	0	0
v	18,67	22,12	0	0



Obr. 64. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 a uhlíkový prepreg

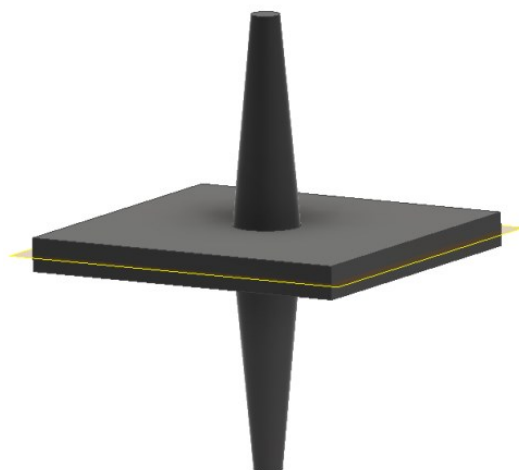
V tabulce (Tab. 34) jsou pro zkušební tělíska Xarec C132 s temperovanou výztuží o teplotě 60°C a vstřikovacím tlakem 115 bar uvedeny potřebné hodnoty, maximální síla **F_{max}** [N], deformační práce **W** při síle **F_{max}** [N.mm] a rozměry zkušebního tělíska **a** a **b** [mm]. Dále v tabulce je uveden aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient. Na (Obr. 64) je zobrazena síla v závislosti na poměrné deformaci a naměřené vynesené hodnoty maximální síly **F_{max}**. Kde můžeme zaznamenat hodnotu největší síly **F_{max}** u zkušebního vzorku n. 2.

11 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole jsou vyhodnocovány dva typy peel testu. V první kapitole jsou vyhodnocena čtvercová tělíska s kuželovým vtokem. V druhé kapitole jsou vyhodnoceny zkušební tělíska L. Pomocí sloupcových grafů jsou shrnuty výsledky naměřených hodnot při měření odlupem ve formě tahu. Grafické porovnání bylo zvoleno z důvodů vyhovující přehlednosti a zpracovatelnosti výsledků. Pomocí této metody lze jednoduše vidět samotné rozdíly soudržnosti za určitých vlastností zpracovatelských podmínek při provádění mechanické zkoušky. Jsou vyhodnocovány dva typy peel testu.

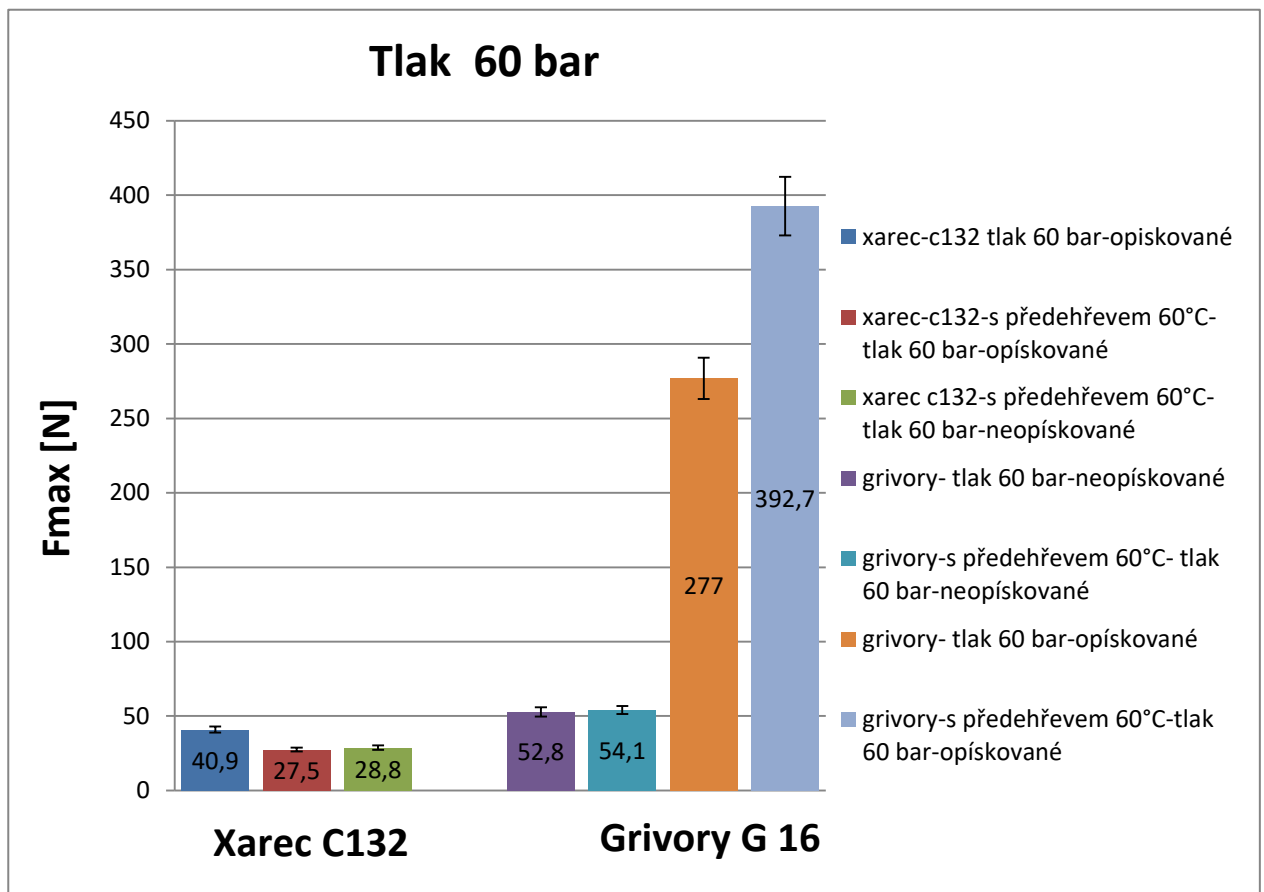
11.1 Vyhodnocení peel testu č. 1- čtvercové tělísko

V každém grafu jsou porovnány vlastnosti určitých podmínek, jak byly vyrobeny. Hlavní porovnávací veličina, která se vyhodnocovala je maximální síla F_{max} [N], kterou je vzorek schopen vydržet v soudržnosti na odlup ve formě tahu. Ve sloupcových grafech jsou sestrojeny chybové úsečky. Chyba měření se počítala jako podíl směrodatné odchylky a odmocniny s počtu měření.



Obr. 65. Čtvercové tělísko

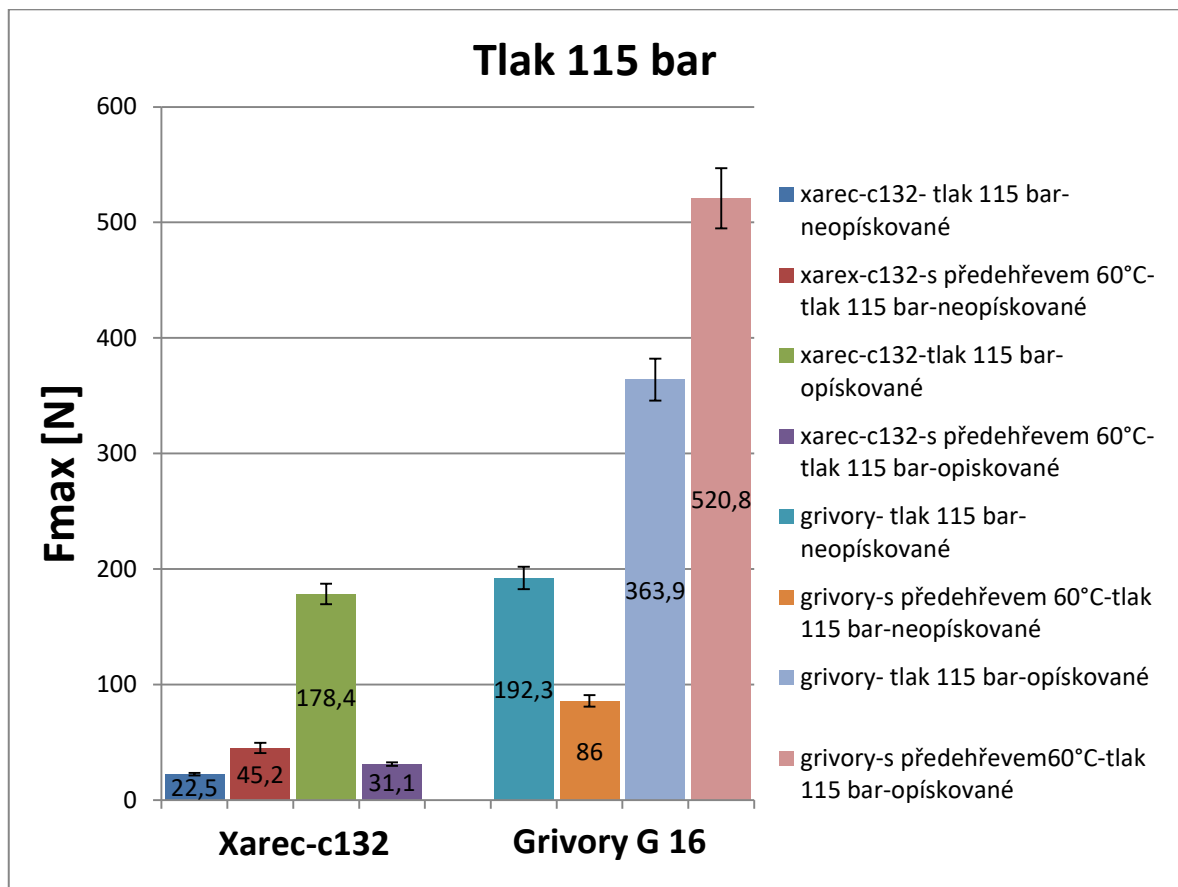
11.1.1 Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem při tlaku 60 bar



Obr. 66. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.

Z následujícího grafu je patrné (Obr. 66), že nejlepšími výsledky soudržnosti u tlaku 60 bar dosahuje materiál Grivory G 16 a nejnižší soudržnost tlaku 60 bar vykazuje materiál Xarec C132. Nejvyšších výsledků se dosahovalo u materiálu Grivory G 16 s předehevem výztuže 60°C a opískované povrchové úpravě, kde byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_{max} = 392,7$ N. U materiálu Xarec C132 tlaku 60 bar a povrchové úpravě opískováním byla nejvyšší hodnota soudržnosti $F_{max} = 40,9$ N. U materiálu Xarec C132 s kompozitem SIGRAPREG je vliv předehevu, tlaku a opískování pro její použití nevýznamné. Soudržnost se pohybuje do 50 N. U materiálu Grivory G 16 s kompozitem SIGRAPREG měla významnou funkci na soudržnost hlavně povrchová úprava opískovaného prepregu, a proto dosahoval nejlepší soudržnosti.

