

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLMOUCI
KATEDRA OPTIKY

NETRADIČNÍ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE
PŘI VÝROBĚ BRÝLOVÝCH OBRUB

Bakalářská práce



VYPRACOVAL:

Václav Rašpl

Obor 5345R008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2017/2018

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jaroslava Wagnera, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 10.4. 2018

Poděkování

Mé poděkování patří RNDr. Jaroslavu Wagnerovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Tato práce vznikla za podpory projektu IGA PřF UP s názvem Optometrie a její aplikace, č. IGA_PrF_2018_007.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 Historie brýlových obrub.....	7
2 Typy brýlových obrub	11
2.1 Brýlové obruby s očnicemi	11
2.2 Obruby vázané	12
2.3 Vrtané brýle.....	13
3 Materiály na výrobu brýlových obrub	14
3.1 Plastové materiály	15
3.1.1 Celuloid.....	16
3.1.2 Acetát celulózy	16
3.1.3 Aceto-propionát celulózy.....	17
3.1.4 Aceto-butyrát celulózy.....	17
3.1.5 Polyamid	17
3.1.6 Optyl	18
3.2 Kovové materiály	19
3.2.1 Titan	19
3.2.2 Bio-ocel.....	20
3.2.3 Zlato	20
3.2.4 Nové stříbro	20
3.2.5 Monel.....	21
3.3 Přírodní materiály.....	21
3.3.1 Rohovina.....	21
3.3.2 Želvovina	21
3.3.3 Kost.....	22
3.3.4 Useň	22
3.3.5 Dřevo	23
3.3.6 Kaučuk.....	23
3.3.7 Vlasy	23
4 Postup při výrobě brýlových obrub	24
4.1 Plastové obruby	24
4.1.1 3D Tisk	24
4.1.2 Frézování	25

4.1.3	Vtlačování do forem	26
4.1.4	Lití do forem	28
4.1.5	Finální úpravy	28
4.2	Kovové obruby	29
4.2.1	Válcování	29
4.2.2	Rotační kování	30
4.2.3	Lisování	30
4.2.4	Ohýbání.....	31
4.2.5	Prostřihování.....	31
4.2.6	Finální úpravy	31
4.3	Přírodní materiály.....	34
4.3.1	Rohovina.....	34
4.3.2	Želovina	35
4.3.3	Kost.....	35
4.3.4	Useň	35
4.3.5	Dřevo	35
5	Kvalita brýlových obrub.....	38
5.1	Označení brýlových obrub	38
5.2	Odolnost materiálu	38
5.3	Mechanická stálost	39
ZÁVĚR		40
CITOVANÁ LITERATURA		41
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		43

ÚVOD

Cílem této práce je seznámení s historií materiálů na výrobu brýlových obrub a s vývojem výroby brýlových obrub. Čtenář bude seznámen se známými i méně známými materiály, které budou srovnány s běžně dostupnými a v dnešní době hojně využívanými materiály. Dále zde budou uvedeny netradiční postupy výroby používané jak při výrobě z běžných materiálů, tak i z méně používaných nebo v dnešní době již zakázaných materiálů. Závěr práce bude věnován finálním úpravám brýlových obrub a jejich značení

Práce bude rozdělena do několika hlavních kapitol a každá z kapitol bude systematicky členěna. Výsledná práce by měla představit známé i méně známe materiály na výrobu brýlových obrub a různé postupy výroby, které jsou použity na výrobu brýlových obrub.

Důvodem výběru daného tématu, byla myšlenka na výrobu vlastních brýlových obrub z dřevěných dýh. S výrobou brýlových obrub ze dřeva jsem byl poprvé seznámen v prvním ročníku na vyšší odborné škole v Plzni. Výroba brýlových obrub z tohoto netradičního materiálu mě velmi zaujala, jelikož v té době nebyla tak rozšířena a specializovalo se na ní pouze několik firem na celém světě.

Vlastní prototyp vznikl na přelomu roku 2012–2013 pod neoficiální značkou „VR Wood“. Postupem času byl postup výroby zdokonalen a brýlové obruby byly distribuovány pouze v úzkém kruhu přátel. Postupem času jsem objevoval další materiály, které nebyly využívány k sériové výrobě, ale svou metodou výroby nebo speciálními vlastnostmi mě velice zaujaly (např. kamenné dýhy). K dnešnímu dni není značka „VR Wood“ stále oficiální, a i přes dobré ohlasy na brýlové obruby neplánuji v nejbližší době tyto brýle vyrábět se záměrem zisku.

1 HISTORIE BRÝLOVÝCH OBRUB

První, nepotvrzené, záznamy o využívání korekčních pomůcek se objevují již u starých Egyptanů a Aztéků. Další odkazy můžeme nalézt v dobách starověkého Říma, z doby panování císaře Nera, který si, údajně, při gladiátorských hrách umisťoval před oko broušený smaragd, který z pohledu dnešní optiky, mohl sloužit jako první „sluneční“ brýle, jelikož složení smaragdu filtruje sluneční záření a mohlo také do jisté míry eliminovat odlesky slunce od štítů, mečů a výzbroje gladiátorů.

Tuto teorii ještě více podporují odkazy na Nerovo učitele Senecu, který dle dochovaných pramenů, využíval při čtení skleněné koule, které byly naplněné vodou a písmo do jisté míry mohly zvětšovat.

Ovšem prvním doloženým korekčním členem byl tzv. „Lesestein“ (čtecí kámen), který dnes známe spíše jako lupu.

Obrázek 1: „Lesestein“- čtecí kámen¹



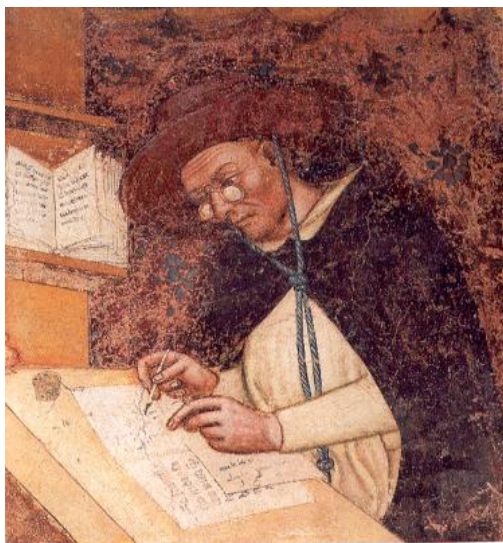
Anglický mnich Roger Bacon, roku 1268 poprvé podrobně popsal využití této korekční pomůcky. Z této doby jsou také známi první zmínky o upevňování těchto korekčních pomůcek na krk, pomocí provázků. Zde bychom tedy mohli mluvit již o prvních, velmi primitivních, brýlových obrubách.

V roce 1289 se objevuje první písemná zmínka o zasazení těchto „čtecích kamenů“ do speciálních rámečků zhotovených z kosti a očnice jsou spojeny jednoduchým nýtkem.

Roku 1352 se také objevuje první grafické znázornění brýlových obrub, a to na freskách uvnitř baziliky San Nicolo v Treviso v Itálii. Je zde vyobrazen kardinál Hugo of Provence. Jelikož ale zemřel již roku 1260, tak o kresbě panují jisté pochybnosti. [1]

¹ Obrázek 1: „Lesestein“- čtecí kámen – zdroj: <http://www.ocnioptik.eu/historie-bryli/>

Obrázek 2: První vyobrazení brýlových obrub²



Asi nejvýznamnější období pro rozvoj brýlí a korekčních členů je však přelom roku 1447 a 1448, kdy je poprvé masově využito technická novinka, knihtisk. V tomto období se poprvé projeví větší potřeba korekčních pomůcek na čtení a tím je vývoj brýlí jako celku značně urychlen. Také se poprvé objeví tento pojem, brýle. Toto slovo vychází z nizozemského slova „bril“, podle materiálu použitého při výrobě čoček (berylu).

Zásadní otázkou se ale ukázalo být, do čeho čočky vložit, aby jejich nošení bylo co nejpříjemnější a nejjednodušší. V té době se používaly dostupné materiály, jako bylo dřevo, kůže, kost, želvovina a rohovina, která je v dnešní době na výrobu brýlových obrub zakázána. Také se používali různé lněné nebo hedvábné provázky a kovové řetízky.

Jedno z prvních řešení bylo nýtování obou očnic do jednoho celku. Nýtek se ale nacházel v oblasti dnešního nosníku, a nošení těchto brýlí bylo velice nepříjemné.

To ovšem nebyl jediný problém. Další z úkolů byl, jak udržet obruby na nose, aby nespádávaly. V 17. století používali Španělé k upevnění obrub hedvábný provázek, který tvořil smyčku okolo ucha. S inovací přišli čínští nositelé brýlových obrub, kteří navazovali za hedvábné provázky keramická nebo kovová závažíčka a spouštěli je za uši.

V roce 1730 Edward Scarlett, londýnský optik, přichází s myšlenkou pevných stran, která se opírají o horní část ucha. Tato inovace se ukáže jako velice přívětivá, a proto jí okamžitě přebírají i ostatní výrobci po celém světě.

² Obrázek 2: První vyobrazení brýlových obrub – zdroj:
<http://www.historyofinformation.com/expanded.php?id=1755>

Dalším vylepšením se stává roku 1752 dvojitý čep, který šel zavírat a dnes je označován jako stěžejky. Dalším vývojem jsou tyto části zdokonalovány a modifikovány až do podoby dnešních brýlových obrub. [2]

Přes všechna vylepšení a úpravy byl však jedním z nejoblíbenějších výrobků německý monokl (jednoočnicové brýle, vyráběné v Německu od počátku 18. století). Jeho nezpochybnitelnou předností byla skladnost a nenápadnost. V té době bylo stále využívání brýlových korekcí považováno za projev slabosti a nemoci.

Obrázek 3: Monokl³



Předchůdcem těchto monokulárních brýlových obrub byly brýle binokulární, které dnes známe pod názvem lorňon a cvikr.

Lorňon byl vyhledáván především ženským pohlavím. Na místo dnešních straníc, bylo připevněno šikmo směřované držátko, často vyrobené ze zlata nebo jiného kovu a velmi bohatě zdobené. Podle zdobenosti se dalo usuzovat z jakých poměrů daná dáma pochází. Tato pomůcka se lišila také v použitelnosti. Známe lorňony pevné, skládací, ale i automatické, které se rozevíraly pomocí pérka.

Další zmíněný, cvikr, byl složen z dvou očnic, které byly spojeny tenkým plátkem pružného kovu, který se roztáhnul a nasadil na nos jako svorka. Tato část však byla velmi křehká a docházelo k častému ulomení jedné z očnic.

³ Obrázek 3: Monokl – zdroj: <http://en.wikipedia.org/wiki/Monocle>

Obrázek 4: Lorňon (druhý z hora) a cvikr (první a třetí předmět)⁴



S vývojem funkčnosti jde také ruku v ruce design. Už v době renesance se objevují stylové brýlové obruby, které vynikaly využitím vzácných materiálů, ale také extravagantním tvarem a způsobem zdobení.

V době baroka design odsunul funkčnost brýlových obrub až na druhé místo a začal se řídit módními trendy, což můžeme vypořádat i v dnešní době, vzhled na úkor funkčnosti. [3]

Od 19. století se již brýle staly nezbytnou pomůckou pro korekci zrakové ostrosti, ale také módní záležitostí. Dnešní výrobci se předhánějí ve zdokonalení tvarů a použitých materiálů na výrobu brýlových obrub. [4]

⁴ Obrázek 4: Lorňon a cvikr – zdroj:

<http://www.papilio.cz/cz/archiv.php?aukce=a21&pol=6434&PHPSESSID=a60e6d34e51755f9df20e63fc5042153>

2 TYPY BRÝLOVÝCH OBRUB

„V Ottově slovníku naučném z roku 1891 můžeme pod heslem „brejle“ číst:“

„Brejle, též okuláry, přístroj k tomu zřízený, by směr paprsků do oka vnikajících změnil, a tak vidění zlepšit, aby je částečně nebo docela zadržel neb jakost jejich změnil, anebo konečně aby oko chránil před cizími tělesy, horkem a jinými škodlivosti.“

... a dále:

„V XV. a XVI. století staly se brejle již předmětem módy zvláště ve Španělsku tak, že každý švihák nosil brejle, ať jich měl zapotřebí čili nic, a čím větší byly, tím více zvyšovaly jeho grandezzu. Tento zlořád šířil se tak povážlivě po Evropě, že již starý okulista Bartisch viděl se nucena, důrazně varovati před tak nerozumným užíváním vynálezu jinak blahodárného.“ [5]

Prvořadým účelem dnešních brýlových obrub již není pouze vkládání korekčních členů, ale jsou uznávaným, avšak někdy i zatracovaným, módním doplňkem.

Vývoj brýlových obrub jde stále vpřed, ovšem dnes máme hlavní tři skupiny brýlových obrub:

1. Celoobruby
2. Poloobruby
3. Bez očnic (vrtané)

Tyto tři skupiny obsahují další různé modifikace a úpravy daného tvaru, nicméně další vývoj nad rámec těchto tří skupin již není možný.

2.1 Brýlové obruby s očnicemi

Celoobruby jsou považovány za předchůdce zbylých dvou uvedených typů, které byly pouze upraveny dle požadavků a přání dnešních nositelů, kterým tyto dva typy dopřávají větší komfort zorného pole a jsou považovány za méně nápadné, což platí hlavně u vrtaných obrub.

Jejich nezpochybnitelnou výhodou ovšem zůstává zasazení brýlových čoček do připravené drážky, která vede po celém obvodu očnice, pomocí předem připravené fazety tvaru „V“, která zapadne do drážky v brýlové obrubě, a tak jsou chráněna před odštípnutím nebo poškozením okrajů.

Celoobruba jsou složeny z dvou celistvých nebo rozšroubovatelných očnic, které jsou pevně spojeny můstkem (nosníkem). Celý tento koncept se nazývá brýlový střed. Dále jsou k očnicím pomocí stěžepek připevněné stranice.

Patří mezi nejprodávanější obruby vůbec. Ovšem jejich celistvý vzhled a nápadnost se může jevit také jako nevýhoda. Při výběru těchto obrub se tedy musí velmi dbát na tvar obličeje a barvu samotných obrub, aby bylo vše v harmonii a ke spokojenosti klienta. Další nevýhodou může být váha samotných obrub. Tomu lze předejít správně zvoleným materiálem při výrobě. [5]

Obrázek 5: Brýlové obruby s očnicemi⁵



2.2 Obruby vázané

Druhým typem je obruba vázaná (poloobruba), která nemá kompletní očnici po celém obvodu čočky. Nejčastěji se můžeme setkat s vázacím silonem, který dotvoří očnici tak, aby byla brýlová čočka upevněna. U této obruby se můžeme nejčastěji setkat s prasknutím silonu nebo odštípnutím či odlomením části brýlové čočky. Toto může mít příčinu buď v příliš tenké čočce, nebo příliš velkému pnutí, způsobeného špatným průměrem vázacího silonu.

Jsou oblíbené pro lehkost a nenápadnost. Jejich výhodou je nejčastěji v konstrukčním odstranění části očnic. Uživateli umožňuje větší zorné pole v dolní nebo horní části a není zde takové omezení zorného pole, jako je tomu například u obrub s očnicemi. Nevýhodou však je složitější sestavování a přizpůsobování brýlí. [5]

⁵ Obrázek 5: Brýlové obruby s očnicemi – zdroj: <http://www.extrabryle.cz/extrabryle/eshop/2-1-Panske-bryle>

Obrázek 6: Obruby vázané⁶



2.3 Vrtané brýle

Posledním typem jsou brýle vrtané. Tyto obruby jsou velmi vyhledávané lidmi, kteří chtějí co nejméně nápadné brýle, a nebo chtějí co nejvíce předejít skotomu zorného pole způsobeného brýlovými obrubami. Bohužel, jejich estetická výhoda je vykoupena jejich křehkostí. Ze všech tří obrub jsou nejvíce náchylné k neopatrnému zacházení a klasické sundávání pouze jednou rukou, kde dochází k velkému pnutí uvnitř vrtaných otvorů, může vést až k porušení brýlové čočky. S vývojem nových technologií se ale stávají čím dál více odolné a při správném výběru brýlových skel s kombinací obruby vyrobené z titanflexu (odkaz na stranu), dosahují velké mechanické stálosti.

Jsou také velmi složité na sestavení. Zde musíme dbát na přesné vyvrtání upevňovacích otvorů v čočkách a zvolení správných upevňovacích čepů.

Tyto aspekty velmi znesnadňují další úpravy a jediná možnost je brýle celé rozebrat a požadované části upravovat jednotlivě. [6]

Obrázek 7: Vrtané brýle⁷



⁶ Obrázek 6: Vrtané brýle– zdroj: <http://www.extrabryle.cz/extrabryle/eshop/3-1-Unisex-bryle/10-2-Poloobroucky/5/243-Bryle-brylove-obruby>

⁷ Obrázek 7: Obruby bez očnic - zdroj: <http://www.extrabryle.cz/extrabryle/eshop/2-1-Panske-bryle/8-2-Bezrameckove/5/90-Bryle-brylove-obruby>

3 MATERIÁLY NA VÝROBU BRÝLOVÝCH OBRUB

Brýlové obruby rozlišujeme podle použitých materiálů na kovové, plastové a přírodní.

Mezi tradiční materiály se řadí ty, které jsou běžně využívány při sériové výrobě a splňují předepsané normy pro výrobu brýlových obrub. Tyto materiály jsou běžně dostupné a jejich výrobní náklady jsou velmi nízké, jelikož jsou z nich tvořeny velké série (především plastové hmoty a některé kovy).

V dnešní době je ale velmi vyhledáván individualismus, a proto přicházejí na řadu netradiční (přírodní) materiály. Jejich nezpochybnitelnou výhodou je přírodní motiv, který se liší stejně jako sněhové vločky (každá jednotlivá vločka je unikát). To můžeme pozorovat například u dřevěných brýlí, které nikdy nebudou stejné, jelikož struktura každého kusu dřeva bude rozdílná. Další nespornou výhodou výroby z těchto unikátních materiálů je možnost výroby na míru, kdy jsou brýlové obruby upraveny ručně, přímo na anatomii obličeje daného zákazníka. To ovšem vede k nárůstu ceny, která tyto brýle řadí spíše do vyšší cenové kategorie.

Postupy výroby a použití materiálů prošlo od počátku své existence velkou řadou inovací, a i v dnešní době se dále zdokonalují a vylepšují další a další materiály a postupy. Ať už syntetizací nebo objevem nových prvků dostáváme stále nové materiály, které jsou lehčí, odolnější a stálejší než jejich předchůdci.

V dnešní době se nejčastěji využívají materiály kovové nebo synteticky vytvořené. Přírodní materiály postupem času ustupovaly do pozadí z důvodu jejich chemicko-fyzikální nestálosti, náročností výroby, cenové výnosnosti nebo kvůli ochraně přírodních zdrojů, ze kterých se tento materiál získává (např. slonovina, některé druhy dřeva, rohovina některých zvířat apod.).

Nejčastěji využívaným uměle vytvořeným materiálem je acetát celulózy. Z kovových materiálů jde hlavně o slitiny mědi, zinku a niklu, také známé jako nové stříbro. Časté jsou také speciální druhy oceli nebo slitiny titanu, které mají výborné mechanické vlastnosti, a především jsou antialergení. Tyto materiály jsou využity samostatně nebo v kombinaci s dalšími materiály, například dřevem. Kovové a plastové materiály mají mnoho podskupin, které si jednotlivě představíme, a uvedeme jejich hlavní vlastnosti.

„Aby byla zajištěna dokonalá stabilita brýlí, trvanlivost jejich anatomické úpravy a byly pro jejich uživatele co nejlépe snášenlivé, měl by mít ideální materiál na jejich výrobu tyto vlastnosti:“ [5]

- *Přiměřenou tvrdost a houževnatost*
- *Pružnost*
- *Tvarovatelnost za tepla*
- *Tvarovou stálost*
- *Dobrou opracovatelnost a leštitelnost*
- *Možnost rozmanitých estetických barevných úprav*
- *Odolnost proti chemickým vlivům a stárnutí*
- *Nesmí vyvolávat alergické reakce*
- *Nízkou hustotu (měrnou hmotnost)*
- *Nehořlavost*
- *Měl by umožňovat při výrobě obrub hospodárné výrobní technologie*

Takový materiál, který by splňoval všechny výše uvedené požadavky, je velmi těžké v této době vyrobit, nebo je jeho výroba příliš drahá. Výrobci jsou tak nuceni dělat kompromisy a vývojem nových prvků se snaží syntetizovat materiál, který by splňoval co nejvíce výše uvedených požadavků za přijatelné náklady na výrobu.

3.1 Plastové materiály

Masové rozšíření tohoto materiálu nastalo v 19. století, kdy byla představena výroba celuloidu, který byl vyráběn z přírodní celulózy. Tento materiál postupně začal nahrazovat oblíbenou rohovinu, která se do té doby používala nejvíce. S rozšířením tohoto materiálu se ale nakonec ukázalo, že tento materiál je vysoce hořlavý, a proto byl zakázán.

Koncem 20. století bylo představeno hned několik nových materiálů, ovšem acetát celulózy stále zůstává jedním z nejpoužívanějších materiálů na výrobu brýlových obrub. [5]

„Umělé hmoty v brýlové optice je třeba posuzovat nikoli jako náhražku klasických materiálů, ale jako surovinu, která svými vlastnostmi otevírá nové aplikační možnosti.“ [7]

3.1.1 Celuloid

Známý též jako nitrát celulózy (CN), byl objeven roku 1868 v USA. Základní surovina na jeho výrobu je přírodní materiál – technická celulóza (buničina), která je rostlinného původu. Na tuto látku se nechá působit nitrační směs (kyselina sírová a kyselina dusičná). Posléze se mění na nitrát celulózy, která má podobu vločkovité hmoty. Dalším postupem se musí zbavit vody za pomoci bezvodného alkoholu. Dále se hmota společně s kafrem, který působí jako změkčovadlo, míchá, až vznikne čirá a plastická hmota. Ta se dále lisuje do tvaru desek, ze kterých se dříve vyráběly brýlové obruby za pomoci třískového obrábění (frézování a řezání).

Celuloid dlouhá léta nahrazoval většinu přírodních materiálů. Mohl nabídnout velkou škálu barev za předpokladu barevných příměsí.

Jak už bylo zmíněno, největší nedostatek bylo explozivní hoření již při 140 °C, a to i bez přístupu vzduchu, při kterém vznikají velmi jedovaté výpary.

Kafr se postupem času vypařuje a celá hmota křehne a stává se snadněji zápalnou. Lze rozpustit v acetonu a při ohřevu se velmi dobře tvaroval. Čirý celuloid po jisté době zežloutne. Dnes už se celuloid při výrobě brýlových obrub používat nesmí. [5]

3.1.2 Acetát celulózy

Dnes je nejpoužívanějším plastem na výrobu brýlových obrub na celém světě. Tento plast, též označován zkratkou „CA“, byl vynalezen francouzským chemikem Schutzenbergerem již v roce 1865, ale k masové výrobě brýlí se začal používat až po roce 1930.

Tak jako u celuloиду, tak i zde je hlavní surovinou na výrobu celulóza. Ta se však získává z bavlněného nebo dřevěného odpadu. Tato hmota je bez příměsí bezbarvá, průhledná a na světle stálá. Má ovšem o něco horší vlastnosti než celuloid. Hlavním nedostatkem je odpařování změkčovadel, což ve styku s pokožkou může vést k alergickým reakcím. Působením agresivního potu vzniká chemická reakce, která způsobuje viditelný bílý povlak především v oblasti styku s pokožkou, nejčastěji tedy vnitřní povrch straníc a okolí nosníku.

Jako výrobní materiál na brýlové obruby se začal využívat až kolem roku 1945, kdy přišlo levnější vstřikování do forem.

Výhody oproti celuloиду jsou:

- Vyšší teplota vznícení
- Větší chemická stálost materiálu

- Levnější výroba

Brylové obruby se dají vyrobit ze tří typů acetátu celulózy. Mezi tyto tři typy patří deskový lisovaný (blokový), deskový vytlačovaný (extrudovaný) a granulovaný. [5]

3.1.3 Aceto-propionát celulózy

Tento plast s označením „CP“ se vyrábí od počátku šedesátých let 20. století. Jde o uměle vylepšenou formu předchozích materiálů.

Při esterifikaci celulózy se zde používá jak kyselina octová, tak i kyselina propionová, a jako katalyzátor je zde použita kyselina sírová. Tato výsledná hmota se vyznačuje menší hmotností, nasákavostí a menším obsahem změkčovadel (cca 8–10 %) než zmíněný acetát. Také má větší tuhost a je odolnější vůči stárnutí. Je velmi obtížně zápalný a velkou výhodou je jeho schopnost samouhašení. Také má menší potenciál působit alergické reakce a má lepší odolnost vůči agresivnímu potu.

3.1.4 Aceto-butyrate celulózy

Při výrobě tohoto materiálu, známého pod zkratkou „CAB“, se využívá kyselina máselná, která je známá především pro svůj charakteristický zápach. Toto znemožňuje její širší využití.

Stala se však velmi oblíbenou při výrobě zimních sportovních brýlí. Zde je její nespornou výhodou velká odolnost při nízkých teplotách.

3.1.5 Polyamid

Tento materiál patří mezi syntetické plasty, avšak chemické složení je velmi blízké bílkovinám. Lze modifikovat hned několik materiálů, které se liší svými vlastnostmi. Mezi dvě nejznámější modifikace patří **nylon** a **grilamid**.

Nylon byl dříve používán na výrobu velmi levných brylových obrub, které měly ovšem skvělé vlastnosti. Byly jak pevné, tak i pružné, a stárnutím se jejich mechanické vlastnosti téměř nezměnily.

Grilamid patří mezi jedny z nejlepších materiálů a dnes se můžeme setkat s jeho návratem. Neobsahuje žádná změkčovadla. Nepůsobí na něj venkovní vlivy (světlo, vítr). Obtížně zápalný a za studena je velmi elastický. Jedna z nevýhod je povrchové barvení, které znesnadňuje jakékoli dodatečné broušení, leštění a další úpravy. [5]

3.1.6 Optyl

Průhledná umělá hmota ze skupiny epoxidových pryskyřic.⁸ Jediný plast s tzv. „tvarovou pamětí“, což znamená, že při nahřátí nad 80 °C můžeme obrubu jakkoli tvarovat a po vychladnutí si udrží námi zvolený tvar. Při dalším nahřátí se ale obruba vrátí zpět do původního tvaru.

Mezi jeho další výhody patří tvrdost, nízká hmotnost, dobrá tvarovatelnost za tepla, odolnost vůči poškrábání a dokáže snášet i vysoké teploty bez poškození (krátkodobě až 350 °C).

Snad jedinou nevýhodou tohoto materiálu je křehkost při nízkých teplotách. [5]

Tabulka 1: Porovnání vlastností plastových materiálů na výrobu brýlových obrub [5]

	Celuloid	Acetát	Propinát	Polyamid	Optyl
Zkratka	CN	CA	CP	PA	EP
Hustota	1,38	1,3	1,22	1,04	1,1
Pevnost v tahu v N/mm²	[60-70]	[30-50]	[30-50]	[75]	[75]
Tvrdost v N/mm²	[60-70]	[50-80]	[50-80]	[130]	[130]
Teplota tvarování ve °C	[70-90]	[80]	[80]	[110]	[60]
Nasákavost vody v %	[0,2-1]	[4,2]	[2,6]	[1,2]	[0,2]
Teplota pro vsazování skel ve °C		[50]	[60]	[50-80] CR 39 za studena	[90]
Způsob výroby obrub	Obrábění	Obrábění + vstřikování	Vstřikování	Vstřikování	Lití do formy
Barvení	Ve hmotě, kašír	Ve hmotě, povrchově	Povrchově	Povrchově	Povrchově

⁸ Epoxidová pryskyřice je polymerní materiál syntetického původu. Patří mezi tzv. reaktoplasty. Jedná se o pryskyřičné látky s více než jednou epoxidovou vazbou.

Hořlavost	Explozivní	Čadivé	Samozhá- šející	Taví se a odkapává	Méně než acetát
Teplota tavení (zničení) ve ° C	[140] <hoří	[200]	[200]	[130]	[300]

3.2 Kovové materiály

Na výrobu brýlových obrub se kov používá téměř od samého počátku. Za tuto dobu prošel vývoj kovů a jejich slitin mnoha změnami.

V začátcích se často používal pouze jeden druh kovu například měď, nikl, železo, ale také drahé kovy, jako je zlato nebo stříbro. Ani jeden z těchto kovů nemá však ideální vlastnosti, a tak se vývojem a modernizací přešlo na různé slitiny těchto kovů.

Dalším vývojem se na sebe kovy začaly vrstvit, aby bylo dosaženo ideálních vlastností. Tento postup se využívá dodnes. Na povrchu jsou vždy kovy, které mají požadovanou chemickou stálost a dodají brýlovým obrubám elegantní vzhled. Kdežto v jádru jsou pevnější kovy, které zajistí obrubám jejich mechanickou pevnost.

U kovových slitin požadujeme stejné vlastnosti jako u nekovových (plastových), ale jejich výčet můžeme dále rozšířit o tyto body. [5,9]

- Leštitelnost
- Snadné pájení a sváření
- Spolehlivé galvanické pokovování
- Možnost strojního tváření
- Vysoká pevnost v ohybu a pružnost

3.2.1 Titan

Velmi lehký a hypoalergenní materiál, což znamená, že nezpůsobuje uživatelům žádné alergické reakce ve styku s jeho pokožkou. Je také velmi odolný vůči agresivnímu potu. Tento materiál je sám o sobě ale velice křehký, a tak je obohacován o jiné kovy. Nejznámějším typem těchto sloučenin je tzv. Titan – flex. Výsledný materiál je sloučenina titanu a niklu (většinou v poměru 60 %:40 %).

Titan-flex je řazen mezi superelastické materiály a je desetkrát pružnější než ocel. Jeho ohebnost je nejvíce využitelná v teplotách mínus 15 °C až plus 40 °C, což jsou běžně

dosažitelné teploty. Jeho superelasticity je dosaženo pomocí elektronového děla⁹. Těto slitiny se obecně dosáhne pomocí tavení při vysokých teplotách (teplota tání titanu je 1660 °C) v ochranné atmosféře s příměsí argonu. Toto je však zároveň jediná nevýhoda. Při letování této obruby je zapotřebí dosáhnout ochranné atmosféry, což v běžné optice, z finančních důvodů (pořizovací cena přístroje cca 350 tisíc Kč) není možné, a tak je oprava této obruby velmi nákladná. [5,22]

3.2.2 Bio-ocel

Jedná se o slitinu chrómu a manganu. Vyznačuje se skvělými mechanickými vlastnostmi, chemickou stálostí a hyperalergičností. Tento materiál má typickou šedobílou barvu a je dvakrát pružnější než titan. Je velmi oblíbený ve vrtaných brýlích, u kterých zajišťuje odlehčení celé konstrukce. Velmi těžko se ovšem zpracovává, což vede k jeho vyšší ceně.

3.2.3 Zlato

Tento ušlechtilý kov je velmi měkký, těžký a také drahý, proto se na výrobu brýlí často nepoužívá. Obruby z ryzího zlata jsou často dělány na zakázku. V tomto případě je jádro obruby z méně čistého zlata a pouze povrch brýlové obruby je zhotoven z čistě ryzího zlata. Takovéto obruby jsou označeny puncem ryzosti.

V běžném provedení je zlato použito pouze jako povrchová úprava, nebo zdobení jiných částí, a to díky svým hypoalergickým vlastnostem. Zlato je samo o sobě v ryzí podobě sytě žluté. Příměsí různých kovů můžeme však barvu lehce měnit. [22]

- Zlato a měď – červená
- Zlato a stříbro – bílá

3.2.4 Nové stříbro

Tímto pojmem jsou označovány dva materiály na výrobu brýlových obrub. Alpaka a nikelin jsou velmi podobné materiály a liší se pouze okrajově v obsahu niklu. Nikl je přidáván pro zajištění tvrdosti těchto materiálů, je ovšem velmi alergenní. Nikelin, který obsahuje niklu větší množství, je tak na zhotovování brýlí velmi zřídka použit.

⁹ Usměrněný proud dopadajících elektronů

3.2.5 Monel

Jeden z nejpoužívanějších materiálů na výrobu brýlových obrub. Původně byl vyvinut pro strojní průmysl. Je velmi houževnatý, pevný, chemicky stálý a také hypoalergenní, i když obsahuje stopové množství niklu. Při výrobě brýlových obrub je z něho zhotovena celá obruba, nebo je často použit na pokovení méně kvalitních kovů. [9]

3.3 Přírodní materiály

Prvním historicky doloženým materiálem na výrobu brýlových obrub byla kost, o které se prokazatelně objevila zmínka již roku 1305 v písemných záznamech v italské Pise.

Roku 1520 bylo norimberskou a řezenskou radou usneseno, že nejlepším materiálem pro výrobu brýlových obrub je rohovina. Ovšem během celé této doby bylo používáno mnoho přírodních materiálů.

Většina přírodních materiálů se využívá ve spolupráci s výše uvedenými materiály. Brýlové obruby vyrobené čistě z přírodních materiálů jsou velkou vzácností. Většinou jsou použity pouze na jejich části, ať už brýlový střed, nebo jako dekorace na stranicích.

3.3.1 Rohovina

Tento materiál je jedním z nejstarších přírodních materiálů, který se hojně využíval na výrobu různých předmětů. Na výrobu brýlí se obvykle využívají rohy tzv. dlouhorohého skotu indického, jihoamerického a irského.

Běžně se využívají rohy domestikovaných zvířat, jelikož zvířata žijící volně v přírodě nesou na svých rozích známky poškození, a proto nejsou vhodné pro výrobu brýlových obrub. [5,14]

Rohovina má vrstevnatou vláknitou strukturu. Je dobře barvitelná, leštitelná a za vyšších teplot (přes 80 °C) je také tvarovatelná.

Tento materiál byl hojně používán až do vynalezení plastů.

3.3.2 Želvodina

Želvodina patří, stejně jako rohovina, k nejstarším materiálům pro výrobu brýlových obrub. Byla však využívána méně.

Získávala se z krunýře mořské želvy, obvykle z Karety pravé, a to do roku 1988 kdy byla tato želva prohlášena za chráněný druh.

Tento materiál je lehce průsvitný a velmi pestře zbarvený. Je také velmi tvrdý a odolný, díky své vnitřní struktuře, ve které vlákna rostou všemi směry. Proto brýle zhotovené z tohoto materiálu jsou velmi lehké a tenké, přesto velmi pevné. K dalším přednostem patří její snadné leštění, tvarovatelnost za tepla a patří také mezi hypoalergení materiály. Stárnutím neztrácí svůj lesk, pevnost ani tvar. [5,15]

Jelikož se tento materiál nesmí od roku 1988 získávat, každé brýle zhotovené z tohoto materiálu musí mít osvědčení o výrobě před rokem 1988, jinak jsou zabaveny a následně zničeny. [5,15]

3.3.3 Kost

Úplně první přírodní materiál na výrobu brýlových obrub. Hypoalergení, nepružný, tvrdý, ale také velmi křehký materiál. [1]

Při styku s tímto materiálem se musí postupovat velmi opatrně. Při působení většího tlaku mohou brýle prasknout.

Často byl tento materiál používán na nýtované obruby. V dnešní podobě je však problém, jelikož čočky se v těchto brýlích často protáčí, což způsobuje problémy především u cylindrických korekcích. Toto se povedlo eliminovat různými druhy úchyťů a zarážek.

Dnes je používán pouze jako módní výstřelek. [6,5,17]

3.3.4 Useň

Useň je označení pro zpracovanou kůži připravenou pro další výrobu. [17]. Brýlové obruby z tohoto materiálu byly zaznamenány až roku 1583, kdy byla tato obruba uznána cechy v Norimberku i Řezně. Dnes se s tímto materiálem setkáváme v podobě pouzder nebo hadříků. Na brýlové obruby se dnes používá velmi zřídka, a to jako dekorace straníc.

V závislosti na druhu zvířete, ze kterého kůže pochází, se můžeme setkat s různými barevnými variacemi ještě před obarvením umělými barvivy.

Kůže sama o sobě, jako přírodní materiál, je hypoalergení. Problém nastává až při zpracování, kdy za použití různých solí chromu, použitých při výrobě, může nastat alergická reakce. Tento jev je však často eliminován různými dodatečnými povrchovými úpravami. [18]

3.3.5 Dřevo

Dřevo patří bez pochyby k nejrozšířenějším a nejdostupnějším přírodním materiálům, ze kterých lze vyrobit brýlové obruby.

V brýlové optice se dřevo používá k výrobě brýlí už od 15. století a v současné době se dřevo používá v omezených výrobních sériích. Jeho popularita v posledních letech ale opět stoupá.

Dřevo lze použít na výrobu kompletních brýlových obrub nebo pouze jako dekorace. Celodřevěné brýlové obruby jsou často opatřeny rozebíratelným nosníkem, pro snadnější vkládání brýlových čoček, jelikož dřevo je obecně za tepla netvarovatelné. [6]

Základní vlastnosti dřeva záleží především na jeho druhu. Obecně je ale tento materiál považován za tvrdý, lehký, mechanicky odolný a také hypoalergení. Alergie působí jen zlomek z používaných dřevin a častěji se alergie vyskytují na adjektiva přidávána při výrobě, jako jsou např. lepidla, barviva, laky apod. [19]

3.3.6 Kaučuk

Jako surový materiál je kaučuk opravdu přírodní. Pro použití na brýlové obruby se musí ale chemicky upravit, aby získal potřebné vlastnosti. Je pružný a má dobrou tvarovou paměť. Proto jsou jím potahovány stranice nebo je použit jako prodloužení kloubů, což nahrazuje použití flexi stranic.

3.3.7 Vlasy

Tento 100% přírodní materiál, především z lidské populace, se nepoužívá v jeho čisté formě. Slouží jako výztuha (plnivo) a dekorační prvek. Tyto brýlové obruby jsou vytvořeny zalitím vlasů (chlupů) do pryskyřice, ze kterých jsou následně vyřezány části brýlových obrub. Vlasy (chlupy) se před zalitím do desek odbarví a chemicky vyčistí, aby se předešlo nechtěným deformacím při následném zalití. Následně se vyžehlí a opět chemicky obarví na požadovaný odstín zákazníka. [10]

Obrázek 8: Brýle vyrobené pomocí vlasů¹⁰



¹⁰ Obrázek 8: Brýle vyrobené pomocí vlasů – zdroj: <http://www.studioswine.com/hair-glasses/>

4 POSTUP PŘI VÝROBĚ BRÝLOVÝCH OBRUB

Po vybrání daného materiálu, přichází na řadu jeho opracování. Tak jako se materiály liší svým složením, liší se i způsobem opracování a finálními úpravami.

Jsou zde uvedeny i běžně využívané postupy, které jsou ovšem speciálně modifikované na výrobu z přírodních materiálů.

Mezi netradiční výrobní postupy patří především 3D tisk, který zatím není využíván k sériové výrobě vzhledem k nedokonalostem výrobního materiálu. Hlavním výrobním postupem, který se využívá při zpracování přírodních materiálů je ovšem ruční zpracování. Tento postup se velmi špatně popisuje, jelikož si ho každý výrobce pečlivě chrání. Ruční výroba je specifická a dodává každým brýlovým obrubám osobitost. Malé nedokonalosti při zpracování, jsou znakem ruční práce, která se v dnešní době velmi cení. Při tomto způsobu výroby je využito velké množství různých nástrojů a každý výrobce využívá jinou kombinaci v různých stupních vývoje.

4.1 Plastové obruby

Plast patří obecně k měkkým a velmi levným materiálům. Také je velmi dobře zpracovatelný, a proto brýlovým obrubám vyrobených z plastu náleží přední prýčky v počtu vyrobených kusů.

4.1.1 3D Tisk

V dnešní době velmi populární způsob výroby různých předmětů. Většina inženýrů a vědců této metodě předpovídá zářivou budoucnost.

3D tisk je dnes již hodně používán na výrobu hraček a drobných součástek. Existují hlavní 3 druhy výroby, které celkově zahrnují asi 15 způsobů provedení.

V dnešní době však tento výrobní postup není běžně využíván na výrobu brýlových obrub. Jedná se pouze o stylové záležitosti, které jsou však velmi křehké a do běžného života nepoužitelné. Na zdokonalování celé výroby se stále pracuje, zatím je však tento postup pouze experimentální.

Mezi hlavní 3 výrobní skupiny patří:

1. aditivní metoda
2. stereolitografie
3. sintrování.

4.1.1.1 Aditivní metoda

Tato metoda se nejvíce podobá dnešním inkoustovým tiskárnám, kde jsou místo cartridge vysoce výkonné tavné pistole a místo inkoustu je použit roztavený plast. Tyto trysky nanáší vrstvu po vrstvě tak přesně, že není mezi jednotlivými vrstvami hmatatelný ani viditelný rozdíl a vzniká tak okamžitě finální výrobek. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a velmi složitý počítačový 3D model.

4.1.1.2 Stereolitografie

Technicky ještě složitější než aditivní metoda. Zde je místo „tiskárny“ použit ultrafialový laserový paprsek, který působením na fotopolymerní pryskyřici, tento materiál vytvrzuje ve vrstvách. Díky volnému pohybu laseru ve všech osách, jde touto metodou vytvořit požadovaný objekt.

4.1.1.3 Sintrování

Metoda, která se dnes na výrobu brýlových obrub využívá nejčastěji. Při výrobě tímto postupem není za potřeby jakéhokoli pomocného podepření výrobku jako u předešlých dvou metod. Zde je materiál použitý na výrobu spékán v celých plochách řezu za pomoci velmi výkonného laseru. Tato metoda obnáší obvykle až 7 000 vrstev o tloušťce 0,02 mm. [11]

4.1.2 Frézování

Velmi kvalitní postup výroby, který vznikl na základě výroby brýlových obrub z acetátových desek. To bylo podmíněno výměnou ručního frézování za poloautomatické až zcela automatické, což dále vedlo i k jejímu celkovému zlevnění.

Dříve byla tato ruční práce velmi náročná a docházelo k častým úrazům v důsledku blízké spolupráce s frézovacím nástrojem. Velmi těžké bylo i upínání šablon. [8]

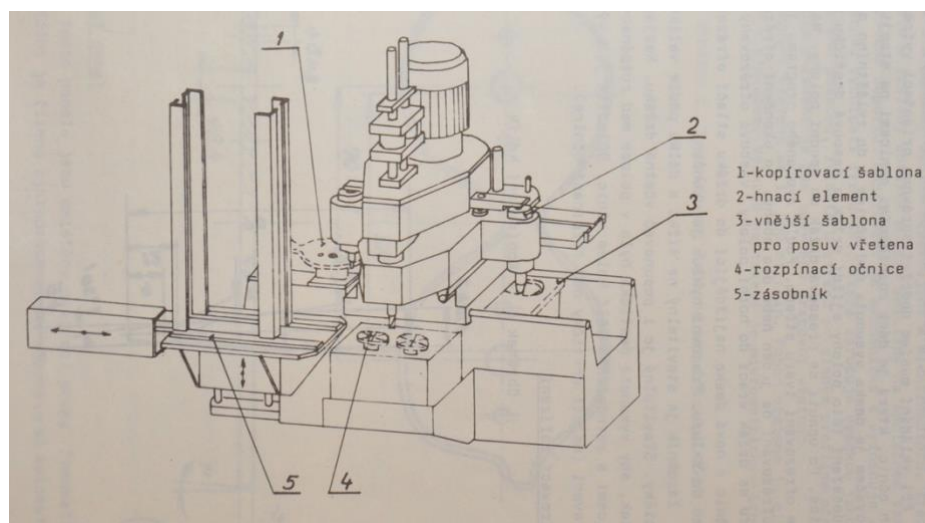
Dnešní fréza je opatřena řadou „zubů“ s ostrými břity, které za vhodně zvolených otáček materiál obrábějí. Otáčky se volí dle materiálu a průměru frézy. Rozsah otáček je kolem 7-17 tisíc otáček za minutu. Důležitý je také výběr správné frézovací hlavy, aby nedošlo k zanesení a následnému ohřívání frézy, což by vedlo k tavení materiálu. Při správném zvolení těchto parametrů není zapotřebí žádné chladicí kapaliny. Každá část frézy zabírá pouze malou část a během celé jedné otáčky se dokáže sama zchladit.

Každá část brýlové obruby má svou vlastní frézu, nebo stačí pouze jedna s otočnou hlavicí a programovatelnou pamětí.

Jako výrobní materiál se využívají acetátové desky tloušťky 4-8 mm. Nejprve se vyfrézuje tvar očnic i s drážkou a následně je obroben vnější, finální, vzhled brýlové obruby. Následuje frézování druhé strany, kde je dotvářen nosník. Dalším krokem je tvarování brýlového středu. Obrobek je vložen mezi dvě pevné formy, které mají požadovaný tvar prohnutí, a zahřátím pomocí ultrazvukových vln je prohnut a následně schlazen ve vodní lázni.

Dnešní nejpoužívanější frézou je tzv. CNC stoj, na kterém můžeme naprogramovat několik operací po sobě. [5]

Obrázek 9: Ruční fréza¹¹



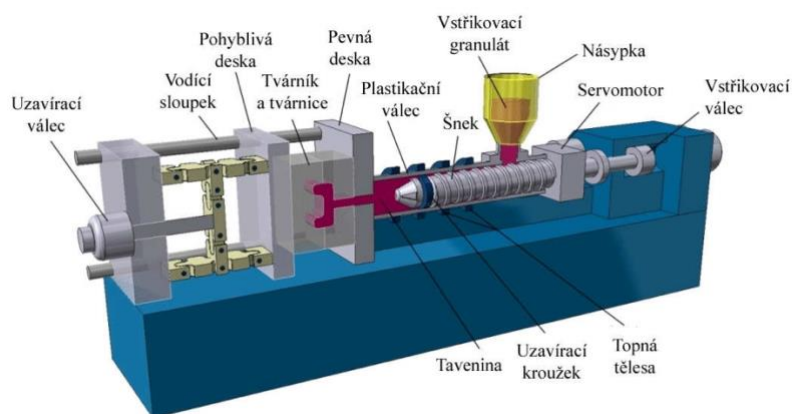
4.1.3 Vtlačování do forem

Dnes nejpoužívanější postup výroby.

Využívaný především v sériových velkozávodech. Tento způsob je velice levný, nýbrž zde pokulhává kvalita zpracování. Při tomto výrobním postupu se využívá již zmíněný granulovaný plast, který je odebírán do tavného válce.

¹¹ Obrázek 9: Ruční fréza – zdroj: Toman, ref. 24, s. 13

Obrázek 10: Tavný válec s násypkou¹²

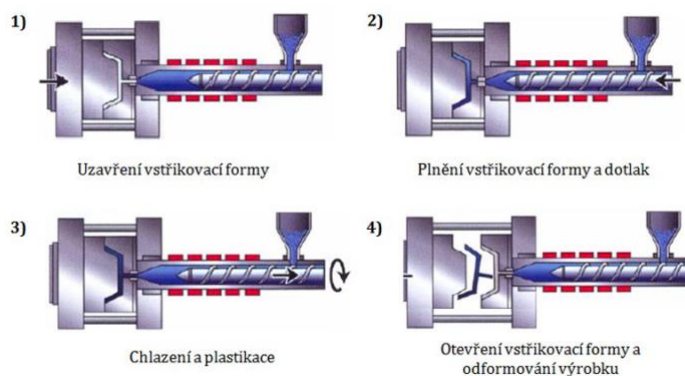


Po celém obvodu válce jsou topná tělesa, která plast uvnitř taví. Teplota uvnitř válce není konstantní. U násypky je teplota nejnižší, kdežto v ústí trysky je teplota naopak nejvyšší, zde se granulovaný acetát stává naprosto plastickým. Tavenina je přemísťována pomocí tzv. šneka, který slouží jako hnací píst.

Tavenina je pod vysokým tlakem vstříknuta do předem připravené, dvojdílné formy, která může být chlazena pomocí vody nebo oleje.

Tryska je přiložena pod tlakem k formě po celou dobu chlazení taveniny. Následně je brýlová obruba vyklepána ven.

Obrázek 11: Vstřikovací cyklus¹³



¹² Obrázek 10: Tavný válec s násypkou – zdroj: http://www.rutlandplastics.co.uk/moulding_machine.shtml

¹³ Obrázek 12: Vstřikovací cyklus – zdroj: <http://www.vyrobplastu.eu/vstrikovani-plastu/>

Vyklepnutý polotovar, ale vykazuje řadu nežádoucích efektů, díky dvojité formě. Po okrajích je jasně viditelné napojení obou forem. Také část, kde je plastická hmota vtlačována do formy, je velice deformována. Tento vstup bývá obvykle u nosníku. Tyto nežádoucí aspekty výroby jsou později eliminovány broušením a leštěním.

Dle směru tavného válce můžeme vstříkovací stoje rozdělit na horizontální a vertikální. Horizontální je více používán, jelikož umožňuje lepší vyjmutí polotovarů. [8]

4.1.4 Lití do forem

Lze využít pouze u materiálů, které polymerují přímo ve formě, např. optyl. Monomer a iniciátor polymerizace se vlijí do formy, ze které je postupně odčerpáván vzduch – jde o vakuové lití. Výztuhy straníc a stěžežky jsou již ve formě připraveny a zalaty sirupovitou hmotou. Následně je polotovar vyjmut z formy a podroben dalšímu opracování.

4.1.5 Finální úpravy

Každý výsledný polotovar, který prošel některou z předešlých procedur, je následně dále upravován. Velká část těchto postupů je použita i u finálních úprav přírodních materiálů.

4.1.5.1 Leštění

Tento proces zbaví polotovar všech nežádoucích hrbolů a nedokonalostí vzniklých při výrobě. Je prováděn dvěma způsoby. První je používán při sériové výrobě a probíhá v otočných bubnech naplněných dřevěnými špalky, velikosti 1-3 cm. Tento proces umožňuje zpracovat hned několik desítek polotovarů najednou. Druhou možností je ruční leštění jednotlivých obrub. Tento postup je zdoluhavý a finančně náročnější, ovšem výsledná kvalita je lepší.

4.1.5.2 Barvení

Při barvení brýlových obrub lze použít hned několik způsobů. Nejsnadnější variantou je výběr již probarveného materiálu hned při samotné výrobě obruby. Jiným způsobem je hloubkové barvení pomocí studeného roztoku vody a lihu kde je obsažena požadovaná barva ve formě prášku. To lze využít pouze u některých typů plastových materiálů. Dalším postupem je nanášení barevné povrchové vrstvy. To může být děláno ručně, pomocí nástříkových pistolí, nebo automaticky, za pomoci speciálních tiskáren.

Tato vrstva musí být vždy překryta vrstvou krycího laku, aby nedošlo k jejímu poškození. Můžeme se také setkat s ručně malovanými obrubami. Tento proces je ovšem velmi pracný, v sériové výrobě neefektivní, a cena brýlových obrub s ním roste.

4.1.5.3 Potisk

Tento proces zajistí označení brýlových obrub dle zákona. Používá se k němu přístroj tampoprint, který na stranice nanese všechna potřebná označení. Od délky stranice po šířku nosníku, barvu, sériové číslo atd.

4.2 Kovové obruby

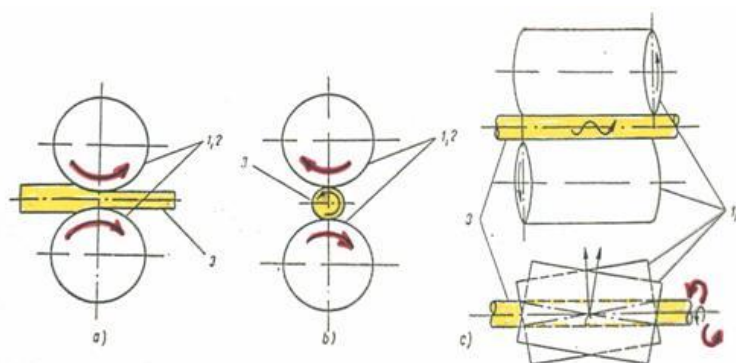
Výroba kovových obrub je technologicky náročnější než výroba plastových. K vyhotovení finálního výrobku, je zapotřebí až 100 jednotlivých úkonů, které jsou v dnešní době již plně automatizovány.

U zhotovování brýlových obrub z kovových materiálů také lze použít hned několik různých variant výroby. Ovšem každý způsob je lepší na jinou část brýlové obruby, a tak se zde používá řada variací technologických postupů.

4.2.1 Válcování

Tato metoda se využívá především na výrobu brýlového středu (očnicový profil). Kruhový drát, je zde vtahován mezi dva rotující válce požadovaného profilu.

Obrázek 12: Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válcování (1, 2 – válce, 3 – materiál)¹⁴



Ovšem abychom docílili požadovaného profilu očnice, musí drát postupně projít hned několika soustavami těchto válců, které postupně drát tvarují (2-3 dvojice válců).

¹⁴ Obrázek 12: Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válcování (1, 2 – válce, 3 – materiál) – zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm

Po každém vyválnování, je drát stlačen, a tak je jeho struktura zpevněna. Proto je zapotřebí mezi jednotlivými válci drát žíhat¹⁵ v ochranné atmosféře. Při této proceduře vzniká ohromné množství tepla, které zahřívá jak materiál, tak i lisovací válce. Proto je potřeba celou válcovací soustavu i materiál stále chladit proudem oleje.

4.2.2 Rotační kování

Rotační kování, označované také jako rotační redukování, je proces, ve kterém je požadovaný materiál vtlačován mezi dvě kovací kladívka.

Tento proces se především využívá na zmenšení průměru požadovaného polotovaru, bez použití třískového obrábění. Při velkých redukcích materiálu je nutno použít více strojů po sobě, stejně jako u válcování. Není zde však nutno využít žíhání ani jiných technik na zahřátí materiálu, jelikož zde nedochází k tak velkým změnám v pevnosti materiálu. Rotační kování se využívá především na výrobu stranic a držáků sedel. Lze však využít i na výrobu jiných součástí kruhového průřezu. [8]

4.2.3 Lisování

Proces lisování má několik variací a využívají se na ně buď lisy hydraulické (mechanické) nebo pákové (manuální). Hydraulické lisy dokáží dle potřeby vyvinout na kovový dílek tlak o síle 40 – 100 tun.

Volné lisování (plošné) probíhá přímo mezi razníkem a raznicí. U tohoto procesu je materiál rozlisován na námi zvolenou tloušťku (značka „t“), ovšem šířka výsledného polotovaru (značka „š“), závisí na námi vloženém množství původního materiálu. Tento výrobní proces podléhá složitým matematickým rovnicím na výpočet rozlisování daného materiálu v závislosti na požadované tloušťce. Takto se vyrábí například držáky sedel nebo výztuhy.

Mezi další způsoby patří **lisování do otevřené zápustky**. V tomto případě má razník i raznice předem daný tvar, do kterého se materiál vlisuje. Nepotřebný zbytek materiálu (výronek) se v dalších částech výrobního procesu odřízne. Tato metoda se využívá na výrobu stranic, nosníků a kloubů.

Lisování do uzavřené zápustky je podobné jako předchozí lisování do otevřené zápustky. V tomto případě je ale požadovaná zápustka přímo obsažena v razníku. Tímto postupem jsou tvořeny některé druhy nosníků a různé ozdoby brýlových obrub.

¹⁵ Způsob tepelného zpracování slitin

Ražení reliéfů je postup, který se používá na vyražení informací do předem vylišaného polotovaru. Můžeme ho také použít na výrobu různých ozdobných gravúr.

4.2.4 Ohýbání

Velmi využívaný proces, ve kterém měníme ohybem polotovary do námi požadovaného tvaru. Nejčastěji se tento postup využívá na ohyb straníc, sedel, kloubů nebo výztuh.

4.2.5 Prostřihování

Tato procedura obecně zahrnuje několik úkonů, jako jsou vysekávání z pásů nebo plechu, prostřihování otvorů (děrování), ostřihování obvodů (výronků) a ustřihování odpadu (zkracování). Na tento postup se využívají pásy námi zvoleného materiálu.

Vysekávají se některé druhy nosníků, straníc nebo dekorací. Prostřihujeme díry na čepy do straníc nebo brýlových středů. Při ostřihování zbavujeme polotovary nežádoucího materiálu (výronku), kdežto při ustřihování odpadu většinou zkracujeme délku straníc na námi zvolenou míru. [8]

4.2.6 Finální úpravy

Kovové obruby jsou finálně podrobeny galvanické úpravě. Před touto procedurou je nutno obruby a její díly zbavit všech nežádoucích odštěpků.

4.2.6.1 Pájení

Touto operací se spojují všechny důležité součásti brýlových obrub. Pájením můžeme spojovat stejné nebo různé druhy kovů pomocí roztavené pájky. Podle teploty tavení pájky, dělíme pájení na **měkké pájení**, kdy je teplota tavení pod 450 °C, a na **tvrdé pájení**, kdy je teplota tavení vyšší než 450 °C.

Při výrobě brýlových obrub využíváme výhradně tvrdé pájení. K této metodě jsou v oční optice použity stříbrné pájky nejčastěji ve formě tenkých drátků. Často bývají v různých slitinách (stříbro, měď, zinek, kadmium).

Jeich pracovní teploty jsou 600–800°C. Dále je za potřeby tavidla, které slouží k chemickému odstranění kysličníků z pájeného povrchu. Chrání také pájený povrch před oxidací. Tavidlo musí mít nižší teplotu tavení. Po ztuhnutí nesmí způsobovat korozi a musí být dobře odstraněno.

4.2.6.2 Broušení

Je prováděno v kovových bubnech s náplní. Náplň tvoří pemzové kuličky. Délka této procedury je závislá na velikosti a tvaru vložených částí a může se pohybovat mezi 16-32 hodinami.

Můžeme také použít brusné kotouče plstěné nebo textilní. Ty mohou být jednostranné nebo oboustranné, a rychlost otáček může dosahovat až 1 300 otáček za minutu. Je ovšem nutné před každým broušením nanést brousící nebo leštící pastu.

Tento postup se využívá především na očnice, stranice, výztuhy a nosníky.

Dále následuje jemné broušení, které se provádí v dřevěných bubnech s náplní dřevěných tělísek a pemzy. Tato procedura zabere 8-16 hodin.

4.2.6.3 Leštění

Provádí se v dřevěných bubnech za přítomnosti dřevěných tělísek a leštící pasty. Tento proces zabere něco okolo 16 hodin

4.2.6.4 Omílání

Jedna z posledních procedur před galvanizací. Probíhá v novodurových bubnech naplněných ocelovými kuličkami o průměru 3-5 mm. Celý buben je uložen ve vaně, naplněné omílacím médiem, což je směs vody, mýdla a speciální leštící soli. Ve stěnách bubnu jsou vyvrtané díry, kterými proudí omílací médium do bubnu. V jednom takto připraveném bubnu nalezneme až 100 kusů brýlových středů ve 2-3 svazcích. Trvání tohoto procesu je 1-2 hodiny.

Dalším typem je tzv. vibrační omílání. To se používá na drobné části brýlových obrub jako například držáků sedel, čelistí a různých ozdob. Je prováděno v kruhovitém žlabu, naplněném keramickými tělísky (jehlan nebo krychle) a vodní lázni s přídavkem saponátu. Dochází zde ke kmitavému pohybu keramických tělísek a cirkulaci celé vodní lázně, která omílá vnořené díly. Tato procedura zabere 20-30 hodin.

4.2.6.5 Odmašťování

Odmašťování se provádí těsně před nanesením galvanické vrstvy. Slouží k odstranění nečistot, vzniklých při předchozích procedurách, a vede k co nejlepšímu přilnutí galvanické vrstvy na jádro. Základní odmaštění se provádí ve speciálních odmašťovacích lázních a následně pokračuje elektrolytickým odmaštěním. K tomu je určen vodní roztok s příměsí alkalických hydroxidů, uhličitanů a fosforečnanů o teplotě

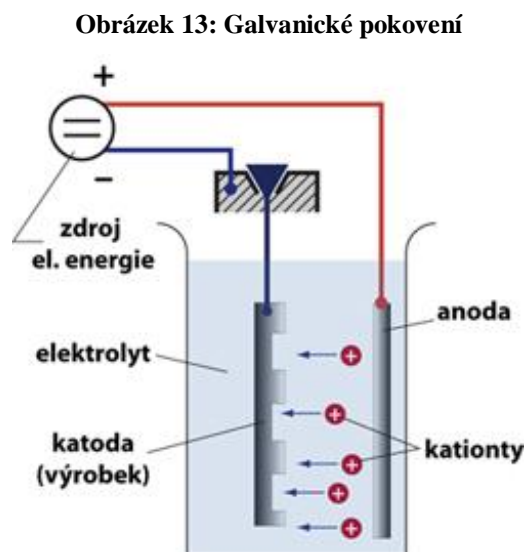
30 °C. Odmašťované součásti zavěšujeme na katodovou tyč a jako anoda slouží ocelový plech. Tato procedura trvá kolem 5 minut a poté následují 2 oplachy ve studené vodě.

4.2.6.6 Dekapování

Tato procedura se provádí ponořením odmaštěných částí do 3-5 % roztoku kyseliny sírové po dobu 5-10 sekund. Takto se připraví (aktivuje) povrch pro další galvanické úpravy.

4.2.6.7 Galvanické úpravy

„Galvanickými úpravami rozumíme vytváření kovových povlaků na elektricky vodivých předmětech prostřednictvím stejnosměrného elektrického proudu. Lázeň, ve které proces probíhá, se nazývá elektrolyt. Kladná elektroda – anoda, záporná elektroda – katoda.“ [8]



Tato vrstva nejen chrání kovový materiál před korozí, ale zajišťuje také estetický vzhled brýlových obrub a zamezuje vzniku alergických reakcí při styku kovu s pokožkou. Nej kvalitnější jsou mnohvrstevné galvanické úpravy. Ty postupným nanášením různých kovů zajistí dokonalé přilnutí k jádru a vytvoří na povrchu pružnou a ochrannou vrstvu. [8]

4.2.6.8 Barvení

Barvení kovových obrub lze uskutečňovat pouze povrchově, tedy pokud výsledná galvanická vrstva nesplňuje naše očekávání. Povrchově nanášené barvy se musí vypálit při teplotě 180 ° C a následně nechat vychladnout, aby nedošlo k jejich poškození.

Další možností je tzv. foliování, kdy barvu nebo vzor, přeneseme na brýlovou obrubu pomocí nosné hliníkové desky. Tato vrstva je následně zahřáta na 150 °C po dobu asi 15 minut. Může být nanesena na předem nalakovanou vrstvu, ovšem po této proceduře je nutno brýlovou obrubu opět přelakovat

4.2.6.9 Lakování

Elektroforézní způsob lakování je technologicky podobný elektrolytickému pokovování. Dochází zde k usazování umělé hmoty (laku) na povrchu kovové části. Ta se musí dále vytvrdit zahřátím v peci. Lze docílit matného i čirého efektu.

Další možností je elektrostatické práškování. Za pomoci „pistole“ s tryskou nanášíme, díky rozdílným nábojům vyfukovaných částic a kovové části brýlové obruby, tenkou vrstvu termoplastické hmoty, která po roztavení v pecích vytvoří jednolitý obal požadované části brýlové obruby. Tato vrstva je sama o sobě čirá, lze však namáčením dále barvit. [8]

4.3 Přírodní materiály

Jak již bylo zmíněno, každá přírodní látka se liší ve svých mechanických i fyzikálních vlastnostech. K tomu se také musí přihlídnout při samotné výrobě brýlových obrub.

4.3.1 Rohovina

Brýlové obruby jsou zpracovávány ze dvou druhů rohu:

1. Lisovaný roh
2. