

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav materiálového inženýrství



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Mikroskopické hodnocení vad výstřiků

Microscopic evaluation of defect smoldings

Tschunková Lenka

2014/2015



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro:	Lenku Tschunkovou
program:	Výroba a ekonomika ve strojírenství
obor:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství
název česky:	Mikroskopické hodnocení vad výstřiků
název anglicky:	Microscopic evaluation of defects moldings

Zásady pro vypracování:

Cíl:
Analýza přítomnosti vad ve výrobcích z PBT s vláknovou výztuží a jejich klasifikace.

Postup:

1. Rešeršní činnost v oblasti hodnocení a vad výstřiků plastů.
2. Sestavení programu práce a příprava vzorků.
3. Experimentální část – zpracování získaných výsledků a jejich diskuse.
4. Závěry.

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 40 stran

Rozsah grafických prací: dle potřeby

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [3] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Elena ČIŽMÁROVÁ, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 30. dubna 2015

Datum odevzdání bakalářské práce: 19. června 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 30.4.2015
student



Prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí ústavu

Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 28. dubna 2015

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Eleně Čižmarové, Ph.D. za její odborné vedení podnětné rady a připomínky při zpracování této bakalářské práce. Za trpělivý přístup a čas, který mi věnovala při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat všem těm, kteří mi svými radami a připomínkami pomohli se vznikem bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracovala samostatně a veškerou použitou literaturu jsem uvedla do seznamu zdrojů.

V Praze dne.....

Lenka Tschunková.....

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením vad odlitků kompozitů s polymerní matricí. V teoretické části jsou popsány polymery a kompozity. Dále je vysvětlen postup výroby polymerních výrobků vstřikováním. V poslední kapitole jsou popsány vady vzniklé při tomto způsobu výroby. U polymerních výrobků se mohou nacházet vady vnější a vady vnitřní.

V experimentální části bakalářské práce je provedena analýza a vyhodnocení výrobek z polybutylentereftalátu (PBT) s kovovým a skleněným vláknem. U tohoto výrobku byly pod mikroskopem zkoumány a hodnoceny vady vnitřní. Konkrétně byly nalezeny dutiny a nerovnoměrné rozložení kovových vláken. Tyto vady postupně byly analyzovány a podrobně popsány z důvodu poruchovosti již zmiňované součástky.

Klíčová Slova

Polymery, kompozity, vady výrobků, PBT, technologie vstřikování, kovová vlákna, skleněná vlákna, mikrostruktura

ABSTRACT

This thesis deals with the evaluation of casting defects in composites with polymeric matrix. Polymers and composites are described in theoretical part. Furthermore, there is explained the process of production of polymer products by injection molding. Last chapter describes defect arising during the manufacture process. External and internal defect can be found at the polymer products.

In experimental part of this theses is product made of PBT with metal fibers and fiberglass analyzed and evaluated. This product has been examined under a microscope which lead to uncover internal defects. Specifically, cavities and uneven distribution of metal fibers were found. These defects have been analyzed and described in detail because of the failure of the abovementioned components.

Keywords

Polymers, composites, product defects, PBT, injection technology, metal fibers, fiberglass, microstructure

OBSAH

ÚVOD	8
1. TEORETICKÁ ČÁST	8
1.2 Historie Polymerů a plastů	9
1.3 Rozdělení polymerů	10
1.3.1 Podle tepelného chování	10
1.3.2 Podle stupně uspořádanosti (struktury)	11
1.3.3 Podle druhu přísad	12
1.4 Kompozity	12
1.4.1 Vlastnosti kompozitů	12
1.4.2 Rozdělení kompozitů	13
1.5. Technologie vstřikování	14
1.5.1 Vstřikovací cyklus	14
1.5.2 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku	16
1.5.3 Problémy vstřikování kompozitů s termoplastickou maticí	17
1.6 Vady při vstřikování	18
1.6.1 Vady zjevné	18
1.6.2 Vady skryté	27
1.6.3 Kontrola kvality výstřiků	30
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	31
2.1 Cíl bakalářské práce	31
2.2 Materiál vzorků	32
2.2.1 Vlastnosti PBT	32
2.2.2 Použití a aplikace PBT	33
2.3. Popis experimentu a příprava vzorků	34
2.3.1 Vzorek cavita 1	37
2.3.2 Vzorek cavita 2	41
2.3.3 Vzorek cavita 3	42
2.3.4 Vzorek cavita 4	44
2.4. Diskuze	46
ZÁVĚR	51

ÚVOD

V dnešní době jsou polymerní výrobky velmi rozšířené, zejména kvůli jejich velmi zajímavým a užitečným vlastnostem. Tyto vlastnosti se dají dále zlepšovat přidáváním přísad a mixováním směsí, čímž pak vznikají kompozity, které jsou dnes běžně rozšířené a používané jako náhrada za mnoho jiných materiálů. Bakalářská práce se zabývá kompozitními výrobky, které byly vyráběny vstřikováním.

V teoretické části jsou popsány polymery, kompozity a hlediska jejich dělení. Dále v kapitole technologie vstřikování je konkrétně popsána výroba těchto plastových a kompozitních materiálů. V neposlední řadě je stěžejní kapitola o vadách vzniklých při vstřikování a jejich dělení na vnitřní a vnější vady.

Mezi vady vnější jsou zařazeny ty, které jsou běžně rozeznatelné vizuální kontrolou. Mohou to být například nedostříky, přetoky, ale také povrchové prohlubeniny, stopy po vyhazovačích a jiné. Mezi vnitřní vady, které jsou blíže prozkoumávány v experimentální části, patří dutiny, nerovnoměrné rozložené vlákna a vnitřní pnutí. U obou dvou typů vad je hlavní příčinou nesprávná technologie výroby, ať se už jedná o špatně nastavenou dobu vstřikování, nebo chybně vyrobenou formu či špatné chlazení. Všechny tyto možnosti mají velký vliv na kvalitu konečného kompozitního výrobku.

Experimentální část práce je zaměřena na kompozitní výrobek z polybutylterftalátu s přídavkem kovového a skelného vlákna. V této práci byly vyhodnoceny a popsány defekty vzniklé při výrobě tohoto produktu. Na závěr práce je statistické vyhodnocení výskytu vad dle umístění jednotlivých cavit (produktů) ve vstřikovací formě.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Definice Polymeru

Polymery jsou přírodní nebo syntetické látky, v jejichž veliké molekule se jako článěk v řetězu - mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka. Představují tedy chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností výsledných látek. Základním strukturním prvkem polymerů je atom uhlíku C, který je díky své atomové struktuře schopen vytvořit čtyři kovalentní vazby. Jednotlivé atomy uhlíku mohou být mezi sebou vázány buď jednoduchou vazbou, nebo vazbou násobnou[1,2].

1.2 Historie Polymerů a plastů

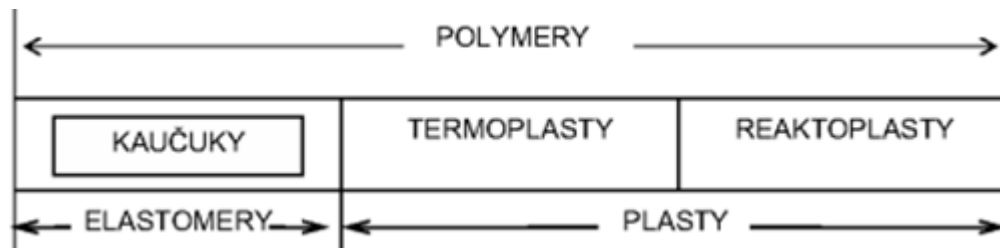
Umělé polymery byly poprvé syntetizovány v 19. století. V roce 1839 americký vynálezce Charles Goodyear experimentoval s úpravou přírodní gumy pomocí síry. Tento proces nazval vulkanizace. Při porovnání s neupravenou přírodní gumou byla vulkanizovaná guma pevnější, odolnější proti obrušování a méně citlivá na teplotu.

V polovině devatenáctého století objevil Alexandr Parkes nitrát celulózy. Po zlepšení vlastností Johnem W. Hyattem vznikl produkt celuloid. Tento nový plast byl s oblibou používán na výrobu hřebenu, knoflíků a rukojetí. Roku 1909 Leo Baekeland v Americe vynalezl první plně syntetický plast – bakelit. Tento plast vyráběný z fenolu a formaldehydu se vyznačuje pevností, lehkostí, tepelnou odolností a dobrými izolačními vlastnostmi. Z těchto důvodů byl dlouho používán v elektrotechnice.

V dnešní době plasty běžné střídají tradiční materiály, jako je dřevo, kovy, sklo, kůže, papír a přírodní pryž, protože jsou lehčí, pevnější, odolnější proti korozi, trvanlivější, snadněji zpracovatelné a mají lepší izolační vlastnosti, což je ekonomicky výhodnější. Při praktické aplikaci mají plasty oproti kovům silnou závislost téměř všech mechanických vlastností. Závislé jsou především na teplotě, rychlosti a době zatěžování [2].

1.3 Rozdělení polymerů

Polymery se dělí do tří skupin: podle tepelného zpracování, z hlediska stupně uspořádanosti a podle druhu přísad.



Obr. 1 Základní klasifikace polymerů [1]

1.3.1 Podle tepelného chování

1.3.1.1 Elastomery (Kaučuky a pryže)

Elastomery jsou polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci-prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj [3].

1.3.1.2 Plasty

Termoplasty jsou plasty, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid, polyamid [2].

Reaktoplasty, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit. Dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty [3].

1.3.2 Podle stupně uspořádanosti (struktury)

1.3.2.1 Amorfní

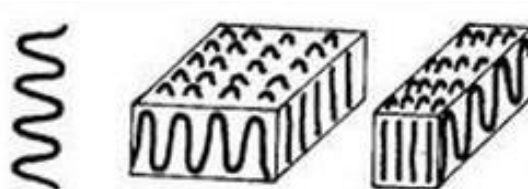
Amorfní strukturou rozumíme strukturu bez jakékoliv uspořádanosti (struktura chaotická). Základním morfologickým útvarem této struktury jsou globuly (nebo-li klubíčka) o velikosti $10 \div 30$ nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu průhledné [3].



Obr. 2 Nadmolekulární struktura u amorfních polymerů [3]

1.3.2.2 Krystalické

Krystalické jsou plasty, které vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Základním morfologickým útvarem jsou tzv. lamely, fibrily [3].



Obr. 3 Nadmolekulární struktura u krystalických polymerů [3]

1.3.3 Podle druhu přísad

1.3.3.1 Neplněné Plasty

Neplněné Plasty jsou takové plasty, u kterých množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice.

1.3.3.2 Plněné plasty

Plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla. Plniva zlepšují buď mechanické vlastnosti materiálu, nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost. Rozeznáváme vyztužující skleněná, uhlíková, či méně účinná bavlněná krátká nebo dlouhá vlákna, a nevyztužující plniva ve formě prášku, které se přidávají většinou zdůvodu snížení ceny materiálu, moučka z břidlice, kaolinu, křída [3].

1.4 Kompozity

Kompozitní materiály jsou složeny ze dvou, nebo více chemicky odlišných složek. Tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka se nazývá výztuž, spojitá a obvykle poddajnější složka, která zastává funkci pojiva nebo-li výztuže. Výztuž se nazývá se matrice.

Kompozitní materiály mohou obsahovat vyztužující fáze různých rozměrů. Ve strojírenství mají největší význam mikrokompozitní, u kterých, se rozměry výztuže pohybují v rozmezí 100 až 10² μm. Makrokompozity jsou používány především ve stavebnictví, například železobeton vyztužený ocelovými pruty [5].

Úkolem matrice v kompozitu je zaručení geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku. Dále musí spojitá fáze zajišťovat přenos sil na vlákna při zatížení [7].

1.4.1 Vlastnosti kompozitů

Vlastnosti kompozitů jsou silně ovlivněny vlastnostmi jednotlivých složek tvořících kompozit. Výsledné vlastnosti mohou být ovšem dány, nejenom prostým součtem vlastností jednotlivých fází, ale také v případě vzájemného působení složek můžeme získat vlastnosti natolik specifické, že je nemůžeme považovat jako prostý

součet vlastností fází. Proto je k popisu charakteristik kompozitů jako materiálového systému potřeba vedle specifikace materiálu jednotlivých složek a jejich vlastností, uvažovat také geometrii vyztužení. Do popisu geometrie vyztužení je třeba zahrnout tvar, velikost, popřípadě způsob vrstvení, ale také koncentrace, která je obecně považována za nejdůležitější parametr ovlivňující vlastnosti celého kompozitu. Použitím kompozitu místo tradičního materiálu, jako je například ocel, dochází ke značnému snížení hmotnosti. V průběhu posledních desetiletí dochází stále častěji k upřednostňování kompozitních materiálů. Tento nárůst lze vysvětlit novými a stále se rozšiřujícími poznatky mechanických vlastností kompozitů, jejich odolností a životností. To umožnilo jejich specifitější používání a snížilo bezpečnostní součinitele na přijatelnou úroveň [8, 6].

1.4.2 Rozdělení kompozitů

Významnými typy kompozitů jsou plasty vyztužené různými druhy vláken. Podle délky vláken je lze rozdělit do dvou skupin. Syntetické materiály vyztužené krátkými vlákny tzv. krátkovláknové (poměr délka/průměr $L/D < 100$) a syntetické materiály vyztužené dlouhými vlákny tzv. dlouhovláknové ($L/D > 100$ tj. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce).

Krátkovláknové kompozity se používají především pro injektované výlisky nebo pro plastové výrobky. Dlouhovláknové kompozity se často používají u velkých konstrukcí, jako jsou lodě, tlakové nádoby, křídla větrných turbín. Principem vlastního vláknového vyztužení je skutečnost, že vyztužující vlákna, mající o jeden až dva řády vyšší pevnost a tuhost. Ve srovnání s pojivem (polymerní matricí), se při vnějším namáhání deformují méně než polymer [6].

1.4.2.1 Krátkovláknové kompozity

Mezi výhody krátkovláknových kompozitů patří odolnost proti stárnutí, nízký creep a poměrně dobrá rozměrová stabilita. Mezi nejběžnější vlákna pro krátkovláknové kompozity jsou skleněná vlákna. Vlákna mohou být skleněná, uhlíková, polymerní, keramická a kovová. Podrobněji jsou rozepsaná vlákna skelná a uhlíková [7].

Skelná vlákna byla poprvé k výrobě kompozitů použita v roce 1893. Skelná vlákna jsou nyní jedny z nejatraktivnějších vláken vzhledem k jejich dobrým, mechanickým vlastnostem a nízké ceně. Skelná vlákna mají většinou pravidelný

kruhový průřez a skládají se z oxidu křemičitého, oxidu hlinitého, oxidu vápenatého, oxidu hořečnatého a oxidu boritého. Tato skla se připravují tažením z roztavené skloviny a rychlým ochlazením. Nevýhodou těchto skel je, že při dlouhém zahřívání při vysoké teplotě dochází ke krystalizaci, která má za následek nižší pevnost [4].

Uhlíková vlákna se vyrábějí z viskózních nebo polyakrylonitrilových vláken. Uhlíková vlákna mají vysokou pevnost, modul pružnosti, dobrou tepelnou odolnost a zároveň nízkou měrnou hmotnost.

Nejčastěji se dělí podle hodnot modulu pružnosti a pevnosti na vysokopevnostní a vysokomodulová vlákna, která mají nižší tahovou pevnost, ale vysoký modul pružnosti v tahu [4].

1.5 Technologie vstřikování

Technologie vstřikování je jedním nejrozšířenějším způsobem výroby plastových výrobků. Vyznačuje se složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí vstřikovací stroj a vstřikovací forma.

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku, anebo jsou polotovary. Výstřiky se vyznačují velmi dobrou rozměrovou itvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností.

Touto technologií lze zpracovat téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře se vstřikují reaktoplasty a kaučuky. Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovaného materiálu z tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a polymerní materiál se v ní neustále doplňuje během cyklu [10].

1.5.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o neizotermický proces, během něhož prochází plast teplotním cyklem, který ho mění z granulátu na taveninu a poté na pevnou hmotu.

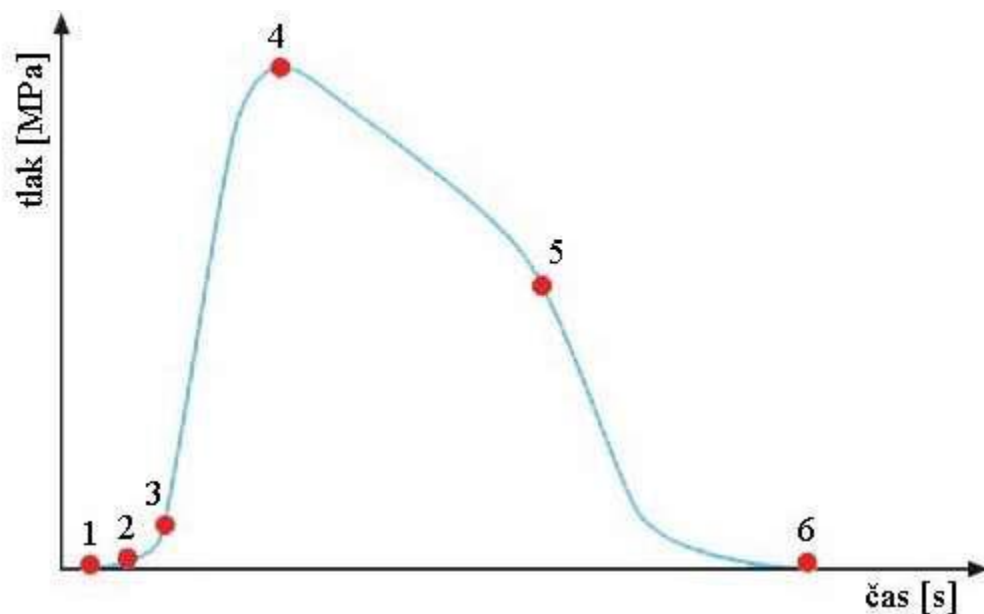
Za počátek cyklu se považuje okamžik impulsu k uzavření formy. Plast se v podobě granulí nasype do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného

účinku tření a tepla z topných elementů stroje plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstříknuta do dutiny formy, kterou zcela zaplní.

Jelikož plast při chladnutí vlivem smrštění zmenší svůj objem, následuje tlaková fáze, která zajistí doplnění materiálu a tím kompenzuje její úbytek.

Plast se ve formě ochlazuje odvodem tepla přes stěny formy až do ochlazení a ztuhnutí ve finální výrobek na manipulační pevnost. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje [9].

Z hlediska zpracovávaného plastu lze vstřikovací cyklus popsat i jako závislost tlaku (p) v dutině formy na čase [13].



Obr. 4 Závislost tlaku na čase při vstřikovacím cyklu [21]

1-3 – plnění

2 – tavenina dosáhla k čidlu, je zaznamenáván tlak

3-4 – komprese taveniny dotlakem (dokonalé vykopírování dezénu)

4 – maximální tlak,

4-5 – držení dotlaku

5 – zamrznutí vtokového ústí

5-6 – chlazení

6 – ztuhnutí výstřiku

Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu mají různou délku a jsou ovlivněny například geometrií výstřiku a technologickými podmínkami vstřikování [13].

- **Strojní doby**- časy na zavření formy a otevření formy závisí na rychlosti pohybující se formy a na dráze, kterou musí forma urazit.
- **Doba vstřikování** - doba plnění dutiny formy je závislá na rychlosti pohybu šneku. Tato rychlost je závislá na technologických podmínkách – zejména na teplotě taveniny T a na vstřikovacím tlaku p .
- **Doba dotlaku** - fáze dotlaku následuje po úplném naplnění tvarové dutiny formy. V této části vstřikovacího procesu dojde k prudkému nárůstu tlaku a náhlému poklesu rychlosti, čímž dojde ke stlačování vstříknuté hmoty
- **Doba chlazení**- představuje největší část celého vstřikovacího cyklu. Pohybuje se od několika sekund, až do několika málo minut. Během chlazení dochází ke smrštění hmoty a zmenšení jejího objemu [13].

1.5.2 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku

O kvalitě výstřiku a jeho mechanických a fyzikálních vlastnostech rozhoduje druh použitého plastu, technologické parametry, konstrukce formy a volba stroje.

Z hlediska volby druhu plastu má na vlastnosti výstřiku vliv:

- rychlost plastikace polymeru,
- tekutost plastu,
- dostatečná tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot,
- uvolňování těkavých látek,
- velikost vnitřního pnutí,
- smrštění plastu.

Vliv na vlastnosti výstřiku z hlediska technologických parametrů:

- vstřikovací tlak,
- teplota taveniny,
- teplota formy,
- rychlost plnění dutiny formy,
- velikost a doba trvání dotlaku [13].

1.5.3 Problémy vstřikování kompozitů s termoplastickou maticí

Vstřikování termoplastů vyztužených krátkými skleněnými vlákny s sebou přináší nové problémy, které vyplývají z reologických poměrů při plnění dutiny formy i z tepelně-mechanické historie vstřikovaného plastu.

Plasty určené pro vstřikování se vyztužují hlavně vlákny skleněnými. Zpravidla se jedná o krátká vlákna, jejichž délka není větší než 1mm. Méně běžné jsou plasty s dlouhými vlákny až kolem 5 mm. Pro vstřikování kompozitních materiálů je třeba znát i technologické rozdíly, kterými se odlišují od plastů bez plniv. Předně je to horší tekutost vyztužených plastů, a proto na výrobcích nelze navrhovat příliš tenké stěny, které by jinak byly výhodné jak pro dosažení maximální orientace vláken ve směru toku taveniny a tloušťka by byla přípustná z hlediska požadované pevnosti či tuhosti součásti.

Špatná zatékavost se tak stává limitujícím faktorem při minimalizaci tloušťky. Minimální tloušťky při dané dráze toku je nutno u plastů s vlákny volit o 0,1 až 0,2 větší než u stejného plastu bez vláknitého plniva. Ze zhoršené tekutosti vyplývá nutnost používat vyšší vstřikovací tlaky než u samotné matrice. Nutné jak pro dokonalé zaplnění dutiny formy, tak pro dosažení kvalitního povrchu výstřiku. Také vstřikovací teplotu je nutno volit v horní polovině teplotního rozsahu zpracovatelnosti hmoty.

Relativně vysoké teploty taveniny i formy má za následek nutnost prodloužení doby chlazení výrobku ve formě. Zpětný tlak při plastikaci nové dávky má být co nejnižší, vzhledem k nebezpečí porušování vláken.

Protože vlákna zvyšují vnitřní tření taveniny, musí se počítat s rychlejším poklesem tlaku při plnění dutiny formy a s větší nehomogenitou vlasností [11].

1.6 Vady při vstřikování

Pod pojmem vada výstřiku se rozumí defekt, kterým se liší vzhled (kvalita povrchu), vlastnosti, tvar a rozměry výstřiku od předem stanoveného a dohodnutého normálu, obvykle vyjádřeného vzorovým kusem a výkresem [14].

I přes značné znalosti o polymerních materiálech a zvyšující se úrovni vstřikovacích strojů použitím počítačových programů, při návrhu výstřiků nemůžeme vyloučit vady vzniklé během vstřikování.

Výroba pomocí technologie vstřikování je velmi složitý proces, na kterém se podílí řada činitelů, ne vždy v optimální míře a v důsledku toho dochází k závadám, které se projevují nejrůznějším způsobem. Zdroje vad mohou být ve zpracovávaném plastu, v konstrukci výrobku nebo formy [15].

Soubor vad, které mohou při vstřikování vzniknout, lze rozdělit do dvou skupin. Jsou jimi vady zjevné a vady skryté [12].

1.6.1 Vady zjevné

Vady zjevné jsou takové vady, které lze identifikovat při vizuálním porovnání s předepsaným a schváleným referenčním vzorkem.

Tyto vady se dělí na dvě hlavní skupiny: vady tvaru a vady povrchu.

- **Rozměrové vady**
- **Vady tvaru**
- **Vady povrchu**

1.6.1.1 Rozměrové vady

Pro dodržení předepsaných rozměrů a tvaru plastového výstřiku je důležitý návrh a konstrukce tvarové dutiny formy. Konstruktor vstřikovací formy musí počítat se smrštěním vstřikovaného dílu a to nejen v průběhu technologického procesu, ale i po jeho ukončení, kdy probíhá dosmršťování [16].

Objemové smrštění- při procesu vstřikování nastává po zaplnění tvarové dutiny formy taveninou a ukončení dotlakové fáze objemové smrštění, které pokračuje i po vyhození výstřiku z formy. Trvá až do úplného ochlazení výstřiku na teplotu okolí [16].

Lineární smrštění -pro návrh rozměrů tvarové dutiny vstřikovací formy je důležité znát smrštění lineární (výrobní). Jedná se o rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny formy a rozměrem výstřiku vztaženým na rozměr formy. Vyjádřeno je v procentech. Toto smrštění je různé v závislosti na směru toku taveniny. Smrštění lze ovlivnit technologickými parametry, zejména velikostí dotlaku, dobou dotlaku a teplotou formy [16].

Dodatečné smrštění- změna rozměru po delší době, případně po aplikaci dílu při zvýšené teplotě (temperaci), kdy pokračuje zmenšování objemu a dosmršťování výstřiku až na konstantní hodnotu [16].

Anizotropie smrštění- rozdíl smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny vztažený na hodnotu smrštění ve směru toku. Anizotropie se výrazně projevuje u polymerů vyztužených skleněnými vlákny [16].

1.6.1.2 Vady tvaru

Vady tvaru jsou vady takové, u kterých tvar a rozměr dílu neodpovídají schválenému výkresu, 3D modeluči referenčnímu vzorku. Jedná se o díly deformované či narušené v důsledku výrobního procesu.

Tyto vady jsou podrobněji rozepsané níže. V jednotlivých odstavcích jsou popsány popisy vad, vznik jednotlivých vad, příčiny vzniku těchto vad ale u některých vad také možnost odstranění.

1.6.1.2.1 Přestřiky a přetoky

Popis – přebytky plastu v dělicích plochách formy, u odvzdušňovacích kanálek, spár, vyhazovačů apod.

Vznik – nízkoviskózní tavenina je vysokým tlakem vtlačena do mezer a spár ve formě, případně tento tlak deformuje nebo pootevře formu.



Obr. 5 Přetoky v místě dělicí roviny[16]

Příčiny – příliš velké mezery nebo odvzdušňovací kanálky ve formě, poškozené stykové plochy, nečistoty v dělicí rovině, nízká uzavírací síla, vysoká tlaková špička ve formě následkem pozdního přepnutí na dotlak, nedostatečná tuhost formy, zejména desek, vysoká vstřikovací rychlost, jsou-li přetoky blízko vtoku, vysoká teplota taveniny, vysoká teplota formy.

Možnost odstranění – z hlediska materiálu je možnost odstranění použit typ polymeru s nižším indexem toku taveniny. Z technologického hlediska vadu lze odstranit snížením vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti [18,16].

1.6.1.2 Neúplné výrobky (nedostřiky)

Popis – neúplné části výstřiku ve vzdálených místech od vtoku, v tenkostěnných částech, v místech s nedostatečným odvzdušněním.

Vznik – vysoká viskozita taveniny a nízký tlak nestačí k vyplnění všech částí tvarových dutin. Vzduch nemůže uniknout z formy, stlačí se a svým tlakem zabrání tavenině zcela vyplnit formu. Spálení okolní taveniny při tom nemusí nastat.

Příčiny – nedostatečné dávkování, vstřikování bez polštáře hmoty před šnekem, nízký vstřikovací tlak, případně předčasné přepnutí na dotlak, nízká teplota taveniny, nízká teplota formy, nízká vstřikovací rychlost, malé ústí vtoku (tavenina v něm předčasně ztuhne), špatné odvzdušnění formy, voda ve formě [18].



Obr. 6 Neúplný výstřik [16]

1.6.1.2.3 Stopy po vyhazovačích

Popis – zapuštěné nebo vypuštěné otisky vyhazovače, někdy spojené s odlišným leskem nebopropadlinami (u vyvýšených otisků).

Vznik – nevhodně řešená forma má za následek rozdílné tepelné roztažení vyhazovačů a ostatních částí formy. Otisky vyhazovačů jsou potom mimo rovinu stěny výstřiku. Špatné lícování vyhazovačů a nevhodné technologické podmínky rovněž podporují vznik této vady.

Příčiny – nesprávná délka vyhazovačů, vyhazovače se ohřevem roztahují jinak než celek formy, deformace formy (pronutí desek následkem poddimenzování).

Možnosti odstranění – zaručit rovnoměrný průběh plnění provést konstrukční úpravu vyhazovacího systému. Zvětšit úkosy v tvarové dutině ve směru vyhazování, zaoblit hrany, rohy, omezit skokové rozdíly v tloušťce stěny [18,16].



Obr. 7 Stopy po vyhazovači [16]

1.6.1.2.4 Deformace výstřiku při vyhazování z formy

Popis – rýhy ve směru vyhazování, odřený povrch, vtlačené nebo proražené stopy po vyhazovačích, celkově deformovaný výstřik.

Vznik – nevhodný tvar výstřiku způsobující rozdílné smrštění jeho jednotlivých částí, sevření jader výstřikem a ulpívání výstřiku ve formě vyžaduje zvýšenou vyhazovací sílu.

Příčiny – vysoký zbytkový tlak při otevření formy následkem vysokého dotlaku nebo pozdního přepnutí na dotlak, krátké doby chlazení, málo tuhé formy, válcový nebo krabicový výstřik svírá jádro formy následkem nízkého dotlaku nebo dlouhé doby chlazení ve formě [18,16].



Obr. 8 Průhyb způsobený vyhozením [16]

1.6.1.2.5 Povrchové prohlubeniny

Popis – mírné nebo hlubší hladké prohlubeniny povrchu v tlustých stěnách nebo v místech hromadění hmoty, v zesílených partiích.

Vznik – chladnutím se objem hmoty zmenšuje a jeho úbytek není včas doplňován přívodem další taveniny.

Příčiny – nízký nebo krátce působící dotlak, vysoká teplota formy, případně vysoká teplota taveniny, vysoká vstřikovací rychlost [18].



Obr. 9 Propadliny [16]

1.6.1.3 Vady povrchové

V praxi je běžně setkáváno s celou řadou povrchových vad. Příčiny těchto vad lze nalézt opět ve zpracovávaném plastu, v nastavených technologických podmínkách, vstřikovací stroji, formě a v nevhodné konstrukci plastového výstřiku [16].

1.6.1.3.1 Šmouhy, šlíry, nehomogenita probarvení

Popis – šmouhy, pruhy, skvrny odlišné barvy nebo odstínu ve směru proudění.

Vznik – shlukování částic pigmentu a deformace (rozmazávání) těchto shluků prouděním taveniny. Nedostatečné rozptýlení nebo rozpuštění částic barvy v taveniny.

Příčiny – špatná homogenita taveniny způsobená nízkým zpětným tlakem, nízkými otáčkami šneku, nízkou vstřikovací rychlostí nebo příliš velkým ústím vtoku.

Možnosti odstranění – použít jiný, stabilnější typ plastu. Odhalit zdroj znečištění: přezkoušet stav a přísun materiálu (sušení, doprava) Provést kontrolu vlhkosti v násypce, snížit podíl regranulátu [18,16].

1.6.1.3.2 Tmavé body či šmouhy na povrchu výstřiku

Popis – černé tečky nebo skvrny na výstřiku, jednotlivě i ve větším počtu.

Vznik – drobné tmavé kousky spálené hmoty se dostanou do formy z degradovaných usazenin polymeru na šneku či v topném válci. Oxidace hmoty může být iniciována přítomností nečistot z vtokového systému.



Obr. 10 Tmavé fleky od zdegradovaného materiálu [16]

Příčiny – znečištěná plastikační jednotka, vysoká teplota topného válce, vysoké otáčky šneku, vysoký zpětný tlak, dlouhá prodleva hmoty v topném válci, mrtvé kouty v topném válci a nevhodné přísady v granulátu.

Možnosti odstranění – odstranit zdroj znečištění, zmenšit podíl regenerátu (drtě), prověřit aditiva [18,16].

1.6.1.3.3 Stopy po vlhkosti

Popis – šmouhy a čáry ve směru proudění od vtoku, někdy mezi nimi měsíčkovité útvary, většinou také hrubší až pórovitý povrch v těchto oblastech.

Vznik – granulát buď obsahuje příliš vody, nebo na jeho povrchu kondenzovala vzdušná vlhkost. Ohřevem v topném válci se tvoří bubliny vodní páry, které prouděním ve formě praskají.

Příčiny -málo vysušený granulát. Na povrchu studeného granulátu, nebo na studené formě, netěsný chladicí systém formy. Vlhkost se dostane do vtokové soustavy nebo tvarové dutiny.

Možnosti odstranění -kontrola obalů materiálu, skladování, sušicích zařízení, parametrů sušení (teplota a čas) a dopravních cest [18,16].



Obr. 11 Stopy po vlhkosti u výstřiku [16]

1.6.1.3.3 Stopy po uzavřeném vzduchu, plynných produktech

Popis – bubliny vzduchu nebo plynů na povrchu nebo uvnitř výstřiku. Někdy způsobí vyboulení povrchu. Tvar bublin bývá okrouhlý nebo vlivem proudění protáhlý.

Vznik – vzduch uzavřený v tavenině následkem nedostatečného odvzdušnění při plastikaci nebo nasátý do topného válce při dekompresi je při vstřiku stržen do formy a zůstane v tuhneoucí hmotě uzavřen ve tvaru bublin.



Obr. 12 Drobné bublinky u výstřiku z transparentního polymeru [16]

Příčiny – velká nebo rychlá dekomprese, nízký zpětný tlak, dlouhá dávkovací dráha, nerovnoměrný přívod granulátu.

Možnosti odstranění kontrola procesu sušení, kontrola vlhkosti v granulátu. Reklamacie u výrobce či dodavatele materiálu, přezkoušet těsnost trysky [18].

1.6.1.3.4 Rozdíly v lesku u leštěných povrchů

Popis – celkově nedostatečný lesk nebo nerovnoměrný lesk na různých místech výstřiku.

Vznik – drobné nerovnosti povrchu odrážejí světlo v různých úhlech, takže povrch vnímáme jako pololesklý nebo matný. Tyto nerovnosti jsou způsobeny otiskem nerovností na stěně formy nebo technologickými vlivy.

Příčiny – nerovnoměrný lesk různých míst na výstřiku bývá způsoben rozdílným ochlazováním [18].



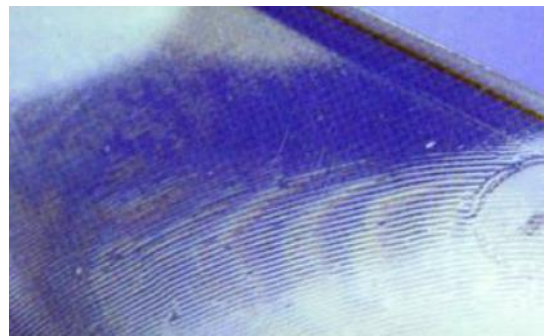
Obr. 13 Rozdíl v lesku [16]

1.6.1.3.5 Vzhled gramofonové desky, jemně rýhovaný povrch

Popis – jemné rýhy uspořádané vedle sebe jako na gramofonové desce. Jsou buď soustředné kolembodového vtoku, nebo jsou rovnoběžné na konci tokové dráhy taveniny.

Vznik – při vstřiku do studené formy se prudce ochladí povrchová vrstva proudu taveniny, která přilehne na stěnu formy. Od této rychle ztuhlé povrchové vrstvy se silně ochladí také podpovrchová vrstva, částečně ztuhne a tlak ji už nedokáže vytlačit až ke stěně formy.

Příčiny – prohlubenina vzduchem izolována od styku se studenou stěnou formy, není vrstva pod ní příliš ochlazená, přilehne hned za prohlubeninou opět ke stěně formy, kde se prudce ochladí. Proces pokračuje, až se vytvoří na povrchu výstřiku jemné rýhování ke směru proudu taveniny.



Obr. 14 Vzhled gramofonové desky [16]

Možnosti odstranění – zvolit šnek s větším poměrem délky k průměru a s větší kompresí. Zvětšit vtokové kanály a ústí a zabránit malým průřezům toku [18,16].

1.6.1.3.6 Studené spoje

Popis – opticky a mechanicky slabé místo. Je v něm vidět vrub Nápadný zejména na leštěných tmavých a transparentních výstřicích.



Obr. 15 Studený spoj u polymeru vyztuženého skleněnými vlákny [16]

Vznik – vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy rozdělí tvarovými prvky na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně (primární studený spoj) nebo bočně či tangenciálně (sekundární studený spoj).

Příčiny – nízká teplota formy, nízká teplota taveniny, nízká vstřikovací rychlost, nízký dotlak, špatné odvětrání formy, nevhodně umístěný vtok [18,16].

1.6.1.3.7 Kresba po volném proudu taveniny (meandrový tok)

Popis – na výrobku budou stopy po toku taveniny, výrobek bude neúplný s drobnými rýhami.

Vznik – stopy po volném proudu taveniny vznikají při nevhodné konstrukci a umístění vtoku, a to zejména u amorfních termoplastů. Opět se setkáváme s kombinací vady vzhledové spojené s menším pevnostním zeslabením výstřiku v důsledku sekundárního studeného spoje.

Příčiny – prvotní proud taveniny se na povrchu ochladí, a tím vznikne viditelná stopa po volném proudu jako vzhledový defekt. Jedná se tedy o sekundární studený spoj se všemi důsledky [18].



Obr. 16 Stopy po volném proudu taveniny [16]

1.6.1.3.8 Napěťové trhlinky

Popis – bělavé oblasti lomu nebo velkého ohybu na výstřiku. Napěťové trhlinky jsou velmi jemné, někdy hustě uspořádané. Často se objeví za dny nebo týdny po vystříknutí.

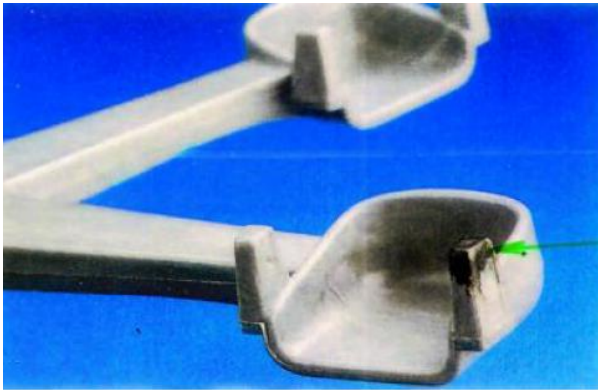
Vznik – bílé lomy a napěťové trhlinky vznikají při překročení kritické deformace materiálu působením vnějšího namáhání, někdy i vnitřního pnutí.

Příčiny – vysoké vnější namáhání výstřiku, např. při vyhazování, velký zbytkový tlak ve formě působí po vyhození výstřiku následkem uvolnění tlaku ve hmotě rychlé roztažení povrchových vrstev vnějších ploch výstřiku [18,16].

1.6.1.3.9 Deselekt

Popis – místní degradace až spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu. Tmavé skvrny, někdy nedostřik v jejich oblasti.

Vznik – vzduch vytlačovaný taveninou během vstřiku z tvarové dutiny nemůže uniknout z formy buď nedostatečným odvzdušněním nebo tím, že je uzavřen mezi dvěma proudy taveniny. Uzavřený vzduch je silně stlačen a spálí okolní hmotu.



Příčiny – špatně dimenzované nebo ucpané odvětrávací kanály ve formě, vysoká uzavírací síla, vysoká vstřikovací rychlost, špatně umístěné vtoky rozvádějí proudy taveniny nevhodným způsobem, vysoká teplota taveniny [18,16].

Obr. 17 Dieselefekt – detail spáleného polymeru [18]

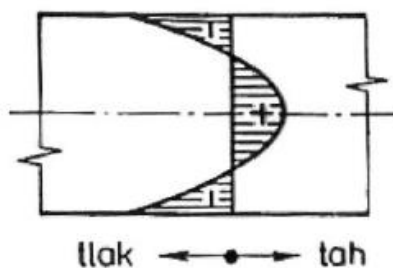
1.6.2 Vady skryté

Vady skryté jsou vady, které nelze postihnout běžnou vizuální kontrolou, ovlivňují však většinou negativně vlastnosti výstřiku, a proto jsou z aplikačního hlediska nebezpečné. Tyto vady lze zjistit pomocí laboratorních metod. Mezi tyto vady patří:

- vnitřní pnutí (např. tepelného, z nerovnoměrné orientace, z nerovnoměrné krystalizace či z přeplnění formy)
- nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken (u vyztužených typů)
- nerovnoměrná krystalizace u semikrystalických polymerů

1.6.2.1 Vnitřní pnutí

Vnitřní pnutí je stav napjatosti ve výstřiku, který není vyvolán vnějším mechanickým zatížením, ale deformacemi vlivem nerovnoměrných objemových změn při vstřikování. Vnitřní pnutí je jedním z měřítek stavu výstřiku odrážejícího teplotní a tlakové poměry při plnění, dotlaku a ochlazení taveniny ve formě. Je tudíž odrazem



Obr. 18 Rozložení pnutí po průřezu výstřiku [12]

tepelné historie tváření výstřiku za spolupůsobení tlaku. Proto je ovlivňováno teplotami taveniny a formy, průběhem ochlazení, tlakem, dotlakem, dobou jeho působení i rychlostí plnění formy. U výstřiků z termoplastů je pět základních pnutí: tepelné pnutí, pnutí z přeplněné formy, pnutí z nehomogení orientace, pnutí deformační, pnutí krystalizační [12].