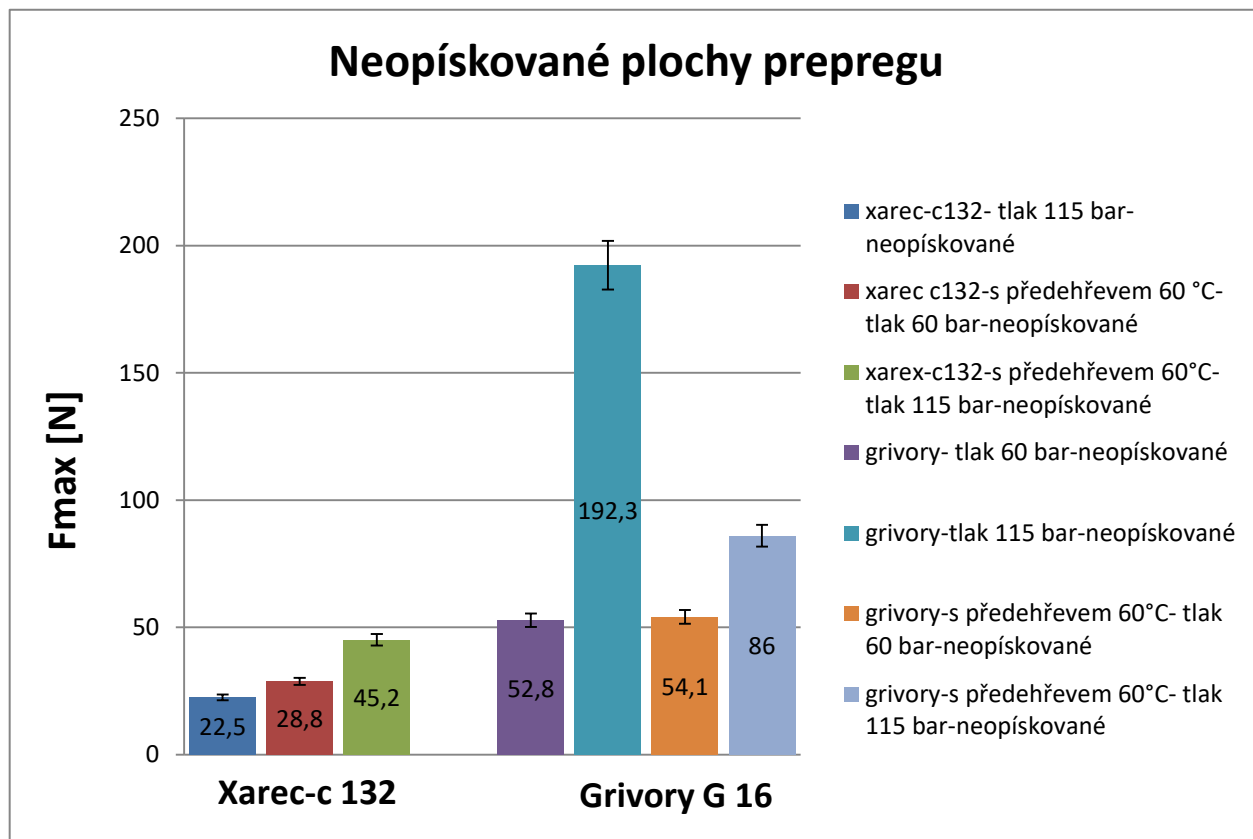
11.1.2 Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem při tlaku 115 bar



Obr. 67. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.

Z následujícího grafu je patrné (Obr. 67), že nejlepších výsledků soudržnosti dosahuje materiál Grivory G 16 a nejnižší soudržnosti vykazuje materiál Xarec C132. Nejvyšších výsledků se dosahovalo u materiálu Grivory G 16 s předehřevem výztuže na 60°C, tlaku 115 bar a povrchové úpravě opískováním, kde byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_{max} = 520,8$ N. U materiálu Xarec C132 s tlakem 115 bar a povrchové úpravě opískováním byla zjištěna průměrná maximální síla $F_{max} = 178,4$ N. U materiálu Xarec C132 s kompozitem SIGRAPREG je vliv předehřevu, tlaku a opískování pro její použití nevýznamné. Soudržnost se pohybuje do 70 N. U materiálu Grivory G 16 s kompozitem SIGRAPREG měla významnou funkci na soudržnost hlavně povrchová úprava opískovaného prepregu a tlaku 115 bar, a proto dosahoval nejlepší soudržnosti.

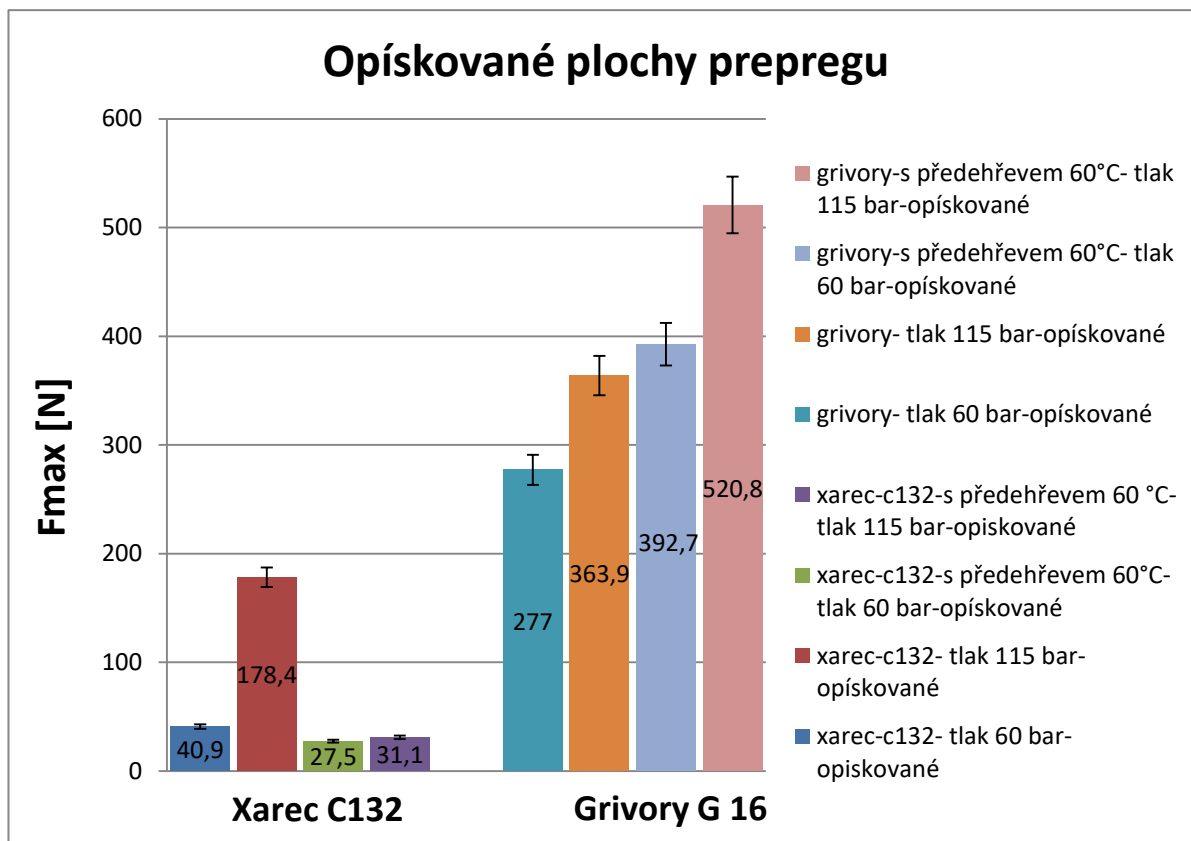
11.1.3 Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem u neupraveného povrchu



Obr. 68. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16

Z následujícího grafu je patrné (Obr. 68), že nejlepšími výsledky soudržnosti u neopískované plochy je materiál Grivory G 16 a nejnižší soudržnost neopískované plochy vykazuje materiál Xarec C132. Nejvyšších výsledků se dosahovalo u materiálu Grivory G 16 s tlakem 115 bar a neupraveném povrchu prepregu, kde byla zjištěna maximální zatěžující síla $F_{max} = 192,3$ N. U materiálu Xarec C132 byla nejvyšší hodnota vlivem přehřevu 60°C, tlaku 115 bar a neupraveném povrchu zjištěna maximální síla $F_{max} = 45,2$ N. U materiálu Xarec C132 s kompozitem SIGRAPREG je vliv přehřevu, tlaku a neopískovaného povrchu nevýznamný pro jeho použití. Soudržnost se pohybuje do 50 N. U materiálu Grivory G 16 s kompozitem SIGRAPREG měla významnou funkci na soudržnost hlavně tlak 115 bar.

11.1.4 Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s reaktoplastickým kompozitem a upravené plochy opískováním



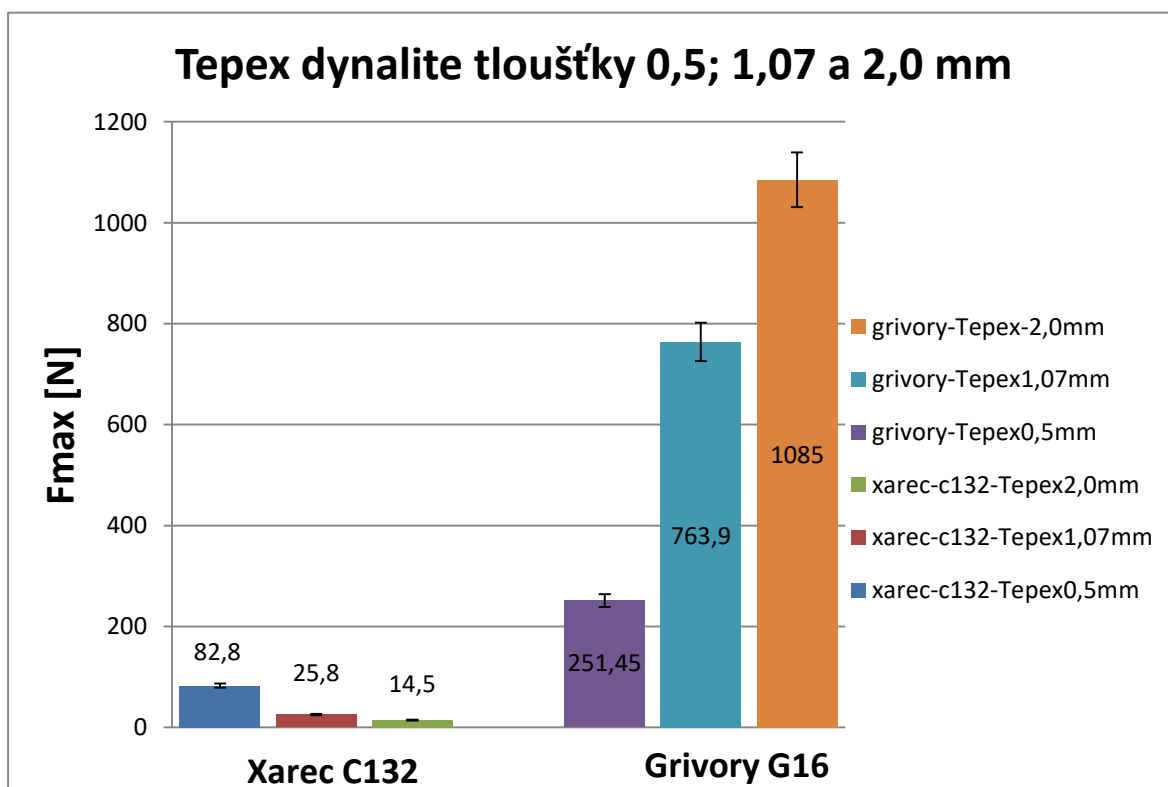
Obr. 69. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.

Z následujícího grafu je patrné (Obr. 69), že nejlepších výsledků soudržnosti opískované plochy je materiál Grivory G 16 a nejnižší soudržnost opískované plochy vykazuje materiál Xarec C132. Nejvyšších výsledků se dosahovalo u materiálu Grivory G 16 vlivem předehřevu 60°C tlakem 115 bar a opískované povrchové úpravě, kde byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_{max} = 520,8$ N. U materiálu Xarec C132 byla nejvyšší hodnota vlivem tlaku 115 bar a opískované povrchové úpravě zjištěna průměrná maximální síla $F_{max} = 178,4$ N. U materiálu Xarec C132 s výztuží SIGRAPREG je vliv předehřevu nevýznamný. Soudržnost se pohybuje do 70 N. U materiálu Grivory G 16 měla významnou funkci na soudržnost hlavně tlak 115 bar a povrchová úprava SIGRAPREGU.

11.1.5 Vyhodnocení měření materiálu Xarec C132 a Grivory s termoplastickým kompozitem Tepex dynalite

V následujícím sloupcovém grafu jsou porovnány průměrné hodnoty maximální zatěžující síly F_{max} [N]. U materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 byla použita termoplastická destička Tepex dynalite, která má tloušťky 0,5; 1,07 a 2,0 mm.

11.1.5.1 Vyhodnocení materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s termoplastickým kompozitem Tepex dynalite



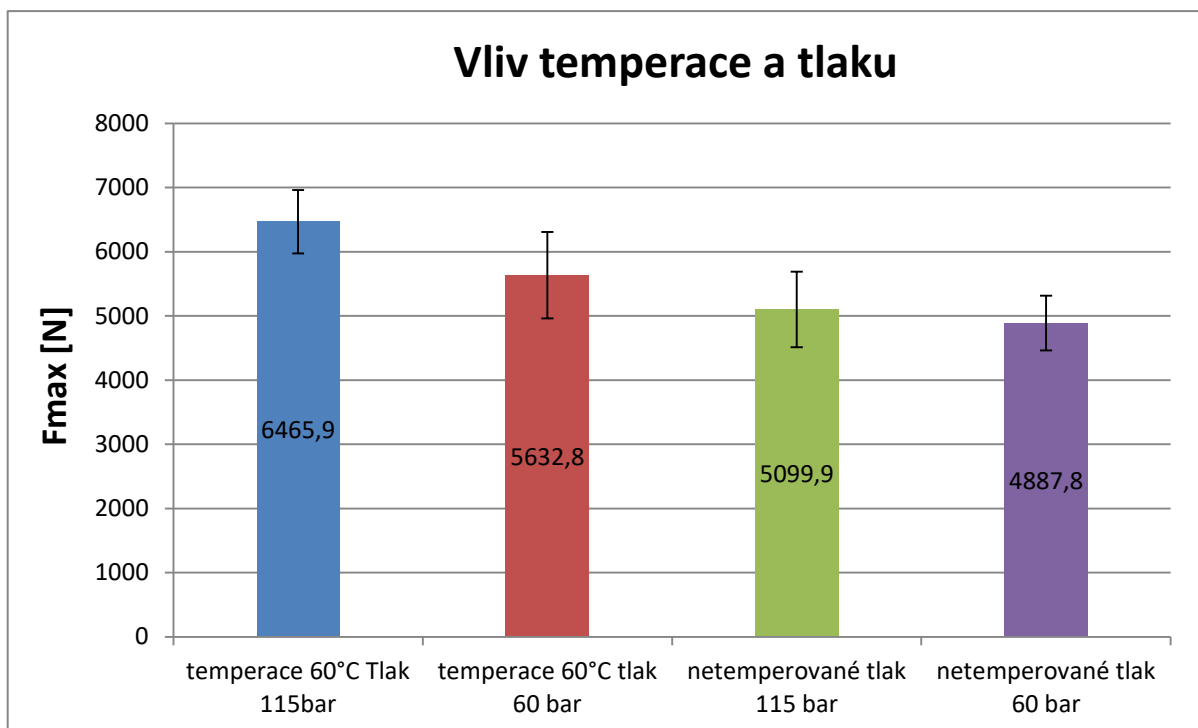
Obr. 70. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.

Z následujícího grafu (Obr. 70) můžeme vyčíst, že nejlepší výsledky soudržnosti mezi termoplastem a termoplastickým kompozitem je u materiálu Grivory G 16 s tloušťkou termoplastické destičky 2,0 mm, kde byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla 1085 N. Tuto soudržnost považuji za hodně kvalitně významnou. Druhou nejvyšší soudržnost, vykazuje Grivory G 16 s tloušťkou termoplastické výztuže 1,07 mm, kde maximální zatěžující síla dosahuje 763,9 N. U materiálu Xarec C132 s termoplastickou výztuží se pohybuje maximální síla poměrně hodně nízko kolem 80 N.

11.2 Vyhodnocení peel testu č. 2 - L destiček

V této následující kapitole jsou vyhodnoceny zkušební tělesa ve tvaru L, které byly vyrobeny z termoplastického materiálu Xarec C132 a s výztuží SIGRAPREG. Zkušební tělísko L obsahovalo třívrstvou výztuž SIGRAPREG. Zkušební tělísko L se vyrábělo s podmínkami zpracování materiálu bez předehřevu nebo s předehřevem výztuže a vstřikovacím tlakem 60 a 115 baru. V následujícím sloupcovém grafu je vyhodnocena průměrná maximální zatěžující síla F_{max} [N].

11.2.1 Vyhodnocení materiálu Xarec C132 s výztuží SIGRAPREG



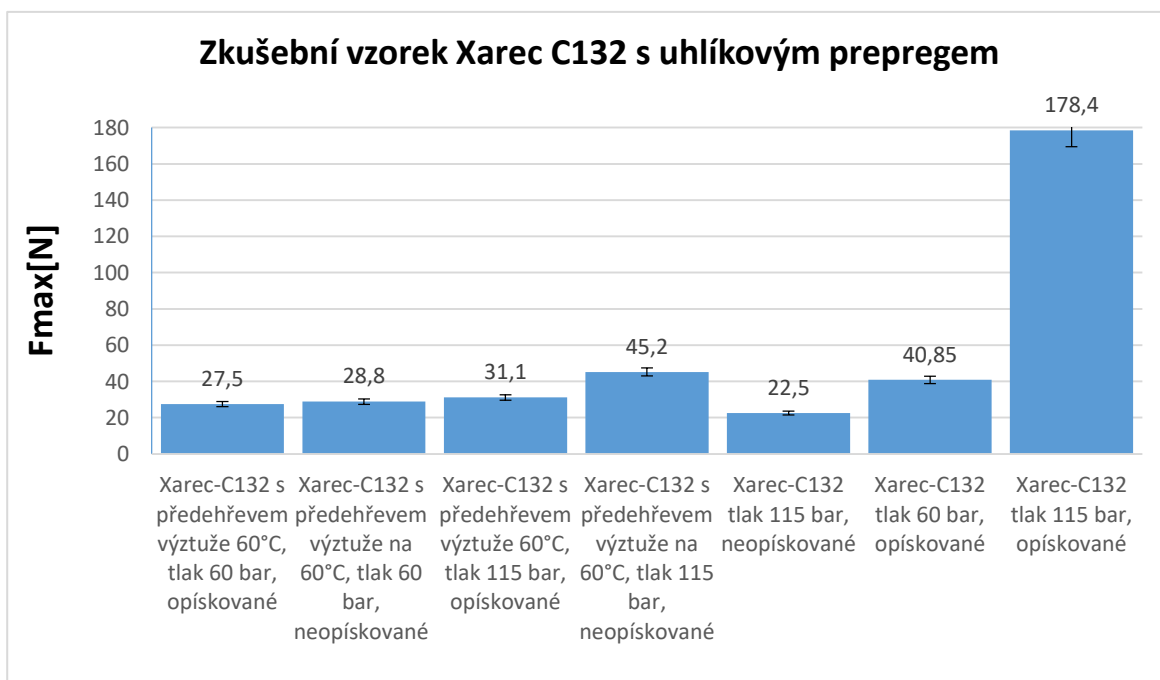
Obr. 71. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 s reaktoplastickou výztuží SIGRAPREG

Zkušební desky tvaru L dosahovaly přibližně stejných výsledků F_{max} viz. Graf (Obr. 71) V případě peel testu č. 2 teplota i růst vstřikovacího tlaku zlepšují výsledky pro F_{max} . Tato síla je však daná pevností termoplastové části a adheze rozhraní termoplast-prepreg ji zřejmě příliš neovlivňuje. V případě zkoušky odlupu se vliv teploty neprokázal. Vždy se první poruší termoplastová část, až potom prepreg. Vzhledem ke slabé adhezi dochází k separaci obou částí.

DISKUSE VÝSLEDKŮ

Z naměřených dat zátěžových zkoušek odlupu lze z grafického vyhodnocení konstatovat:

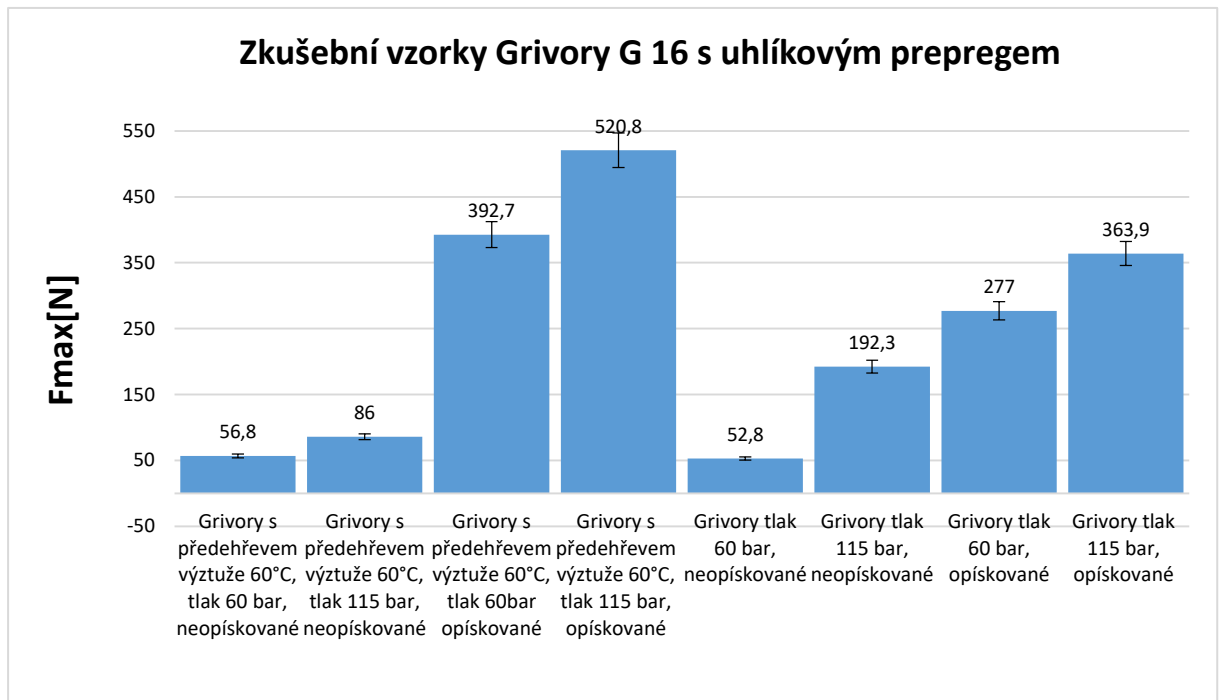
- a) Porovnání soudržnosti u materiálu Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG



Obr. 72. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG

Materiál Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG dosahoval nejlepších adhezních vlastností vlivem úprav vzorku bez předehřevu s opískovaným povrchem a tlakem 115 bar. viz Graf (Obr. 72), kde jeho soudržnost dosahovala $F_{max} = 178,4$ N. U dalších úprav a podmínek vstřikování byla soudržnost do 50 N. Za předepsaných úprav a podmínek vstřikování nepovažuji za výhodné soudržnost materiálu Xarec C 132 s prepregem SIGRAPREG.

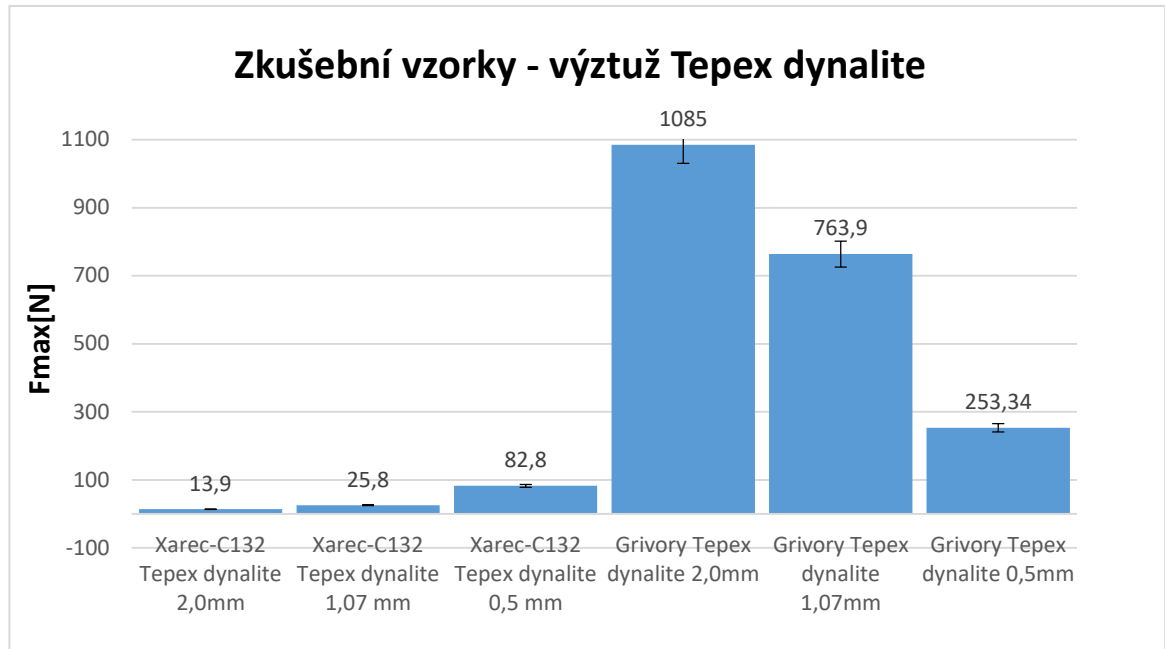
b) Porovnání soudržnosti u materiálu Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG



Obr. 73. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG

Materiál Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG dosahoval nejlepších adhezních vlastností. Vzorky vlivem předehřevu, opískování a tlakem 115 Bar, kde jeho soudržnost dosahovala $F_{max} = 520,8$ N. viz Graf (Obr. 73). I u dalších úprav a podmínek vstřikování byla soudržnost vyhovující. Za méně vyhovující byly s neopískovaným povrchem prepregu. Za předepsaných úprav a podmínek vstřikování považují celkově materiál Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG za soudržnost velmi významnou. Lze doporučit pro praktické využití.

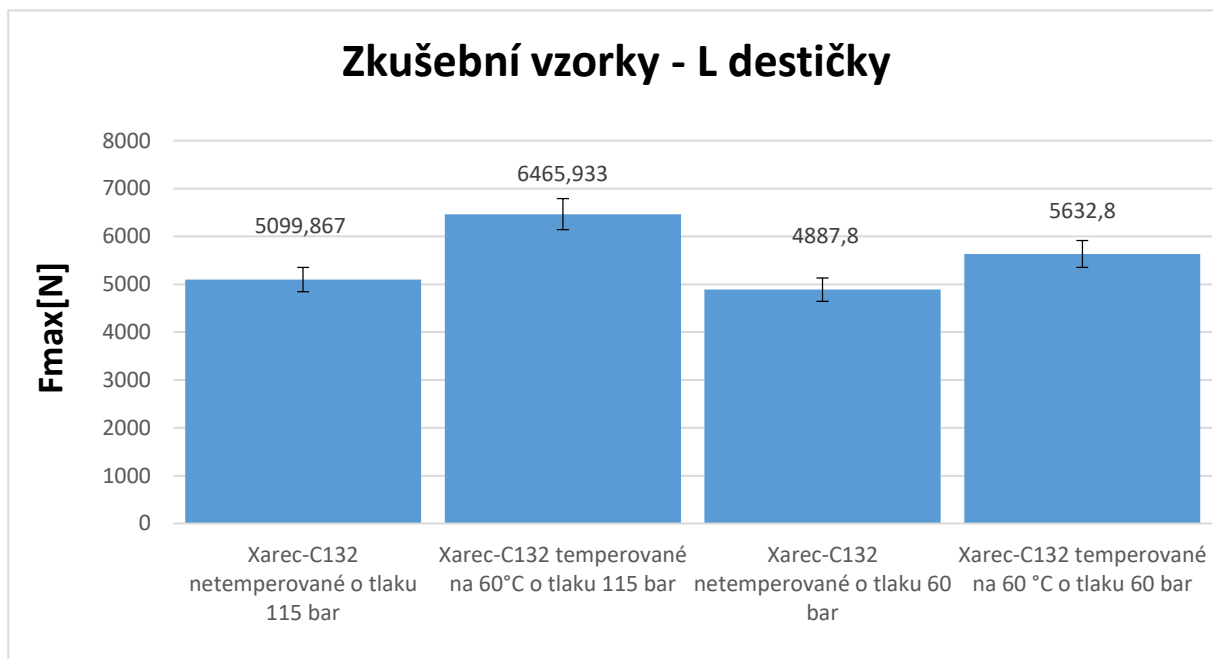
- c) Porovnání soudržnosti u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem Tepex dynalite



Obr. 74. Porovnání nevhodnější soudržnosti u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s uhlíkovou výztuží Tepex dynalite

Materiály s uhlíkovou výztuží Tepex dynalite dosahovaly nejlepších adhezních vlastností vyrobené z materiálu Grivory G 16. Nevhodnější soudržnost má s výztuží Tepex dynalite 210fr-C200 (8)/45% 2 mm, kde F_{max} dosahovalo 1085 N. I ostatní vzorky mnohonásobně převyšovaly materiál Xarec C132 s termoplastickou výztuží Tepex dynalite viz Graf (Obr. 74). Termoplast Grivory G 16 plněný skelným vláknem a uhlíková výztuž Tepex dynalite mají mezi sebou nevhodnější přilnavost a význam pro praktické využití.

- d) Porovnání soudržnosti L destiček u materiálu Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG.



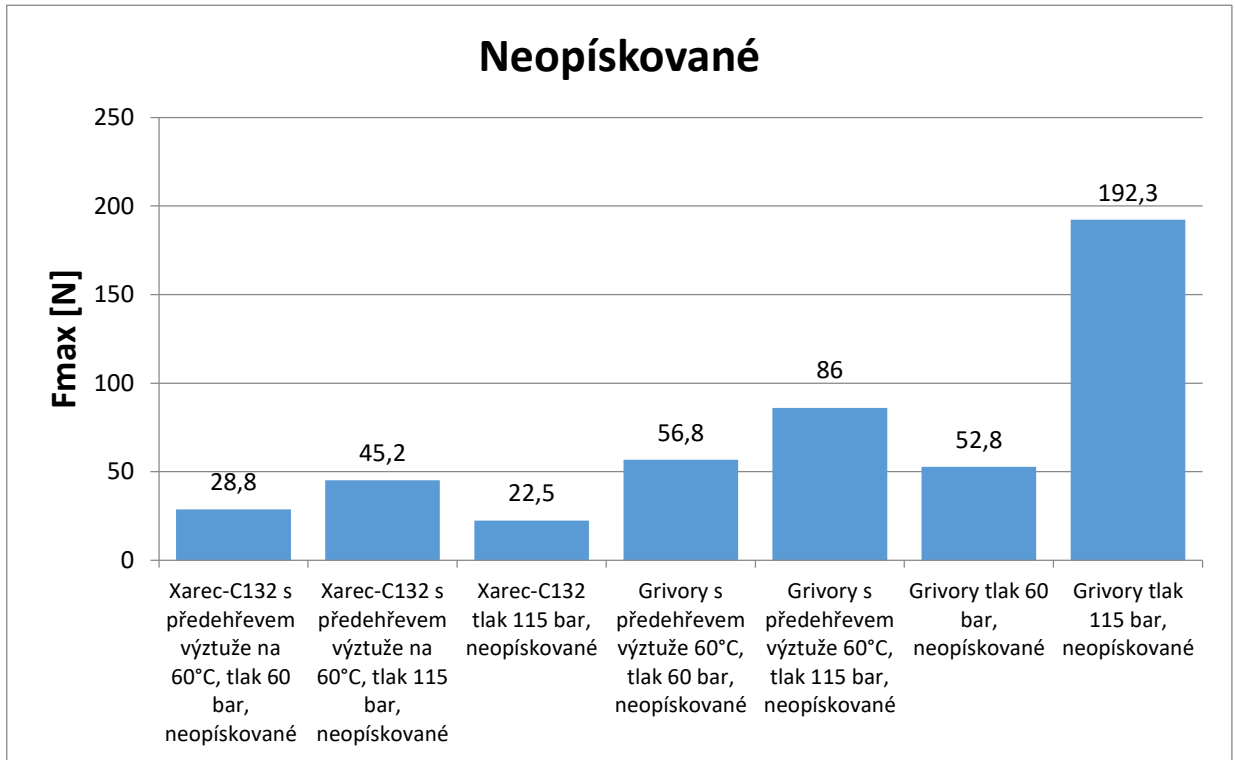
Obr. 75. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG

Zkušební desky tvaru L dosahovaly přibližně stejných výsledků F_{max} viz. Graf (Obr. 75) V případě peel testu č. 2 teplota i růst vstřikovacího tlaku zlepšují výsledky pro F_{max} . Tato síla je však daná pevností termoplastové části a adheze rozhraní termoplast-prepreg ji zřejmě příliš neovlivňuje. V případě zkoušky odlupem ve formě tahu se vliv teploty neprokázal. Vždy se první poruší termoplastová část, až potom prepreg. Vzhledem ke slabé adhezi došlo k separaci obou částí a zatečení termoplastu, a proto tato navržená metoda zkoušky nemůže být vyhodnocena za úspěšnou na bázi adheze termoplast a kompozit. viz. (Obr. 76).

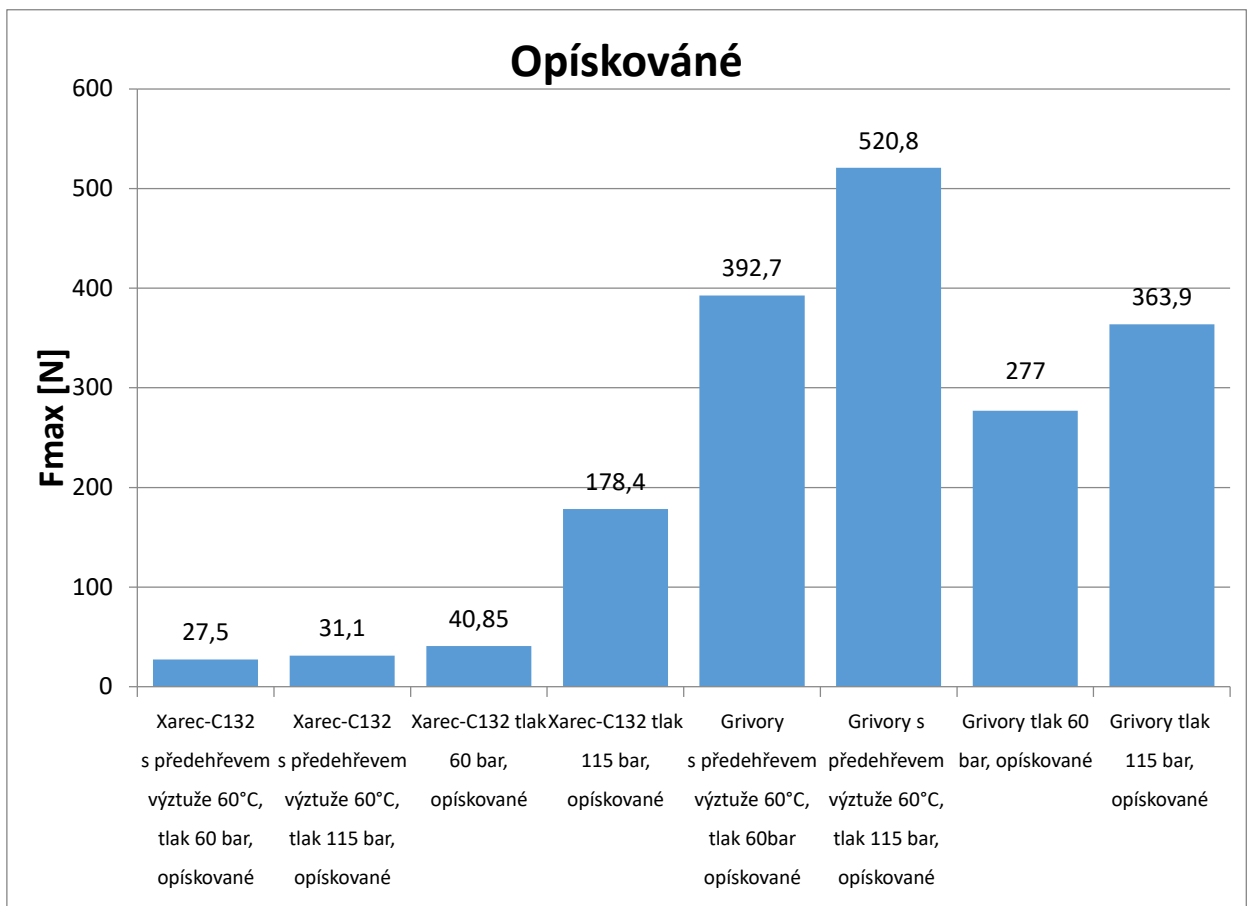


Obr. 76. Soudržnost termoplastu Xarec C132

e) Porovnání povrchové úpravy neopískované a opískované plochy



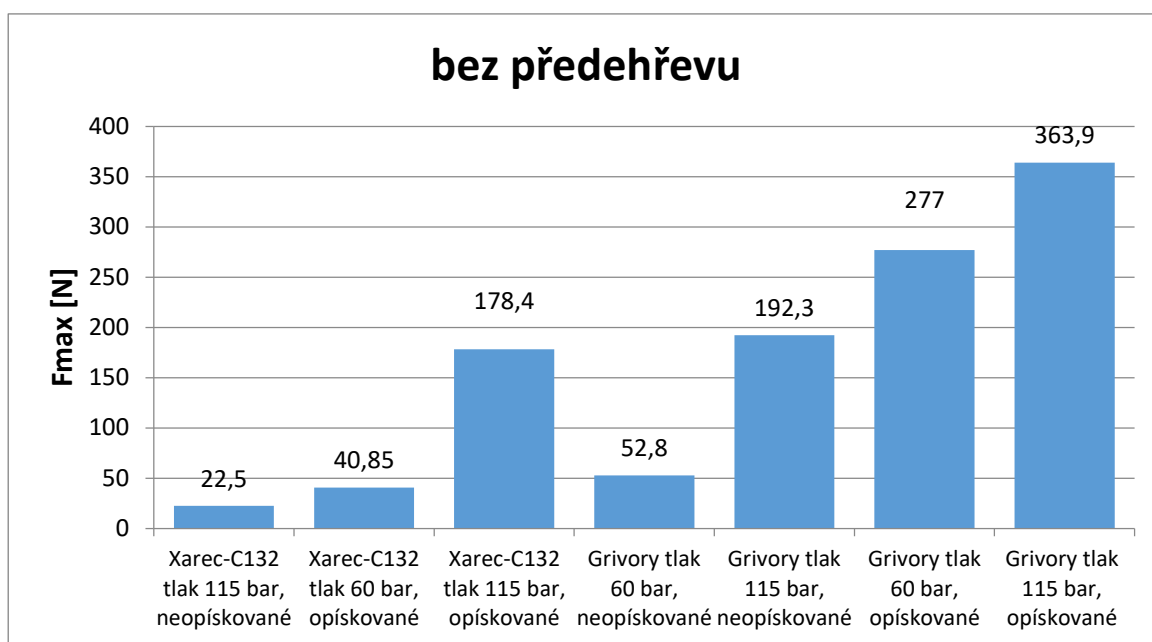
Obr. 77. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s neopískovanými plochami



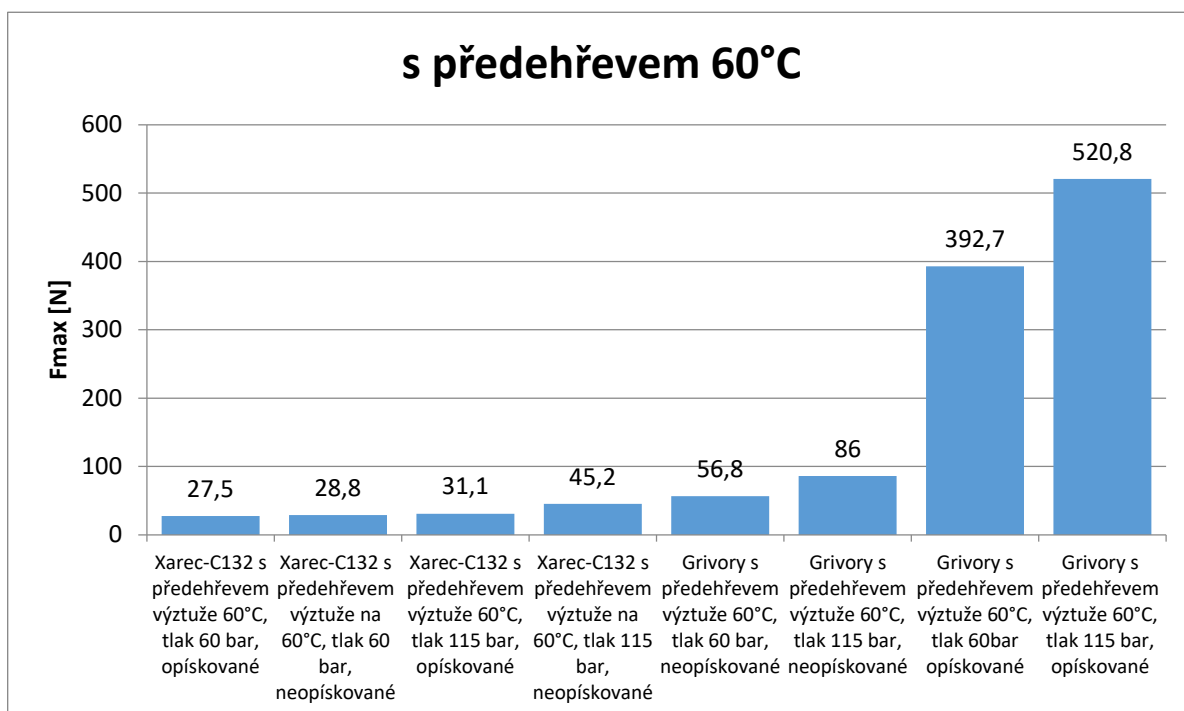
Obr. 78. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s opískovanými plochami

Při porovnání z následujících grafů je patrné, že prepreg s neupravenou plochou dosahoval malých účinků soudržných sil. Vyplývá to z grafu viz. (Obr. 77). Naopak prepreg s opískovanou plochou má velký účinek na soudržnost mezi vstříkovaným termoplastem viz. graf. (Obr. 78). Úpravu opískováním doporučuji i pro praktické využití za velmi vhodné.

f) Porovnání úpravy prepregu bez předehřevu a s předehřevem 60°C



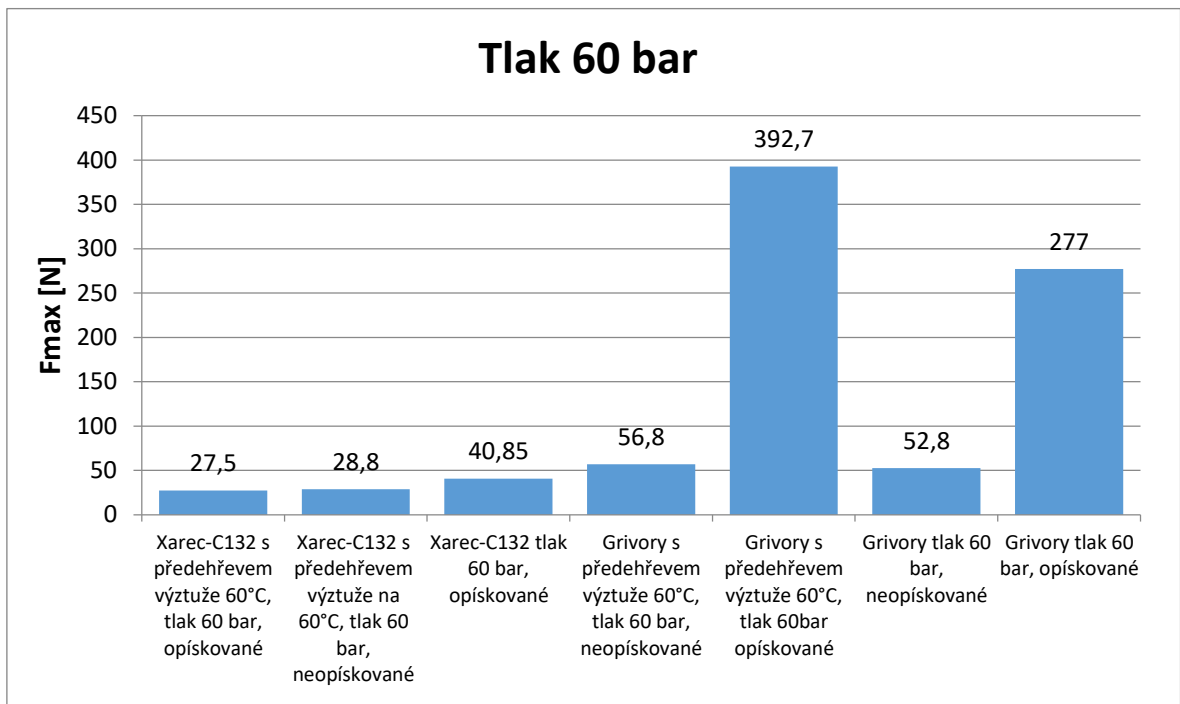
Obr. 80. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 bez předehřevu



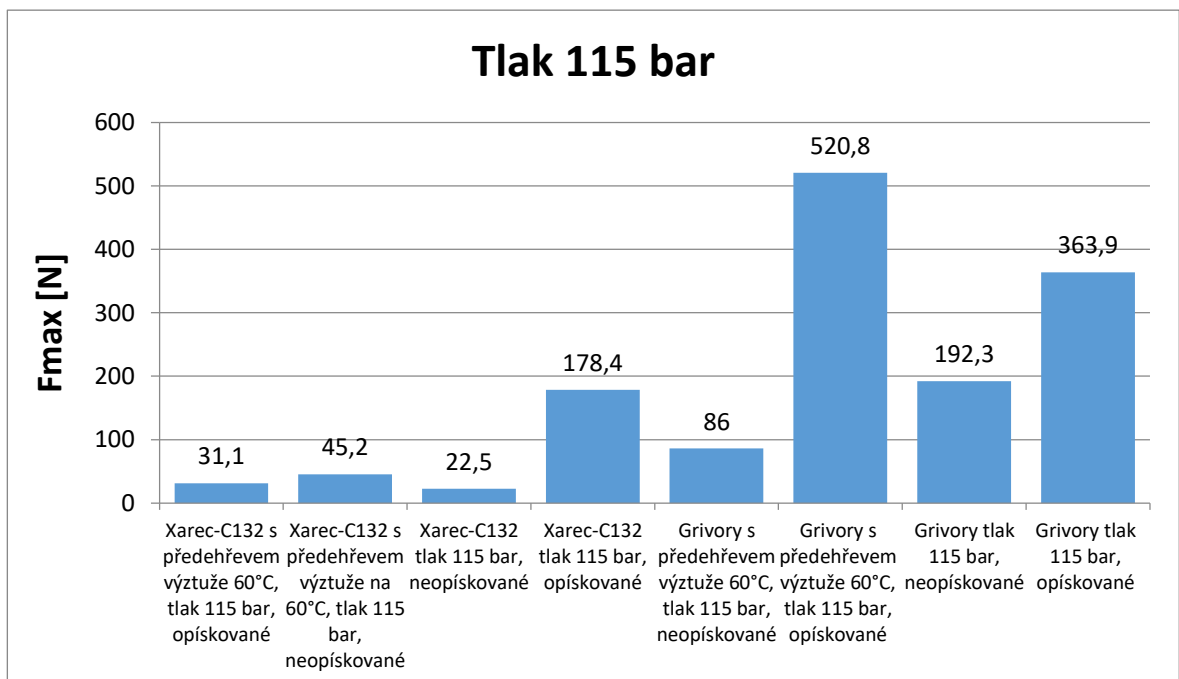
Obr. 79. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s předehřevem

Při porovnání z následujících grafů je patrné, že prepreg bez předehřevu dosahoval podobných hodnot jako s předehřevem. Vyplývá to z grafů viz. (Obr. 79) a (Obr. 80). Také je dobré vidět, že u materiálu Grivory G 16 s předehřevem, vlivem tlaku 115 bar a povrchové úpravě opískováním se pohybovali hodnoty F_{max} v průměru o něco výše. Tímto se domnívám, že význam přilnavosti prepregů na termoplast vlivem bez předehřevu a s předehřevem je nepodstatný a nemá žádné využití.

g) Porovnání vstřikovacího tlaku 60 bar a 115 bar



Obr. 81. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 - porovnání tlaku 60 bar



Obr. 82. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 - porovnání tlaku 115 bar

Při porovnání z následujících grafů viz.(Obr. 81) a (Obr. 82) je patrné, že nejlepších výsledků soudržnosti u tlaku 60 bar a 115 bar dosahuje materiál Grivory G 16. Nejvyšších výsledků se dosahovalo u materiálu Grivory G 16 tlakem 115 bar. Základní zjištění je takové, že vliv tlaku 115 bar je významnější pro soudržnost termoplastu a kompozitu než tlak 60 bar.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo ověřit, za jakých podmínek bude u polymerních termoplastických materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 nejuvhodnější soudržnost (adheze) s kompozitním materiálem s uhlíkovou výztuží SIGRAPREG a Tepex dynalite pro použití plastových dílu hlavně pro automobilový průmysl.

Součástí praktické části byla výroba, příprava a úprava zkušebních vzorků a jejich zhotovení vstříknutím a následné měření pevnosti v odlupu. Samotné měření pevnosti odlupu ve formě tahu bylo provedeno na zkušebním stroji Zwick 1456.

Výsledkem práce je vzájemná srovnání polymerů Xarec C132 a Grivory G 16 lišících se vzájemně technologickými podmínkami vstřikovacího tlaku, teploty prepregu SIGRAPREG H W170-PL1/1-E320/45%, rozměry uhlíkového prepregu Tepex dynalite 210fr-C200(8)/45% a technickými parametry povrchové úpravy spojovaného povrchu zkušebních vzorků.

Pro stanovení materiálové charakteristiky pevnosti v odlupu byly provedeny zkoušky ve formě tahu pro všechny vzorky materiálů s různými technologickými parametry vstřiku a úpravami vzorků.

Z výsledku experimentu vyplývá, že zvýšení vstřikovacího tlaku na 115 barů místo tlaku 60 barů významně zlepšuje soudržnost termoplastů a kompozitů. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s materiálem Grivory G 16.

Z měření dále vyplývá, že prepreg s opískovanou plochou má velký účinek na soudržnost mezi vstřikovaným termoplastem. Úpravu opískováním proto doporučuji pro použití ve výrobě.

Při porovnání teplot ohřevu je patrné, že prepreg bez předehřevu dosahoval podobných hodnot jako s předehřevem, takže význam přilnavosti prepregu na termoplast vlivem předehřevu je minimální. V praktickém použití jej i pro ekonomické náklady doporučuji nezavádět.

Výsledky zkoušek zkušebních desek tvaru L bylo dosaženo přibližně stejných hodnot pevnosti odlupu. Z naměřených dat vyplývá, že největší zvýšení pevnosti v odlupu bylo způsobeno zvýšením vstřikovacího tlaku na 115 baru. Ostatní úpravy - vliv teploty se neprokázal.

Vzhledem ke slabé adhezi došlo k separaci obou částí a zatečení termoplastu, proto tato navržená metoda zkoušky se jeví jako nevyhovující.

Nejlepších výsledků pevnosti odlupu ve formě tahu a tím adhezních vlastností bylo dosaženo u materiálu Grivory G 16 s uhlíkovou výztuží Tepex dynalite 210fr-C200 (8)/45% 2 mm, kde F_{max} dosahovalo 1085 N.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KRATOCHVÍL, Bohumil, Dalibor VOJTĚCH and Václav ŠVORČÍK. 2005. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 190 s.
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. 2009. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 351 s.
- [3] VRBKA, Jan. *Mechanika kompozitů. Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně*, 2008.
- [4] OČADLÍK, Zdeněk. *Návrh a testování lepených spojů u modulu tramvaje*. 2012.
- [5] VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [6] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2443-5.
- [7] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004, 156 s. ISBN 80-704-3273-X.
- [8] LAPČÍK, Lubomír a Miroslav RAAB. *Nauka o materiálech II*. Vyd. 2., rozš. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004. ISBN 80-7318-229-7
- [9] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 8072042483.
- [10] GAY, Daniel a S. V. HOA. *Composite materials: design and applications*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. ISBN 1-4200-4519-9.
- [11] BEX, Gert-Jan et al., 2018. Effect of process parameters on the adhesion strength in two-component injection molding of thermoset rubbers and thermoplastics. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. [cit. 2019-12-18]. DOI: 10.1002/app.46495. ISSN 00218995. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.46495>
- [12] Plastic portal [online]. 2011 [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/termoplasty-vyztuzene-dlouhymi-vlakny-v-portfoliu-firmy-resinex/c/579/>
- [13] *301 Moved Permanently* [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/design-materials-fabrication/composite-materials->

- [dam/Education/Manufacturing_of_Polymer_Composites/FS2017/Prepreg_Technology.pdf](#)
- [14] LENGSELD, Hauke. Composite technology: prepregs and monolithic part fabrication technologies. Cincinnati: Hanser Publications, 2016. ISBN 978-1-56990-599-9.
- [15] Composite Prepregs – Manufacturing, Benefits and Applications [online]. AZoNetwork: AZO Materials, 2018 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8353>
- [16] TECHNOLOGIE VÝROBY: SMC [online]. PREFA KOMPOZITY, a.s.: Brno, 2018 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <https://www.prefa-kompozity.cz/technologie-vyroby/smc/>
- [17] BROCKMANN, W., c2009. *Adhesive bonding: materials, applications and technology*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 9783527318988.
- [18] Gregor, Miroslav. Technologie a technika lepení [online]. 2016 [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [19] Mechanika kompozitních materiálů: ČSM [online]. 2019 [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: http://www.csm-kompozity.wz.cz/novotny_MKMK_presfin.pdf
- [20] POCIUS, Alphonsus V., c2002. *Adhesion and adhesives technology: an introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, xii, 319 s. ISBN 1569903190.
- [21] LANGMAIER, Ferdinand, 1999. *Adhese a adhesiva*. Zlín: FT VUT, 106 s. ISBN 8021413735.
- [22] FU, Wanyi et al., 2018. Polyvinyl chloride (PVC) ultrafiltration membrane fouling and defouling behavior: EDLVO theory and interface adhesion force analysis. *Journal of Membrane Science* [online]. **564**, 204-210 [cit. 2020-01-18]. DOI: 10.1016/j.memsci.2018.07.020. ISSN 03767388. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0376738818311852>
- [23] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s. ISBN 9788073722791.
- [24] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982, 283 s.

- [25] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuku a plastu*. 1. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2007. 203 s
- [26] CAMPBELL, F. C. *Structural composite materials*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2010, 1 [online]. [cit. 2020-01-18] ISBN 9781613441244. Dostupné: http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSCM00001/structural_composite_materials
- [27] LIONETTO, Francesca et al., 2018. Hybrid welding of carbon-fiber reinforced epoxy based composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [online]. **104**, 32-40 [cit. 2020-01-18]. DOI: 10.1016/j.compositesa.2017.10.021. ISSN 1359835X. Dostupné z WWW: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X17303792>
- [28] Běhálek, Luboš. *Polymery* [online]. 2016. ISBN 9788088058687. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/180/13.html>
- [29] NOVÁK, Josef, 2008. *Fyzikální chemie: bakalářský a magisterský kurz*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2 sv. (260 s., s. 264-506 s.). ISBN 9788070806753. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z WWW: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-675-3/pages-img/
- [30] Kmlinux: Učební materiály – Měření KÚS. FJFI ČVUT Praha [online]. 2008, [cit. 2020-01-18]. Dostupné z WWW: http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/~novotfil/skola/ROZHRANI/A-PREDN-07/16-Mereni_kontaktneho_uhlu/Elevace_deska.doc
- [31] BOSSARD [online]. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: https://media.bossard.com/cs/-/media/bossard-group/website/documents/white_paper/bossard_white_paper_composites_cz.pdf?la=cs
- [32] ČSM-KOMPOZITY [online]. 2019 [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: http://www.csm-kompozity.wz.cz/Spojovani_Krena.pdf
- [33] CAMPBELL, F. C. *Structural composite materials*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2010, ISBN 9781613441244. [online] [cit. 2020-01-18] Dostupné z: http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSCM00001/structural_composite_materials

- [34] MRŇA, Libor. Lepení materiálů. In: Ústav strojírenské technologie fakulty strojního inženýrství [online]. Brno [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf
- [35] Doplnkové technologie pro zpracování plastů [online]. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm
- [36] Ausperger, Aleš. Technologie. [online]. 2016. ISBN 9788088058779. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/183/13.html>
- [37] EBNESAJJAD, Sina. *Surface treatment of materials for adhesion bonding*. Norwich, NY, U.S.A.: William Andrew Publishing, c2006, xvi, 260 s. ISBN 0-8155-1523-5.
- [38] LEHOCKÝ, Marián, Hana DRNOVSKÁ, Barbora LAPČÍKOVÁ, A.M BARROS-TIMMONS, Tito TRINDADE, Maria ZEMBALA a Lubomír LAPČÍK. Plasma surface modification of polyethylene. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2003, vol. 222, issue 1-3, s. 125-131. ISSN 0927-7757.
- [39] HABENICHT, Gerd. *Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. 6., aktualisierte Aufl. Berlin: Springer, c2009, xxxii, 1104 s. ISBN 978-3-540-85264-3.
- [40] ŠVORČÍK, V., K. KOLÁŘOVÁ, P. SLEPIČKA, A. MACKOVÁ, M. NOVOTNÁ a V. HNATOWICZ. Modification of surface properties of high and low density polyethylene by Ar plasma discharge. *Polymer Degradation and Stability*. 2006, vol. 91, issue 6, s. 1219-1225. ISSN 0141-3910.
- [41] MAKUUCHI, Keizo a Song CHENG. *Radiation processing of polymer materials and its industrial applications*. Hoboken, N.J.: Wiley, c2012, xxviii, 415 s. ISBN 978-0-470-58769-0.
- [42] DROBNY, Jiri George. *Ionizing radiation and polymers: principles, technology and applications*. 1st pub. Oxford: Elsevier/William Andrew, 2013, xvi, 298 s. ISBN 978-1-4557-7881-2.

- [43] GHEYSARI, Dj, A BEHJAT a M HAJI-SAEID. The effect of high-energy electron beam on mechanical and thermal properties of LDPE and HDPE. *European Polymer Journal*. 2001, vol. 37, issue 2, s. 295-302. ISSN 0014-3057.
- [44] *Arburg* [online]. 2006 [cit. 2020-02-08]. Maschinen. Dostupné z WWW: <http://www.arburg.com/com/COM/de/products/machines/index.jsp>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F_{max}	Maximální síla [N]
F	Síla [N]
x	Aritmetický průměr
s	Výběrová směrodatná odchylka
v	Variační koeficient
ČSN	Česká státní norma
T	Teplota [$^{\circ}$ C]
a	Výška [mm]
b	Šířka [mm]
W	Deformační práce [N.mm]
T_m	Teplota tání [$^{\circ}$ C]
T_g	Teplota zesklnění [$^{\circ}$ C]
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Synergické chování složek kompozitu. [5]</i>	14
<i>Obr. 2: Rozdělení kompozitních z hlediska mechanických vlastností. [4]</i>	16
<i>Obr. 3: Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie výztuže [7]</i>	16
<i>Obr. 4: Struktura skelného vlákna [2]</i>	17
<i>Obr. 5: Základní druhy vazeb vyztužujících tkanin [2]</i>	19
<i>Obr. 6: Uhlíkové vlákno v detailním pohledu a tkanina [2]</i>	20
<i>Obr. 7: Tkanina a struktura kevlaru (PPTA)[2]</i>	21
<i>Obr. 8: Povrchové energie a kontaktní úhel u kapky kapalné matrice na tuhém povrchu – vlevo dobré smáčení, vpravo špatné smáčení[9]</i>	22
<i>Obr. 9: Schéma výroby prepregů, vlevo jednosměrně uspořádanými vlákny a vpravo s tkaninou [13]</i>	25
<i>Obr. 10 Schéma výroby prepregů, vlevo s jednosměrně uspořádanými vlákny, vpravo s tkaninou [13]</i>	26
<i>Obr. 11 Výroba jednosměrně orientovaného prepregu [2]</i>	26
<i>Obr. 12: Zařízení na výrobu SMC prepregů [2]</i>	28
<i>Obr. 13: Adheze a koheze ve spoji [18]</i>	29
<i>Obr. 14: Princip přímého měření adhezního napětí (vlevo napětí normálové, vpravo napětí smykové) [23]</i>	31
<i>Obr. 15: Princip scratch testu [23]</i>	32
<i>Obr. 16: Princip mřížkového testu [23]</i>	32
<i>Obr. 17: Typy nerovnosti mikropovrchu</i>	33
<i>Obr. 18: Smáčení povrchu kapalinami [19]</i>	34
<i>Obr. 19: Měření úhlu smáčení na nakloněné desce [29]</i>	36
<i>Obr. 20: Přisedlé kapky a přilínající bubliny [29]</i>	37
<i>Obr. 21 Vyvažování destičky [30]</i>	37
<i>Obr. 22. Schéma úpravy korónorovým výbojem za účelem zvýšení povrchové energie plastové fólie. [20]</i>	39
<i>Obr. 23. Schéma úpravy plazmou [20]</i>	40
<i>Obr. 24: Zalamínování kovového dílce [32]</i>	45
<i>Obr. 25: Deformace jednostranně přeplátovaného spoje [34]</i>	46
<i>Obr. 26: Ultrazvukové svařování</i>	47
<i>Obr. 27: Vysokofrekvenční svařování</i>	48
<i>Obr. 28: Svařování laserem [36]</i>	48
<i>Obr. 29: Schématické znázornění spojů TSC před svařováním s PVB fólií [27]</i>	49
<i>Obr. 30. Zkušební těleso Grivory G 16 s prepregem SIGRAPREG</i>	56

<i>Obr. 31. Zkušební těleso Xarec C 132 s prepregem SIGRAPREG</i>	56
<i>Obr. 32. Vstříkovací stroj ARBURG 420 C Allrounder Advance</i>	57
<i>Obr. 33. Zkušební stroj Zwick 1456 s mechanickými čelistmi pro zkoušku odlupem ve formě tahu</i>	58
<i>Obr. 34. Zkušební vzorek Xarec C132 s výztuží reaktoplastického uhlíkového prepregu SIGRAPREG</i>	60
<i>Obr. 35. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	61
<i>Obr. 36. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	62
<i>Obr. 37. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	63
<i>Obr. 38. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	64
<i>Obr. 39. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	65
<i>Obr. 40. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	66
<i>Obr. 41. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 s uhlíkovým prepregem</i>	67
<i>Obr. 42. Zkušební vzorek Grivory G 16 s výztuží reaktoplastického uhlíkového prepregu SIGRAPREG</i>	68
<i>Obr. 43. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	69
<i>Obr. 44. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	70
<i>Obr. 45. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	71
<i>Obr. 46. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	72
<i>Obr. 47. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	73
<i>Obr. 48. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	74
<i>Obr. 49. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	75
<i>Obr. 50. Závislost mezi silou a deformací - Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem</i>	76
<i>Obr. 51. Zkušební vzorek Xarec C132 s termoplastickou uhlíkovou výztuží Tepex dynalite</i>	77
<i>Obr. 52. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a termoplastický kompozit Tepex 0,5 mm</i>	78
<i>Obr. 53. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a termoplastický kompozit Tepex 1,07mm</i>	79
<i>Obr. 54. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a termoplastický kompozit Tepex 2,0mm</i>	80
<i>Obr. 55. Zkušební těleso Grivory G 16 s termoplastickou uhlíkovou výztuží Tepex dynalite</i>	81
<i>Obr. 56. Závislost mezi silou a deformací – Grivory a termoplastický kompozit Tepex 0,5mm</i>	81
<i>Obr. 57. Závislost mezi silou a deformací – Grivory a termoplastický kompozit Tepex 1,07mm</i>	82

<i>Obr. 58. Závislost mezi silou a deformací – Grivory a termoplastický kompozit Tepex 2,0mm.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 59. Zkušební destička L s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 60. Zkušební destičky L a jejich podmínky vstřikování</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 61. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a uhlíkový prepreg.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 62. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 a uhlíkový prepreg.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 63. Závislost mezi silou a deformací – Xarec C132 uhlíkový prepreg.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 64. Závislost mezi silou a deformací - Xarec C132 a uhlíkový prepreg</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 65. Čtvercové tělísko</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 66. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 67. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.....</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 68. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 69. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.....</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 70. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16.....</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 71. Závislost průměrné hodnoty a maximální zatěžující síly u materiálu Xarec C132 s reaktoplastickou výztuží SIGRAPREG.....</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 72. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG.....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 73. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Grivory G 16 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG.....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 74. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Xarec C132 a Grivory G 16 s uhlíkovou výztuží Tepex dynalite.....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 75. Porovnání nejvhodnější soudržnosti u materiálu Xarec C132 s uhlíkovým prepregem SIGRAPREG.....</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 76. Soudržnost termoplastu Xarec C132.....</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 77. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s neopískovanými plochami</i>	<i>101</i>
<i>Obr. 78. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s opískovanými plochami</i>	<i>101</i>
<i>Obr. 79. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 s předehřevem.....</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 80. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 bez předehřevu.....</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 81. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 - porovnání tlaku 60 bar.....</i>	<i>103</i>
<i>Obr. 82. Materiál Xarec C132 a Grivory G 16 - porovnání tlaku 115 bar.....</i>	<i>103</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Složení skloviny a jejich vlastnosti [2]</i>	18
<i>Tab. 2: Vlastnosti polymerních matric [10]</i>	23
<i>Tab. 3: Teplotní roztažnost některých materiálu [28]</i>	36
<i>Tab. 4. Porovnání gama, beta a rentgenové záření [41]</i>	41
<i>Tab. 5 Charakteristické vlastnosti materiálu Grivory G 16</i>	52
<i>Tab. 6: Hodnoty přechodových teplot zesklenní (Tg) a tání (Tm) u vybraných polymerů</i>	53
<i>Tab. 7. Charakteristické vlastnosti materiálu</i>	54
<i>Tab. 8. Parametry vstřikovacího stroje ARBURG 420 C</i>	57
<i>Tab. 9. Technické parametry zkušebního stroje Zwick 1456</i>	59
<i>Tab. 10. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	61
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	62
<i>Tab. 12. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	63
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	64
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	65
<i>Tab. 15. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	66
<i>Tab. 16. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	67
<i>Tab. 17. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	68
<i>Tab. 18. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	70
<i>Tab. 19. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	71
<i>Tab. 20. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	72
<i>Tab. 21. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	73
<i>Tab. 22. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	74
<i>Tab. 23. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	75
<i>Tab. 24. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	76
<i>Tab. 25. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	77
<i>Tab. 26. Naměřené hodnoty</i>	79
<i>Tab. 27. Naměřené hodnoty</i>	80
<i>Tab. 28. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	81
<i>Tab. 29. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	82
<i>Tab. 30. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	83
<i>Tab. 31. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	85
<i>Tab. 32. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	86
<i>Tab. 33. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	87
<i>Tab. 34. Naměřené hodnoty se statistickými výsledky</i>	88

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Technický list termoplastu Grivory G 16

Příloha P II: Technický list termoplastu Xarec C132

Příloha P III: Technický list Tepex dynalite

Příloha P IV: Technický list SIGRAPREG

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST GRIVORY G 16



Grivory G 16
PA6I/6T

EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG

Product Texts

Product designation according to ISO 1874:
PA 6I/6T, FT, 09-030

Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	3000 / 3000	MPa	ISO 527-1/-2
Charpy notched impact strength (+23°C)	8 / 8	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	8 / 2	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Glass transition temperature (10°C/min)	125 / -	°C	ISO 11357-1/-2

Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	7 / -	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	2 / -	%	Sim. to ISO 62
Density	1180 / -	kg/m ³	ISO 1183

Film Properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Stress at yield (parallel)	85 / -	MPa	ISO 527-3
Stress at yield (normal)	85 / -	MPa	ISO 527-3
Strain at yield (parallel)	5 / -	%	ISO 527-3
Strain at yield (normal)	5 / -	%	ISO 527-3
Maximum strain (parallel)	200 / -	%	ISO 527-3
Maximum strain (normal)	200 / -	%	ISO 527-3
Elmendorf Tear resistance (parallel)	10 / -	N	ISO 6383-2
Elmendorf Tear resistance (normal)	10 / -	N	ISO 6383-2
Trouser Tear resistance (parallel)	5 / -	N/mm	ISO 6383-1
Trouser Tear resistance (normal)	5 / -	N/mm	ISO 6383-1
Gloss, 60°	160 / -	-	ISO 2813
WVTR (23°C/85%r.h.)	7 / -	g/(m ² *d)	ISO 15106-1/-2
Oxygen transmission rate (23°C/0%r.h.)	30 / -	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Oxygen transmission rate (23°C/85%r.h.)	10 / -	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Carbon Dioxide transm. rate (23°C/0%r.h.)	90 / -	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Carbon Dioxide transm. rate (23°C/85%r.h.)	40 / -	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Stress at break (parallel)	80	MPa	ISO 527-3

Rheo/Phys properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate (MVR)	100 / -	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	275 / -	°C	ISO 1133
Load	5 / -	kg	ISO 1133

Characteristics

Processing

Injection Molding

Delivery form

Granules

Special Characteristics

Transparent

Product Attributes

Barrier Properties, Partially aromatic Polyamide

Packaging

Paper coating, Cosmetics / Personal care

Food Contact

EU Requirements, FDA

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST XAREC C132

Product Information



Idemitsu Kosan Co., Ltd.

XAREC[®] C132

Crystalline Polymers – 30% Glass Filled, Impact Modified Polymer
for Home Appliance and Electronic Applications

Properties ¹	Test Method	Value
Physical		
Density, g/cm ³	ISO 1183	1.25
Glass Content, %		30
Water Absorption at 24 hrs. 50% RH, %	ISO 62	0.01
Mold Shrinkage, flow direction, 2 mm, %	IDEMITSU ²	0.1 - 0.4
Mold Shrinkage, cross flow direction, 2 mm, %	IDEMITSU ²	0.5 - 0.8
Mechanical		
Tensile Strength at Break, MPa	ISO 527	120
Tensile Modulus, MPa	ISO 527	9,700
Tensile Elongation at Break, %	ISO 527	2.1
Flexural Strength, MPa	ISO 178	185
Flexural Modulus, MPa	ISO 178	9,200
Izod Impact	Notched at 23°C, kJ/m ²	13
	Unnotched at 23°C, kJ/m ²	36
Charpy Impact	Notched at 23°C, kJ/m ²	13
	Unnotched at 23°C, kJ/m ²	43
Thermal		
DTUL at 1.80 MPa, °C	80°C tool / 150 °C tool	225 / 240
DTUL at 0.45 MPa, °C	80°C tool / 150 °C tool	265 / 265
Coefficient of Linear Thermal Expansion		
Flow direction, -30 – 30°C, mm/mm/°C	TMA	18 x 10 ⁻⁶
Cross flow direction, -30 - 30°C, mm/mm/°C	TMA	39 x 10 ⁻⁶
Electrical		
Comparative Tracking Index, PLC level	IEC 60112, Solution A	1 equivalent ³
Dielectric Constant at 1MHz	IEC 60250	2.9
Volume Resistivity, Ohm-cm	IEC 60093	> 1.0 x 10 ¹⁵
Dielectric Strength, kV/mm	ASTM D149	45
Dissipation Factor at 1MHz	IEC 60250	< 0.001
Arc Resistance, PLC level	ASTM D495	6 equivalent ³
Flammability		
Flammability, Rating	UL 94	HB
Processing		
Melt Temperature, °C		280 – 310
Mold Temperature, °C		50 – 80
For optimal gloss and heat resistance		130 – 155
Pre-drying		120°C x3-5hrs ⁴

Data in this Catalogue shows sample figures measured under certain specific conditions. Usage of products in this Catalogue does not warrant the successful results of applications of the product for specific usage. Flammability rating in this Catalogue is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions. See "Handling Considerations" on next pages



¹ All test samples molded with a 80°C tool temperature, except for DTUL samples where the results for both 80°C and 150°C are reported.

² Test conducted on 80 x 80 x 2mm injection molded specimen

³ Not registered in UL. IKC Lab data.

⁴ XAREC[®] C132 is non-hygroscopic. Thus pre-drying may not always be necessary. However, high humidity conditions or wide temperature fluctuation from cold to hot, may result in the generation of surface moisture on the pellets. Under these conditions pellet pre-drying at 120°C for 3-5hrs is recommended.

PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST TEPEX DYNALITE

Tepex®		MATERIAL DATA SHEET		 Energizing Chemistry	
Tepex® dynalite 210fr-C200(x)/45% Carbon - PCfr Consolidated Composite Laminate					
Layup	Test Condition	According to Standard	Unit	Value	
				Longitudinal	Transversal
Fiber	-	-	-	Carbon	
Weaving style	-	DIN ISO 9354	-	Twill 2/2	
Area weight (dry fabric)	-	DIN EN 12127	g/m ²	200	
Yarn	-	DIN EN 12654-2/3	K	3	
Yarn density		DIN EN 1049-2	1/cm	5	5
Weight rate	-	-	%	50	50
Polymer	-	-	-	Polycarbonate flame-retardant (PCfr)	
Fiber content (nominal)	-	-	vol.-%	45	
Thickness per layer (nominal)	-	-	mm	0.25	
Laminate density		ISO 1183-1	g/cm ³	1.47	
Mechanical properties	Test Condition	According to Standard	Unit	Value	
				Longitudinal	Transversal
Tensile modulus	23 °C, dry	ISO 527-4/5 ¹⁾	GPa	48	
Tensile strength	23 °C, dry	ISO 527-4/5 ¹⁾	MPa	550	
Tensile elongation at break	23 °C, dry	ISO 527-4/5 ¹⁾	%	1.1	
Flexural modulus	23 °C, dry	ISO 14125 ²⁾	GPa	44	
Flexural strength	23 °C, dry	ISO 14125 ²⁾	MPa	750	
Thermal properties	Test Condition	According to Standard	Unit	Value	
				Longitudinal	Transversal
Glass transition temperature	10 K/min	ISO 11357-2	°C	100	
Heat deflection temperature (matrix) ³⁾	1.8 MPa	ISO 75-1/-2	°C	80	
Flammability Rating	0.5 - 2.2 mm	UL94	Class	V0	
© = LANXESS Deutschland GmbH 2014-MM-DD | HPM Business Unit | all rights reserved Phone: +49 (0)2961 96628-0 | Fax: +49 (0)2961 96628-80 | info@bond-laminates.de www.tepex.com | www.bond-laminates.com Page 1 of 2 | Edition 2017-07-06					
				 A company of the LANXESS group	

PŘÍLOHA P IV. TECHNICKÝ LIST SIGRAPREG

Broad Base. Best Solutions.



+

SIGRAPREG® H W170-PL1/1-E320/45%

Epoxy woven hybrid fabric prepreg

Material data

Properties	Units	Values
Prepreg areal weight	g/m ²	309
Fiber areal weight	g/m ²	170
Width	mm	1250
Resin type		Epoxy E320
Resin mass content	%	45
Weave		Plain
Fiber type		Carbon-aramid fiber

Delivery form

Properties	Units	Values
Packaging		Prepreg on cardboard tube with 1330x152x10 mm Rolles packed in PE-film
Roll length	lm	50

* registered trademarks of SGL CARBON SE

07 2016

This information is based on our present state of knowledge and is intended to provide general notes on our products and their uses. It should therefore not be construed as guaranteeing specific properties of the products described or their suitability for a particular application. Any existing industrial property rights must be observed. The quality of our products is guaranteed under our "General Conditions of Sale".



Composites – Fibers and Materials

Sales Europe | SGL TECHNOLOGIES GmbH | cfm-europe@sgjgroup.com
Sales Americas | SGL CARBON FIBERS LLC | cfm-americas@sgjgroup.com
Sales Asia/Pacific | SGL CARBON Far East Ltd. | cfm-asia@sgjgroup.com
www.carbonfibers.com