

Vliv povrchových úprav insertů na pevnost spojení vstřikovacích struktur

Bc. Jan Huráb

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jan Huráb
Osobní číslo:	T21420
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vliv povrchových úprav insertů na pevnost spojení vstřikovacích struktur

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na zadané téma.
- Návrh materiálového složení vstřikované struktury.
- Zpracování experimentální části práce.
- Vyhodnocení a stanovení závěrů výsledků diplomové práce.

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

Seznam doporučené literatury:

1. SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G. a VLK M. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
2. GOWER, M. R.L., R. M. SHAW a W.R. BROUGHTON, 2009. EFFECT OF CURE CYCLE ON THE PROPERTIES OF THICK CARBON/EPOXY LAMINATES. 17th International Conference on Composite Materials (ICCM-17). Edinburgh, UK, 11.
3. NOVÁK, Libor, Ladislav FOJTL, Markéta KADLEČKOVÁ, et al. Surface Modification of Metallic Inserts for Enhancing Adhesion at the Metal–Polymer Interface. *Polymers* [online]. 2021, 13(22) [cit. 2023-04-17]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym13224015
4. MATTA, Ashish, Tomas SEDLACEK, Marketa KADLECKOVA a Anezka LENGALOVA. The Effect of Surface Substrate Treatments on the Bonding Strength of Aluminium Inserts with Glass-Reinforced Poly(phenylene) Sulphide. *Materials* [online]. 2022, 15(5) [cit. 2023-04-17]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma15051929

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Maňas, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

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 užít 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 na 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 nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivy povrchových úprav insertů na pevnost spojení u vstřikovacích struktur. Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část. V teoretické části práce jsou uvedeny kompozitní materiály, technologie výroby kompozitních materiálů a součástí, polymery užívané při zpracování polymerů technologií vstřikování, technologie zastříkování insertů a vlivy povrchových úprav insertů na pevnost spojení mezi insertem a polymerem. Praktická část práce se zabývá přípravou insertů z kompozitního materiálu včetně povrchových úprav insertů, jejich zastříknutím a zkoumáním pevnosti spoje mezi insertem z kompozitního materiálu a zastříknutým polymerem. V poslední části se práce zabývá vyhodnocením dosažených výsledků.

Klíčová slova: Kompozitní materiály, polymery, insert, pevnost spojení, zastříkování insertů

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the influence of surface treatments of inserts on the bonding strength of injection structures. The thesis is divided to theoretical part and practical part. The theoretical part describes composite materials, technologies of its manufacturing methods of composite materials and composite parts, polymers used in injection molding, insert molding technology and influences of surface treatments of inserts on bonding strength between insert and injected polymer. The practical part describes preparation of the composite inserts including its surface treatments and insert molding of the inserts and the examination of bonding strength between the composite insert and injected polymer. The last part describes the evaluation of achieved results.

Keywords: Composite materials, polymers, insert, bonding strength, insert molding

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Lukáši Maňasovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, čas, trpělivost, cenné rady a poskytnutí odborné literatury a materiálů, které mi pomohly při zpracování diplomové práce a také za odborné vedení v praktické části práce.

Chtěl bych poděkovat také své rodině za podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	13
1.1 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	15
1.2 DRUHY VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	15
1.2.1 Ruční laminace	16
1.2.2 Stříkání	16
1.2.3 Injekční vstřikování (RTM – Resin Transfer Molding)	16
1.2.4 Vakuová infuze	16
1.2.5 Lisování (SMC – Sheet Molding Compound)	17
1.2.6 Lisování v autoklávu	17
1.2.7 Navíjení	17
1.2.8 Pultruze	18
1.3 VLASTNOSTI A VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	18
1.4 PŘEDIMPREGNOVANÁ VÝZTUŽ	19
1.4.1 Výroba předimpregnované výztuže	20
1.4.2 Druhy vyztužujících vláken	21
1.4.3 Možnosti využití	22
2 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	23
2.1 TERMOPLASTY	24
2.1.1 Přechodové teploty	24
2.1.2 Amorfnní termoplasty	25
2.1.3 Semikrystalické termoplasty	26
2.2 REAKTOPLASTY (TERMOSETY)	27
2.3 ROZDÍLY MEZI TERMOPLASTY A REAKTOPLASTY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ	28
2.3.1 Teplota materiálu	28
2.3.2 Vazby mezi řetězci a recyklace	28
2.3.3 Jakost povrchu	28
2.3.4 Teplota při vstřikování	29
2.3.5 Příklady výrobků	29
3 ZASTŘIKOVÁNÍ INSERTŮ	30
3.1 VÝHODY ZASTŘIKOVÁNÍ	31
3.2 MATERIÁLY INSERTŮ PRO ZASTŘIKOVÁNÍ	32
3.2.1 Kovy	32
3.2.2 Keramika	32
3.2.3 Kompozitní materiály	33
3.2.4 Sklo	33
3.2.5 Plasty	33
3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR MATERIÁLU INSERTŮ PRO ZASTŘIKOVÁNÍ	33

3.4	VYUŽITÍ ZASTŘIKOVANÝCH STRUKTUR.....	34
4	VLIV POVRCHOVÝCH ÚPRAV INSERTŮ NA SOUDRŽNOST SPOJENÍ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	36
4.1	ADHEZE.....	36
4.1.1	Chemické vazby	36
4.1.2	Van der Waalsovy síly	37
4.1.3	Mechanické vazby.....	37
4.2	DRUHY POVRCHOVÝCH ÚPRAV INSERTŮ	37
4.2.1	Čistý povrch bez úprav.....	38
4.2.2	Pískování	38
4.2.3	Leptání.....	38
4.2.4	Plasma	38
4.3	VLIVY POVRCHOVÝCH ÚPRAV INSERTŮ	39
4.3.1	Vliv povrchových úprav.....	39
4.3.2	Vliv procesních podmínek při vstřikování.....	39
4.3.3	Vliv doby dotlaku při vstřikování	39
4.3.4	Kondicionání materiálu.....	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	42
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
6	PŘÍPRAVA INSERTŮ A VÝROBA ZASTŘIKOVANÉ STRUKTURY.....	44
6.1	VÝROBA A PŘÍPRAVA VZORKŮ	45
6.2	POVRCHOVÉ ÚPRAVY INSERTŮ	46
6.2.1	Pískování	47
6.2.2	Plasma	48
6.3	MORFOLOGIE POVRCHU INSERTŮ	50
6.3.1	Skenovací elektronový mikroskop.....	50
6.3.2	Optická profilometrie	51
6.3.3	Kontaktní profilometrie.....	52
6.3.4	Kontaktní úhly.....	52
6.4	PŘÍPRAVA ZASTŘIKOVANÝCH INSERTŮ TECHNOLOGIÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....	55
6.5	TESTOVÁNÍ PEVNOSTI SPOJE.....	59
7	DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	61
7.1	ANALÝZA MORFOLOGIE POVRCHU KOMPOZITNÍCH INSERTŮ	61
7.1.1	Skenovací elektronový mikroskop (SEM).....	61
7.1.2	Drsnost povrchu	63
7.1.3	Kontaktní úhly.....	65
7.2	PEVNOST SPOJENÍ MEZI INSERTEM A POLYMEREM	65
7.2.1	Pevnost spojení insertů s čistým povrchem bez úprav s PA66.....	66
7.2.2	Pevnost spojení insertů s pískovaným povrchem s PA66.....	67
7.2.3	Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 5 sekund s PA66.....	68
7.2.4	Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 15 sekund s PA66.....	69

7.2.5	Pevnost spojení insertů s čistým povrchem bez úprav s PA66-GF35.....	70
7.2.6	Pevnost spojení insertů s pískovaným povrchem s PA66-GF35	71
7.2.7	Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 5 sekund s PA66-GF35.....	72
7.2.8	Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 15 sekund s PA66-GF35.....	73
7.3	VYHODNOCENÍ VLIVU POVRCHOVÝCH ÚPRAV INSERTŮ NA PEVNOST SPOJENÍ	74
ZÁVĚR		79
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		86
SEZNAM OBRÁZKŮ		88
SEZNAM TABULEK.....		90
SEZNAM PŘÍLOH.....		91

ÚVOD

Diplomová práce je zaměřena na výrobu zastříkovaní insertů polymerem a na následné testování pevnosti spojení mezi insertem a polymerem. Jedná o kombinaci insertu z polyuretanového kompozitu vyztuženého vrstvami skelné rohože zastříknutého polymeru polyamidem 66 a polyamidem 66 plněným 35 % skelnými vlákny. Tato kombinace byla zvolena na základě experimentů vědeckého výzkumu v oblasti zastříkovaní insertů z různých materiálů a různými povrchovými úpravami.

Historie a využití kompozitních materiálů sahá hluboko do historie. Vědomé využití kompozitního materiálu za účelem dosáhnout specifických vlastností bylo rozvinuto během 20. století. Sklolamináty a uhlíkové kompozity byly vyvinuty ve druhé polovině 20. století. Vláknové kompozity se využívají pro své vlastnosti kombinující vlastnosti použitých materiálů a výrazně nižší hmotnosti proti konvenčním materiálům. Využívají se v různých aplikacích v leteckém, automobilovém, lékařském nebo sportovním průmyslu.

Polymery jsou v dnešní době velmi rozšířeným materiálem ve všech oblastech průmyslu. V porovnání s běžnými materiály vykazují polymery výhodné fyzikální a chemické vlastnosti jako jsou nízká hmotnost, chemická odolnost nebo elektrická nevodivost. Výrobky z polymerních materiálů jsou nejčastěji vyrobeny technologií vstříkovaní a jsou využívány v automobilovém, stavebním, lékařském a obalovém průmyslu.

Součásti vyrobeny technologií zastříkovaní insertů se skládají z insertů z různých materiálů a jsou zastříknuty polymerním materiálem. Téměř celý objem součásti tvoří polymer. Takovéto součásti poskytují v porovnání se součástmi z konvenčních materiálů mnoho výhod, jako jsou úspora hmotnosti ve srovnání s čistě kovovými součástmi a lepší mechanické vlastnosti ve srovnání s čistě polymerními součástmi.

Zastříkovaní insertů má své kořeny v samotném počátku vstříkovaní plastů. V 19. století při vývoji vstříkovacích strojů byly využívány jednoduché sestavy k tvarování předmětů, jako jsou knoflíky a hřebeny. Tento proces byl základem této technologie. Ve 20. století technologie zastříkovaní insertů byla intenzivně vyvíjena a byly prováděny pokusy s různými kombinacemi kovových insertů a polymerů za účelem kombinovat pevnost a funkčnost použitých materiálů. Zastříkovaní insertů je v dnešní době velmi rozšířené především v automobilovém a leteckém průmyslu.

Důležitým faktorem u zastříkovaných struktur je pevnost spojení. Pevnost tohoto spojení je závislá na přilnutí povrchů spojovaných materiálů. Ovlivňuje ji míra adheze, kterou je možné zlepšit pomocí povrchových úprav insertů v místě, kde dochází ke spojení s polymerem. Spojení může být fyzické, kdy se polymerní tavenina zachytává v nerovnostech povrchu insertu, nebo chemické. Chemické spojení materiálů probíhá na úrovni atomárních sil (kovalentní a iontové vazby a Van der Waalsovy síly). Jak dobře materiály k sobě přilnuly a s tím spojená pevnost spojení je testováno různými metodami. Provádí se především zkouška tahem, kde se vyhodnocuje síla potřebná k vytržení insertu z polymerní součásti.

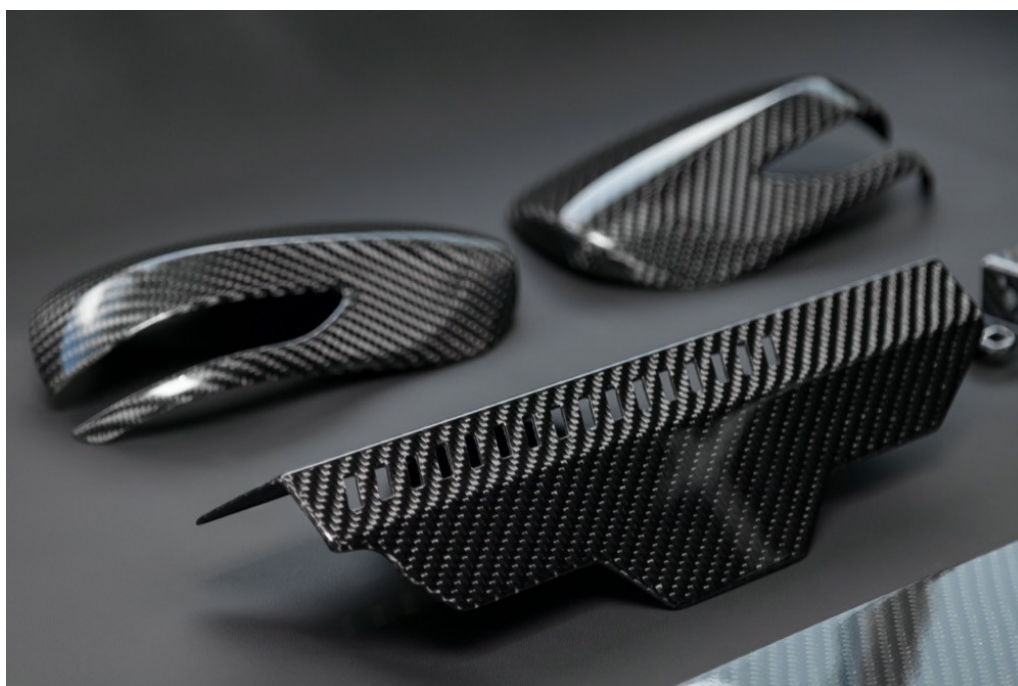
Na téma pevnosti spojení insertu a polymeru u zastříkovaných struktur se zabývá mnoho vědeckých prací. Diplomová práce navazuje na předešlý vědecký výzkum modifikací povrchů kovových insertů pro zvýšení adheze na rozhraní kov-polymer [31] a zkoumání vlivů povrchových úprav insertu na pevnost spojení hliníkových insertů s polyfenylsulfidem plněným skelnými vlákny [34]. Diplomová práce se zabývá vlivy povrchových úprav insertu na pevnost spojení mezi insertem z polyuretanového skelného kompozitu a dvěma polymery; polyamidem 66 a polyamidem 66 plněného 35 % skelných vláken.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály jsou materiály složené ze dvou nebo více druhů materiálu. Tyto materiály se vůči sobě liší především rozdílnými mechanickými a chemickými vlastnostmi. Vzniká výsledný materiál, kompozit, který v sobě kombinuje výhody mechanických vlastností použitých materiálů a také se minimalizují negativní vlastnosti jednotlivých materiálů. Materiály užívané k výrobě kompozitních materiálů jsou voleny s důrazem na jejich vlastnosti, jako jsou pevnost, tuhost, houževnatost nebo jiné požadované mechanické vlastnosti. [1]

Kompozitní materiály využívají synergického efektu. Jedná se o jev popisující vlastnosti výsledného kompozitního materiálu, které jsou lepší než součet vlastností jednotlivých materiálů, ze kterých je kompozit složený. Jinými slovy lze říci, že výsledný kompozitní materiál vykazuje vlastnosti, které žádný ze samostatných materiálů nemá. [2]



Obrázek 1 Automobilové díly z kompozitního materiálu z uhlíkových vláken [3]

Kompozitní materiály se mohou dělit do tří základních skupin: kompozitní materiály s polymerní, keramickou a kovovou maticí. [2, 4, 5]

Kompozitní materiály s polymerní matricí

Jedná se o nejpoužívanější druh kompozitních materiálů. Jsou vyrobeny z polymerní matrice (například epoxidová nebo polyesterová pryskyřice) a vyztužujících vláken (skleněná, uhlíková nebo aramidová vlákna). Kompozity s polymerní matricí vykazují vysokou pevnost, nízkou hmotnost a dobrou únavovou odolnost. Nejběžnější použití je v automobilovém a leteckém průmyslu. [2]

Kompozitní materiály s keramickou matricí

Kompozitní materiály s keramickou matricí jsou vyrobeny z keramické matrice, která je vyztužena keramickými vlákny nebo částicemi. Keramická matrice dodává kompozitu vlastnosti jako jsou vysoká teplotní odolnost, odolnost proti otěru a korozivzdornost. Vyztuž z keramických vláken zlepšuje vlastnosti jako je pevnost a tuhost. Tyto kompozity jsou využívány v oblastech s vysokým tepelným zatížením (plynové turbíny, komponenty v pístových motorech nebo tepelné výměníky). [4, 5]

Kompozitní materiály s kovovou matricí

Kompozitní materiály s kovovou matricí jsou vyrobeny z kovové matrice, která je vyztužena keramickými vlákny nebo částicemi. Kovová matrice dává výslednému kompozitu velkou část mechanických vlastností. Vyztuž z keramických vláken zlepšuje specifické vlastnosti jako je tuhost, pevnost nebo odolnost proti opotřebení. Tyto kompozity se vyznačují vysokým poměrem pevnosti a hmotnosti, vysokou tepelnou vodivostí a odolností proti opotřebení. Skrze tyto vlastnosti mají kompozity s kovovou matricí využití v kosmickém, automobilovém a obranném průmyslu. [4, 5, 6]

Kompozitní materiály vykazují anizotropní chování. To znamená, že tyto materiály jsou určeny především pro jednoosé namáhání a s ohledem na tuto vlastnost se také volí vhodná technologie výroby. Tloušťka vyztužujících vláken je v rozmezí 3,5 až 24 μm . Vlákna se dělí na vlákna krátká a dlouhá. Krátká vlákna se používají primárně u vstřikování plastů, kde jsou užita jako plnivo polymeru. Dlouhá vlákna se používají v kompozitních materiálech. [2, 7]

1.1 Polymerní kompozitní materiály

Polymerní kompozitní materiály jsou členěny podle vyztužujících prvků do několika skupin, které ovlivňují výsledné vlastnosti kompozitů a jejich využití.

Kompozitní materiály vyztužené vlákny

Kompozitní materiály vyztužené vlákny, také označovány jako vláknové kompozity, jsou složeny z polymerní matrice a vyztužujících vláken. Vyztužující vlákna jsou skleněná, uhlíková nebo aramidová. Vláknové kompozity se vyznačují velmi dobrým poměrem pevnosti ku hmotnosti. Běžně se používají v letadlech, automobilech a sportovním vybavení. [6]

Kompozitní materiály vyztužené částicemi

Kompozitní materiály vyztužené částicemi, také označovány jako částicové kompozity, jsou složeny z polymerní matrice a malých vyztužujících částic. Částice jsou kovová, polymerní nebo keramická. Částicové kompozity se vyznačují vysokou pevností a tuhostí. Běžně se používají v aplikacích, kde jsou značně namáhány. [6]

Hybridní kompozitní materiály

Hybridní kompozitní materiály jsou složeny z polymerní matrice a kombinací dvou nebo více druhů vyztužujících prvků. Hybridní kompozity se vyznačují kombinací vlastností, jako jsou vysoká pevnost, tuhost a velmi dobrá houževnatost. Využívají se v různých aplikacích, například v automobilovém, leteckém nebo stavebním průmyslu. [6]

1.2 Druhy výrobních technologií kompozitních materiálů

Podle požadovaných vlastnostech součástí z kompozitního materiálu se kompozity vyrábí různými technologiemi. Výrobní technologie se volí v závislosti na způsobu použití (mechanické vlastnosti), členitosti a velikosti, sériovosti (ekonomičnost) a kvalitě povrchu (estetičnost). [8]

1.2.1 Ruční laminace

Jedná se o nejjednodušší a jednu z nejstarších technologií výroby kompozitních materiálů. Postup výroby spočívá v ročním kladení vyztužujících vrstev do formy, které jsou následně prosycovány pryskyřicí pomocí válečku. Nejčastějšími druhy používaných pryskyřic jsou pryskyřice epoxidové nebo polyesterové. Lidský faktor velmi výrazně ovlivňuje případné chyby ve výrobě, které se mohou negativně projevit na kvalitě výsledných součástí. Pro výrobu součástí ruční laminací není potřeba speciálních tepelných ani tlakových podmínek. Proces vytvrzování probíhá při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku. [2, 8]

1.2.2 Stříkání

Technologie výroby stříkáním se podobá technologii ruční laminace. Tyto technologie se odlišují v aplikaci vláken. U technologie stříkání se vlákna do formy nanášejí pomocí stříkací pistole, kde probíhá míchání sekaných vyztužujících vláken a pryskyřice. Tato výrobní technologie se používá pro sériovou výrobu středně velkých a větších dílů, které mají jednoduchý tvar. [8]

1.2.3 Injekční vstřikování (RTM – Resin Transfer Molding)

U výrobní technologie injekční vstřikování se používá dvoudílná výrobní forma. Distribuce pryskyřice do dutiny formy probíhá za pomoci tlaku. Tato technologie disponuje krátkými výrobními cykly a také lze zajistit stálou kvalitu dílů, které jsou vhodné pro sériovou výrobu kompozitních dílů. Existují různé modifikace této výrobní metody. Jednou z nich je lehké RTM (LRTM). U LRTM dochází k distribuci pryskyřice do formy pomocí podtlaku po odsátí vzduchu z dutiny formy a jedna z částí formy je nahrazena vakuovou folií, která musí být dostatečně pružná. Výhody injekčního vstřikování jsou především velká rozměrová přesnost a vysoká kvalita povrchu dílů. Mezi hlavní nevýhody této výrobní technologie patří vysoké náklady. [2, 8]

1.2.4 Vakuová infuze

Výrobní technologie vakuové infuze je jednou z nejpoužívanějších výrobních metod výroby kompozitních dílů. Distribuce pryskyřice mezi jednotlivé vyztužující vrstvy ve formě

probíhá za pomoci podtlaku, který je vytvořen pomocí vakuové pumpy. U této výrobní technologie jsou do formy jednotlivé vrstvy vyztužujících vláken kladeny za sucha, poté se na vrstvy vyztužujících vláken přiloží pomocné vrstvy (odtrhová tkanina, distribuční síť), které slouží například o odsání nadměrného množství pryskyřice a zvýšení kvality vyrobených dílů. Poslední vrstvou je vakuová folie, poté se pomocí podtlaku do formy nasává pryskyřice, která prosycuje jednotlivé vrstvy vyztužujících vláken. [9, 10]