Tepelné pnutí – vzniká v důsledku nerovnoměrného ochlazování jednotlivých částí výstříku. Povrch výstříku a oblasti bezprostředně související s relativně studenou stěnou formy tuhnou dříve a jejich smrštění je ukončeno v čase, kdy se střed ještě nachází ve viskózně tekutém stavu [16].

Pnutí z přeplněné formy – pnutí vzniká v okolí ústí vtoku, kdy dochází ke stlačení taveniny na vyšší hodnotu v důsledku vyššího uplatnění tlaku, vstřikovacího a zejména dotlaku [12].

Pnutí z nehomogení orientace – pnutí z nerovnoměrné orientace vzniká jako následek rozdílné orientace makromolekul, event. vláknitých plniv po průřezu výstříku, případně podél tokové dráhy (vzdálenost od vtoku). Toto pnutí bývá výrazné zejména u tenkostěnných výstříků z amorfních termoplastů a často vede k nepravidelným deformacím a k povrchovým defektům [16].

Pnutí deformační – vzniká mechanickým namáháním výstříku při jeho vyhazování z tvarové dutiny formy, může být způsobeno např. nevhodně zvolenými úkosy výstříků, malou plochou vyhazovačů, přetahováním tvarových prvků výstříků přes tvárníky formy při jejich odformování [12].

Pnutí krystalizační – pnutí z nerovnoměrné krystalizace vzniká následkem rozdílné krystalizace po průřezu výstříku u semikrystalických termoplastů. Při rychlém ochlazení taveniny na stěně formy dochází v povrchových vrstvách k potlačení krystalizace, ve středu výstříku jsou zachovány podmínky k plnému rozvinutí krystalické struktury. Projeví se tudíž tzv. skincore efekt vyvolávající stav napjatosti [16].

1.6.2.2 Nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken (u vyztužených typů)

Orientace polymerních řetězců

U polymerních materiálů dochází při vstřikování v důsledku značného smykového namáhání k orientaci makromolekul nebo u vláken vyztužených termoplastů k orientaci vláken. Orientace je příčinou anizotropie vlastností, zejména pevnostních hodnot materiálu, smrštění a dodatečného smrštění. Má tedy značný vliv na tvarovou a rozměrovou stabilitu výstříku [16].

Orientace vláknitých plniv

Podobně jako orientace makromolekul probíhá při vstřikování plastů vyztužených vláknitými plnivými (nejčastěji skleněnými vlákny) orientace vláken. Těsně u povrchu je uspořádání nepravidelné, pod povrchem převládá orientace ve směru toku a ve středu výstřiku jsou vlákna orientovaná kolmo na směr toku taveniny [16].

1.6.2.3 Nerovnoměrná krystalizace u semikrystalických polymerů

Významnou roli v oblasti aplikačního použití semikrystalických polymerů hraje jejich nadmolekulární struktura, která předurčuje jejich pevnostní chování a rozměrovou přesnost při aplikačním použití. Nadmolekulární struktura polymeru je specifikována obsahem krystalického podílu ve výstřiku, velikostí a rozložením sferolitů, případně skincore efektem.

Obsah krystalického podílu ve výstřiku

Krystalizace z taveniny polymeru závisí především na teplotě a čase. Schopnost krystalizace souvisí se stavbou makromolekuly a může být pozitivně ovlivněna přítomností aditiv (nukleačních látek). Obsah krystalického podílu se mění po průřezu výstřiku, u povrchu je nižší než ve středových oblastech [16].

1.6.2.4 Vnitřní nehomogenita u netrasparentních polymerů

Strukturní nehomogenita výstřiků může být příčinou tvarových deformací a pevnostních rozdílů po průřezu výstřiku. V každém případě nedokonalá struktura, způsobená například vstřikováním do studené formy, může zapříčinit vážné problémy jak z hlediska rozměrové stability, tak z hlediska mechanických vlastností [16].

Nejznámější vnitřní vadou jsou vnitřní dutiny také nazvané staženiny.

1.6.2.4.1 Vnitřní dutiny (staženiny)

Popis – vizuálně nezjistitelné. Zjistí se rentgenovou nebo ultrazvukovou zkouškou nebo rozříznutím a v případě malých výrobků následně zvětšením pod mikroskopem. Způsobují zeslabení nosného průřezu a mohou být zdrojem vnitřních únavových trhlin.

Vznik – rychlé ztuhnutí povrchových vrstev a současně nedostatečně působící dotlak ve formě mají za následek, že ztuhlý pevný povrch již nevytvoří prohlubeniny a při smršťování tekutého vnitřku stěny vzniknou vzduchoprázdné staženiny (lunky).

Příčiny – nízká teplota formy, nízký nebo krátce působící dotlak, nízký vstřikovací tlak, vysoká teplota taveniny, ústí vtoku nebo vtokový kanál jsou úzké [18].

1.6.3 Kontrola kvality výstřiků

Prvotní kontrola kvality vstřikovaných dílců se obvykle provádí přímo obsluhou vstřikovacího stroje. Jedná se především o vzhledovou kontrolu, která bohužel podléhá individuálnímu přístupu jednotlivých pracovníků, a proto nemusí být a v praxi ani není jednotná a objektivní.

U vad typu nedostřik, přetok, hrubší propadliny, spálený materiál, výraznější stopy po vlhkosti lze určit, o jaké vady se jedná, právě z vizuální kontroly.

Rozměry dílce a vlastnosti (zejména mechanické) je nutno kontrolovat až po určité době (obvykle min. 24 hodin po vyjmutí z formy), když už je výstřik v relativně ustáleném stavu, to znamená, že je téměř ukončeno smršťování.

Úroveň kontroly rozměrů závisí na měřicí technice: nejjednodušší a nejlevnější posuvná měřítka nejsou vhodná např. pro měkké plasty. Lépe vyhovují měřicí přípravky a etalony. Nejvyšší, ale také nejdražší je však 3D měření různých konstrukcí, Nejvyužívanější je technologie optického skeneru.

U tlustostěnných výstřiků lze provádět kontrolu dutin (lunkrů) rentgenem nebo ultrazvukem [14].

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Cíl bakalářské práce

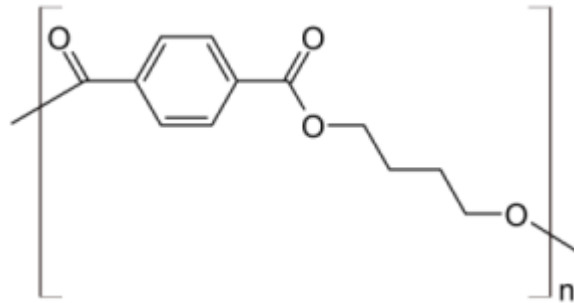
Cílem bakalářské práce byla analýza a následné vyhodnocení přítomnosti vad ve výrobcích z PBT s kovovou a skelnou vláknovou výztuží.

Pro experimentální část byly stanoveny cíle:

- Příprava vzorků
- Mikroskopické hodnocení (zjištění vad výstřiků)
- Zpracování výsledků

2.2 Materiál vzorků

PBT (Polybutylentereftalát) – je polymer patřící do skupiny polyesterových termoplastů. PBT je semikrystalický polymer, používaný hlavně na vstřikované díly pro technicky náročné aplikace. Vyrábí se polykondenzací kyseliny tereftátové nebo dimethyltereftalátu se 1,4 – butándiolem. [19,20].



Obr. 19 Polybutylentereftalát (PBT) [19,20].

Tento plast kombinuje vynikající mechanické a elektrické vlastnosti s robustní chemickou odolností na širokou škálu chemických látek, rozpouštědel, olejů a tuků. PBT poskytuje inovativní řešení, které šetří hmotnost a snižuje náklady. Používá se, ale také především pro jeho vysokou pevnost, tuhost a houževnatost. Polybutylentereftalát má výbornou rozměrovou stálost, nízkou absorpci vlhkosti a výkonný izolační odpor [19,20].

2.2.1 Vlastnosti PBT

- vysoká pevnost
- vysoká trvalá provozní teplota (až 150°C)
- velmi dobrá tepelná odolnost (včetně vysokých teplot)
- vysoká pevnost a tvrdost
- dobré vlastnosti tření a odolnosti vůči otěru
- vysoká rozměrová stabilita
- dobrá odolnost vůči povětrnostním vlivům

V bakalářské práci byla použita součást, která vznikla ze směsi PBT se skleněným vláknem a kovovým vláknem.

Tabulka 1 Vlastnosti Polybutylentereftalátu [19]

VLASTNOSTI PBT	
Rozměrová stálost	
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	6 - 10 $10^{-5} / ^\circ \text{C}$
Srážení	0,5 - 2,2%
Mechanické vlastnosti	
Tvrdost dle rockwella	70-90
Tvrdost dle shoreho	90-95
Mez pevnosti v tahu	40 - 50 MPa
Fyzikální vlastnosti	
Hustota	1,3 - 1,4 g / cm ³
Teplota skelného přechodu	55 - 65 ° C
Provozní teplota	
Tvárná / Křehký teplota přechodu	-40 ° C
Max Teplota při nepřetržitém provozu	80 - 140 ° C

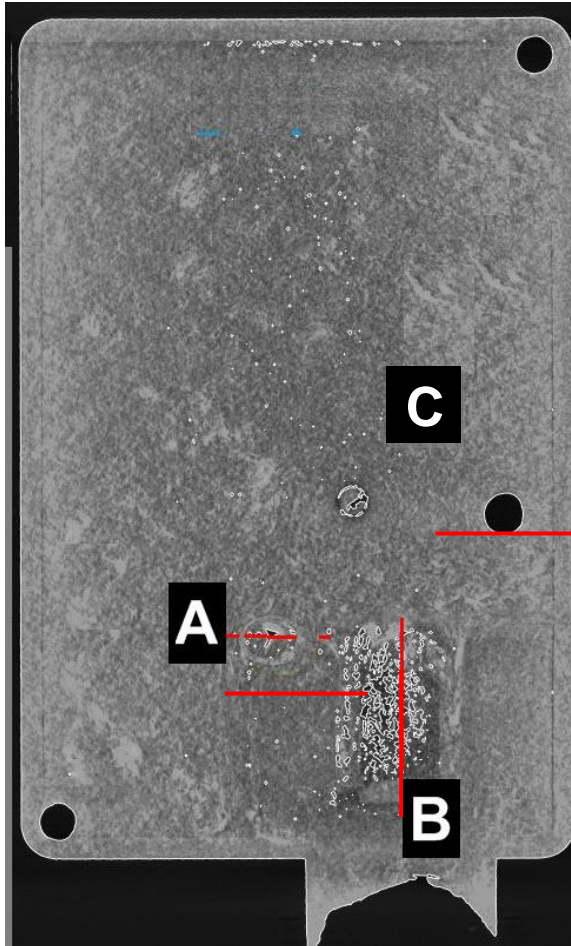
2.2.2 Použití a aplikace PBT

Polybutylentereftalát se používá pro pouzdra v elektrotechnice, ale i v automobilovém průmyslu a v domácnostech: např. u sprchy nebo žehličky. Také se používá pro vlákna u zubních kartáčků. Dále je používán u některých špičkových počítačových klávesnic, protože struktura PBT, jak už bylo zmíněno, je vysoce odolná proti opotřebení [19].

Typické aplikace PBT (polybutylentereftalátu) jsou:

- elektrické a elektronické díly
 - konektory
 - zásuvky, cívky, vypínače
 - nízkonapěťové přepínače
 - osvětlovací technika
- automobilový průmysl
 - části zapalovacího systému
 - komponenty elektrických systémů
 - snímače
- běžné domácnosti
 - kryty spotřebičů
 - rukojeti a podstavce
 - kryt a izolace motoru [19,20].

2.3. Popis experimentu a příprava vzorků



Obr. 20 Rentgenový snímek součásti

Použité vzorky byly 4 stejné. součásti. Všechny byly z jedné vstřikovací formy a jsou označeny Cavita 1 až 4. Vzorky byly rozřezány na kritických místech, které byly vybrány na základě rentgenového snímku obr. 19. Tyto části byly označeny A, B, C.

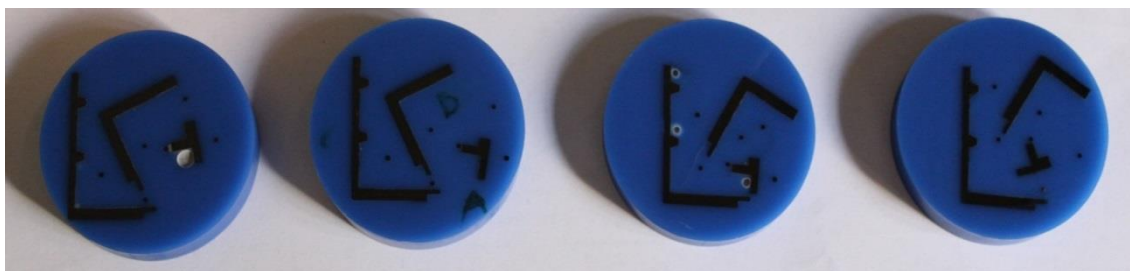
Červené přímký na rentgenovém snímku označují místa, kde byly vedeny řezy. Řezy byly u všech cavit vedeny na totožných místech, z důvodu zjištění zda budou vady nalezeny u všech 4 vzorků na stejných částech výrobku. Úkolem experimentu bylo zjistit, jestli není chyba někde ve formě nebo v technologii vstřikování. Toho mělo být docíleno právě podrobnou analýzou všech 4 cavit vyjmutých z jedné vstřikovací formy.

Následně po rozřezání byly součástky kritických míst začištěny od otřepů a zality do pryskyřice pro lepší vyhodnocení.



Obr. 21 Rozřezané součástky připravené na zalití

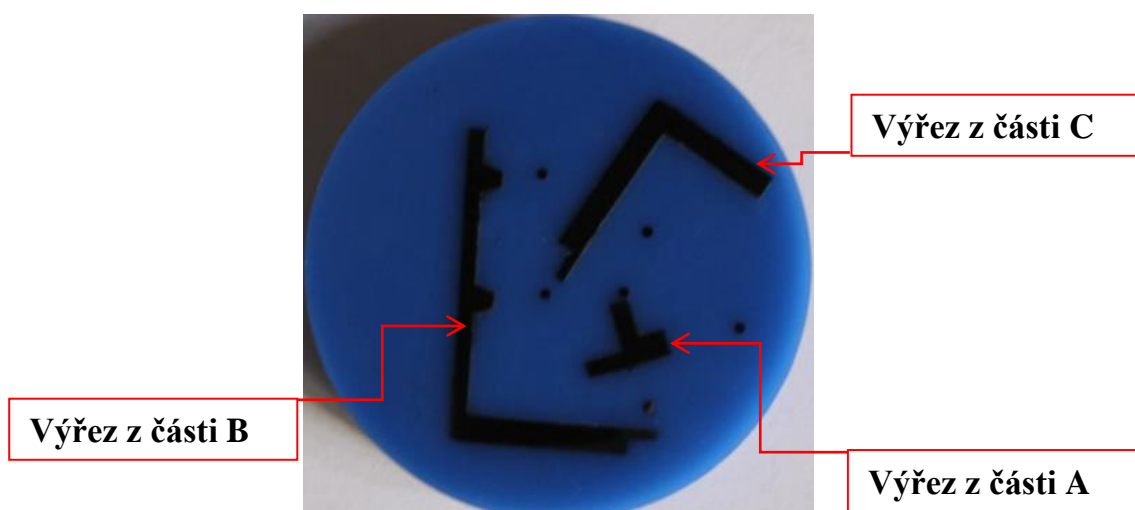
Po ztvrdnutí pryskyřice byly vzorky broušeny nejprve na brusných papírech o větší zrnitosti vždy ve směru kolmém na předchozí broušení. Postupně byly broušeny vzorky na brusných papírech těchto zrnitostí 120, 400, 600, 800, 1000, 2500. Poslední byla zrnitost 4000. Po obroušení na požadovaný povrch musely být vzorky kvalitně vysušeny, aby nezůstala jakákoli nečistota, nebo vada, která by narušila vyhodnocení na mikroskopu.



Obr. 22 Vybroušené vzorky

Z důvodu následného tvoření a vyhodnocení snímku z mikroskopu byly všechny čtyři vzorky označeny také písmeny A, B, C; dle toho, z jaké části součástky podle rentgenového obrázku byly vyřezány.

Označení všech vzorků je znázorněno na obr. 23. Označení je znázorněno pro vzorek cavita 4.



Obr. 23 Popsané části na vzorku

Na fotografii vlevo je Bruska LECO GPX 300, na které byly vzorky broušeny.



Obr. 24 Bruska LECO GPX 300

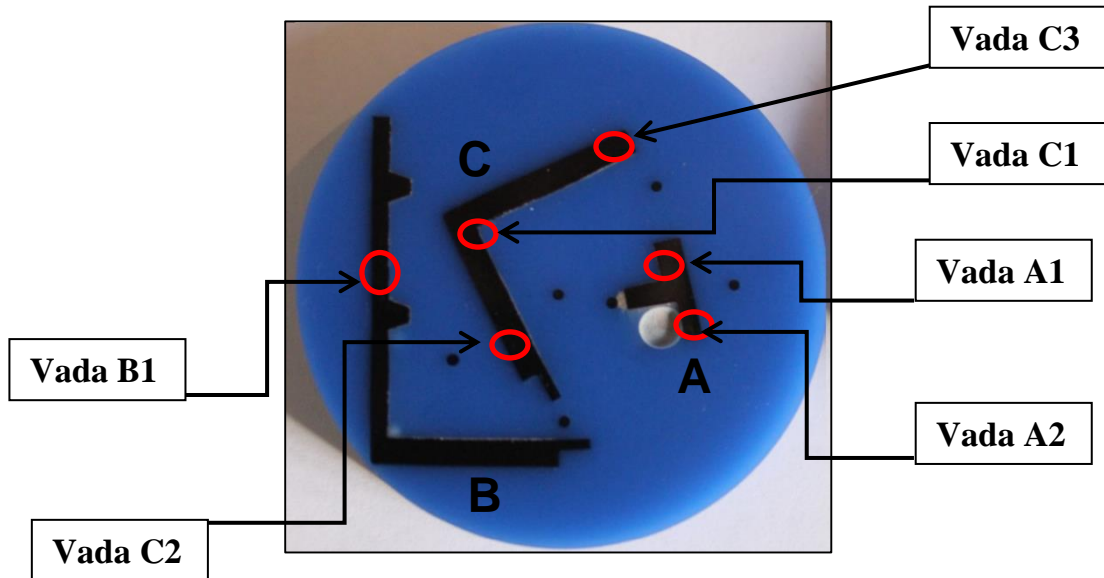


Obr. 25 Mikroskop Zeiss Neophot 32 se softwarem NIS Elements Advanced Research

K vyhodnocení byl použit mikroskop Metalografický mikroskop Zeiss Neophot 32, vybavený kamerou, který se využívá k mikroskopickému hodnocení struktur. Pro vyhodnocení byl použit software NIS Elements Advanced Research.

2.3.1 Vzorek cavita 1

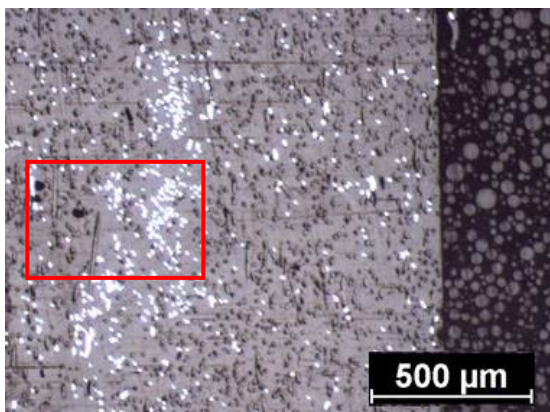
U vzorku cavita 1 jsou znázorněna místa výskytu vad červenými elipsami. Celkem jich bylo nalezeno šest. Vady jsou níže popsány a detailně foceny.



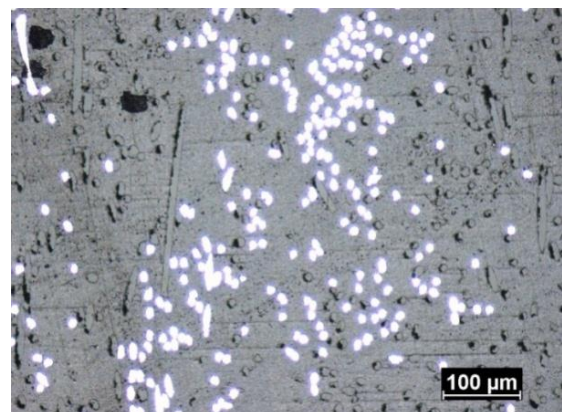
Obr. 26 Znázornění výskytu vad u cavity 1

První nalezená vada na součásti A, která může výrazně ovlivnit vlastnosti kompozitů, je znázorněna na obrázku 27. Jedná se o nerovnoměrné rozložení vláken. Nerovnoměrné rozložení kovových a skleněných vláken bylo označeno jako vada A2. Detail této vady je znázorněn na obrázku 28.

Cavita 1 – A2

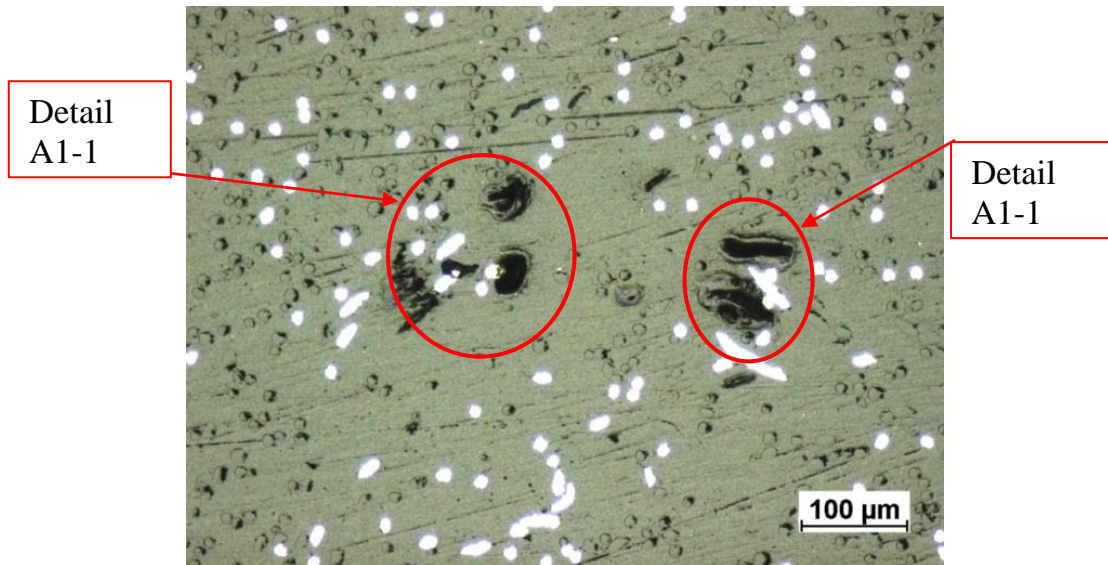


Obr. 27 Shluky vláken -vada A2

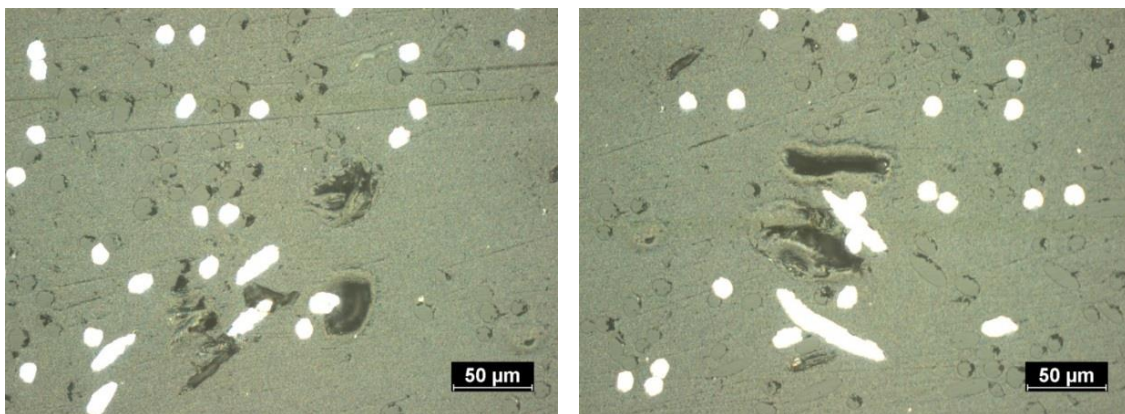


Obr. 28 Detail vady A2

Cavita 1 – A1



Obr. 29 Mikroskopický snímek dutin A1



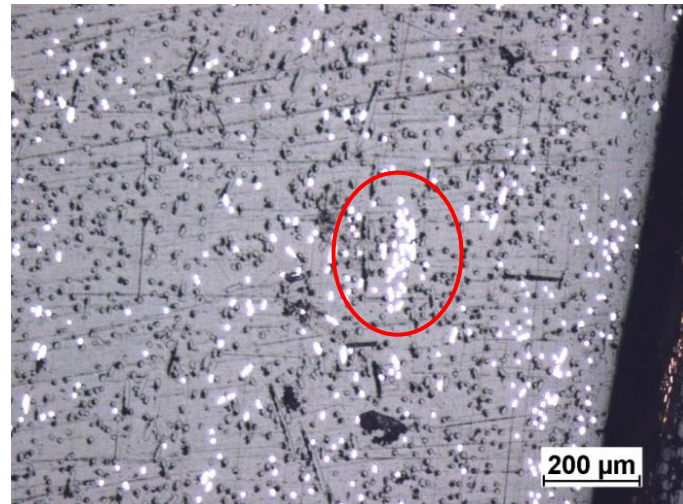
Obr. 30 Detail dutiny A1-2

Obr. 31 Detail dutiny A1-1

Z obrázku 29 je patrné, že se na cavitě 1, na části A, vyskytují dutiny, pro ujištění zda-li se jedná opravdu o dutiny, se provedlo zvětšení, které lze vidět namikroskopickém snímku Obr. 30 a Obr. 31. Dutiny, které lze vidět z obrázku 28, jsou dlouhé cca. 50 mikrometrů a široké maximálně 25 mikrometrů.

V části B byla nalezena pouze jedna vada, a to také nerovnoměrné rozložení vláken, ne však v takové míře jako u části A.

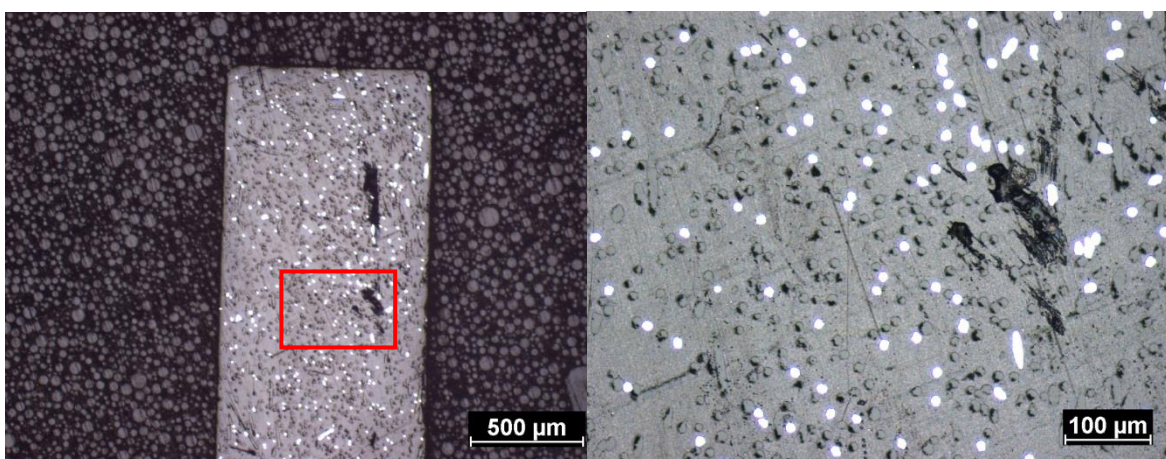
Cavita 1 – B1



Obr. 32 Nerovnoměrné rozložení vláken (shluky kovových vláken)

Další mikrotrhlina označena jako vada C3 byla nalezena na kraji v součásti C a je vidět na obrázku 33. Pro zjištění, zda-li se opravdu jedná o mikrotrhlinu, bylo opět provedeno zvětšení. Snímek z toho zvětšení je označen jako Obr. 34.

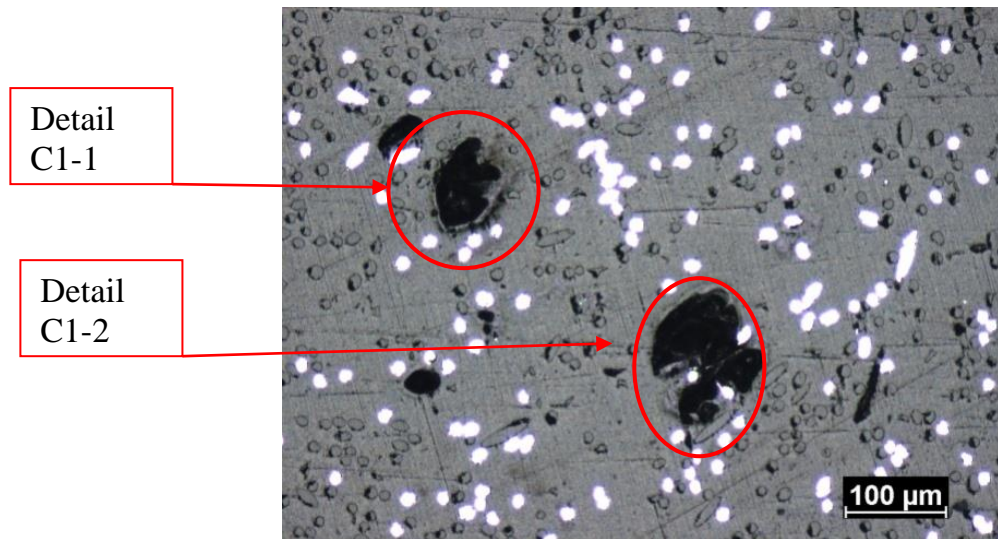
Cavita 1 - C3



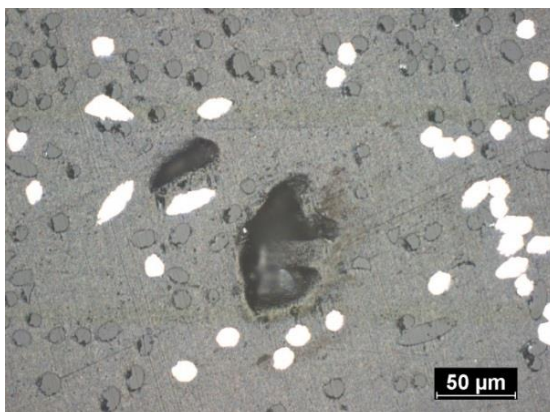
Obr. 33 Dutina u části C

Obr. 34 Detail dutiny C3

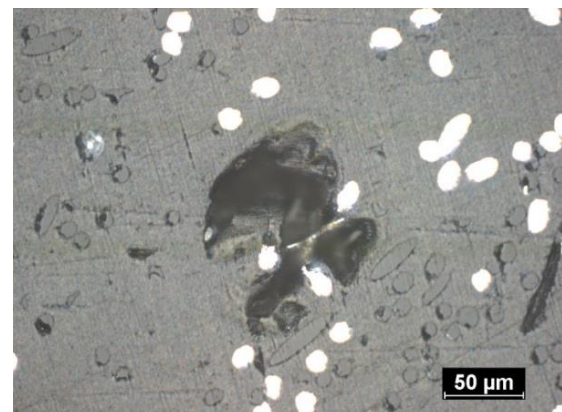
Cavita 1 – C1



Obr. 35 Dutiny na součásti C



Obr. 36 Detail dutiny C1-1

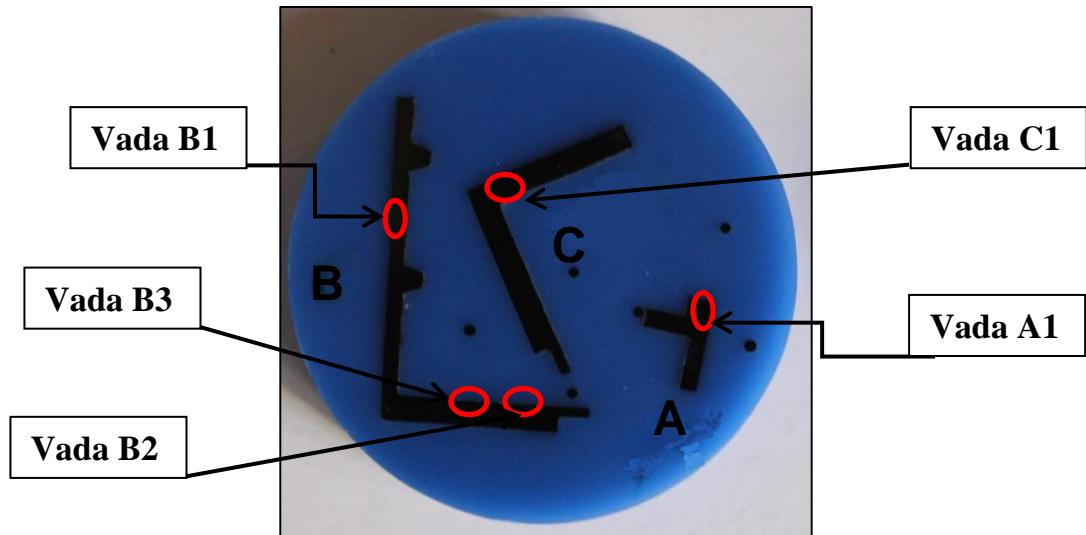


Obr. 37 Detail dutiny C1-2

Poslední dutiny, které byly nalezeny u vzorku č. 1 na části C, jsou zobrazené na obr. 35. Z důvodu jistoty, že se jedná o tyto vady, byl obraz zvětšen, což je zobrazeno na obrázcích detailu dutiny 36 a 37. Na části C byly nalezeny dutiny v největších rozměrech. Jak lze vidět z obrázku 35, dutiny byly v rozměrech až 100μm.

2.3.2 Vzorek cavita 2

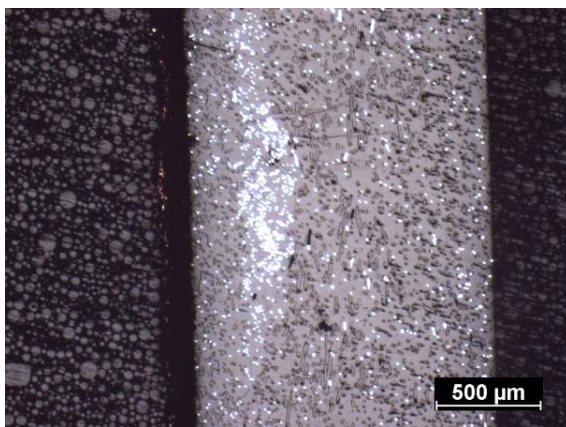
Na vzorku cavita 2 jsou také znázorněna místa výskytu vad. Na cavitě 2 se vyskytovalo celkem pět oblastí s vadou. Tato místa se s cavitou 1 téměř neshodovala. U vzorku cavita 2 bylo nejvíce vad nalezeno v oblasti B.



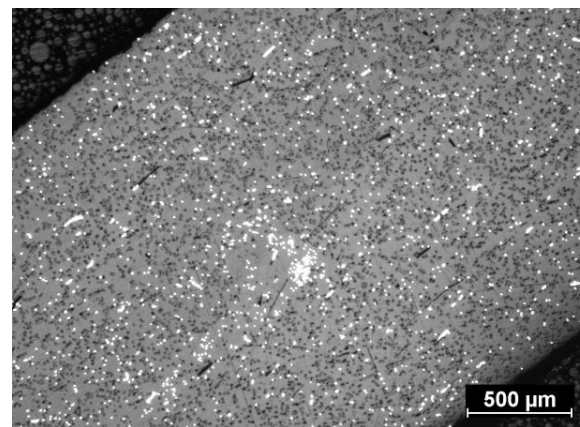
Obr. 38 Znázornění výskytu vad u cavity 2

Stejně jako u vzorku cavita 1, i zde byly nalezeny dvě vady, které lze charakterizovat jako nerovnoměrné rozložení vláken. Tyto vady jsou na obrázcích 39 a 40. Na obrázku 39 lze vidět, že zde u spodního kraje součástky, v místě řezu B, bylo špatné rozložení v největším rozsahu.

Cavita 2 – B

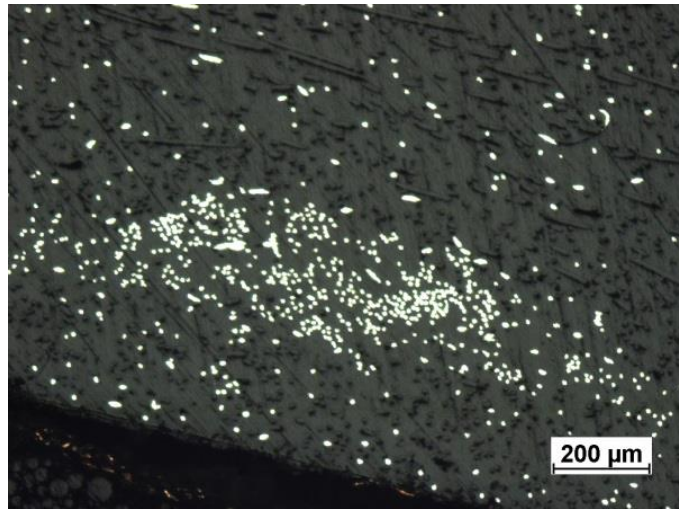


Obr. 39 Nerovnoměrné rozdělení vláken B1



Obr. 40 Nerovnoměrné rozložení vláken B3

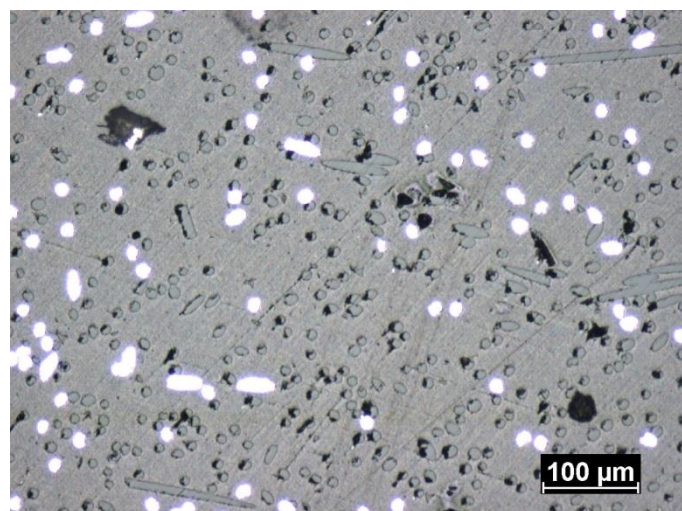
Cavita 2 – C



Obr. 41 Nerovnoměrné rozložení vláken C1

Další vady, které byly nalezeny u cavity 2 v části A jsou dutiny. K vidění na Obr. 42, které jsou rozměrově mnohem menší než u cavity 1. Ve vzorku cavity 2, se jednalo především o výše zmíněné nestejně rozložené vlákna, které vytvářelo shluky.

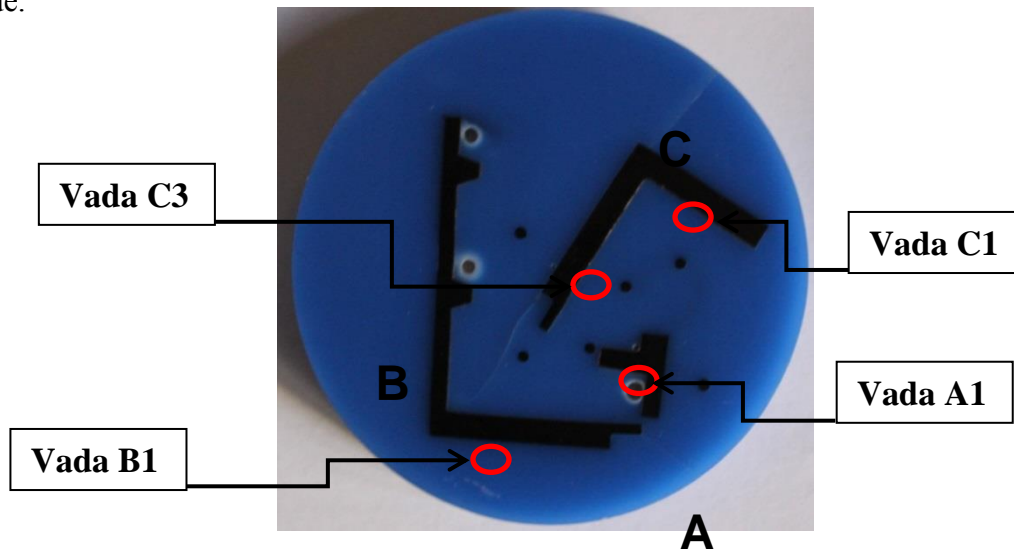
Cavita 2 – C



Obr. 42 Malé Dutiny na části A

2.3.3 Vzorek cavita 3

U cavity 3 byly nalezeny 4 vady, podrobná místa výskytu byla označena na obrázku 43. Vady níže popsány. Na části B a A bylo nalezeno na každé po jedné vadě.

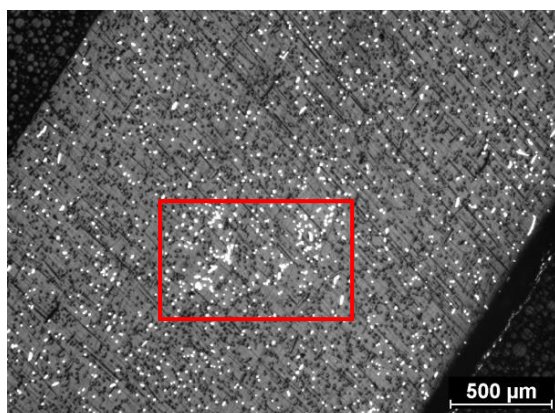


Obr. 43 Znárodnění výskytu vad u cavity 3

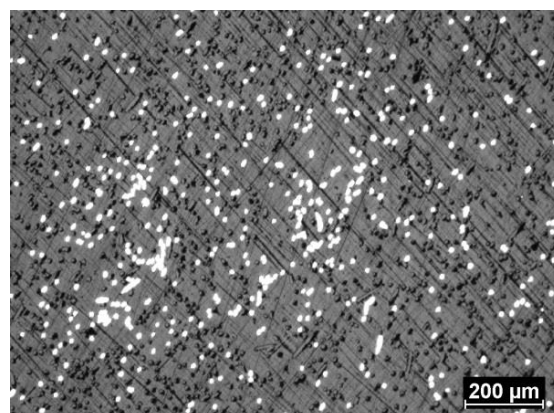
Na části C bylo nalezeno dvakrát nerovnoměrné rozložení vláken. Jak je patrné z obrázku 44, na spodní části se jednalo nepatrné shluky kovových vláken. U vady C2 byla vada viditelnější, nerovnoměrné rozložení bylo ve větší šířce po okraji součástky.

Na součásti A a B byla nalezeny menší dutiny, nerovnoměrné rozložení, shluky kovových vláken na součásti B ani A nalezeny nebyly.

Cavita 3- C1

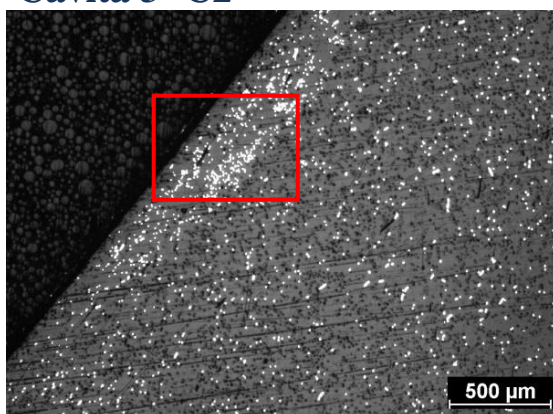


Obr. 44 Vada C1 shluky vláken

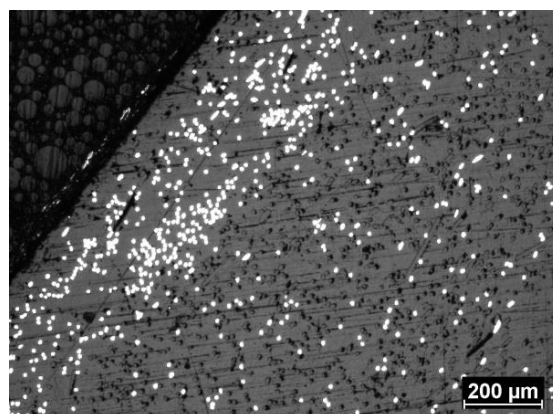


Obr. 45 Přiblížená vada C1

Cavita 3- C2

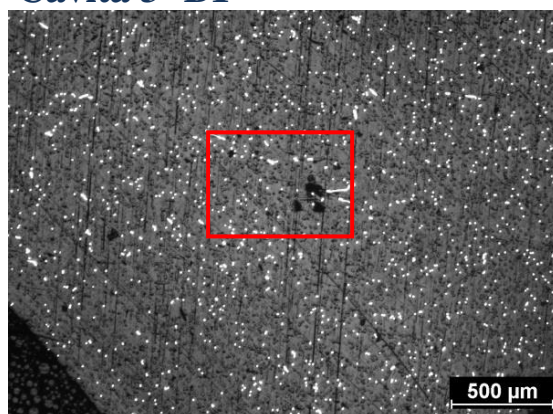


Obr. 46 Vada C3 shluky vláken u kraje

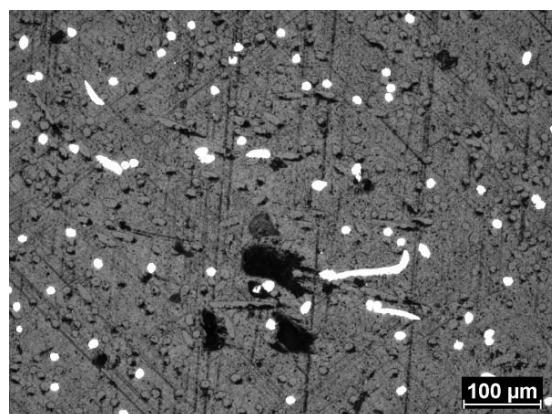


Obr. 47 Přiblížená vada C3

Cavita 3- B1

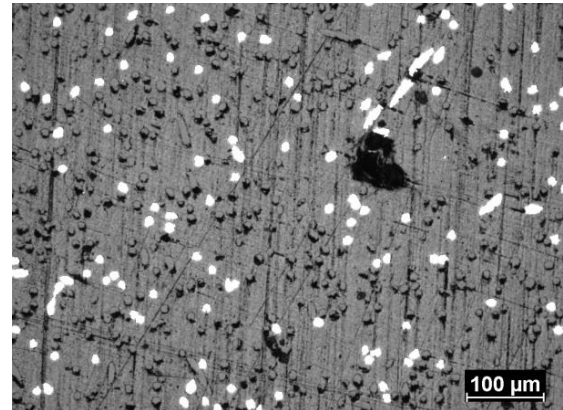
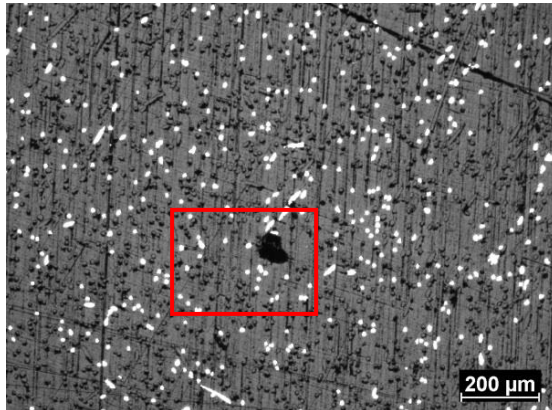


Obr. 48 Vada B1 Mikrotrhlina



Obr. 49 Přiblížená vada B1

Cavita 3- A1

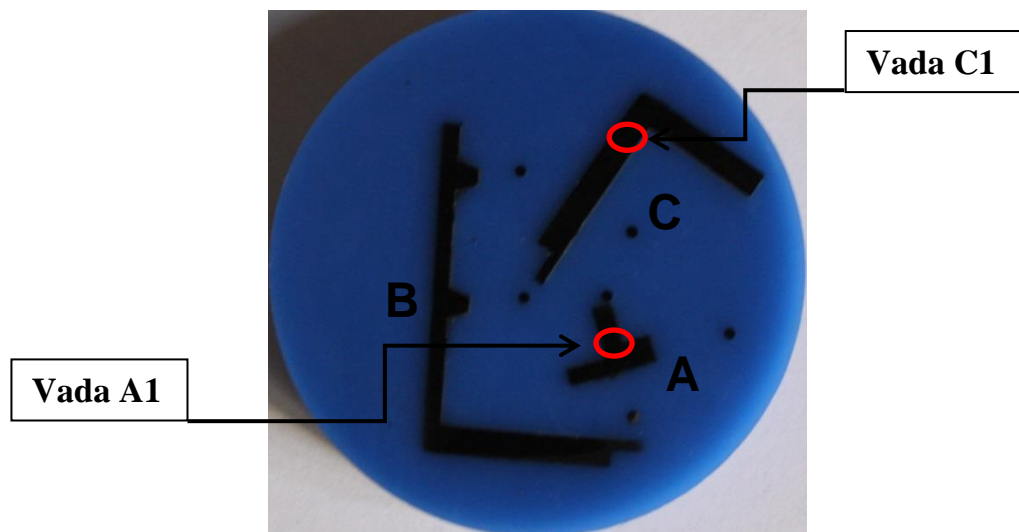


Obr. 50 Vada A1 dutina

Obr. 51 Přiblížená dutina A1

2.3.4 Vzorek cavita 4

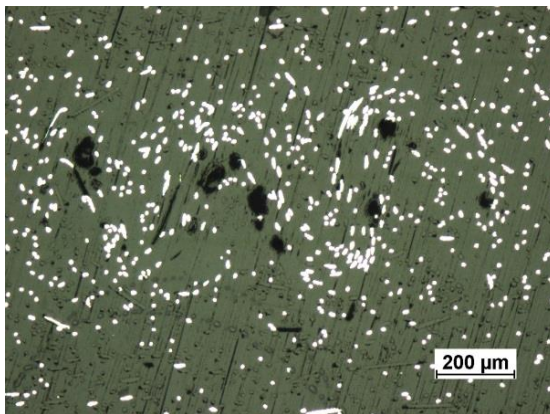
U vyhodnocení vzorku cavita 4 byly nalezeny pouze dvě vady, a to na části A a C. Místa výskytu vad jsou označena na Obrázku 52.



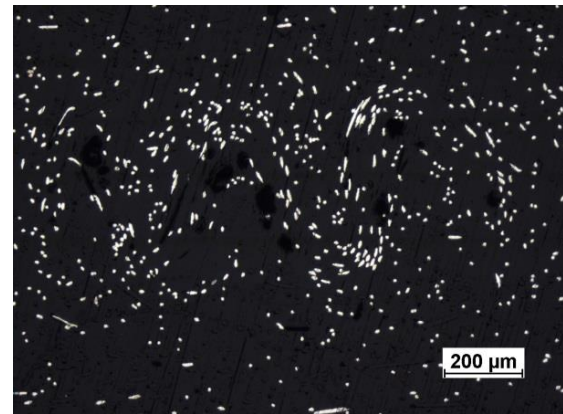
Obr. 52 Znárodnění výskytu vad u cavity 4

U vzorku cavita 4 byly také nalezeny dutiny, avšak jak je patrné na obrázku 53, se nejedná pouze o dutiny, nýbrž také o nerovnoměrné rozložení vláken v okolí těchto dutin, ty tvoří shluky ve tvaru dvou elips.

Cavita 4- A1



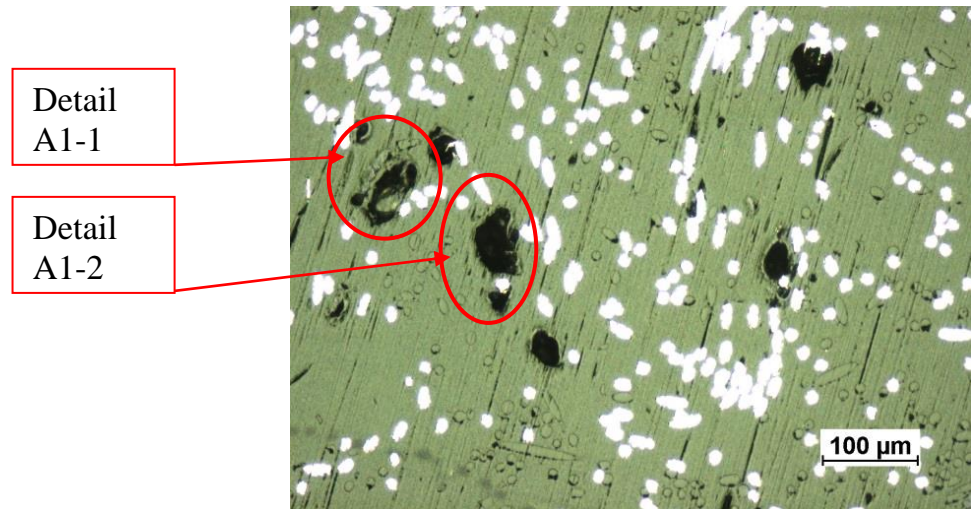
Obr. 53 Mikrostruktura vady A1



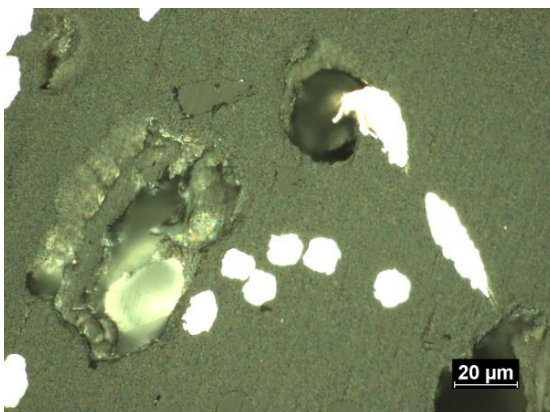
Obr. 54 Vada A1 v tmavém zobrazení

Pro zjištění, zda-li se opravdu jedná o dutiny, bylo opět provedeno zvětšení této vady, které je vidět na Obrázku 55. Dále byl vytvořen snímek detailního zvětšení vybraných dutin na obrázcích 53 a 54. Jak lze vidět při detailním zvětšení, na obrázku 56 byla u cavity 4 nalezena poměrně velká dutina. Na šířku byla velká 20μm a na výšku 40μm.

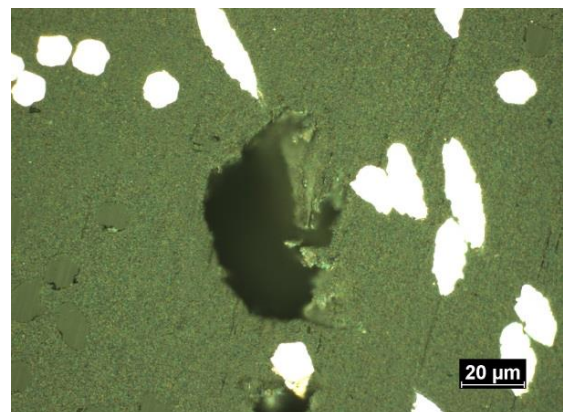
Cavita 4 - A1



Obr. 55 Dutiny a nerovnoměrné rozložení kovových vláken u cavity 4



Obr. 56 Detail dutiny A1-1

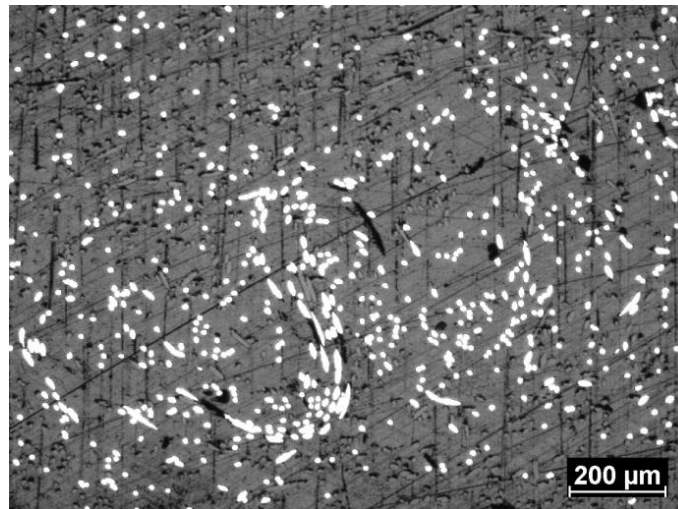


Obr. 57 Detail dutiny A1-2

Další nerovnoměrné rozložení kovových a skleněných vláken bylo nalezeno na části C a označeno jako vada C1. U vady C se nejednalo o shluky v tak velkých rozměrech jako na části A, avšak nesoudržnost součásti by to mohlo zapříčinit. Na obrázku je vidět, že shluky vláken tvoří útvary vypadajících jako vířivé proudy.

U cavity 4 na části B nebyla nalezena žádná vad. Nebylo objeveno ani již zmiňované nerovnoměrné rozložení, ale ani žádné dutiny zde nebyly nalezeny.

Cavita 4-C1



Obr. 58 Vada C1 Shluky vláken

2.4. Diskuze

V bakalářské práci byly analyzovány vady u výrobků z PBT. Analýza byla provedena u čtyř vzorků vyjmutých z jedné vstřikovací formy. Dle rentgenového snímku byla vytipována místa, která byla rozřezána na malé vzorky, které byly následně zality do pryskyřice. Vzorky byly podrobně zkoumány pod mikroskopem, aby bylo zjištěno, zda-li se vytipovaná místa shodují se skutečností.

Po prozkoumání vzorku cavita 1 bylo nalezeno celkem šest oblastí výskytu vad. U tohoto vzorku bylo zjištěno, nejvíce vad ze všech 4 vzorků. Byly zde nalezeny jak dutiny, tak také nerovnoměrné rozložení vláken.

Vytipovaná místa, především řez A, se shodovala s rentgenovým snímek. U třech ze čtyř vzorků se vyskytovala vada označena jako A1 na shodných místech. A to na části A v rohu. U dvou ze čtyř vzorků se vyskytovala vada v rohu součásti C a vada byla označena jako C1. Nejméně vad bylo nalezeno na vzorku cavita 4. U tohoto vzorku na části B vada nalezena nebyla vůbec. U cavit 1 a 3 bylo nejvíce oblastí s vadami nalezeno na části C. U všech zkoumaných vzorků, vyjímaje vzorku č. 4, byla vždy nalezena na každé části, alespoň jedna vada.

Vzhledem k počtu nalezených vad na cavitě 1 a 2, by mohla být chyba v technologickém postupu právě při vstřikování těchto prvních dvou součástí.

V tabulce 2 jsou podrobně uvedeny přibližné velikosti nalezených vad dle jednotlivých cavit a částí A až C. V tabulce 3 jsou uvedeny velikosti shluků kovových vláken (jak velké bylo nerovnoměrné rozložení).

Tabulka 2 Rozměry nalezených dutin dle umístění

SOUČÁST	ČÁST	ŠÍŘKA [μm]	DÉLKA [μm]
Cavita 1	A	40-50	20-30
Cavita 1	B	Dutiny nebyly nalezeny	
Cavita 1	C	40-60	50-70
Cavita 2	A	20-30	30-40
Cavita 2	B	Dutiny nebyly nalezeny	
Cavita 2	C	Dutiny nebyly nalezeny	
Cavita 3	A	20-40	30-50
Cavita 3	B	30-50	15-25
Cavita 3	C	Dutiny nebyly nalezeny	
Cavita 4	A	60-70	100-120
Cavita 4	B	Dutiny nebyly nalezeny	
Cavita 4	C	Dutiny nebyly nalezeny	

Ačkoli byly u vzorku cavita 4 nalezeny pouze dvě vady. Byla zde nalezena největší dutina ze všech čtyř vzorků. Dutina má šířku cca $70\mu\text{m}$ a délku $120\mu\text{m}$.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla analýza a následné vyhodnocení přítomnosti vad ve výrobcích z PBT s kovovou a skleňenou vláknovou výztuží. Ze vzorků mělo být zjištěno, zda-li jsou vady všude, kde byly viděny na rentgenovém snímku, který byl před analýzou zhotoven. V experimentální části byly zkoumány jen vnitřní vady, které jsou nejčastějším důvodem poruchovosti kompozitních součástí. Nalezeny byly vady zvané dutiny a nestejně rozložení kovových a skleněných vláken.

Vnitřní dutiny způsobují zeslabení nosného průřezu a často mohou být zdrojem vnitřních únavových trhlin. Vznikají nedostatečným dotlakem ve vstřikovací formě a zároveň rychlým s tuhnutím povrchových vrstev. To má za následek, že ztuhlý povrch nevytvoří prohloubeniny a při smršťování tekutého vnitřku vznikají vzduchoprázdné dutiny. Nerovnoměrné rozložení v případě kompozitů vzniká špatným smícháním směsí. Například u vzorku PBT + skelné vlákno se přimíchává vlákno kovové. Toto vlákno se hůře rozloží mezi vlákno skleněné a tím vznikají shluky, které mají často za následek prasknutí součástí.

Postup práce byl splněn, vzorky byly rozřezány a podrobně pod mikroskopem zkoumány. Vady, které byly nalezeny, se ve většině případů shodovaly s vadami, které byly předpokládány podle rentgenového snímku. Všechny 4 vzorky, které byly poskytnuty k bakalářské práci, byly z jedné formy, úkolem bylo zjistit, ve které části formy se vyskytuje nejvíce vad a jakého druhu.

Z experimentu bylo zjištěno, že nejvíce vad se vyskytuje ve vzorku cavita 1, z toho bylo usouzeno, že největší problém bude při vstřikování do cavity 1. Z hlediska vytipovaných míst bylo nejvíce defektů nalezeno v části C. U cavity 1 byly nalezeny na této části tři vady. Nejméně vad bylo nalezeno na části B. Dokonce u cavity 4 v této části nebyly nalezeny žádné vady.

Po celkové analýze vzorků, lze konstatovat, že bylo nalezeno menší množství defektů, než bylo na začátku experimentu předpokládáno. Vady nalezené na všech vzorcích nebyly až takových rozměrů, aby byla významně narušena funkčnost výrobků.

Seznam obrázku

Obr. 1 Základní klasifikace polymerů.....	10
Obr. 2 Nadmolekulární struktura u amorfních polymerů	11
Obr. 3 Nadmolekulární struktura u krystalických polymerů	11
Obr. 4 Závislost tlaku na čase při vstřikovacím cyklu.....	15
Obr. 5 Přetoky v místě dělicí roviny	19
Obr. 6 Neúplný výstřik	20
Obr. 7 Stopa po vyhazovači	21
Obr. 8 Průhyb způsobený vyhozením	21
Obr. 9 Propadliny	22
Obr. 10 Tmavé fleky od zdegradovaného materiálu.....	23
Obr. 11 Stopy po vlhkosti u výstřiku	23
Obr. 12 Drobné bublinky u výstřiku z transparentního polymeru	24
Obr. 14 Vzhled gramofonové desky	25
Obr. 15 Studený spoj u polymeru vyztuženého skleněnými vlákny.....	25
Obr. 16 Stopy po volném proudu taveniny	26
Obr. 17 Dieselefekt – detail spáleného polymeru	27
Obr. 18 Rozložení pnutí po průřezu výstřiku	27
Obr. 19 Polybutyléntereftalát (PBT).....	32
Obr. 20 Rentgenový snímek součásti	34
Obr. 21 Rozřezané součástky připravené na zalití	34
Obr. 22 Vybroušené vzorky	35
Obr. 23 Popsané části na vzorku	35
Obr. 25 Mikroskop Zeiss Neophot 32 se softwarem NIS	36
Obr. 24 Bruska LECO GPX 300.....	36
Obr. 26 Znázornění výskytu vad u cavity 1	37
Obr. 27 Shluky vláken -vada A2.....	37
Obr. 28 Detail vady A2	37
Obr. 29 Mikroskopický snímek dutin A1	38
Obr. 30 Detail dutiny A1-2	38
Obr. 31 Detail dutiny A1-1	38
Obr. 32 Nerovnoměrné rozložení vláken (shluky kovových vláken	39

Obr. 33 Dutina u části C.....	39
Obr. 34 Detail dutiny C3.....	39
Obr. 35 Dutiny na součásti C.....	40
Obr. 36 Detail dutiny C1-1.....	40
Obr. 37 Detail dutiny C1-2.....	40
Obr. 38 Znázornění výskytu vad u cavity 2.....	41
Obr. 39 Nerovnoměrné rozdělení vláken B1.....	41
Obr. 40 Nerovnoměrné rozložení vláken B3.....	41
Obr. 41 Nerovnoměrné rozložení vláken C1.....	42
Obr. 42 Malé Dutiny na části A.....	42
Obr. 43 Znázornění výskytu vad u cavity 3.....	43
Obr. 44 Vada C1 shluky vláken.....	44
Obr. 45 Přiblížená vada C1.....	44
Obr. 46 Vada C3 shluky vláken u kraje.....	44
Obr. 47 Přiblížená vada C3.....	44
Obr. 48 Vada B1 Mikrotrhlina.....	44
Obr. 49 Přiblížená vada B1.....	44
Obr. 50 Vada A1 dutina.....	45
Obr. 51 Přiblížená dutina A1.....	45
Obr. 52 Znázornění výskytu vad u cavity 4.....	45
Obr. 53 Mikrostruktura vady A1.....	46
Obr. 54 Vada A1 v tmavém zobrazení.....	46
Obr. 55 Dutiny a nerovnoměrné rozložení kovových vláken u cavity 4.....	47
Obr. 56 Detail dutiny A1-1.....	47
Obr. 57 Detail dutiny A1-2.....	47
Obr. 58 Vada C1 Shluky vláken.....	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vlastnosti Polybutylentereftalátu.....	33
Tabulka 2 Rozměry nalezených dutin dle umístění.....	50

Použité Zdroje:

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] ŠVORČÍK, V. *Polymery stručně* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [3] SUCHÝ, Marek. *MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ* [online]. 2009 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17446. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. EVA NOVOTNÁ, Ph.D.
- [3] LENFELD, Petr. *Technologie II-část 2: Zpracování plastů* [online]. 2005. Liberec [cit.2015-03-25].Dostupné z:[z:http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#)
- [4] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vydání. Brno: VUT, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [5] ÚSTAV MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ. *Kompozitní materiály* [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6_kompozitni-materialy.pdf
- [6] GDP KORAL. *Kompozity* [online]. [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/UserFiles/File/PDF-design-manual/kompozity.pdf>
- [7] KROČOVÁ, Blanka. *ČÁSTICOVÉ KOMPOZITY VYZTUŽENÉ KRÁTKÝMI VLÁKNY* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=50582. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce ING. PETR POLÁČEK, PH.D.
- [8] HORÁK, Pavel. *Vliv struktury na mechanické chování vstříkovaných plošných prvků* [online]. Zlín, 2009 [cit. 2015-06-25]. Dostupné z: https://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8016/hor%C3%A1k_2009_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [9] HERALT, Aleš. *Vstříkování plastických hmot* [online]. Brno, 2008 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/15325/2008_BP_Heralt_Ales_85662_Vstrikovani_plastickyh_hmot.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [10] SVOZIL, David. *Konstrukce vstříkovací formy pro výrobu poklice automobilu* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24604/svozil_2013_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. UTB Zlín.

- [11] KREBS, Josef. *Využití technologie vstřikování plastů ve strojírenství*. 1. vyd. České budějovice: Dům techniky ČSVTS, 1988.
- [12] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [13] VÁCLAVEK, Jiří. *Výroba součásti "krytka"* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=56502. Diplomová práce. VUT Brno.
- [14] NEUHÄUSL, Emil. Požadavky na kvalitu a reálné možnosti technologie vstřikování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: Vogel Publishing, 1997- [cit. 2015-03-25]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pozadavky-na-kvalitu-a-realne-moznosti-technologie-vstrikovani.html>
- [15] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1 . 2. upr. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 133 s
- [16] NEUHÄUSL, Emil. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Vady výstřiků 1.-6. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010, č. 3 - [cit. 2015-03-25]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
- [17] NEUHÄUSL, Emil. Polymery amorfni a semikrystalicke z hlediska vstřikování *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010, č. 3- [cit. 2015-03-25]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [18] LÉDLOVÁ, Hana. *Elektronická podpora výuky zpracování plastů vstřikováním* [online]. Zlín, 2006 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/1547>. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [19] OMNEXUS. *Polybutylene Terephthalate: Properties* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polybutylene-terephthalate/properties#content>
- [20] RESINEX. Produkty: *PBT polybutyléntereftalát* [online]. [cit. 2015-04-1]. Dostupné z : <http://www.resinex.sk/polymernej-typy/pbt.html>
- [21] BRYKŠÍ STUNOVÁ, Barbora, *Technologie vstřikování plastů* [přednáška]. Praha: ČVUT, 2013 [online]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TZPK/3%20Vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%A1D%201.pdf>