1.2.5 Lisování (SMC – Sheet Molding Compound)

Ve výrobní technologii lisování je využíváno předimpregnovaného materiálu, prepregu, ve formě impregnovaných vláken, který je vkládán do dvoudílné vyhřívané formy. Forma se poté uzavře a předimpregnovaná vákna se působením tepla vylišují a vytvarují na požadovaný tvar. Tato výrobní technologie je využívána především ve velkosériové výrobě. Výhody lisování jsou dobré mechanické vlastnosti výsledného dílu, vysoká produktivita a výroba dílů s rozdílnou tloušťkou stěn. [8]

1.2.6 Lisování v autoklávu

Výrobní proces u výrobní technologie lisování v autoklávu využívá působení vysokého tlaku a teploty k vytvrzení kompozitních dílů. Tato technologie je obvykle využívána pro kompozitní součásti vyrobené z vysoce výkonných materiálů (uhlíková vlákna a epoxidová pryskyřice). Výrobní postup této technologie spočívá v umístění prepregů do uzavřené komory zvané autokláv, která se po uzavření nahřeje na požadovanou teplotu a za působení vysokého tlaku se vložený kompozitní materiál vytváří a vytvrdí a vznikne tak pevný a odolný kompozitní díl. [11]

1.2.7 Navíjení

U výrobní technologie navíjením je využíváno impregnované výztuže. Impregnovaná výztuž ve formě dlouhých vláken je navíjena na model nebo jádro, které má tvar výsledného dílu. Touto výrobní technologií lze vyrábět dutá tělesa jako jsou trubky nebo nádrže. Tato technologie se vyznačuje vysokou produktivitou. Nevýhodou jsou vysoké náklady na pořízení výrobních strojů. [8]

1.2.8 Pultruze

Výrobní technologie pultruze je kontinuální metoda výroby. Touto technologií lze vyrábět duté nebo plné profily a tvarové profily s velmi vysokým obsahem vyztužujících vláken až do 80 %. Výrobní proces této technologie spočívá ve vtahování impregnované výztuže ve formě dlouhých vláken do tvarovací a vytvrzovací hlavy. Vzniklý profil nebo tvar je odtahován pásy nebo pomocnými popojíždějícími vozíky. Tato výrobní technologie se vyznačuje vysokou produktivitou výroby a její výhodou je výroba velmi dlouhých profilů a tvarů. Nevýhodami jsou nákladná výroba a omezená tvarová variabilita profilů nebo tvarů. [8, 12]

1.3 Vlastnosti a využití kompozitních materiálů

Vlastnosti

Polymerní kompozitní materiály disponují mnoha kladnými vlastnostmi, které jsou vhodné pro jejich použití v různých aplikacích. Mezi tyto vlastnosti patří:

- Vysoký poměr pevnosti k hmotnosti: nízká hmotnost a vysoká pevnost – vhodné pro použití v leteckém a automobilovém průmyslu.
- Trvanlivost: odolnost vůči korozi, únavě a opotřebení – vhodné pro použití v náročných podmínkách.
- Tepelná stabilita: odolnost vůči vysokým teplotám – vhodné pro použití ve vysokoteplotních aplikacích (například kosmonautice).
- Konstrukční flexibilita: vysoká variabilita materiálů zaručuje splnění specifických požadavků – vhodné pro použití v různých aplikacích. [4, 13]

Využití

Polymerní kompozitní materiály mají využití v nejrůznějších aplikacích v různých odvětvích průmyslu, včetně automobilového průmyslu, letectví, stavebnictví nebo sportovního průmyslu. Mezi nejběžnější využití kompozitních materiálů patří:

- Automobilový průmysl: panely karoserie, nárazníky a součásti motoru. Jsou používány z důvodu vysoké pevnosti a odolnosti.

- Letecký průmysl: křídla, části ocasu, trup. Jsou používány z důvodu vysoké pevnosti a nízké hmotnosti.
- Sportovní průmysl: rakety, golfové hole nebo jízdni kola.
- Konstrukce: mostních konstrukce, nosníky a sloupy ve stavebnictví. [2, 10, 14]

Polymerní kompozitní materiály se pro své dobré mechanické a chemické vlastnosti jako jsou; vysoká pevnost, odolnost, nízká hmotnost, vysoký poměr pevnosti a hmotnosti, trvanlivost, tepelná stabilita a konstrukční flexibilita, hojně využívají v různých průmyslových odvětvích. [14, 15]

1.4 Předimpregnovaná výztuž

Předimpregnovaná výztuž se zkráceně nazývají „prepreg“. Název je odvozen z anglického sousloví „pre-impregnated“ (předimpregnovaný). Tento druh kompozitního materiálu je vyráběn procesem zahrnující několik kroků a fází, které jsou přesně navrženy tak, aby vznikl kompozitní materiál vykazující vysokou výkonnost, který má specifické mechanické a fyzikální vlastnosti. [11]

Vyztužující vlákna v předimpregnované výztuži jsou vybírána na základě jejich vlastností a vlastností požadovaných od výsledného kompozitu. Vyztužující vlákna jsou stejná, jako u standardních kompozitů, a to skleněná vlákna, uhlíková vlákna nebo vlákna aramidová. [11]



Obrázek 2 Prepreg z uhlíkových vláken [16]

1.4.1 Výroba předimpregnované výztuže

Při výrobě předimpregnované výztuže se pro dosažení požadovaných vlastností používá systém pryskyřice, který je u výsledného kompozitu rozhodující. Tento systém pryskyřice je tvořen termoplasty nebo termosety. Samotná výroba prepregů spočívá v impregnování jednotlivých vyztužujících vláken přesným množstvím systému pryskyřice. Vlákná, která jsou přebytečná, se odstraní pomocí řady rezných válečků. Vytvrzování pryskyřicí impregnovaných vláken probíhá jejich zahřátím na teplotu nižší, než je vytvrzovací teplota použitého pryskyřičného systému. Tímto výrobním postupem se dosáhne pružného a lepidelného kompozitního materiálu, který lze dále zpracovat. Kompozit v tomto stavu se dále řeže a tvaruje do požadovaného tvaru a velikosti. [11, 17]

Částečně vytvrzený prepreg ve zmíněném stavu je při následném zpracování tvarován a stříhán na požadovaný tvar a rozměr ručně pomocí nožů, nůžek nebo pomocí automatických strojů. Ve finálním kroku procesu výroby je prepreg vytvarován na požadovaný tvar a následně vytvrzen ve speciálním stroji zvaném autokláv při zahřátí na vytvrzovací teplotu. Již vytvrzené prepregy se vyznačují vynikajícím poměrem hmotnosti k pevnosti, velmi malým obsahem dutin a vzduchových bublin a stálostí rozměrů. Správný

výběr kombinace vyztužujících vláken a systému pryskyřice je ve výrobním procesu tohoto typu kompozitních materiálů klíčový, aby výsledný materiál a následně výrobek vykazoval požadované mechanické a fyzikální vlastnosti. [11, 17]

1.4.2 Druhy vyztužujících vláken

Druhy vyztužujících vláken v předimpregnovaných výztužích jsou nejčastěji požívaná vlákna skleněná, uhlíková a aramidová. Vzhledem k požadované aplikaci kompozitního materiálu, se druh vyztužujících vláken volí na základě jejich vlastností. [14, 18]

Skleněná vlákna

Skleněná vlákna se vyrábí z oxidu křemičitého SiO_2 . Vyztužující skleněná vlákna jsou společně s uhlíkovými vlákny nejpoužívanější výztuží v kompozitních materiálech. Kompozity se skleněnými vlákny se řadí mezi ty levnější na trhu. Mezi výhody kompozitů vyztužených skleněnými vlákny patří jejich vysoká pevnost a tuhost. Využití mají jako součásti lopatek větrných elektráren, sportovní průmysl nebo automobilové součásti. [14, 18]

Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna se vyrábí z atomů uhlíku. Tyto vlákna jsou nejpoužívanější vyztužující vlákna v kompozitních materiálech. Mezi výhody kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny patří jejich vysoká tuhost a pevnost. Uhlíkové kompozity jsou využívány v aplikacích vyžadující vysoký poměr pevnosti ku hmotnosti. Využití mají v leteckém průmyslu nebo automobilovém průmyslu. [14, 18]

Aramidová vlákna

Aramidová vlákna se vyrábí ze syntetických polymerních vláken. Mezi výhody aramidových vláken patří především jejich vysoká pevnost v tahu a vynikající odolnost při nárazu. Kompozitní materiály vyztužené aramidovými vlákny jsou využívány v aplikacích

vyžadující odolnost proti nárazu. Využití mají v armádním průmyslu a balistice, leteckém průmyslu a jsou užívány ve sportovním odvětví. [14, 18]

1.4.3 Možnosti využití

Prepregy vyztužené skleněnými, uhlíkovými nebo aramidovými vlákny se využívají v různých odvětvích průmyslu, díky svým specifickým vlastnostem a možnostem zpracování.

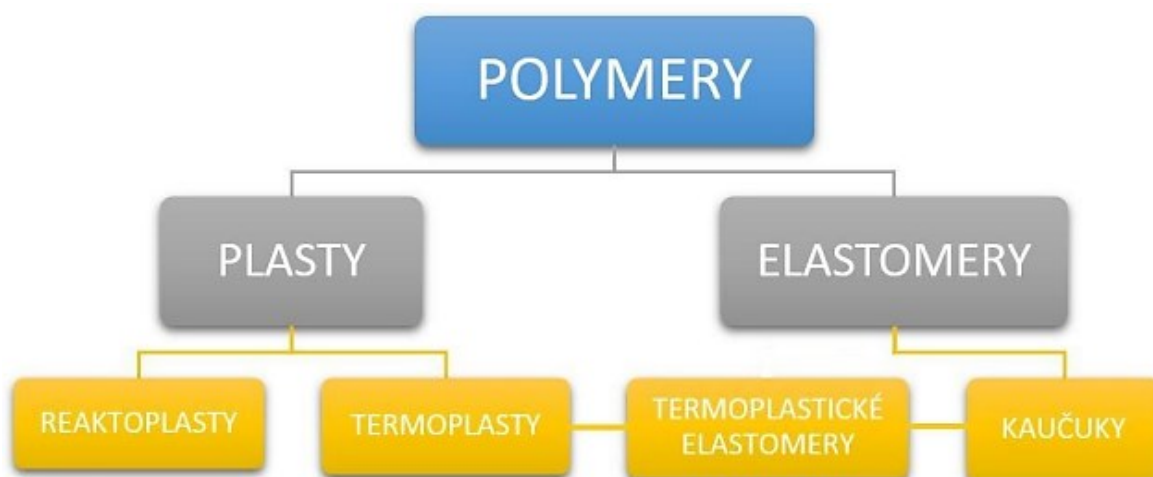
Prepregy vyztužené skleněnými vlákny se řadí mezi levné kompozity a při jejich aplikaci se klade důraz na ekonomiku. Prepregy vyztužené uhlíkovými vlákny se využívají v aplikacích vyžadující vysokovýkonné materiály. Prepregy vyztužené aramidovými vlákny se využívají v aplikacích vyžadující vysokou pevnost v tahu a vysokou odolnost proti nárazům. [14, 18]

2 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Polymery (nesprávně označovány jako umělé hmoty) se vyrábí polymerními reakcemi, polymeracemi, řetězením základních stavebních jednotek monomerů do vysokomolekulárních látek, polymerů. Díky kovalentním vazbám mezi atomy vodíku, uhlíku, dusíku nebo kyslíku jsou monomery reaktivní a schopné vytvářet řetězovité makromolekuly. Při polymeracích dochází ke slučování řetězců, které mohou vytvářet homopolymer nebo kopolymer. Homopolymer vznikne sloučením řetězců stejného druhu, kopolymery jsou tvořeny různými monomery. [19, 20]

Polymery se dělí na základní skupiny plastů a elastomerů, které se dále rozdělují na termoplasty a reaktoplasty a kaučuky a termoplastické elastomery. Základní rozdělení je znázorněno na obrázku 3. Dále lze polymery dělit do několika skupin:

- Dle teplotního chování (termoplasty, reaktoplasty, elastomery).
- Dle struktury (lineární, rozvětvené, zesíťované řetězce).
- Dle druhu polymerace (polymerace, polykondenzace, polyadice).
- Dle složení (plněné, neplněné polymery).
- Dle uspořádání molekul (semikrystalické, amorfní polymery).
- Dle využití (komoditní, inženýrské (konstrukční), high-tech polymery). [19, 20]



Obrázek 3 Základní rozdělení polymerních materiálů [21]

2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu (stávají se měkkými) a lze je tvářet. Při jejich zahřátí nad teplotu tavení, přechází do oblasti taveniny. Při následném ochlazení pod teplotu tavení, materiál přechází zpět do pevného stavu. Při procesech zahřívání, ochlazování a během zpracování u termoplastů neprobíhá chemická reakce a nemění se jejich chemická struktura. Změny materiálu, při kterých dochází k přeměně z pevného do plastického stavu a naopak, jsou pouze fyzikálního charakteru a proces měknutí a tuhnutí je tudíž vratný. V teoretické rovině lze termoplasty tímto způsobem využívat opakovaně téměř do nekonečna. Termoplasty se rozdělují na dvě základní skupiny: semikrystalické a amorfní termoplasty. Mezi typicky nejpoužívanější termoplasty patří: polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polymethyl-methakrylát (PMMA) a další. [20]

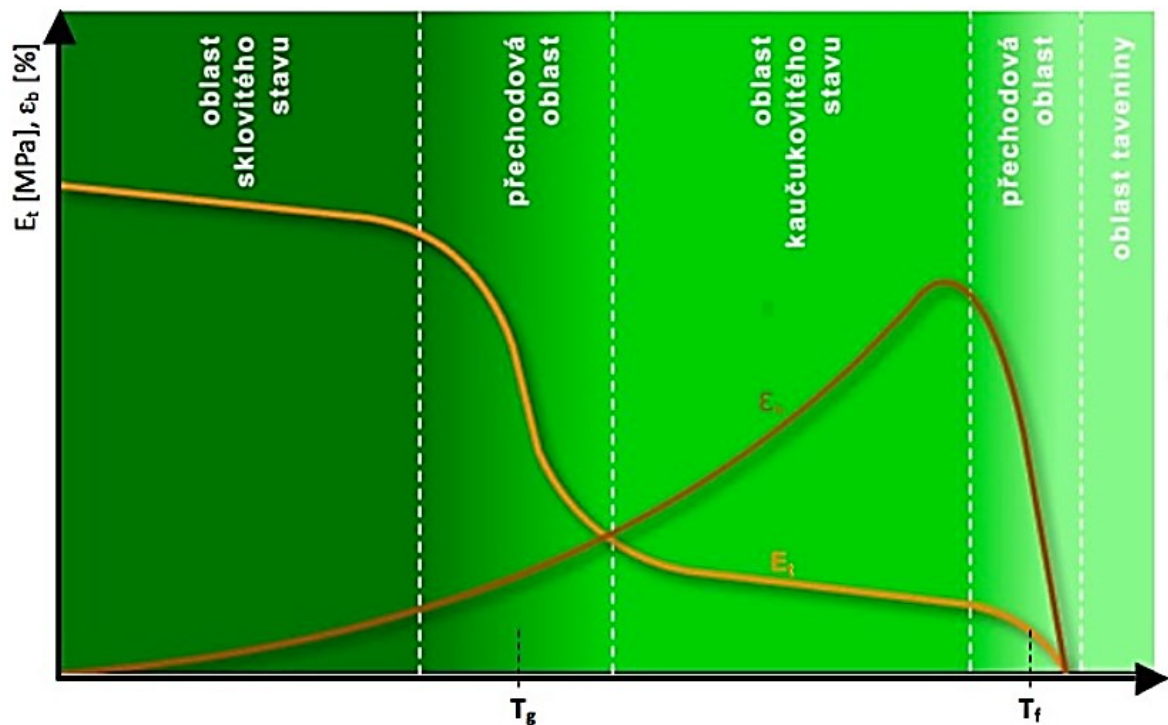
2.1.1 Přechodové teploty

Polymery jsou v závislosti na teplotě v tuhém nebo kapalném stavu, to však neplatí u zesíťovaných polymerů, jako jsou reaktoplasty a pryže, které nejsou tavitelné. Polymerní materiály neexistují v plynném stavu, protože jejich velikost makromolekul má za následek, že bod varu těchto materiálů je vždy vyšší, než je teplota jejich rozkladu, degradace. Polymery jsou charakteristické tzv. přechodovým stavem, tento stav se nazývá kaučukovitý stav a nachází se mezi sklovitým a kapalným stavem. Tímto stavem se odlišují od nízkomolekulárních látek, jako je voda nebo líh. Vlastnosti polymerních materiálů jsou výrazně ovlivněny teplotou. V definovaných oblastech teplot se změny vlastností zrychlují, mohou se měnit až skokově. Nazývají se přechodové teploty a v závislosti na těchto teplotách se polymery mohou nacházet ve sklovitém, kaučukovitém stavu nebo ve stavu kapalném ve formě polymerní taveniny. [20, 22]

Rozeznáváme tři nejdůležitější teploty: T_g – teplota skelného přechodu, T_f – teplota viskózního toku (u amorfních polymerů) a T_m – teplota tavení (u semikrystalických polymerů). Mezi důležité teploty můžeme zařadit také teplotu degradace polymeru T_z . [23]

2.1.2 Amorfní termoplasty

Amorfní termoplasty jsou tvořeny náhodnou a nepravidelnou strukturou řetězců, makromolekuly jsou náhodnými klubky řetězců, které mohou být nahodile propleteny mezi sebou. U amorfních termoplastů jsou důležitými přechodovými teplotami teplota skelného přechodu T_g , která je označována také jako teplota zesklenní a teplota viskózního toku T_f . Termoplasty nacházející se pod teplotou skelného přechodu T_g jsou ve sklovitém stavu, kdy vykazují tvrdé a křehké vlastnosti a mají vysoký modul pružnosti E_t . V přechodové oblasti blízko a nad teplotou skelného přechodu jsou termoplasty ve stavu kaučukovitém, kdy se skokově zhoršují mechanické vlastnosti a modul pružnosti může poklesnout až o tři řády. Příčinou tohoto chování amorfních termoplastů je zvýšená pohyblivost částí makromolekul, které mají za následek pokles mezimolekulárních sil. Při dalším nárůstu teploty ztrácí amorfní termoplasty v oblasti teploty viskózního toku T_f kaučukovitě elastické vlastnosti a modul pružnosti opět skokově klesá až na nulovou hodnotu, kdy dochází k pohybu makromolekul vůči sobě navzájem, polymer se mění v taveninu. Oblast zpracovatelnosti amorfních termoplastů se nachází nad teplotou viskózního toku. Při těchto teplotách lze amorfní termoplasty zpracovávat technologickými procesy jako je vstřikování nebo vytlačování. Mezi typicky nejpoužívanější amorfní termoplasty patří: polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS), akrylonitril-butadien-styren (ABS), polymethylmetakrylát (PMMA) nebo polykarnobát (PC). [23, 24]

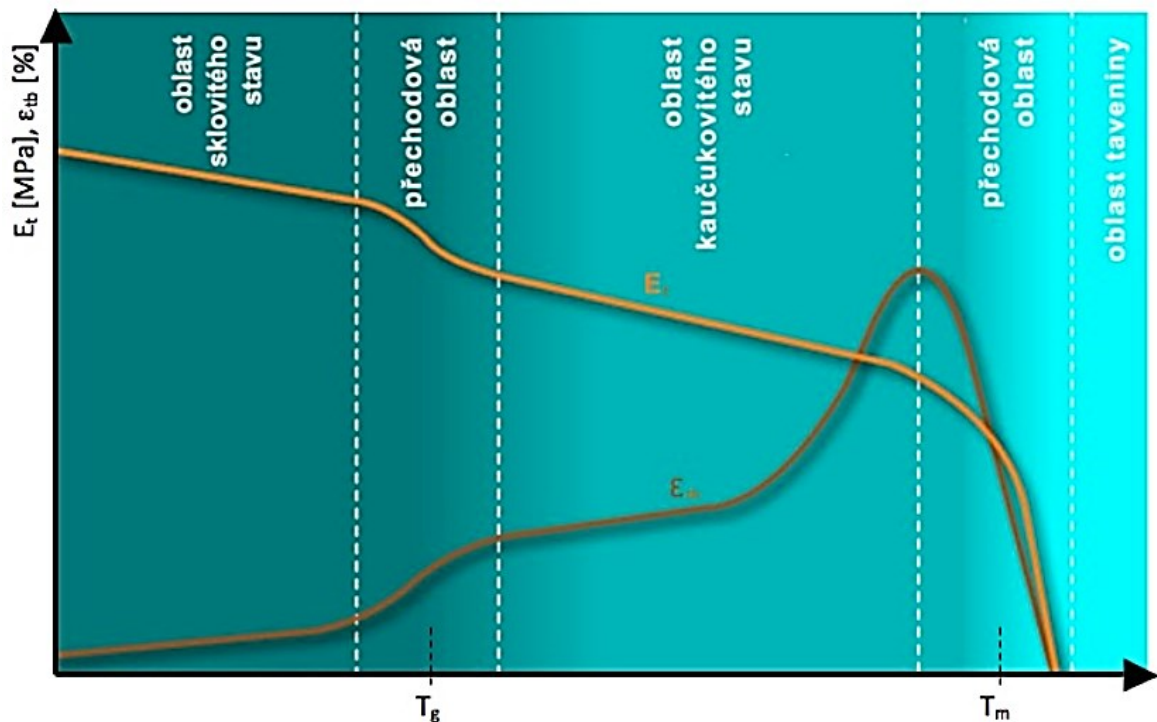


Obrázek 4 Graf znázorňující závislost modulu pružnosti (E_t) a poměrného prodloužení při přetržení (ϵ_b) na teplotě – amorfnní termoplasty [25]

2.1.3 Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické termoplasty jsou tvořeny částečně uspořádanou strukturou řetězců, makromolekuly vytváří tzv. krystality, oblasti uspořádaných makromolekul, které jsou obklopeny neuspořádanými makromolekulami amorfnního stavu. Procesu tvoření krystalů se říká krystalizace a dochází k němu například při zpracování polymeru vstřikováním především ve fázi chlazení. Docílení úplné krystalizace materiálu, jako je tomu například u kovových materiálů, není v běžných zpracovatelských podmínkách prakticky vůbec možné. Úplné, nebo téměř úplné krystalizace lze dosáhnout pouze v laboratorních podmínkách. Podílu krystalů ve výsledné struktuře polymeru se říká stupeň krystalinity. Podíl krystalického obsahu v semikrystalických termoplastech je v rozmezí 60 až 80 %. Obdobně jako u amorfnních termoplastů tak i u semikrystalických termoplastů dochází v oblasti teploty skelného přechodu T_g ke skokovým změnám vlastností. K nejrychlejším změnám ve vlastnostech dochází v oblasti teploty tavení T_m , kdy dochází k tavení krystalů v polymeru. V této oblasti teplot dochází k rozpadu krystalické struktury polymeru, který přechází z tuhého stavu do stavu kapalného. Nad teplotou tavení je oblast teplot, kdy je vhodné semikrystalické termoplasty zpracovávat, například vstřikováním nebo

vytlačováním. Tavicí teplota jednotlivých polymerů je závislá na velikosti makromolekul a na velikosti sil působících mezi makromolekulami. Mezi typicky nejpoužívanější semikrystalické termoplasty patří: nízkohustotní polyethylen (PE-LD), vysokohustotní polyethylen (PE-HD), polypropylen (PP), polyamid 6 (PA6), polyamid 66 (PA66), polyethyltereftalát (PET), polybutyltereftalát (PBT). [23, 24]



Obrázek 5 Graf znázorňující závislost modulu pružnosti (E_t) a poměrného prodloužení při přetržení (ϵ_b) na teplotě – semikrystalické termoplasty [25]

2.2 Reaktoplasty (termosety)

Reaktoplasty jsou polymerní materiály, které se při zahřívání taví a jsou tvarovatelné pouze určitou dobu po zahřátí. Při jejich dalším zahřívání dochází v jejich struktuře k chemické změně, které může být dosaženo i pomocí katalyzátorů. Chemické reakce v polymeru vytváří mezi řetězci chemické vazby, které mají za následek zesíťování původních molekul polymeru a mění se na materiály netavitelné a nerozpustné. Jedná se o trvalé zesíťování a nevratný proces. Pokud by došlo k opětovnému zahřátí reaktoplastů, díky chemickým vazbám mezi molekulami, polymer by začal degradovat. Reaktoplasty tudíž nelze znovu převést do stavu taveniny, opětovně je tvarovat nebo svařovat. Při opětovném zahřátí by reaktoplasty začaly degradovat. Reakce způsobující vznik chemických vazeb zesíťované

struktury se nazývá vytvrzování. Reaktoplasty jsou amorfními polymery. Výrobky z reaktoplastů jsou charakteristické vysokou tuhostí, tvrdostí, a především chemickou a tepelnou stálostí a odolností. V nevytvrzeném stavu se tyto polymery nejčastěji nachází v kapalném stavu, ve většině případů se jedná o pryskyřice. Mezi typicky nepoužívanější reaktoplasty patří: epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP) nebo fenol-formaldehydová pryskyřice (PF). [20]

2.3 Rozdíly mezi termoplasty a reaktoplasty při vstřikování

Na základě rozdílných vlastností termoplastů a reaktoplastů mají tyto dva druhy polymerů rozdílné i podmínky při zpracování technologií vstřikování.

2.3.1 Teplota materiálu

Při procesu vstřikování se termoplastický polymer zahřívá nad teplotu tavení a ve formě taveniny se vstřikují do dutiny formy, která bývá často předehřátá. U reaktoplastů se polymer vstřikuje za studena do dutiny formy, která je předehřátá na velmi vysokou teplotu. [26]

2.3.2 Vazby mezi řetězci a recyklace

Při zahřátí polymeru se v něm tvoří vazby mezi jednotlivými molekulami. U termoplastů dochází pouze k fyzikálním vazbám a díky nim, jsou znovutavitelné a recyklovatelné. V reaktoplastech vznikají vazby chemické, které jsou trvalé a vylučují možnost tyto polymery opětovně tavit a recyklace je nemožná. [26]

2.3.3 Jakost povrchu

Termoplasty zpracované vstřikováním produkují flexibilní, přesný a esteticky přijatelný povrch, bez nutnosti dalších povrchových úprav. Ve srovnání provádění případných povrchových úprav u reaktoplastů jsou technicky náročné. [26]

2.3.4 Teplota při vstřikování

Termoplasty při procesu zpracování vstřikováním vyžadují vysoké teploty a vysoké tlaky, aby bylo dosaženo natavení materiálu a vhodných podmínek pro zpracování. Reaktoplasty nevyžadují vysoké teploty ani tlaky, pouze případné přehřátí formy. [26]

2.3.5 Příklady výrobků

Termoplasty jsou recyklovatelné, a proto jsou využívány v širokém spektru odvětví průmyslu. Typickými výrobky jsou: části karoserie automobilů, potrubí a trubky, obalový materiál, tepelně izolační materiály nebo hračky. [27]

Reaktoplasty se také využívají v různých odvětvích průmyslu, kde svými vlastnostmi jsou vhodnější než termoplasty, například v energetice. Typickými výrobky jsou: silikony, elektricky izolační materiály, sportovní náčiní, kryty zařízení, lamináty nebo knoflíky. [28]



Obrázek 6 a) výrobky z termoplastů b) výrobky z reaktoplastů [20]

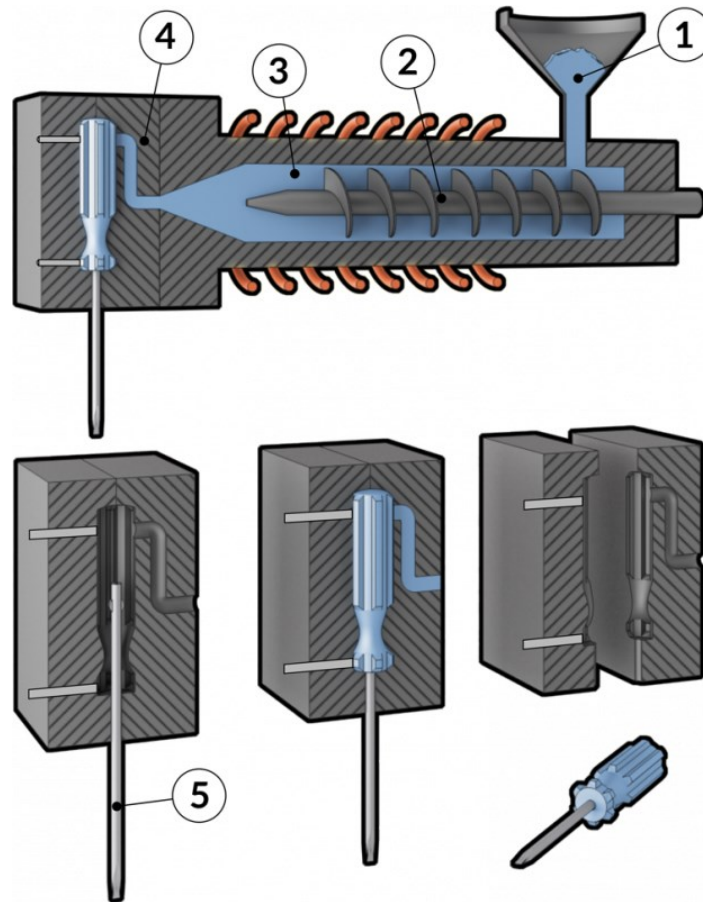
3 ZASTŘIKOVÁNÍ INSERTŮ

Zastříkování insertů je jednou z metod technologie vstřikování. Při zastříkování insertů je insert vložen do dutiny formy a je zastříknut polymerní taveninou. Při plně automatizovaných procesech je insert vkládán do dutiny formy robotickou paží, v ostatních případech se inserty vkládají do formy ručně. Materiál insertů může být různý, avšak nejčastěji se jedná o kovový materiál. Výrobky vyrobené zastříkováním jsou nejčastěji používány v lékařství, automobilovém průmyslu a v součástkách elektroniky. [29]



Obrázek 7 Insert z kovového materiálu zastříknutý polymerem [30]

U zastříknutého insertu většinu jeho povrchu obklopuje polymer, kterým byl zastříknut. Takové výrobky disponují oproti dílům ze standardních materiálů mnoho výhod, například značné snížení hmotnosti oproti čistě kovovému dílu a mnohem lepší mechanické vlastnosti oproti dílu čistě z polymeru. Navzdory výhodám zastříkovaných struktur s inserty jsou zde kritické faktory, které se musí brát v úvahu: přesné umístění insertu v dutině formy a jeho umístění na finálním výrobku a případný problém studených spojů způsobených pomalým prouděním taveniny do dutiny formy a jejím postupným chladnutím. Problém s přesným umístěním insertu ve formě lze eliminovat použitím fixačních prvků (kolíky, čelisti, podpěry, magnety, vakuum). Druhý problém se studenými spoji lze eliminovat zvýšením teploty při zpracování polymeru, úpravou průtoku taveniny a vhodnou úpravou dalších procesních parametrů. Třetím kritickým faktorem je adheze mezi zastříkovaným insertem a polymerem. Pro přenos sil působících na výsledný díl při jeho používání je důležitá silná adheze. Adhezi je možné zlepšit povrchovými úpravami zastříkovaného insertu. [31]



Obrázek 8 Schéma výroby šroubováku [32]

1) Násypka 2) Šnek 3) Tavenina 4) Forma 5) Kovový insert s tvarovým zámkem

3.1 Výhody zastříkování

Původně byla technologie výroby zastříkováním vyvinuta za účelem usnadnění výroby a montáže výrobků stejného druhu. Díly vyrobeny zastříkováním insertů disponují mnoha výhodami, které je zvyhodňují před jednodruhovými díly, které jsou vyrobeny z běžně užívaných materiálů. [29]

- Výrazné snížení hmotnosti.
- Lepší mechanické vlastnosti proti dílům z jednoho materiálu.
- Pro spojení insertu a polymeru není vyžadováno použití dalších prvků.
- Rychlý a efektivní proces výroby dílů.
- Dosahuje vysokého stupně přesnosti (díly vysoké kvality).
- Možnost zhotovit díly složitějších tvarů.

- Snížené náklady na výrobu.
- Rychlé výrobní cykly a lepší efektivita.
- Kombinace materiálů insertu a polymeru. [29]

3.2 Materiály insertů pro zastříkování

Volba správného materiálu zastříkovaného insertu je velmi důležitá, protože každý druh materiálu obohacuje zastříkované struktury o různé mechanické vlastnosti. Volba materiálu insertu závisí na požadavcích zákazníka, aplikaci, druhu namáhání i teplotách, při kterých bude výsledný díl používán. Nejpoužívanějším materiálem insertů pro zastříkování jsou kovové materiály. [33]

3.2.1 Kovy

Nejběžněji používaným kovovým materiálem insertů je ocel různých jakostí, včetně nerezové oceli. Oceli se používají především kvůli vlastnostem, jako jsou tvrdost a pevnost nebo zvýšená odolnost proti opotřebení u jakostních ocelí. Dalšími kovovými materiály jsou například hliník, měď nebo mosaz, které se používají kvůli jejich přirozené pevnosti, tuhosti a tepelné odolnosti. Vynikají v aplikacích vyžadujících vysoké zatížení, těsné tolerance a vynikající elektrickou vodivost (v případě mědi nebo mosazi). [34]

3.2.2 Keramika

Inserty k zastříkování z keramických materiálů, jako jsou oxid hlinitý nebo zirkon, jsou využívány v případech, ve kterých je vyžadována vysoká odolnost proti opotřebení, odolnosti proti vysokým teplotám nebo elektrická izolace. Keramické materiály jsou v zastříkování dále využívány i v méně typických aplikacích, jako jsou řezné nástroje a součásti vystavené drsnému prostředí. [35]

3.2.3 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály pro výrobu insertů, jsou ve většině případů vyztužené vlákny. Tyto materiály jsou využívány především v aplikacích, kde je žádoucí využití jejich nejvýraznějších předností, které jsou vysoký poměr pevnosti ku hmotnosti a velmi dobrá chemická odolnost. Inserty z vláknových kompozitních materiálů jsou široce využívány zejména v leteckém a automobilovém průmyslu. [36]

3.2.4 Sklo

Skleněné inserty jsou využívány pouze ve specifických případech. Sklo se používá pro svou optickou čistotu, vlastnost, kterou žádný jiný materiál nedisponuje. Další vlastnostmi jsou schopnost odolávat vysokým teplotám a schopnost izolovat elektrický proud. Inserty ze skla se používají ve formě čoček, filtrů nebo například indikátorů hladiny kapalin. [33]

3.2.5 Plasty

Stejně jako skleněné inserty se i inserty z plastů používají pouze ve specifických aplikacích. Materiálem plastového insertu jsou vysoce výkonné plasty, jako je PEEK nebo polyetherimid (PEI). Jsou užívány pro jejich rozměrovou stabilitu a kompatibilitu s některými vysokoteplotními polymery. Díly s inserty z plastu jsou ideální pro díly, které jsou vystaveny tepelnému namáhání. Mohou být také alternativou ke kovovým insertům, pokud je vyžadováno snížení hmotnosti při zachování mechanických vlastností. [36]

3.3 Faktory ovlivňující výběr materiálu insertů pro zastříkování

Vzhledem jedinečným vlastnostem každého druhu materiálu, je důležité zvolit nejvhodnější materiál insertu, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností výsledné zastříknuté struktury a také ekonomické efektivity. Faktory ovlivňující správný výběr materiálu insertu mohou být: [33]

- **Funkční požadavky:** Primární funkce a druh aplikace insertu určuje nejvhodnější vlastnosti materiálu. Pro vysoké zatížení je nejdůležitější pevnost, kterou disponují

například kovy, zatímco pro odolnost proti opotřebení může být vhodnou volbou keramika. [32]

- **Tepelné vlastnosti:** Rozhodující je kompatibilita s teplotou zpracování zvoleného polymeru pro zastříkování a provozní teplotou, ve které bude výsledný díl. Vhodnými materiály pro tyto aplikace jsou keramika, sklo nebo plasty. [33]
- **Náklady:** Náklady na materiál jsou významným faktorem, při výběru materiálu insertu. Například kovové materiály jsou často dražší než některé kompozity nebo plasty. [33]
- **Zohlednění hmotnosti:** V aplikacích, kde je kladen velký důraz na snížení hmotnosti. V těchto případech mohou být upřednostňovány lehké materiály, jako je hliník, kompozitní materiály nebo plasty. [36]



Obrázek 9 Mosazné, ocelové a hliníkové inserty [37]

3.4 Využití zastříkovaných struktur

Zastříkování insertů má uplatnění v široké škále výrobků díky kombinaci vlastností dvou materiálů, především pevnost, tvrdost, tuhost, funkčnost a flexibilitu designu. Díly zhotovené touto technologií jsou využívány téměř ve všech oblastech průmyslu.

V elektrickém průmyslu se využívá kombinace elektricky vodivého kovového insertu s izolačními vlastnostmi okolního polymeru. Dále se využívají také skleněné nebo plastové inserty kvůli izolačním vlastnostem. Typickými výrobky jsou například konektory, spínače nebo pouzdra. V automobilovém průmyslu se využívá kovových insertů pro svou pevnost a tepelnou odolnost, zatímco zastříknutý polymer nabízí variabilitu v designu a sníženou hmotnost výsledného dílu. [31, 34]

Typickými výrobky jsou nárazníky, kliky dveří nebo přístrojové desky a obložení. Ve zdravotnictví se využívá kovových, kompozitních nebo plastových insertů. Chirurgické nástroje a pouzdra lékařských přístrojů jsou vyráběny zastříkáním kvůli důležitosti kombinace pevnosti, sterility a biokompatibility. V segmentu spotřebního zboží se využívá všech druhů materiálů insertů v závislosti na konkrétní aplikaci. Například u náradí se využívá ocelových insertů zastříknutých kombinací termoplastu a termoplastického elastomeru. Sportovní průmysl využívá hliníkových nebo kompozitních insertů při výrobě sportovních potřeb, například baseballové hole, horolezecké karabiny nebo tenisové rakety. [31, 34]



Obrázek 10 Díly vyrobené zastříkáním [38]

4 VLIV POVRCHOVÝCH ÚPRAV INSERTŮ NA SOUDRŽNOST SPOJENÍ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ

Povrchové úpravy insertů v zastříkovaných strukturách a jejich vlivy na soudržnost spojení mezi insertem a okolním polymerem jsou velmi důležité. Existuje mnoho povrchových úprav, které mají unikátní vlastnosti a výhody oproti jiným úpravám. Povrchové úpravy se provádí za účelem zvýšení adheze mezi insertem a vstříkovaným polymerem, která je naprosto klíčová při zastříkování. [31]

4.1 Adheze

Adheze je schopnost materiálu přilnout na povrch druhého materiálu a hraje při zastříkování klíčovou roli. Využívá fyzikálních nebo chemických sil pro přilnutí povrchů dvou materiálů k sobě a vytváří tak spojení, těchto materiálů. V případě zastříkování insertů ovlivňuje, jak dobře přilne vstříkovaný polymer na povrch insertu a vytváří spojení těchto materiálů v jeden díl. V případě špatného přilnutí polymeru na insert může dojít k oddělení dílů od sebe. [31]

4.1.1 Chemické vazby

Chemické vazby jsou nejsilnější druh vazeb a nejsilnější typ adheze. Dochází k nim, když atomy dvou různých materiálů sdílejí elektrony a vytváří tak silnou přitažlivost, která drží tyto materiály pohromadě. Existují dva hlavní druhy chemických vazeb, kovalentní a iontové vazby. [34]

Kovalentní vazby

Kovalentní vazby, popisují sdílení elektronů mezi atomy dvou různých materiálů. Toto sdílení elektronů vytváří silnou přitažlivost. Kovalentní vazby způsobují například přilnavost mnoha lepidel, jako jsou epoxidy a superlepidla. [40]

Iontové vazby

Iontové vazby popisují přenesení jednoho nebo více valenčních elektronů z jednoho atomu na druhý. Tímto procesem vznikají opačně nabitě ionty, které se k sobě přitahují. Elektrostatická přitažlivost mezi těmito ionty spojuje jednotlivé materiály dohromady. Iontové vazby jsou běžné například v keramice nebo dentálních lepidlech. [40]

4.1.2 Van der Waalsovy síly

Van der Waalsovy síly popisují přitažlivé síly, které vznikají pohybem elektronů kolem atomů. Jedná se o slabší a dočasné přitažlivé síly. Van der Waalsovy síly jsou přítomny vždy, ztrácejí svůj význam, pokud jsou molekuly jednotlivých materiálů od sebe příliš vzdáleny. Čím blíže tyto materiály a jejich atomy jsou vůči sobě, Van der Waalsovy síly jsou silnější. Tyto síly ovlivňují adhezivní vlastnosti materiálů, jako jsou například barvy a nátěry. [40]

4.1.3 Mechanické vazby

Mechanické vazby jsou podobné tvarovému zámku. Využívají nerovností povrchu dvou materiálů, jako jsou drážky, vroubky nebo jiné nerovnosti, které se vzájemně propojí. Vzniká tak fyzikální spojení. Typickým příkladem je suchý zip, kde se háčky na jedné straně zachytávají do ok na straně druhé. [41]

4.2 Druhy povrchových úprav insertů

Povrchové úpravy insertů pro zastříkování se provádí za účelem zvýšení adheze mezi insertem a vstříkovaným polymerem a tím i zvýšení pevnosti spojení. Existuje mnoho způsobů a metod úprav povrchu, kde každá povrchová úprava má své výhody a limity. Výběr vhodné povrchové úpravy záleží na několika faktorech, kterými jsou: druh materiálu insertu, druh vstříkovaného polymeru, požadovaná pevnost spoje, podmínky použití dílů. Je důležité, aby povrch insertů byl vždy odmaštěn a zbaven všech nečistot a mastnoty způsobených při jejich výrobě. [31] [34]

4.2.1 Čistý povrch bez úprav

Povrch bez jakýchkoliv úprav zbaven veškerých nečistot a mastnoty. Struktura povrchu zůstává stejná, jako po výrobě insertu. [31]

4.2.2 Pískování

Pískování je druh povrchové úpravy, kdy se za použití stlačeného vzduchu tryská proud abrazivního materiálu na povrch insertu. Jedná se o nejběžnější povrchovou úpravu a používá se k čištění, vyhlazování nebo zdrsňování povrchů. Druh použitého abrazivního materiálu a velikost zrn závisí na opracovávaném materiálu požadovaném výsledku. Mezi běžné abrazivní materiály patří křemičitý písek, oxid hlinitý nebo skleněné kuličky. [34]

4.2.3 Leptání

Povrchová úprava leptáním vytváří na povrchu insertu mikroskopickou strukturu pomocí chemické reakce, která zlepšuje adhezi. Chemické leptání nabízí větší kontrolu nad strukturou povrchu oproti pískování, kde dochází k úběru materiálu fyzikálním procesem. Chemické leptání využívá k rozpuštění povrchu materiálu chemický roztok, leptadlo. Mezi běžně užívaná leptadla patří hydroxid sodný, kyselina dusičná, kyselina fluorovodíková nebo chlorid železitý. [41]

4.2.4 Plasma

Povrchová úprava za použití plasmy využívá ionizovaný plyn (plasmu) k úpravě vlastností povrchu insertu. Úprava povrchu plasmou za daných podmínek může zvýšit povrchovou energii a zlepšit tak smáčivost insertu, což má za následek lepší adhezi k polymeru. Takový jev se nazývá aktivace povrchu. Povrchová úprava plasmou je suchý proces podobně jako pískování. [31] [34]

4.3 Vlivy povrchových úprav insertů

Povrchové úpravy insertů při vstřikování mají zásadní vliv na pevnost spojení mezi insertem a polymerem. Vlivy jednotlivých povrchových úprav na pevnost spojení ovlivňuje míra adheze a následné přilnutí materiálů k sobě při procesu vstřikování. Mimo vhodnou volbu povrchové úpravy insertů mají na pevnost spojení vliv i další faktory, například správné nastavení procesních podmínek při vstřikování, doba dotlaku, vhodná kombinace materiálů insertu a vstřikovaného polymeru nebo použití adheziva. [42]

4.3.1 Vliv povrchových úprav

Povrchové úpravy insertů významně zlepšují pevnost spojení mezi insertem a polymerem několika způsoby. Zdrsnění povrchu insertu pískováním nebo leptáním vytváří na povrchu insertu nerovnosti. V případě leptání se jedná o mikroskopické nerovnosti. Takto upravený povrch insertu umožňuje účinnější adhezi polymerní taveniny, která vytváří pevnější spojení. Povrchové úpravy plasmou nebo laserem mohou změnit chemické složení povrchu insertu, čímž se může zvýšit smáčivost povrchu vůči roztavenému polymeru. Lepší smáčení umožňuje lepší přilnavost na molekulární úrovni. [34] [42]

4.3.2 Vliv procesních podmínek při vstřikování

Procesní podmínky při vstřikování mají také vliv na výslednou pevnost spojení mezi insertem a polymerem. Nastavení správné teploty formy, teploty vstřikovaného polymeru, správných tlaků a optimální doby vstřikování tyto parametry příznivě ovlivňují přilnavost a tím i výslednou pevnost spoje. Nastavením optimálních procesních podmínek se výrazně snižuje riziko nežádoucích jevů, jako jsou studené spoje nebo nedostatečné zatečení polymeru. [40]

4.3.3 Vliv doby dotlaku při vstřikování

Při vstřikování je vliv doby dotlaku na soudržnost a pevnost spoje mezi insertem a polymerem je zásadní. Vyšší tlak při fázi dotlaku vede k většímu tlaku mezi insertem a polymerem a tím se může zlepšit mechanická síla spojení. Tato úprava dotlaku může být vhodná pro aplikace, kde je vyžadována vysoká pevnost a odolnost spoje proti

mechanickému namáhání. Nastavení optimálního dotlaku zajišťuje, že polymer plně vyplní všechny dutiny mezi insertem a formou a zvyšuje se pevnost spoje. Větší hodnota dotlaku může také zlepšit difuzi mezi taveninou polymeru a povrchem insertu a tím se může zlepšit chemické spojení mezi materiály. Příliš vysoký tlak při dotlakové fázi však může vést k poškození insertu, který může prasknout. Vyšší dotlak může změnit vlastnosti vstřikovaného polymeru v okolí povrchu insertu, jako je jeho krystalická struktura a mechanické vlastnosti. To může mít vliv na celkovou pevnost a odolnost spoje. [40]

4.3.4 Kondicionování materiálu

Kondicionování materiálu spočívá v tzv. odležení zkušební vzorku po určitou dobu v podmínkách vlastního zkoušení, kde je pozornost zaměřena zejména na teplotu a vlhkost vzduchu. Kondicionování vzorků je nutné dodržovat kvůli dodatečnému zesíťování polymeru a vhodnému spojení s insertem. Vzhledem k rozdílným klimatickým podmínkám v různých částech světa, jsou také tyto podmínky rozdílné, viz. tabulka 1. [43]

Tabulka 1 Vlastnosti klimatu podle geografického rozdělení

Označení	Oblast	Teplota	Relativní vlhkost
A1	Evropa	20 ± 2 °C	65 ± 5 %
A2	Severní Amerika	23 ± 2 °C	50 ± 5 %
A3	tropy a subtropy	27 ± 2 °C	65 ± 5 %
B1	Evropa	20 ± 2 °C	–
B2	Severní Amerika	23 ± 2 °C	–
B3	tropy a subtropy	27 ± 2 °C	–
C1	Evropa	–	–
C2	Severní Amerika	–	–
C3	tropy a subtropy	–	–

U výsledků zkoušení se poté podmínky kondicionování vyjadřují číselným kódem ve tvaru například 88/20/65 (doba kondicionování v hodinách, teplota a relativní vlhkost). Důležitou roli hraje především doba kondicionování. Ta se výrazně liší podle druhu materiálu, velikosti zkušební tělesa a také klimatických podmínek, viz. tabulka 2. [43]

Tabulka 2 Doba kondicionování

Označení	Plasty	Kaučuky
klima A	88 - 94 hod.	> 16 hod.
klima B	> 3 hod.	> 3 hod.

Doba kondicionování je, stejně jako samotné podmínky kondicionování, specifikována příslušnou normou. Například u lehčených hmot je možné provádět zkoušku nejdříve 72 hod. po vyrobení, pokud není zadáno normou jinak. [43]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tato diplomová práce se zabývá vlivy povrchových úprav insertů na pevnost spojení vstřikovacích struktur, přípravou insertů z kompozitu, zastříknutím insertů polymerem, testováním pevnosti spoje a následným vyhodnocením dosažených výsledků. Jednotlivé kroky při přípravě a výrobě zastříkovaných insertů z kompozitního materiálu konstrukčním polymerem lze rozepsat do následujících bodů:

- Vypracování literární rešerše na zadané téma.
- Návrh materiálového složení vstřikované struktury.
- Zpracování experimentální části práce.
- Vyhodnocení dosažených výsledků a stanovení závěrů diplomové práce.

6 PŘÍPRAVA INSERTŮ A VÝROBA ZASTŘIKOVANÉ STRUKTURY

Na 8 sadách vzorků, insertech, z polyuretanového skelného kompozitu po 5 kusech byly provedeny 3 druhy povrchových úprav. Povrchové úpravy na insertech byly provedeny na ploše 20 mm x 25 mm z každé strany insertu. Na 2 sadách vzorků byla provedena povrchová úprava pískováním. 4 sady vzorků byly podrobeny povrchové úpravě plasmou, kde 2 sady byly povrchově upravovány po dobu 5 sekund a 2 sady po dobu 15 sekund. 2 sady vzorků byly bez povrchové úpravy, kde povrch těchto vzorků byl pouze zbaven nečistot a mastnoty pomocí isopropylalkoholu (IPA).



Obrázek 11 Kompozitní inserty před provedením povrchových úprav

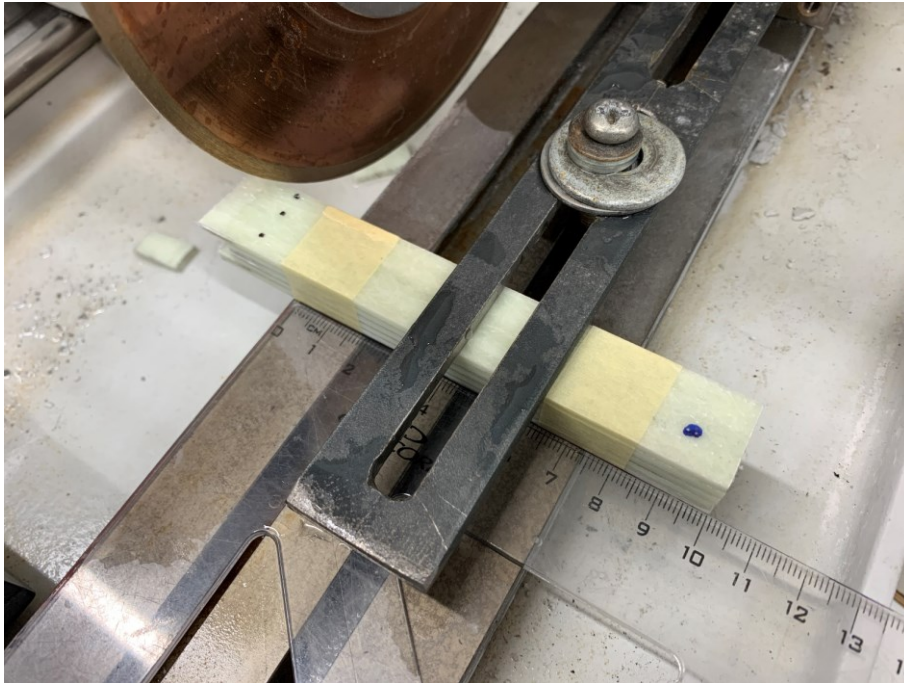
6.1 Výroba a příprava vzorků

Vzorky pro přípravu insertů, byly již předem vyrobeny z 5 vrstev skelné rohože a prosyceny polyuretanovou pryskyřicí o celkové tloušťce 3 mm. Následně byly nařezány na šířku 20 mm a délku 130 mm. Před dalším krokem přípravy vzorků byly všechny vzorky odmaštěny a zbaveny nečistot pomocí isopropylalkoholu (IPA). Dále pak byly vzorky slepeny pomocí papírové pásky po 5 kusech a znovu seřezány kvůli srovnání hran na přesnou délku 120 mm. K tomu byla použita přesná pila ISOMET 4000 s plným řezným měděným kotoučem chlazeným proudem vody.



Obrázek 12 Pila přesná ISOMET 4000 [44]

Vzorky slepené po 5 kusech, byly vloženy do řezacího zařízení, byla změřena přesná vzdálenost od řezného kotouče a vzorky byly pevně uchyceny v zařízení. Po zavření krytu pily se zařízení zapnulo, zapnul se přívod chladicí kapaliny a otáčením kolečka na přední straně zařízení byl prováděn posun řezného kotouče.



Obrázek 13 Řezání vzorků na přesnou délku

Po zkrácení a zarovnání vzorků byly všechny vzorky opět řádně očištěny isopropylalkoholem a připraveny k provedení povrchových úprav.

6.2 Povrchové úpravy insertů

Na částech povrchu insertu, které budou zastříknuty dvěma druhy polymeru, o rozměrech 20 mm x 25 mm byly provedeny zadané povrchové úpravy, za účelem zvýšení přilnavosti povrchů materiálů. Na povrchy insertů byly aplikovány 3 různé povrchové úpravy. Jedná se o povrchové úpravy pískováním, plasmou po dobu 5 sekund a plasmou po dobu 15 sekund. Před každou povrchovou úpravou a po ní byly vzorky vždy řádně očištěny a odmaštěny isopropylalkoholem.

Různé druhy povrchových úprav byly provedeny za účelem zkoumání vlivu povrchových úprav na pevnost spojení mezi insertem a polymerem. Jednotlivé povrchové úpravy jsou popsány níže.

6.2.1 Pískování

Povrchová úprava pískováním spočívá v dopadání částic abraziva na povrch materiálu vysokou rychlostí a dochází k odštěpování malých částic materiálů z povrchu upravovaného materiálu. Abraze materiálu byla provedena pomocí zařízení SBC420 od společnosti Reno-Tech s.r.o. Jako abrazivní materiál byla použita multifunkční abrazivní směs, která má složení: SiO_2 , Al_2O_3 a CaO se zrnny o velikosti 100–500 μm .

Před použitím bylo nutné pískovací zařízení vyčistit a vyprázdnit, aby v něm nebyl jiný typ abrazivního materiálu. Po vyprázdnění a naplnění zařízení zvoleným abrazivním materiálem bylo spuštěno odsávání a zařízení bylo připraveno. Proces pískování probíhal 30 sekund při tlaku 300 kPa, vzdálenosti vzorku od trysky 10 cm a v pravém úhlu k povrchu vzorku. Povrchové úpravy pískováním byly provedeny na 2 sadách vzorků z každé strany.



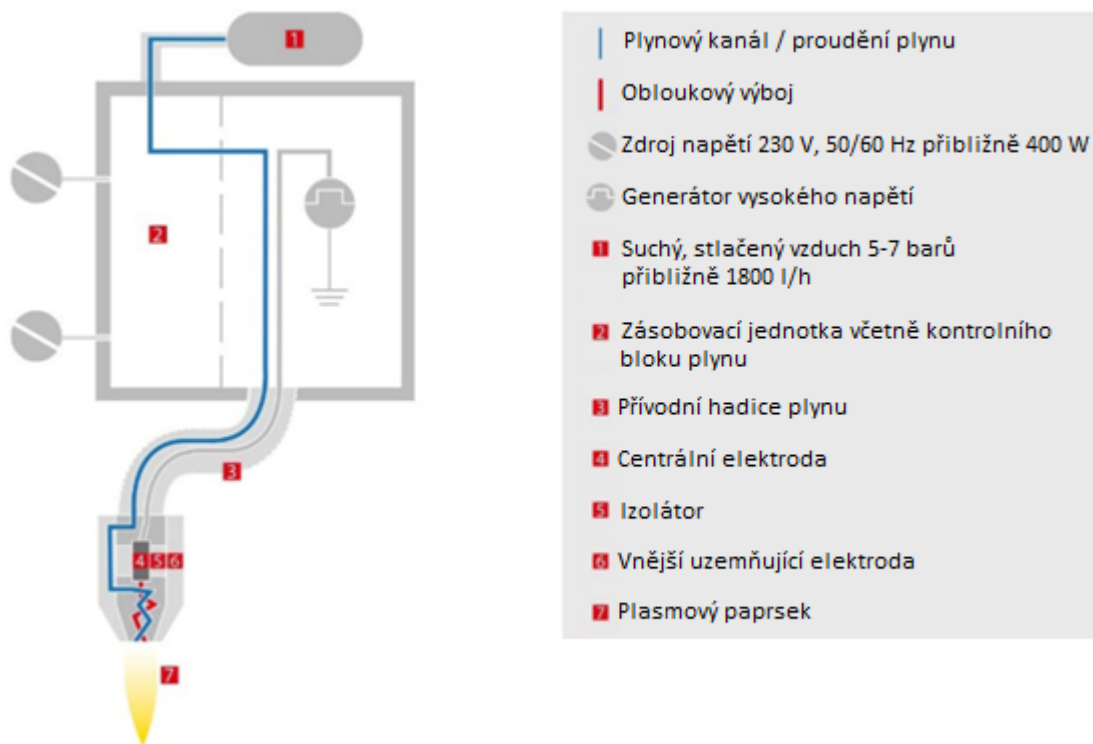
Obrázek 14 Pískovací zařízení SBC420 od společnosti Reno-Tech s.r.o.



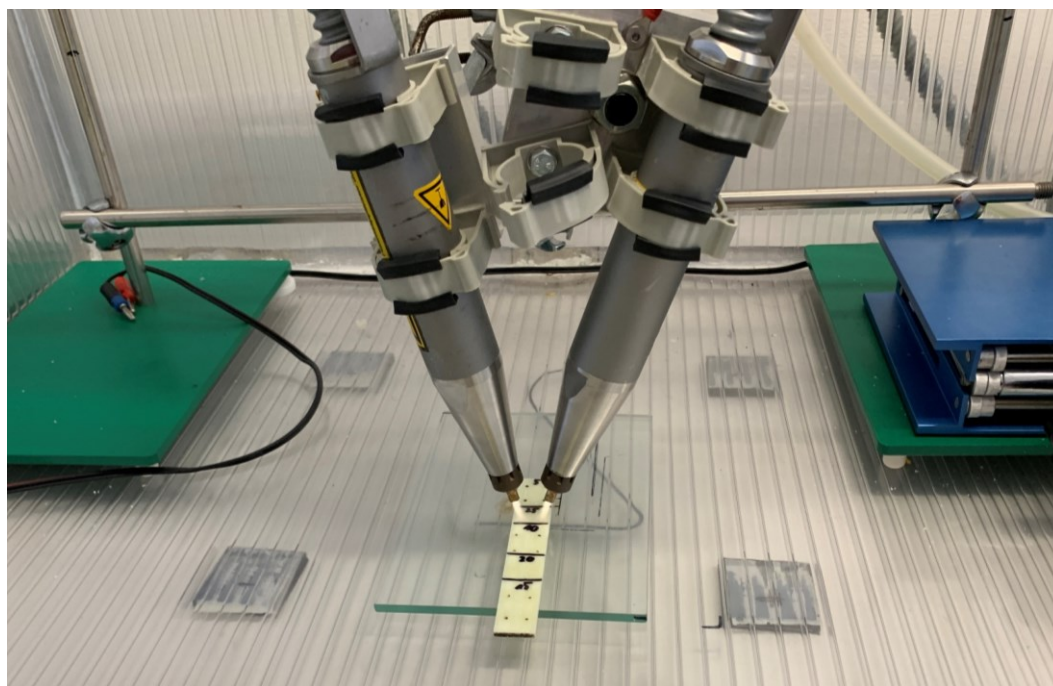
Obrázek 15 Detail povrchu insertů po úpravě pískováním

6.2.2 Plasma

Povrchová úprava insertů pomocí plasmu byla provedena pomocí zařízení Plasmatužka-PlasmaBeam PC Duo s plasmovým paprskem od společnosti Diener Electronics. Proces byl prováděn při okolní teplotě 20 °C a atmosférickém tlaku. Zařízení s plasmovým paprskem slouží pro čištění a aktivaci povrchů. Toto zařízení disponuje dvěma tryskami, které byly nastaveny na vzdálenost od povrchu insertu na 12 mm. Schéma jedné z trysek je znázorněno na obrázku 16. Touto povrchovou úpravou lze získat zcela čisté povrchy bez oxidů, protože jsou chemicky chráněny před kyslíkem nebo vzduchem. Výbojový plyn (stlačený vzduch) byl generován pomocí frekvence 20 kHz a výkonu plasmu 300 W střídavého proudu, průtok plynu byl 10,4 l/min a průtok chladicího plynu byl udržován na 21,7 l/min. Jako chladicí plyn byl použit bezolovnatý vzduch.

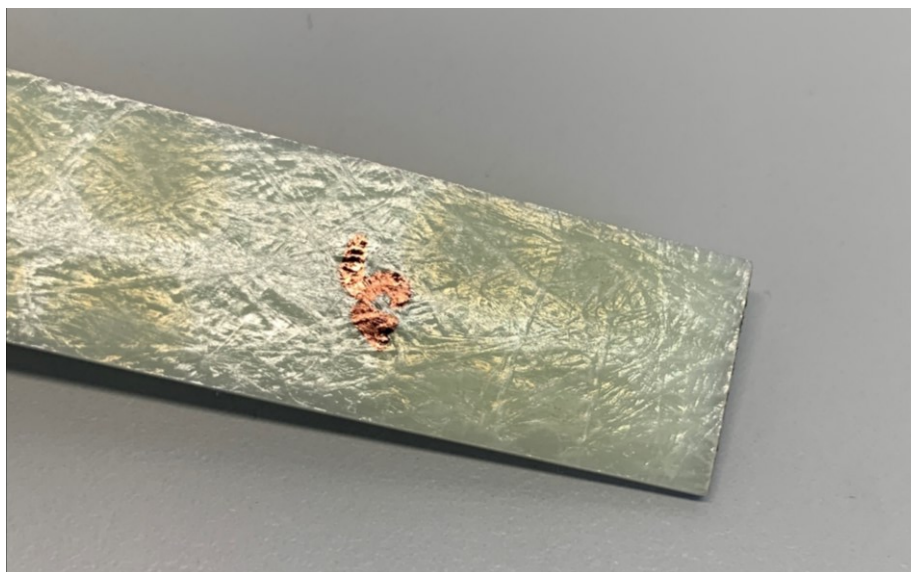


Obrázek 16 Schéma jedné z trysek zařízení s plasmovým paprskem od společnosti Deiner Electronics [34]



Obrázek 17 Zařízení PlasmaBeam PC Duo od společnosti Deiner Electronics při aktivním použití

Povrchové úpravy pomocí plasmového paprsku byly provedeny na 4 sadách insertů. 2 sady insertů byly vystaveny plasmovému paprsku po dobu 5 sekund ve vzdálenosti 12 mm od ústí trysek, další 2 sady byly za stejných podmínek vystaveny plasmovému paprsku po dobu 15 sekund. Aplikace plasmového paprsku bylo v celkem 6 bodech na každé straně insertu.



Obrázek 18 Detail povrchu insertu po úpravě plasmou při nastavování optimální vzdálenosti trysek

6.3 Morfologie povrchu insertů

Pro vyhodnocení efektivity provedených povrchových úprav byly použity metody SEM, optické profilometrie a kontaktní profilometrie. Pomocí těchto metod lze analyzovat míru adheze mezi materiály.

6.3.1 Skenovací elektronový mikroskop

K popisu morfologie povrchu insertů s různými povrchovými úpravami byl použit skenovací elektronový mikroskop (SEM) s vysokým rozlišením Phenom Pro X a s napětím urychlujícím elektrony o velikosti 5 kV.



Obrázek 19 Elektronový mikroskop
Phenom Pro X [45]

6.3.2 Optická profilometrie

Drsnost povrchu (S_a) byla charakterizována pomocí povrchové topografie pomocí 3D optického mikroskopu Contour GT-K od společnosti Bruker. Jeho funkce je založena na interferometrii bílého světla s použitím 20× objektivu. Výsledné topografické mapy ve 3D byly zpracovány v softwaru Gwyddion 2.60. Vyhodnocení hodnot drsnosti povrchu (S_a) bylo stanoveno ze 3 jednotlivých měření.



Obrázek 20 Optický profilometr
Bruker Contour GT-K [46]

6.3.3 Kontaktní profilometrie

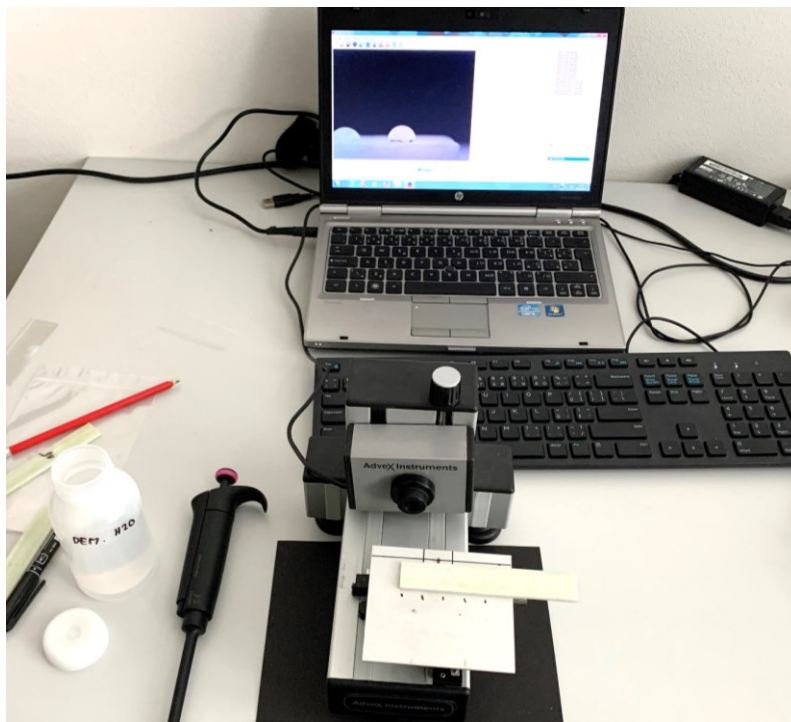
Změny topografie a drsnosti povrchu všech vzorků byly charakterizovány kontaktním profilometrem, model DektakXT od společnosti Bruker. Byl použit hrot s poloměrem zakřivení 2 μm a přitlakem 5 mg. Vyhodnocení hodnot drsnosti povrchu (R_a a R_z) bylo stanoveno ze 3 jednotlivých měření.



Obrázek 21 Kontaktní profilometr
Bruker DektakXT [47]

6.3.4 Kontaktní úhly

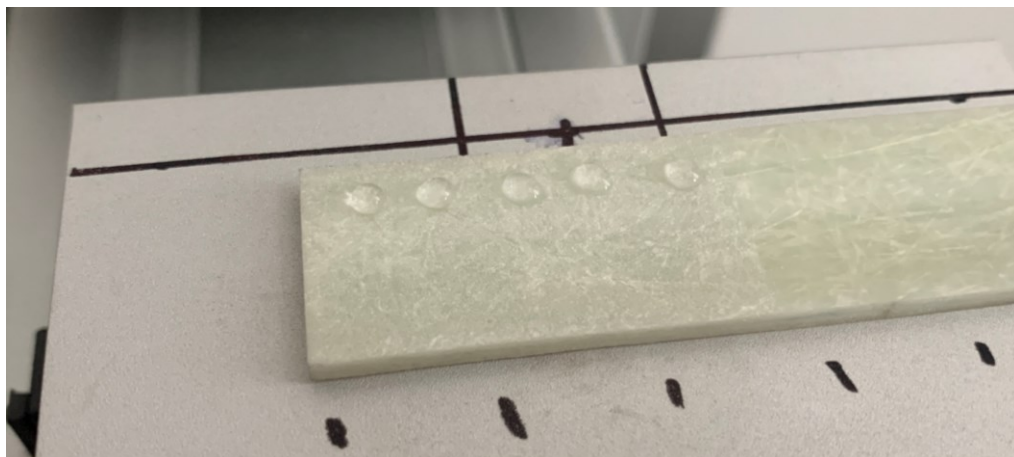
Kontaktní úhly testovaných povrchů insertů byly analyzovány pomocí systému pro vyhodnocení povrchové energie (SEE System) od společnosti Advex Instruments. Přístroj byl použit k vizualizaci tečen kapky (pravé a levé) a třífázových bodů. Každý kontaktní úhel byl vypočítán zprůměrováním 5 samostatných měření pro každý vzorek a úpravu povrchu. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 3. Jako testovací kapalina byla použita destilovaná voda. Snímky kapek na povrchu insertů byly pořízeny kamerovým systémem. Kapky o objemu 10 μl byly nanášeny na čistý a odmaštěný povrch insertu pomocí mikropipety, následně byl vzorek na pracovním stole vycentrován, aby se kapka nacházela uprostřed zorného pole kamery a obraz byl ostrý. Poté byl pořízen snímek a hodnota kontaktního úhlu zaznamenána.



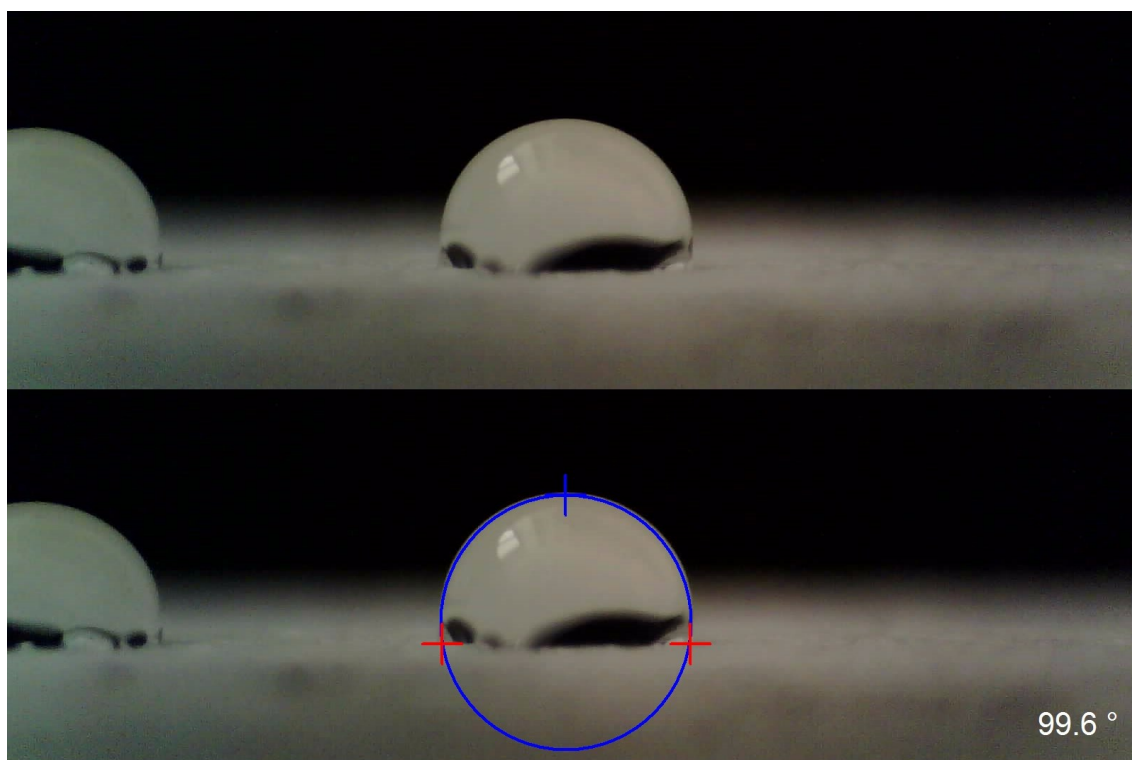
Obrázek 22 Zařízení pro měření kontaktních úhlů od společnosti Advex Instruments

Tabulka 3 Naměřené hodnoty kontaktních úhlů za použití destilované vody [°]

Povrchová úprava				
Číslo měření	Čistý povrch	Pískování	Plasma 5 sekund	Plasma 15 sekund
1	82,04	73,99	43,34	39,65
2	81,32	69,12	44,72	45,41
3	78,39	74,43	57,11	58,58
4	76,54	83,78	52,04	47,80
5	75,30	99,60	51,48	54,06
PRŮMĚR	77,888	80,184	49,738	49,100
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 2,266	± 10,806	± 5,075	± 6,619



Obrázek 23 Nanesené kapky vody na opískovaný povrch zkoumaného vzorku o objemu 10 μl pomocí mikropipety



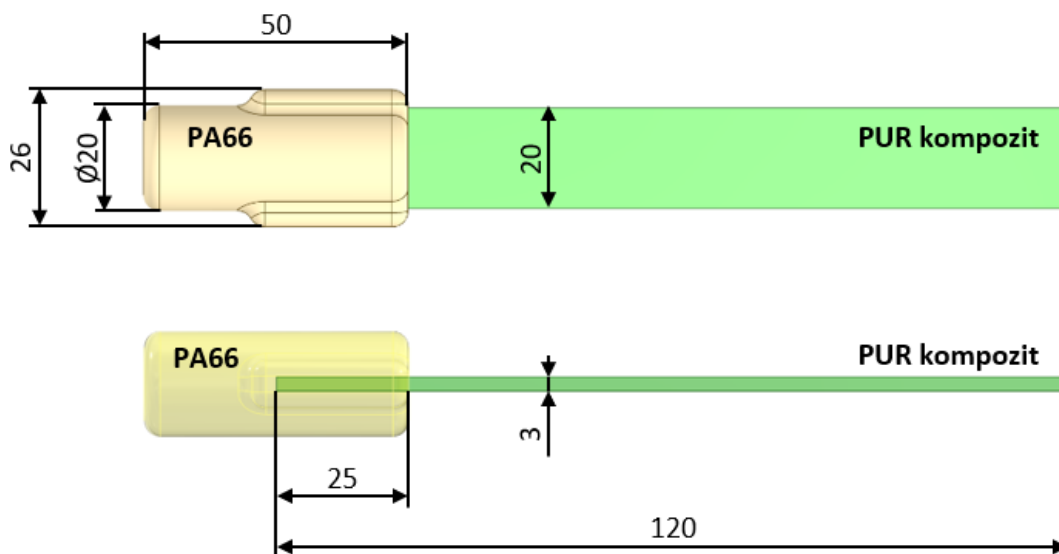
Obrázek 24 Vyhodnocení kontaktních úhlů pomocí počítačového softwaru

6.4 Příprava zastříkovaných insertů technologií vstřikování

Pro výrobu zastříkované struktury z polyuretanového kompozitního insertu a dvou druhů polymeru (PA66 a PA66-GF35) byl polymer vstřikován podle schématu znázorněného na obrázku 25. Obecně platí, že procesní podmínky při procesu vstřikování významně ovlivňují pevnost spojení mezi insertem a polymerem se stejnou drsností povrchu. Z tohoto důvodu byly procesní podmínky vstřikování ponechány pro všechny zastříkované inserty konstantní, aby se usnadnil popis vlivu jednotlivých povrchových úprav insertů na pevnost spojení mezi insertem a polymerem.

Pro vstřikování byl zvolen elektrický vstřikovací stroj značky Mitsubishi 180 MEt III, který disponuje šnekem o průměru 46 mm. Pro neplněný polymer polyamid 66 se dle materiálového listu v průmyslových aplikacích doporučují následující procesní podmínky: vstřikovací teplota 270–290 °C, vstřikovací tlak 80 MPa, teplota formy 60–100 °C a dotlak 80 % vstřikovacího tlaku. Pro plněný polyamid 66 35 % skelných vláken se dle materiálového listu v průmyslových aplikacích doporučují tyto procesní podmínky: vstřikovací teplota 280–300 °C, vstřikovací tlak 80 MPa, teplota formy 80–90 °C a dotlak 80 % vstřikovacího tlaku. Pro experiment v rámci této diplomové práce byly procesní parametry při vstřikování pro oba vstřikované polymery nastaveny stejně, a to na hodnoty uvedené v tabulce 4. Procesní podmínky byly zvoleny dle předešlého experimentu.

Oba druhy polymeru ve formě granulátu byly před zahájením vstřikování řádně vysušeny v sušícím zařízení. Doporučené sušící podmínky dle materiálových listů materiálů jsou pro polyamid 66: suchý vzduch o teplotě 80 °C a doba sušení 2–12 hodin. Pro plněný polyamid: teplota 80–100 °C a doba sušení 4 hodiny. Zvolené sušící podmínky byly stanoveny na teplotu 80 °C po dobu 4 hodin pro polymer polyamid 66 a teplotu 100 °C po dobu sušení 4 hodiny pro plněný polyamid.



Obrázek 25 Schéma s rozměry zastříknutého insertu na modelu



Obrázek 26 Vstřikovací stroj Mitsubishi 180 MEt III [48]

Před zahájením vstřikování byla forma očištěna a ošetřena přípravkem Lusin Clean L 51. Je to je pomalu odparný čisticí prostředek na formy a nástroje v plastikářském průmyslu. Je určený pro čištění dělicí roviny i tvarů forem. Lze použít na čištění plastových a gumových povrchů. Dále byl jako separátor použit přípravek Lusin Alro OL 151. Je to separační látka neobsahující silikon na bázi speciálních olejů s aditivy. Teplotní rozsah použití je do teplot 150 °C. Je určen pro materiály PP, PE, PA, PTFE, PVDF, PBT, POM, PVC, TPE, TPU, PET, CA, CAB, CP. Nenarušuje povrchové napětí na plastech a je netečný vůči povrchovým úpravám polymerů. [49, 50]

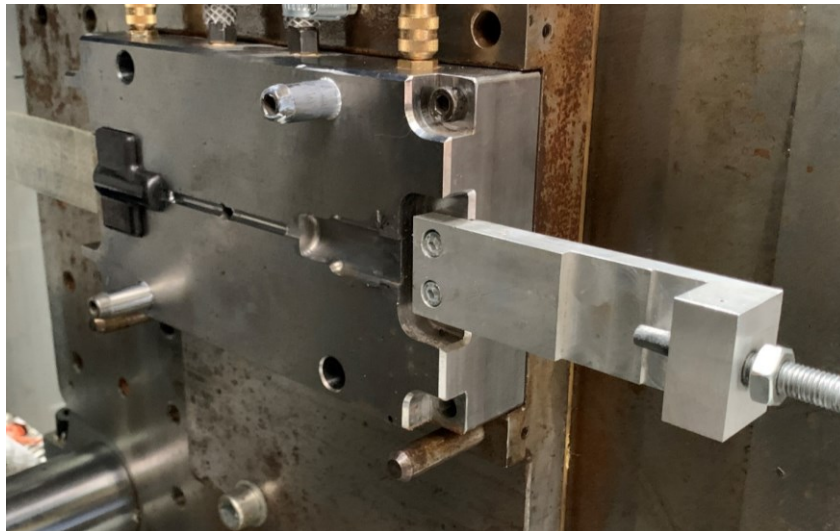


Obrázek 27 Prostředky Lusin Clean L 51
a Lusin Alro OL 151 [49, 50]

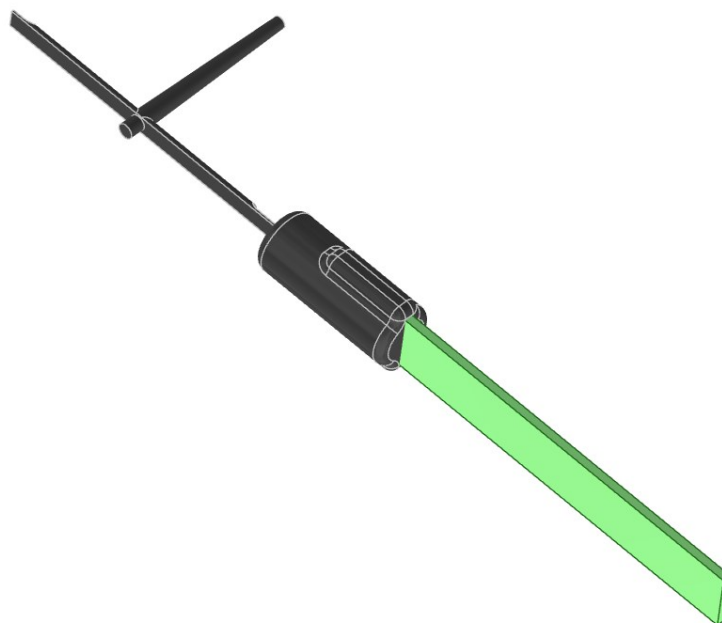
Tabulka 4 Nastavení procesních podmínek při vstřikování

Vstřikovací rychlost [mm/s]	90
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplota taveniny [°C]	290
Teplota pásem 1, 2, 3 a 4 [°C]	285, 280, 270 a 260
Teplota na trysce [°C]	290
Dotlak [MPa]	54
Doba chlazení [s]	14
Teplota formy [°C]	80
Teplota temperace [°C]	80

Po očištění a ošetření vstřikovací formy příslušnými přípravky byl do formy vložen insert z polyuretanového skelného kompozitu a vystředěn do přesné polohy ve formě pomocí aretačního šroubu. Poté se uzavřel ochranný kryt vstřikovacího stroje a proběhlo vstřikování. Po vstřikovacím cyklu byl zastříknutý insert vyhazovacím systémem vstřikovací formy vyhozen z formy a zachycen v připravené bedně pod vstřikovacím strojem. Zastříknuto bylo všech 8 sad vzorků, z toho 1 sada od každé povrchové úpravy polyamidem 66 a další 4 sady polyamidem 66 plněným 35 % skelných vláken.



Obrázek 28 Pohyblivá část vstřikovací formy s vybráním v dutině pro vložení insertu a aretačním šroubem



Obrázek 29 Model zastříknutého insertu s vtokem

6.5 Testování pevnosti spoje

Pro testování pevnosti spojení mezi insertem a polymerem byla zvolena zkouška tahem, která byla provedena pomocí univerzálního zkušebního trhacího stroje Zwick/Roell 1456. Stroj je vybaven snímačem zatížení do maximální síly zatížení 20 kN. Pro vyhodnocení měření byl používán software TestXpert v2.1. Všechna měření byla provedena a vyhodnocena za konstantních podmínek měření. Předzatížení bylo nastaveno na hodnotu 5 N, rychlost posuvu pohyblivé čelisti stroje během měření byla nastavena na hodnotu 20 mm/min, délka měření byla nastavena na hodnotu 5 mm. Pro každou povrchovou úpravu a každý druh polymeru bylo vyhodnoceno 5 vzorků. Z naměřených dat bylo provedeno porovnání získaných hodnot.

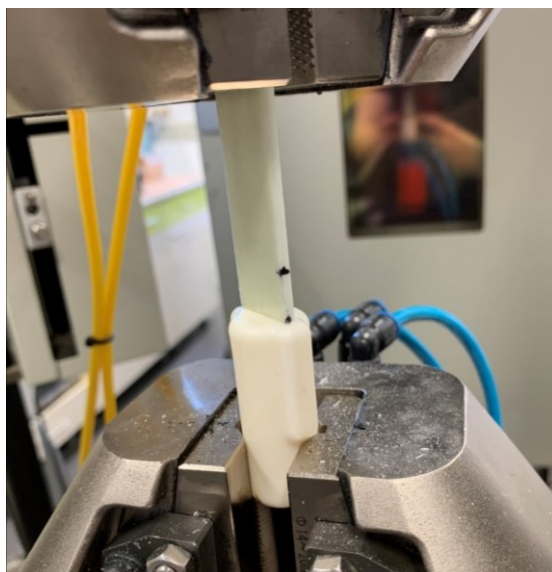


Obrázek 30 Univerzální trhací stroj Zwick/Roell 1456

Pro pevné a správné uchycení testovaných vzorků v čelistech trhacího stroje byly použity speciální pneumatické čelisti pro uchycení vzorku kruhového tvaru s nožním ovládáním. Trhací stroj bylo nutné před zahájením testování nejprve seřadit na vhodnou výchozí vzdálenost čelistí, která byla zvolena na 70 mm a maximální vzdálenost, o kterou se posune pohyblivá čelist stroje. Tato hodnota byla stanovena na 5 mm. Nejprve byl vzorek pevně uchycen do spodní, nepohyblivé čelisti a poté do horní pohyblivé čelisti. Po vynulování zatěžující síly bylo zahájeno měření.



Obrázek 31 Speciální pneumatické čelisti



Obrázek 32 Vzorek během testování

7 DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Cíl této diplomové práce spočíval v navržení materiálového složení vstříkované struktury a následném testování vlivu povrchových úprav insertů z kompozitního materiálu na pevnost spojení mezi insertem a vstříkovaným polymerem. Zastříkované inserty jsou vyrobeny z polyuretanového skelného kompozitu o rozměrech 20 mm x 120 mm x 3 mm. Dva druhy polymerů použitých při zastříkování insertů byly polyamid 66 s obchodním názvem Altech PA66 A 1000/310 IM a polyamid 66 plněný 35 % skelných vláken s obchodním označením Ultramid A3X2G7 PA66-GF35 FR(52).

Byla provedena analýza morfologie povrchů všech druhů povrchových úprav na insertech pomocí několika metod. Metoda SEM byla provedena pomocí přístroje Phenom Pro X, optická profilometrie pomocí přístroje Bruker Contour GT-K, kontaktní profilometrie pomocí přístroje Bruker DektakXT a kontaktní úhly pomocí systému pro vyhodnocení povrchové energie (SEE System) od společnosti Advex Instruments. Vstříkování proběhlo na elektrickém vstříkovacím stroji Mitsubishi 180 MEt III. Následné testování pevnosti spoje proběhlo na univerzálním trhačím stroji Zwick/Roell 1456.

7.1 Analýza morfologie povrchu kompozitních insertů

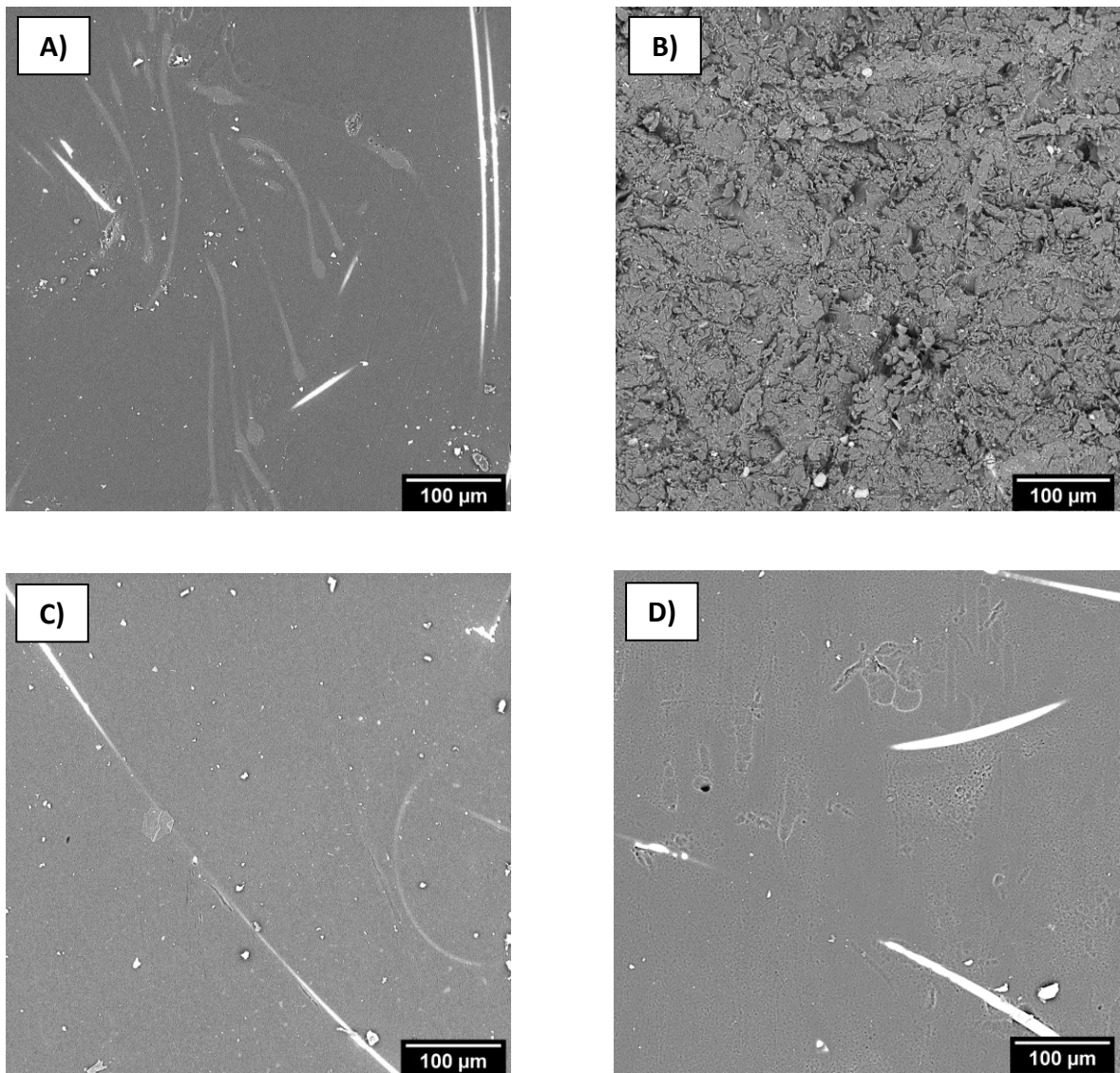
7.1.1 Skenovací elektronový mikroskop (SEM)

Mikrostruktury povrchů kompozitních insertů zkoumané pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) jsou zobrazeny na obrázku 33.

Obrázek 33 A) zobrazuje čistý, nijak neupravený povrch insertu a lze ho považovat za výchozí obraz pro vizuální porovnání s ostatními povrchovými úpravami.

Obrázek 33 B) zobrazuje povrch insertů s povrchovou úpravou pískováním. Na takto upraveném povrchu lze pozorovat vysokou drsnost povrchu a patrnou erodovanou strukturu.

Obrázek 33 C) a D) zobrazuje povrch kompozitních insertů s povrchovou úpravou plasmou po dobu 5 sekund (C) a 15 sekund (D). Na takto upravených površích lze pozorovat pouze minimální nebo velmi malé vizuální změny v morfologii povrchu insertů.



Obrázek 33 Mikrostruktura povrchů insertů A) Čistý povrch bez povrchové úpravy
B) Povrch po úpravě pískováním C) Povrch po úpravě plasmou 5 sekund
D) Povrch po úpravě plasmou 15 sekund

Povrch insertu upravený pomocí plasmy vykazuje pouze velmi malé změny v morfologii povrchu. Důvodem je skutečnost, že povrchová úprava pomocí plasmového paprsku povrch pouze čistí a aktivuje ho. Úprava povrchu pískováním vedla ke zvýšení drsnosti povrchu, protože se jedná o mechanické obrobění povrchu způsobené dopadajícím abrazivem velkou rychlostí na povrch insertu.

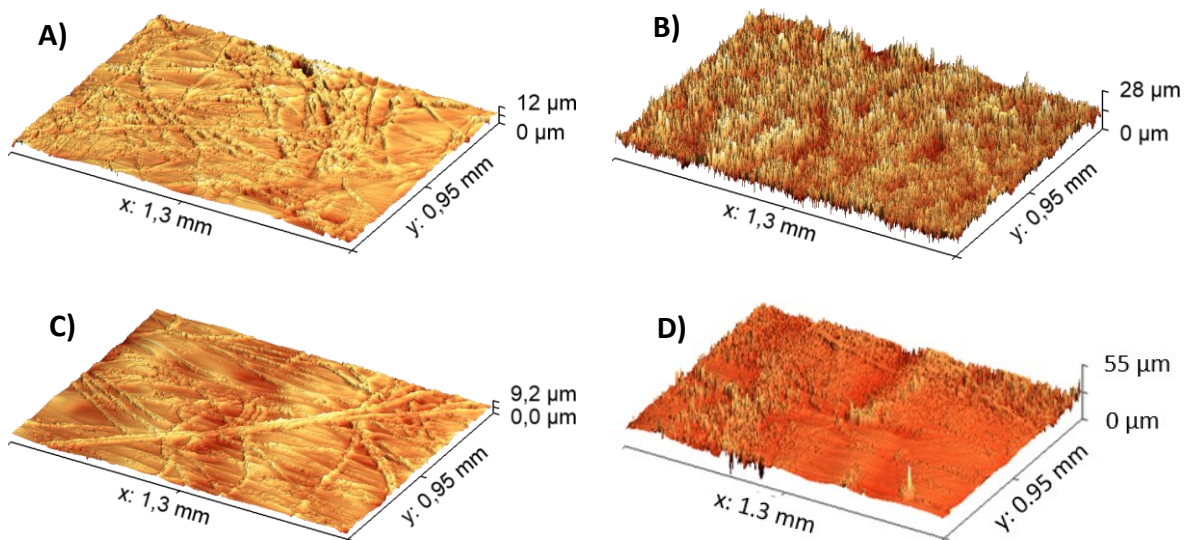
7.1.2 Drsnost povrchu

Při analýze drsnosti povrchu v souvislosti s pevností spojení dvou materiálů obecně platí, že drsnost povrchu a velikost povrchu výrazně ovlivňují adhezi. Topografie povrchu vykazující vysokou drsnost napomáhá vtékání polymerní taveniny do dutin na povrchu insertu a zvyšuje tak celkovou styčnou plochu.

Optická profilometrie

Topografie povrchů kompozitních insertů zkoumané pomocí optické profilometrie jsou zobrazeny na obrázku 34.

Nejnižší střední aritmetická hodnota výšky drsnosti povrchu (S_a) byla zjištěna u insertů s povrchovou úpravou pomocí plasmu po dobu 5 sekund (C). O desetinu vyšší drsnost vykazovaly inserty s povrchovou úpravou pomocí plasmu po dobu 15 sekund (D). Čistý povrch bez úprav (A) vykazoval poloviční drsnost, než úprava povrchu pískováním (C), která měla nejvyšší drsnost povrchu.



Obrázek 34 Optická topografie povrchů insertů A) Čistý povrch bez povrchové úpravy
B) Povrch po úpravě pískováním C) Povrch po úpravě plasmou 5 sekund
D) Povrch po úpravě plasmou 15 sekund

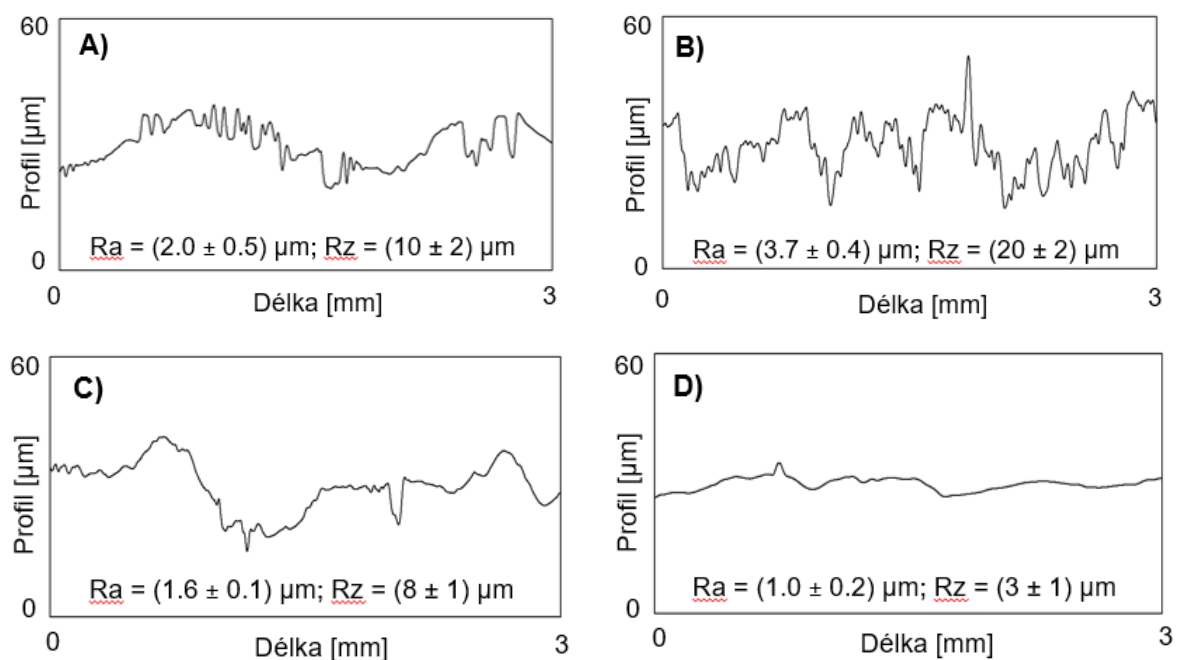
Tabulka 5 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti Sa [μm]

Povrchová úprava	Sa	Směrodatná odchylka
Čistý povrch bez povrchové úpravy	1,39	$\pm 0,06$
Povrch po úpravě pískováním	3,40	$\pm 0,30$
Povrch po úpravě plasmou 5 sekund	0,89	$\pm 0,07$
Povrch po úpravě plasmou 15 sekund	1,00	$\pm 0,30$

Kontaktní profilometrie

Topografie povrchů kompozitních insertů zkoumané pomocí kontaktní profilometrie jsou zobrazeny na obrázku 35.

Nejnižší střední aritmetická odchylka profilu drsnosti povrchu (R_a) a střední aritmetická hodnota maximálních a minimálních hodnot profilu povrchu (R_z) byla zjištěna u insertů s povrchovou úpravou pomocí plasmy po dobu 15 sekund (D). Vyšší drsnost vykazovaly inserty s povrchovou úpravou pomocí plasmy po dobu 5 sekund (C). Čistý povrch bez úprav (A) vykazoval poloviční drsnost, než úprava povrchu pískováním (B), která měla nejvyšší drsnost povrchu.



Obrázek 35 Kontaktní topografie povrchů insertů A) Čistý povrch bez povrchové úpravy B) Povrch po úpravě pískováním C) Povrch po úpravě plasmou 5 sekund D) Povrch po úpravě plasmou 15 sekund

Tabulka 6 Naměřené průměrné hodnoty drsností Ra a Rz [μm]

Povrchová úprava	Ra	Směrodatná odchylka Ra	Rz	Směrodatná odchylka Rz
Čistý povrch bez povrchové úpravy	2,0	$\pm 0,5$	10	± 2
Povrch po úpravě pískováním	3,7	$\pm 0,4$	20	± 2
Povrch po úpravě plasmou 5 sekund	1,6	$\pm 0,1$	8	± 1
Povrch po úpravě plasmou 15 sekund	1,0	$\pm 0,2$	3	± 1

7.1.3 Kontaktní úhly

Inserty z polyuretanového kompozitu s čistým povrchem bez úprav mají relativně nízké kontaktní úhly, které se pohybují okolo hodnoty 80° . Změny v kontaktních úhlech znamenají, že byla použita účinná povrchová úprava. Snížení kontaktních úhlů znamená zlepšení adheze mezi materiály a obecně vede ke zvýšení pevnosti spojení mezi insertem a polymerem.

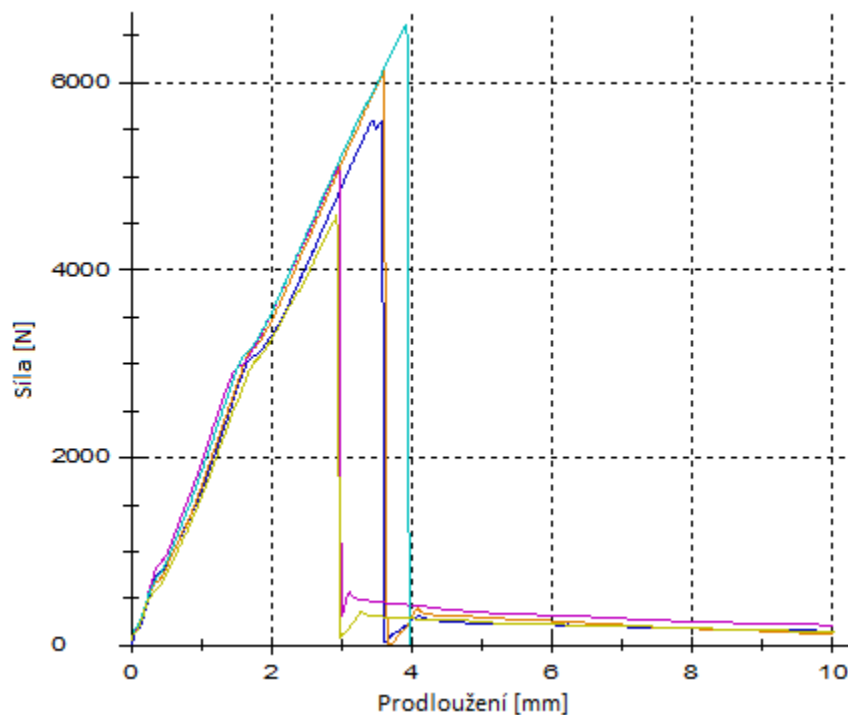
Výsledky měření kontaktních úhlů jsou uvedeny v tabulce 3. Je zřejmé, že po úpravě povrchu plasmou došlo k razantnímu snížení kontaktních úhlů. Povrchová úprava pomocí pískování kontaktní úhly jen mírně zvýšila, protože se změnila pouze topografie povrchu, nikoli chemická struktura na povrchu insertu.

7.2 Pevnost spojení mezi insertem a polymerem

Po provedení povrchových úprav bylo všech 8 sad kompozitních insertů po 5 kusech v každé sadě zastříknuto 2 druhy polymeru. 1 sada (5 kusů) od každé povrchové úpravy (celkem 4 sady, 20 kusů) byla zastříknuta polyamidem 66 a zbylé 4 sady byly zastříknuty polyamidem 66 plněným 35 % skelných vláken. Po vstříkování a dostatečné době kondicionování materiálu (více jak 72 hodin) byly provedeny zkoušky pevnosti spojení, kde byla sledována potřebná síla k vytržení kompozitního insertu z polymeru. Z naměřených hodnot se poté analyzoval vliv povrchových úprav na površích insertů z polyuretanového skelného kompozitu na pevnost spojení mezi insertem a polymerem. Na trhacím stroji byly použity speciální pneumatické čelisti navržené pro tvar vyrobených vzorků a délka pohyblivé čelisti trhacího stroje při procesu testování byla nastavena na 5 mm.

7.2.1 Pevnost spojení insertů s čistým povrchem bez úprav s PA66

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl bez povrchové úpravy a zastříknutý polyamidem 66. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 7.



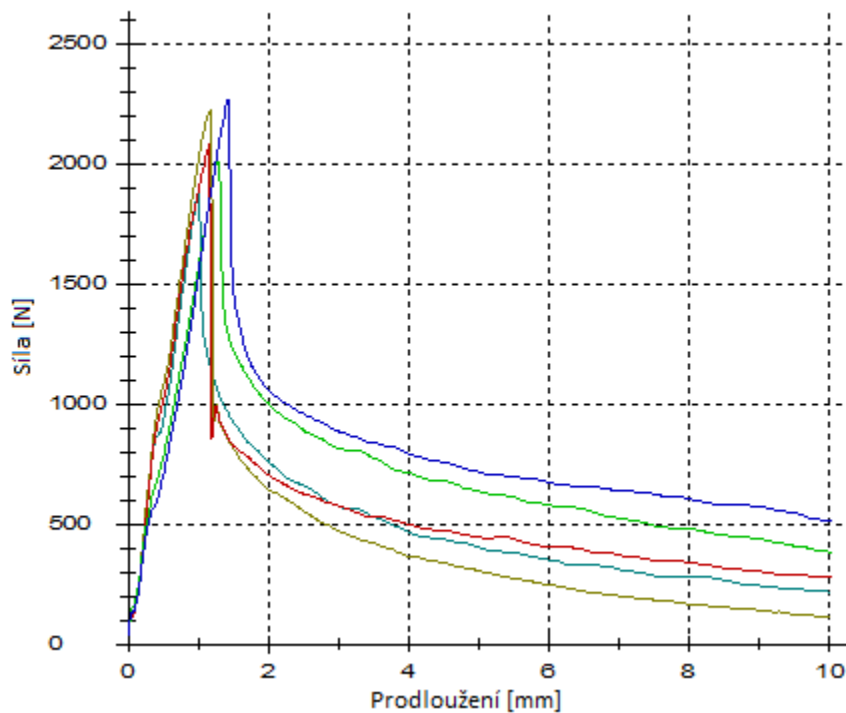
Obrázek 36 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s čistým povrchem bez úprav a polymerem PA66

Tabulka 7 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s povrchem bez úprav z polymeru PA66

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	5604,1
2	6119,6
3	5102,2
4	6625,5
5	4586,8
PRŮMĚR	5607,64
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 805,56

7.2.2 Pevnost spojení insertů s pískovaným povrchem s PA66

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl s povrchovou úpravou pískováním a zastříknutý polyamidem 66. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 8.



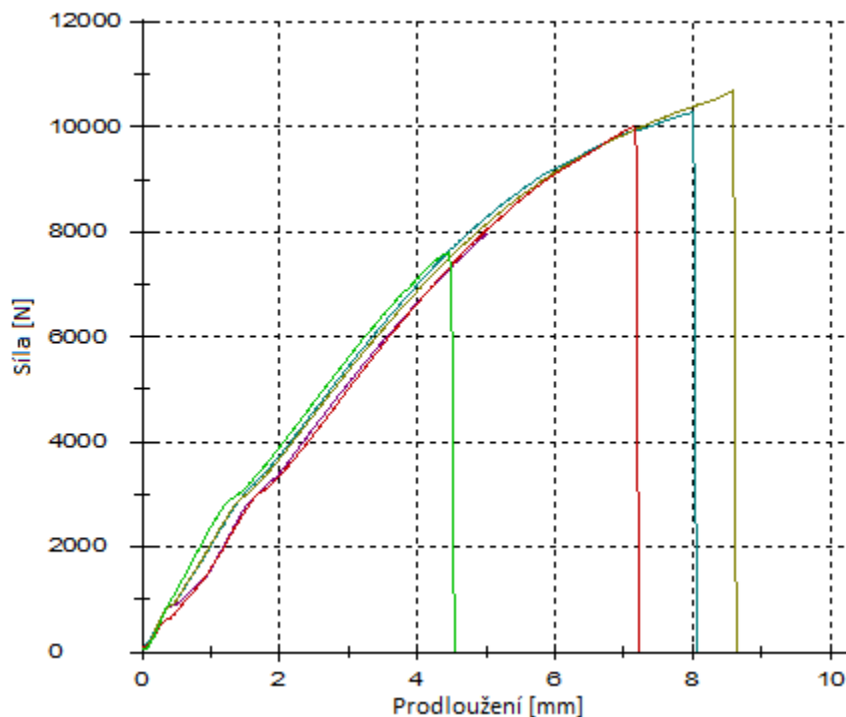
Obrázek 37 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s pískovaným povrchem a polymerem PA66

Tabulka 8 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytržení insertu s pískovaným povrchem z polymeru PA66

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	1884,9
2	2223,8
3	2084,2
4	2009,5
5	2270,6
PRŮMĚR	2094,60
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 157,32

7.2.3 Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 5 sekund s PA66

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl s úpravou povrchu plasmou po dobu 5 sekund a zastríknutý polyamidem 66. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 9.



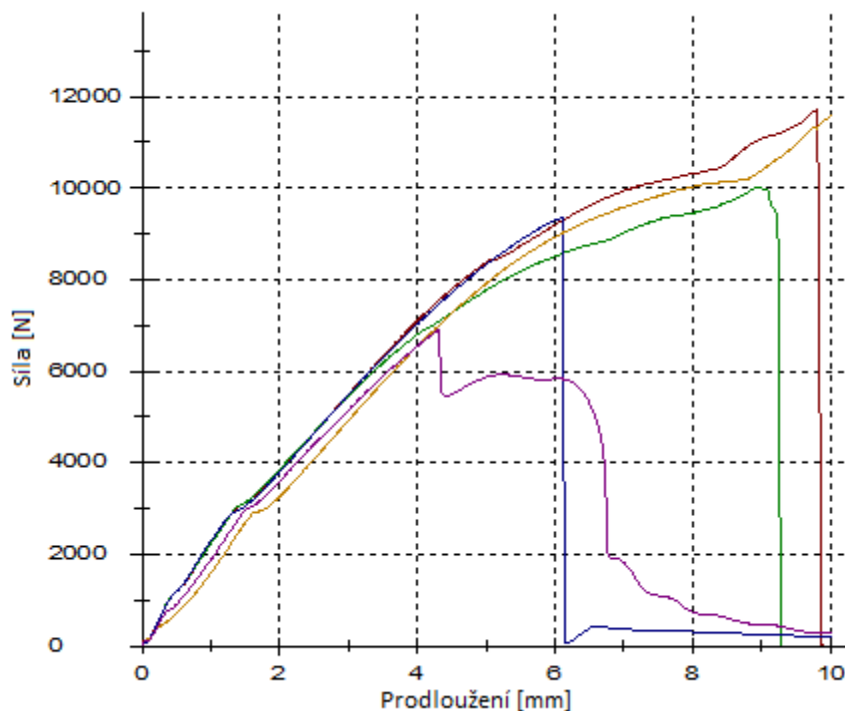
Obrázek 38 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 5 sekund a polymerem PA66

Tabulka 9 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 5 sekund z polymeru PA66

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	7976,5
2	10289,2
3	10689,1
4	10006,1
5	7595,9
PRŮMĚR	9311,36
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 1419,65

7.2.4 Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 15 sekund s PA66

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl s úpravou povrchu plasmou po dobu 15 sekund a zastríknutý polyamidem 66. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 10.



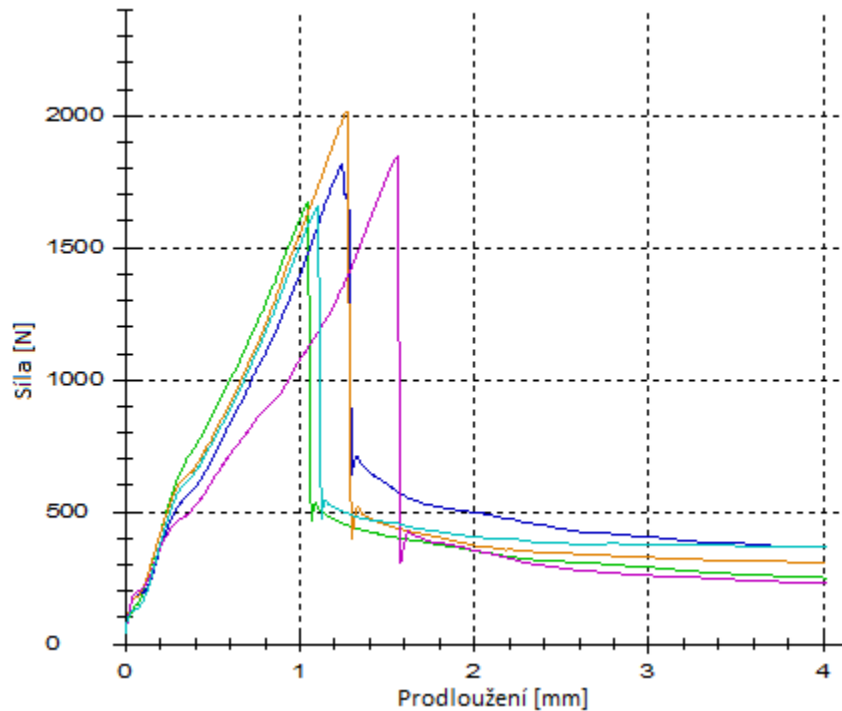
Obrázek 39 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 15 sekund a polymerem PA66

Tabulka 10 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 15 sekund z polymeru PA66

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	11743,2
2	10022,1
3	9353,1
4	11592,4
5	6907,7
PRŮMĚR	9923,70
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 1970,19

7.2.5 Pevnost spojení insertů s čistým povrchem bez úprav s PA66-GF35

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl bez povrchové úpravy a zastříknutý polyamidem 66 s 35 % skelných vláken. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 11.



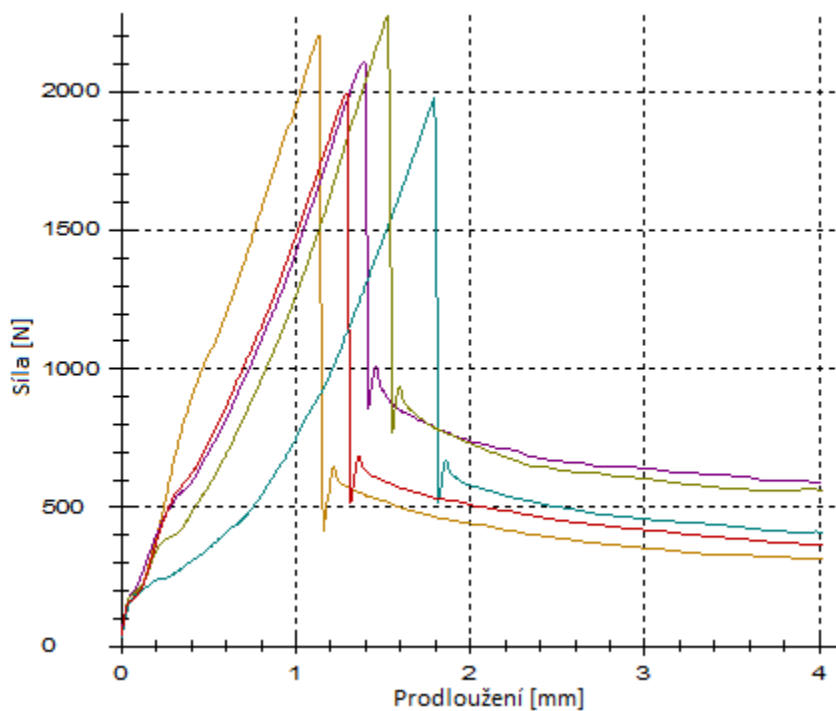
Obrázek 40 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s čistým povrchem bez úprav a polymerem PA66-GF35

Tabulka 11 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytržení insertu s povrchem bez úprav z polymeru PA66-GF35

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	1670,9
2	1814,9
3	2020,7
4	1847,4
5	1659,7
PRŮMĚR	1802,72
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 147,89

7.2.6 Pevnost spojení insertů s pískovaným povrchem s PA66-GF35

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl s povrchovou úpravou pískováním a zastříknutý polyamidem 66 s 35 % skelných vláken. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 12.



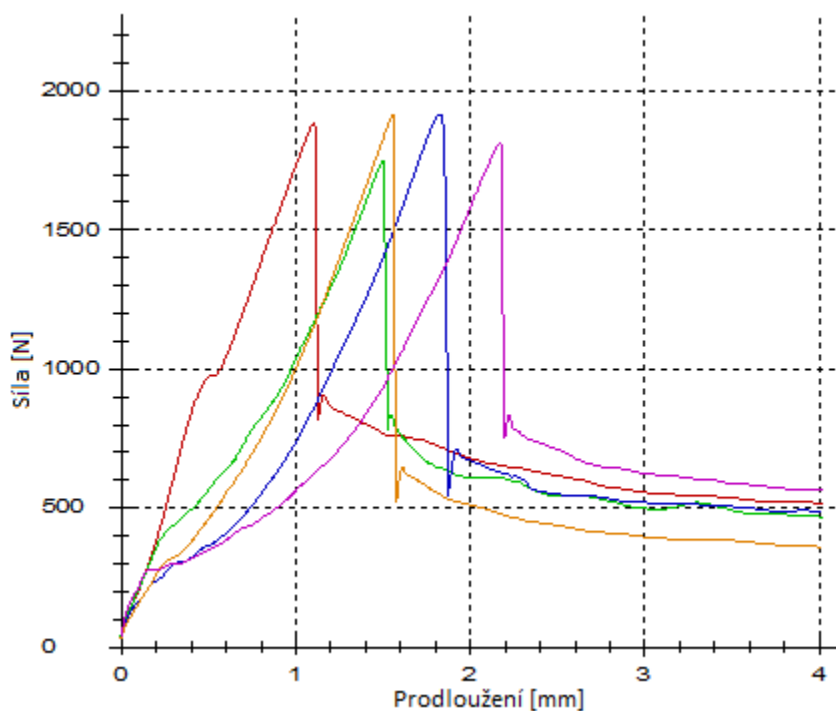
Obrázek 41 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s pískovaným povrchem a polymerem PA66-GF35

Tabulka 12 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytržení insertu s pískovaným povrchem z polymeru PA66-GF35

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	2205,0
2	2110,2
3	1982,6
4	2273,7
5	1995,9
PRŮMĚR	2113,48
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 127,49

7.2.7 Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 5 sekund s PA66-GF35

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl s úpravou povrchu plasmou po dobu 5 sekund a zastříknutý polyamidem 66 s 35 % skelných vláken. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 13.



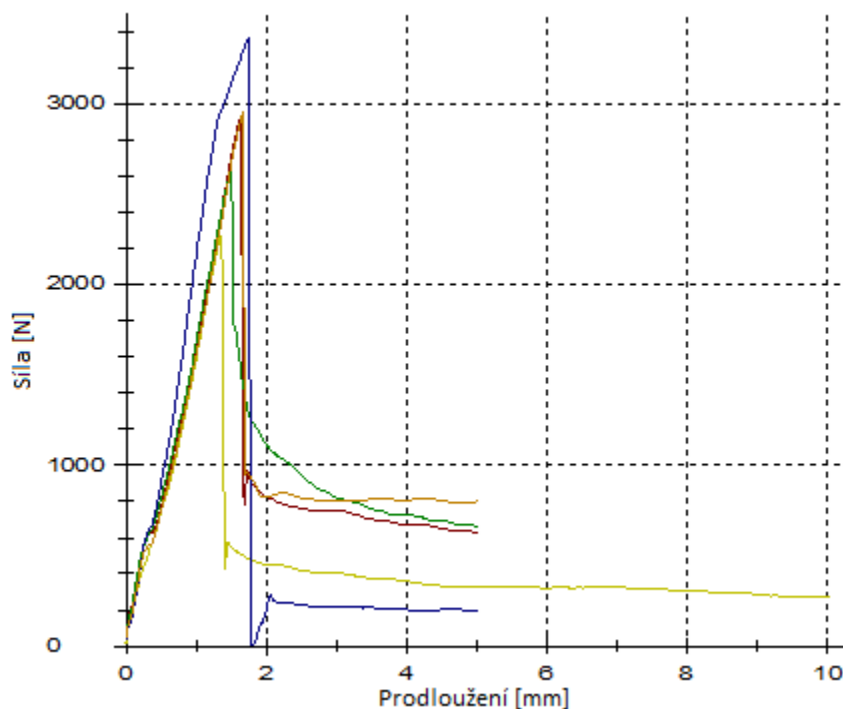
Obrázek 42 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 5 sekund a polymerem PA66-GF35

Tabulka 13 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytržení insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 5 sekund z polymeru PA66-GF35

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	1884,8
2	1748,8
3	1916,7
4	1915,5
5	1815,2
PRŮMĚR	1856,20
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 72,82

7.2.8 Pevnost spojení insertů s plasmovaným povrchem 15 sekund s PA66-GF35

Velikost síly potřebné pro vytržení insertu z polymeru byla měřena a zprůměrována na 5 kusech vzorků, kde kompozitní insert byl s úpravou povrchu plasmou po dobu 15 sekund a zastříknutý polyamidem 66 s 35 % skelných vláken. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 14.



Obrázek 43 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 15 sekund a polymerem PA66-GF35

Tabulka 14 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 15 sekund z polymeru PA66-GF35

Číslo měření	Naměřená síla [N]
1	2271,8
2	2943,6
3	2623,2
4	3371,6
5	2954,5
PRŮMĚR	2832,94
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	± 411,11

7.3 Vyhodnocení vlivu povrchových úprav insertů na pevnost spojení

Získané hodnoty kontaktních úhlů a drsností a jejich průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 15. Hodnoty pevnosti spojení uvedené v tabulce 16 byly počítány jako průměrná síla z průměru 5 měření z každé sady vzorků a maximální síla definuje maximální hodnotu dosaženou při testování 5 kusů z každé sady vzorků.

Tabulka 15 Naměřené průměrné hodnoty kontaktních úhlů a drsností

Povrchová úprava	Kontaktní úhly [°]	Drsnost Sa [μm]	Drsnost Ra [μm]	Drsnost Rz [μm]
Čistý povrch bez úprav	77,9	1,39	2,0	10
Pískování	80,2	3,40	3,7	20
Plasma 5 sekund	49,7	0,89	1,6	8
Plasma 15 sekund	49,1	1,00	1,0	3

Tabulka 16 Naměřené průměrné a maximální hodnoty pevnosti spojení

Povrchová úprava	PA66		PA66-GF35	
	Průměrná hodnota [N]	Maximální hodnota [N]	Průměrná hodnota [N]	Maximální hodnota [N]
Čistý povrch bez úprav	5607,6	6625,5	1802,7	2020,7
Pískování	2094,6	2270,6	2113,5	2273,7
Plasma 5 sekund	9311,4	10689,1	1856,2	1916,7
Plasma 15 sekund	9923,7	11743,2	2832,9	3371,6

Z uvedených dat vyplývá, že nejvyšší drsnosti povrchu ze všech zkoumaných povrchů měla povrchová úprava pískováním. Z hlediska drsnosti povrchu Ra čistý povrch insertu bez úprav proti úpravě pískováním vykazuje drsnost téměř dvakrát nižší a až třetinovou drsnost při úpravě povrchu plasmou.

Hodnoty pevností pojení mezi kompozitním insertem a polyamidem 66 jsou násobně vyšší než inserty zastříknuté plněným polyamidem 66 35 % skelných vláken.

Vlivy povrchových úprav insertů při zastříknutí čistým polyamidem jsou velmi výrazné. Nejlepší vlastnosti byly zjištěny u vzorků s povrchem upraveným plasmou po dobu 15 sekund vykazující velmi dobré hodnoty pevnosti spojení, které přesahují pevnost polymeru v tahu, ačkoli jejich drsnost povrchu je nejnižší ze všech analyzovaných povrchů. Při testování těchto vzorků nedocházelo k vytržení insertů, nýbrž k přetržení plastové části vzorku. K přetržení plastové části vzorku při testování docházelo jak u vzorků ošetřených plasmou po dobu 15 sekund tak i u vzorků ošetřených plasmou po dobu 5 sekund, u kterých pevnost spojení byla také velmi vysoká. Inserty s čistým povrchem bez úprav také vykazovaly dobré vlastnosti. Inserty s povrchovou úpravou pískováním, která měla nejvyšší drsnost povrchu, dopadly z testovaných úprav nejhůře.



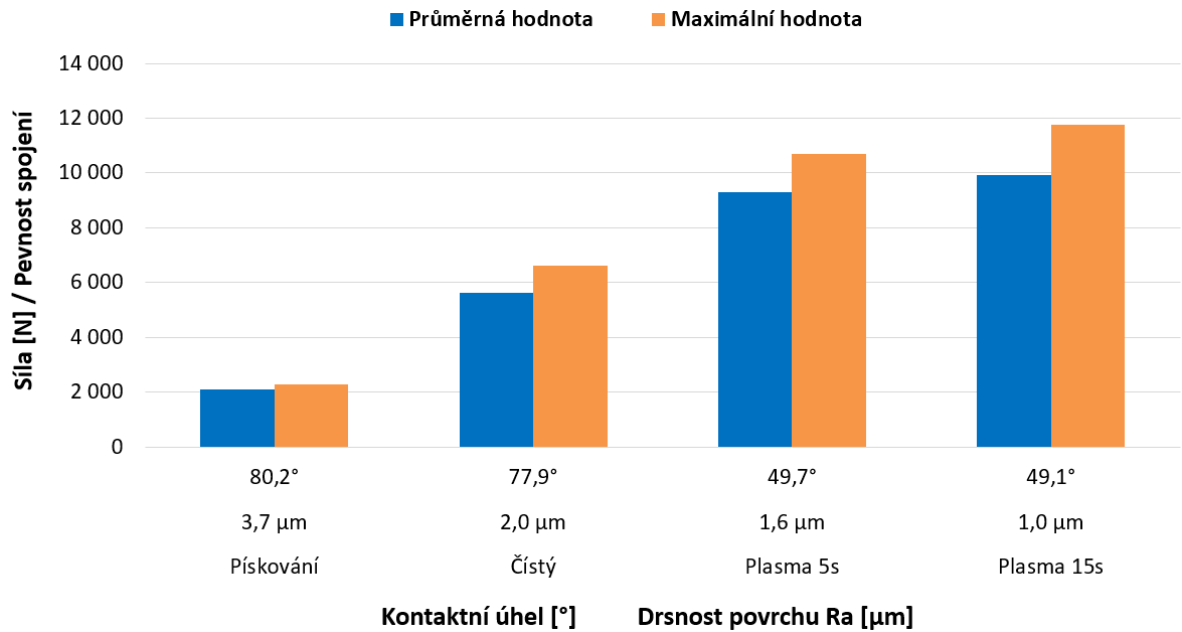
Obrázek 44 Vzorky zastříknuté PA66 s povrchovou úpravou plasmou 5 sekund (vlevo) a 15 sekund (vpravo) po testování tahem s přetrženou plastovou částí

U plněného polyamidu skelnými vlákny nejsou vlivy povrchových úprav insertů na pevnost spojení příliš výrazné. Všechny povrchové úpravy vykazují pevnost spojení v rozmezí 1800–2800 N. Stejně jako u neplněného polyamidu 66 nejlépe dopadly vzorky s povrchovou úpravou plasmou po dobu 15 sekund. Nejhorše pak dopadly vzorky s čistým povrchem bez úprav.

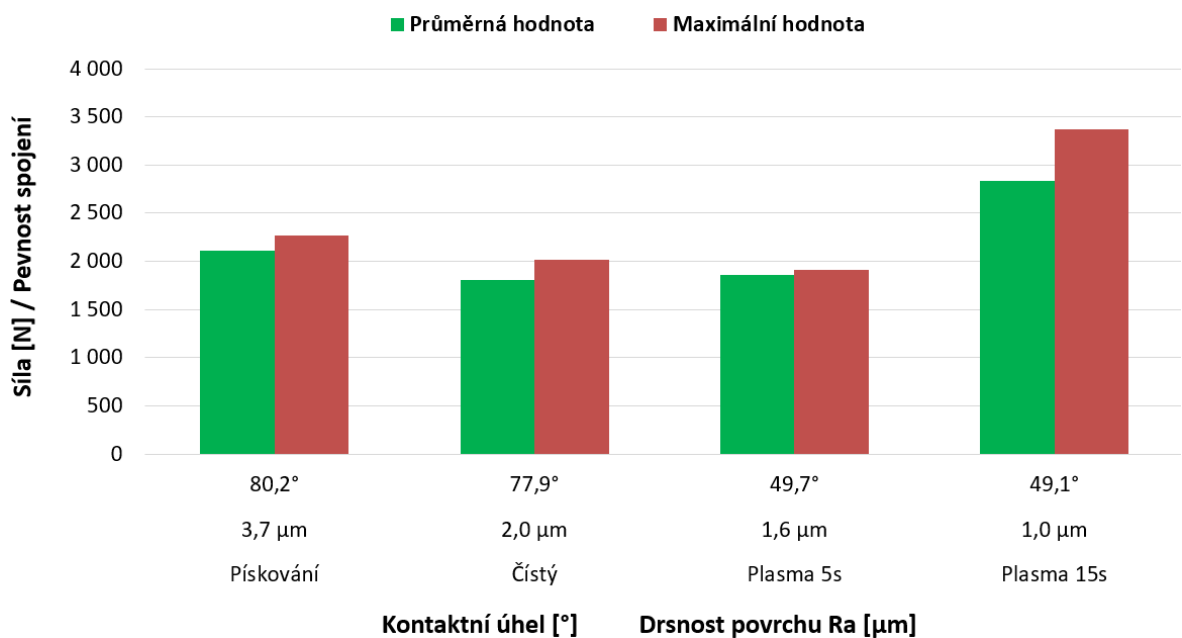


Obrázek 45 Vzorek zastříknutý PA66-GF35 s povrchovou úpravou plasmou 15 sekund po testování tahem

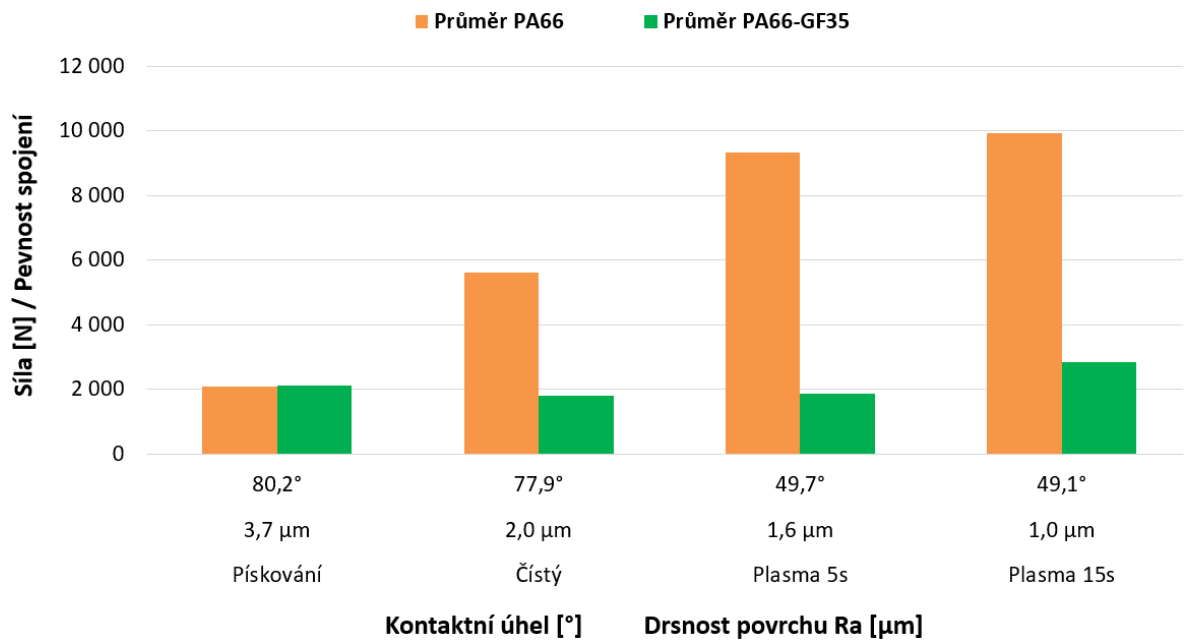
Z následujících grafů vyhodnocení měření pevnosti je patrné, že nelze vyvodit závěr, že pevnost spojení je přímo úměrná drsnosti povrchu, neboť povrchové úpravy plasmou po dobu 15 sekund měly největší pevnost spojení, ale nejnižší drsnost povrchu u obou zastříkovaných polyamidů. Navzdory tomu lze u neplněného polyamidu 66 potvrdit skutečnost, že čím nižší je kontaktní úhel na povrchu materiálu, tím lépe k sobě materiály přilnou a tím je vyšší pevnost spojení mezi těmito materiály. Tato skutečnost byla potvrzena i v předešlém výzkumu při testování povrchových úprav na hliníkovém insertu s polymerem PPS [34]. U plněného polyamidu toto tvrzení neplatí. Z grafického porovnání vyplývá, že neplněný polyamid má mnohem lepší schopnost přilnout k povrchu kompozitního insertu než plněný polyamid.



Obrázek 46 Grafické znázornění kontaktních úhlů, drsnosti povrchu Ra a síly (pevnosti spojení) u polymeru PA66



Obrázek 47 Grafické znázornění kontaktních úhlů, drsnosti povrchu Ra a síly (pevnosti spojení) u polymeru PA66-GF35



Obrázek 48 Grafické porovnání průměrných pevností spojení mezi neplněným a plněným polyamidem 66

ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce je zkoumání vlivů povrchových úprav insertů na pevnost spojení vstřikovaných struktur. Cíle práce byly vypracovat literární rešerši na zadané téma práce, navrhnout materiálové složení vstřikované struktury, zpracovat experimentální část práce a vyhodnotit a stanovit závěry výsledků diplomové práce.

Literární rešerše popisuje témata: kompozitní materiály, jejich rozdělení, technologie výroby a vlastnosti, polymery pro vstřikování, jejich rozdělení a vlastnosti, zastříkování insertů, materiály insertů a jejich využití a vliv povrchových úprav povrchu insertů na pevnost spojení.

V praktické části práce byly nejprve zvoleny materiály vstřikované struktury, a to inserty z polyuretanového kompozitu vyztuženého skelnými vlákny a 2 druhy polymerů pro zastříkování insertů: polyamid 66 (PA66) a polyamid 66 plněný 35 % skelných vláken (PA66-GF35). Kompozitní inserty byly nařezány na přesné rozměry a připraveny na provedení povrchových úprav. Na insertech byly provedeny 4 zvolené povrchové úpravy: povrchová úprava pískováním a úprava povrchu plasmovým paprskem po dobu 5 a 15 sekund v 6 bodech na povrchu insertu. Jeden druh povrchu byl bez povrchových úprav. K úpravám povrchu bylo použito pískovací zařízení SBC420 a zařízení s plasmovým paprskem PlasmaBeam PC Duo. Poté byla vyhodnocena morfologie povrchu pomocí metody SEM, drsnost povrchu pomocí optické a kontaktní profilometrie a kontaktní úhly pomocí kamerového systému. Vstřikování polymerů probíhalo na elektrickém vstřikovacím stroji Mitsubishi 180 MEt III. Pevnosti spojení mezi inserty a zastříkнутými polymery byly testovány a vyhodnoceny na univerzálním trhacím stroji Zwick/Roell 1456.

Pro konkrétní kombinaci materiálů vstřikované struktury zvolené v experimentu této diplomové práce lze závěry z vyhodnocených dat a grafů formulovat takto. Z výsledků pevnosti spojení vyplívá, že vhodná volba kombinace materiálů insertu a polymeru je zásadní. Zatímco plněný polyamid vykazoval pevnost spojení v rozmezí 1800–2800 N, neplněný polyamid vykazoval násobně vyšší hodnoty pevnosti v rozmezí 5600–9900 N s výjimkou povrchové úpravy insertu pískováním, kde výsledky pevnosti spojení jsou u obou polymerů srovnatelné. Výrazný rozdíl v pevnosti nastal u čistého povrchu insertu bez povrchové úpravy, a především pak u insertů s povrchem upraveným plasmou.

Z hlediska kontaktních úhlů, lze vyvodit závěr, že menší kontaktní úhly vykazují větší pevnost spojení u obou zkoumaných polymerů, kde mnohem lepších výsledků dosáhl neplněný polyamid. Stejný závěr lze vyvodit i z hlediska drsnosti povrchu, kde toto tvrzení však platí pouze pro neplněný polyamid, nikoli pro plněný polyamid skelnými vlákny.

Na základě vyhodnocení výsledků pevnosti lze dále říci, že u plněného polyamidu všechny provedené povrchové úpravy vykazují lepší pevnost spojení než čistý povrch insert bez úprav.

Vyhodnocení dat získaných během experimentu v této práci potvrzují výsledky a závěry předešlých vědeckých výzkumů a experimentů v oblasti zkoumání vlivů povrchových úprav insertů na pevnost spojení mezi vybranými materiály, že úpravy povrchů insertů zvyšují pevnost spojení. Současně jsou tyto výsledky důležité pro další vývoj a výzkum v oblasti zastříkávání insertů a zkoumání vlivů povrchových úprav insertů na pevnost spojení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TAHA, Mohamed A., Ahmed M. EL-SABBAGH a Iman M. TAHA, ed. *Trends in Composite Materials and their Design*. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2010, 292 s. ISBN 978-0-87849-301-2.
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] *HLH RAPID – Carbon Fibre and Composites* [online]. [cit. 2024-10-03]. Dostupné z: <https://hlhrapid.com/composites-carbon-fibre/>
- [4] S, Prashanth, Subbaya KM, Nithin K a Sachhidananda S. Fiber Reinforced Composites – A Review. *Journal of Material Science & Engineering* [online]. 2017, 06(03) [cit. 2023-04-10]. ISSN 21690022. Dostupné z: doi:10.4172/2169-0022.1000341
- [5] ARUN KUMAR, Sharma, Bhandari RAKESH, Aherwar AMIT a Rimašauskiene RUTA. Matrix materials used in composites: A comprehensive study. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 1559-1562.
- [6] MALLICK, P.K. *Processing of Polymer Matrix Composites*. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4665-7822-7.
- [7] HARRIS, Bryan. *Engineering Composite Materials*. 2nd edition. Londýn: 10M Communications, 1999, 314 s. ISBN 978-1-86125-032-2.
- [8] HAVEL Composites s.r.o.: *Technologie výroby kompozitů* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/uploads/files/Technologie%20v%C3%BDroby%20kompozit%C5%AF.pdf>
- [9] STRONG, A. Brent. *Fundamentals of Composites Manufacturing – Materials, Methods, and Applications*. 2nd edition. Society of Manufacturing Engineers, 2008, 640 s. ISBN 978-0-87263-854-9.
- [10] WANBERG, John. *Composite Materials: Fabrication Handbook #2*. Wolfgang Publications, 2010, 144 s. ISBN 978-1-929133-93-2.
- [11] LENGSELD, Hauke, Felipe WOLFF-FABRIS, Johannes KRÄMER, Javier LACALLE a Volker ALTSTÄDT. *Composite Technology: Prepregs and Monolithic Part Fabrication Technologies*. Mnichov: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-599-9.

- [12] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/> –
<https://drive.google.com/file/d/1XXpHtDG9nm1Mv6zOd38ODPkXI-ABjUpU/view>
- [13] HU, Ning, ed. *Composites and Their Properties* [online]. InTech, 2012 [cit. 2023-04-16]. ISBN 978-953-51-0711-8. Dostupné z: doi:10.5772/2816
- [14] BAI, Jiping. *Advanced fibereinforced polymer (FRP) composites for structural applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. ISBN 978-0-85709-418-6.
- [15] STOKKE, Douglas D., Qinglin WU a Guangping HAN. *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites* [online]. Chichester: Wiley, 2013 [cit. 2023-04-17]. ISBN 9780470710913. Dostupné z: doi:10.1002/9780470711804
- [16] *CASTRO COMPOSITES: Prepregs* [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.castrocompositesshop.com/en/prepregs/1536-aesthetic-carbon-epoxy-prepreg-vc212-c245t-hs-42-rw-twill-2x2-of-245-gm2-1250-wide.html>
- [17] XU, B. a H.Y LI. *Advanced Composite Materials and Manufacturing Engineering*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2012.
- [18] MORGAN, Peter. *Carbon fibers and their composites*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. ISBN 0-8247-0983-7.
- [19] DUCHÁČEK, Vratislav, 2011. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 276 s. ISBN 9788070807880.
- [20] BĚHÁLEK, Luboš, 2016. *Polymery* [online]. Code Creator s.r.o. [cit. 2024-04-25]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [21] KAVAN, David, 2016. *Návrh technologie výroby dveřní průchodky z elastomeru: Obr. 7 Základní členění polymerů* [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127866
- [22] LENFELD, Petr. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti*. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC – Katedra tváření kovů a plastů [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [23] ZEMAN, Lubomír, 2018. *Vstříkávání plastů - Teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 464 s. ISBN 978-80-271-0614-1.

- [24] IBEH, Christopher C., 2011. *Thermoplastic Materials - Properties, Manufacturing Methods, and Applications* [online]. Boca Raton: CRC Press [cit. 2024-04-25]. ISBN 9780429150968. Dostupné z: doi:10.1201/b13623
- [25] BĚHÁLEK, Luboš, 2016. *Polymery* [online]. Code Creator s.r.o. [cit. 2024-04-25]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/06.html>
- [26] VEEJAY PLASTIC, 2020. *Difference between Thermoset & Thermoplastic Injection Molding* [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <http://www.veejayplastic.com/blog/difference-between-thermoset-thermoplastic-injection-molding/>
- [27] ADRECO PLASTICS LTD. *List of Thermoplastics* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://adrecoplastics.co.uk/list-of-thermoplastics/>
- [28] OSBOURNE INDUSTRIES, 2018. *Uses & Applications of Thermosetting Plastics* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.osborneindustries.com/news/thermosetting-plastic-uses-applications/>
- [29] RAPIDDIRECT CO., 2022. *The Way to Combine Metal and Plastic: Insert Molding* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2022/10/the-way-to-combine-metal-and-plastic-insert-molding/19532>
- [30] CARDEX. *Insert Molding* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.cadrex.com/insert-molding>
- [31] NOVÁK, Libor, Ladislav FOJTL, Markéta KADLEČKOVÁ, et al. *Surface Modification of Metallic Inserts for Enhancing Adhesion at the Metal–Polymer Interface*. *Polymers* [online]. 2021, 13(22) [cit. 2023-04-17]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym13224015
- [32] Manufacturing Guide. *Injection molding with an insert* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/injection-molding-insert>
- [33] WAYKEN RAPID MANUFACTURING, 2023. *Insert Molding Explained: Process And Design Considerations* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://waykenrm.com/blogs/what-is-insert-molding/>
- [34] MATTA, Ashish, Tomas SEDLACEK, Marketa KADLECKOVA a Anezka LENGALOVA. *The Effect of Surface Substrate Treatments on the Bonding Strength of*

- Aluminium Inserts with Glass-Reinforced Poly(phenylene) Sulphide. Materials* [online]. 2022, 15(5) [cit. 2023-04-17]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma15051929
- [35] FRAUHOFFEN IKTS, 2019. *Ceramic mold inserts for injection molding* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: https://www.ikts.fraunhofer.de/content/dam/ikts/downloads/annual_reports/jb2019/15_Ceramic_mold_inserts_for_injection_molding.pdf
- [36] SOCIETY OF PLASTICS ENGINEERS, 2014. *ANTEC 2014 - Proceedings of the Technical Conference & Exhibition, Las Vegas, Nevada, USA April 28-30, 2014*. Society of Plastics Engineers (SPE). ISBN 978-0-9850112-4-6.
- [37] RAJ PRODUCTS. *Brass Moulding Inserts* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: https://www.rajproducts.com/brass_moulding_inserts.html
- [38] DIADO METAL. *Insert Molding Products* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.daidometal.com/product/insert-molding-product/>
- [39] OLIVEIRA, Michelle Leal et al., 2021. Long-term bond strength of glass fiber post to composite resin does not depend on surface treatment with silane coupling agent or universal adhesive. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES* [online]. ELSEVIER SCI, (Volume 110) [cit. 2024-01-08]. ISSN 0143-7496. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijadhadh.2021.102931
- [40] GRUJICIC, M. et al., 2008. An overview of the polymer-to-metal direct-adhesion hybrid technologies for load-bearing automotive components. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. (Volume 197), 363-373 [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.06.058
- [41] ANDRZEJEWSKI, Jacek, Piotr PRZYSZCZYPKOWSKI a Marek SZOSTAK, 2018. Development and characterization of poly(ethylene terephthalate) based injection molded self-reinforced composites. Direct reinforcement by overmolding the composite inserts. *MATERIALS & DESIGN* [online]. ELSEVIER SCI, (Volume 153), 273-286 [cit. 2024-01-08]. ISSN 0264-1275. Dostupné z: doi:10.1016/j.matdes.2018.04.084
- [42] SEDONJA, Stefan et al., 2022. The adhesion of aluminium inserts in epoxy composites: The role of surface pre-treatment. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES* [online]. ELSEVIER SCI, (Volume 118) [cit. 2024-01-08]. ISSN 0143-7496. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijadhadh.2022.103196

- [43] UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZÍNĚ – Ústav fyziky a materiálového inženýrství. *Kontrolní a zkušební metody: Příprava zkušebních těles a kondicionání* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_08.pdf
- [44] IndiaMART. *IsoMet 4000 Precision Saw* [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/isomet-4000-precision-saw-10723659033.html>
- [45] Lab Bulletin. *PHENOM PRO X* [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.labbulletin.com/articles/phenom-pro-x-the-solution-for-any-micro-analytical-challenge>
- [46] PCB Shop. *Bruker Contour Optical Profiler* [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: https://www.pcbshop.org/tw/supplier/product_details.asp?ProID=2563&SupID=1598
- [47] Bruker. *DektakXT* [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/test-and-measurement/stylus-profilometers/dektakxt.html>
- [48] Poziadavka.sk. *Plne elektrický vstrekovací stroj MITSUBISHI 180 MEt3* [online]. [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.poziadavka.sk/ponuky/ponuka-185493/Plne-elektricky-vstrekovaci-stroj-MITSUBISHI-180-MEt3>
- [49] SPECTRA SPOL. S.R.O. *Lusin Clean L 51* [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.spectrachemie.cz/produkty/lusin-clean-l-51>
- [50] SPECTRA SPOL. S.R.O. *Lusin Alro OL 151* [online]. [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://www.spectrachemie.cz/produkty/lusin-alro-ol-151>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
%	Procenta
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
atd.	A tak dále
cm	Centimetr
EP	Epoxidová pryskyřice
Et	Modul pružnosti
ε_b	Poměrné prodloužení při přetržení
IPA	Isopropylalkohol
kHz	Kilohertz
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
l/min	Litrů za minutu
mm	Milimetr
mm/min	Milimetrů za minutu
mm/s	Milimetrů za sekundu
MPa	Megapascal
N	Newton
např.	Například
PA6	Polyamid 6
PA66	Polyamid 66
PA66-GF35	Polyamid 66 s 35 % skelných vláken
PBT	Polybutylentereftalát

PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PEEK	Polyetereterketon
PEI	Polyeterimid
PET	Polyetylentereftalát
PF	Formaldehydová pryskyřice
PMMA	Polymethylmetakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polysyten
PVC	Polyvinylchlorid
Ra	Střední aritmetická odchylka profilu drsnosti povrchu
RTM	Resin Transfer Molding
Rz	Střední aritmetická hodnota maxim a minim profilu drsnosti povrchu
s	Sekunda
Sa	Střední aritmetická hodnota výšky drsnosti povrchu
SEM	Skenovací elektronový mikroskop
SMC	Sheet Molding Compound
T _f	Teplota viskózního toku
T _g	Teplota skelného přechodu
T _m	Teplota tavení
T _z	Teplota degradace
tzv.	Takzvaně
μl	Mikrolitr
μm	Mikrometr
UP	Polyesterová pryskyřice
W	Watt

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Automobilové díly z kompozitního materiálu z uhlíkových vláken [3]	13
Obrázek 2 Prepreg z uhlíkových vláken [16]	20
Obrázek 3 Základní rozdělení polymerních materiálů [21]	23
Obrázek 4 Graf znázorňující závislost modulu pružnosti (E_t) a poměrného prodloužení při přetržení (ϵ_b) na teplotě – amorfni termoplasty [25]	26
Obrázek 5 Graf znázorňující závislost modulu pružnosti (E_t) a poměrného prodloužení při přetržení (ϵ_b) na teplotě – semikrystalické termoplasty [25]	27
Obrázek 6 a) výrobky z termoplastů b) výrobky z reaktoplastů [20]	29
Obrázek 7 Insert z kovového materiálu zastříknutý polymerem [30]	30
Obrázek 8 Schéma výroby šroubováku [32]	31
Obrázek 9 Mosazné, ocelové a hliníkové inserty [37]	34
Obrázek 10 Díly vyrobené zastříkáním [38]	35
Obrázek 11 Kompozitní inserty před provedením povrchových úprav	44
Obrázek 12 Pila přesná ISOMET 4000 [44]	45
Obrázek 13 Řezání vzorků na přesnou délku	46
Obrázek 14 Pískovací zařízení SBC420 od společnosti Reno-Tech s.r.o.	47
Obrázek 15 Detail povrchu insertů po úpravě pískováním	48
Obrázek 16 Schéma jedné z trysek zařízení s plasmovým paprskem od společnosti Deiner Electronics [34]	49
Obrázek 17 Zařízení PlasmaBeam PC Duo od společnosti Deiner Electronics při aktivním použití	49
Obrázek 18 Detail povrchu insertu po úpravě plasmou při nastavování optimální vzdálenosti trysek	50
Obrázek 19 Elektronový mikroskop Phenom Pro X [45]	51
Obrázek 20 Optický profilometr Bruker Contour GT-K [46]	51
Obrázek 21 Kontaktní profilometr Bruker DektakXT [47]	52
Obrázek 22 Zařízení pro měření kontaktních úhlů od společnosti Advex Instruments	53
Obrázek 23 Nanesené kapky vody na opískovaný povrch zkoumaného vzorku o objemu 10 μ l pomocí mikropipety	54
Obrázek 24 Vyhodnocení kontaktních úhlů pomocí počítačového softwaru	54
Obrázek 25 Schéma s rozměry zastříknutého insertu na modelu	56
Obrázek 26 Vstřikovací stroj Mitsubishi 180 MEt III [48]	56
Obrázek 27 Prostředky Lusin Clean L 51 a Lusin Alro OL 151 [49, 50]	57
Obrázek 28 Pohyblivá část vstřikovací formy s vybráním v dutině pro vložení insertu a aretačním šroubem	58
Obrázek 29 Model zastříknutého insertu s vtokem	58

Obrázek 30 Univerzální trhací stroj Zwick/Roell 1456.....	59
Obrázek 31 Speciální pneumatické čelisti	60
Obrázek 32 Vzorek během testování	60
Obrázek 33 Mikrostruktura povrchů insertů A) Čistý povrch bez povrchové úpravy B) Povrch po úpravě pískováním C) Povrch po úpravě plasmou 5 sekund D) Povrch po úpravě plasmou 15 sekund.....	62
Obrázek 34 Optická topografie povrchů insertů A) Čistý povrch bez povrchové úpravy B) Povrch po úpravě pískováním C) Povrch po úpravě plasmou 5 sekund D) Povrch po úpravě plasmou 15 sekund.....	63
Obrázek 35 Kontaktní topografie povrchů insertů A) Čistý povrch bez povrchové úpravy B) Povrch po úpravě pískováním C) Povrch po úpravě plasmou 5 sekund D) Povrch po úpravě plasmou 15 sekund.....	64
Obrázek 36 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s čistým povrchem bez úprav a polymerem PA66	66
Obrázek 37 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s pískovaným povrchem a polymerem PA66	67
Obrázek 38 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 5 sekund a polymerem PA66	68
Obrázek 39 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 15 sekund a polymerem PA66	69
Obrázek 40 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s čistým povrchem bez úprav a polymerem PA66-GF35.....	70
Obrázek 41 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s pískovaným povrchem a polymerem PA66-GF35.....	71
Obrázek 42 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 5 sekund a polymerem PA66-GF35.....	72
Obrázek 43 Graf průběhů zatěžujících sil na vzorek s úpravou povrchu plasmou 15 sekund a polymerem PA66-GF35.....	73
Obrázek 44 Vzorky zastříknuté PA66 s povrchovou úpravou plasmou 5 sekund (vlevo) a 15 sekund (vpravo) po testování tahem s přetrženou plastovou částí.....	75
Obrázek 45 Vzorek zastříknutý PA66-GF35 s povrchovou úpravou plasmou 15 sekund po testování tahem	76
Obrázek 46 Grafické znázornění kontaktních úhlů, drsnosti povrchu Ra a síly (pevnosti spojení) u polymeru PA66	77
Obrázek 47 Grafické znázornění kontaktních úhlů, drsnosti povrchu Ra a síly (pevnosti spojení) u polymeru PA66-GF35.....	77
Obrázek 48 Grafické porovnání průměrných pevností spojení mezi neplněným a plněným polyamidem 66	78

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti klimatu podle geografického rozdělení	40
Tabulka 2 Doba kondicionování.....	41
Tabulka 3 Naměřené hodnoty kontaktních úhlů za použití destilované vody [°].....	53
Tabulka 4 Nastavení procesních podmínek při vstřikování.....	57
Tabulka 5 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti Sa [μm].....	64
Tabulka 6 Naměřené průměrné hodnoty drsností Ra a Rz [μm]	65
Tabulka 7 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s povrchem bez úprav z polymeru PA66	66
Tabulka 8 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s pískovaným povrchem z polymeru PA66	67
Tabulka 9 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 5 sekund z polymeru PA66	68
Tabulka 10 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 15 sekund z polymeru PA66	69
Tabulka 11 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s povrchem bez úprav z polymeru PA66-GF35.....	70
Tabulka 12 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s pískovaným povrchem z polymeru PA66-GF35.....	71
Tabulka 13 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 5 sekund z polymeru PA66-GF35	72
Tabulka 14 Naměřené hodnoty sil potřebných pro vytrhnutí insertu s úpravou povrchu plasmou po dobu 15 sekund z polymeru PA66-GF35	73
Tabulka 15 Naměřené průměrné hodnoty kontaktních úhlů a drsností	74
Tabulka 16 Naměřené průměrné a maximální hodnoty pevnosti spojení	74

SEZNAM PŘÍLOH

V diplomové práci jsou obsaženy materiálové listy a soubory s naměřenými daty jako přílohy. Jedná se o materiálové listy materiálů, které byly použity při přípravě a výrobě a soubory s naměřenými daty ze zařízení a strojů použitých při analýzách a testování. Tyto listy sloužily při vypracování diplomové práce a jsou přiloženy na přiloženém CD-ROM.

Příloha P I: Materiálový list polymerního materiálu Altech PA66 A 1000/310 IM

Příloha P II: Materiálový list polymerního materiálu Ultramid A3X2G7 PA66-GF35 FR(52)

Příloha P III: Materiálový list abrazivní multifunkční směsi MFAS100

Příloha P IV: Soubor s naměřenými daty z univerzálního trhacího stroje Zwick/Roell 1456

Příloha P V: Soubor s naměřenými daty a profily morfologie a drsnosti povrchů

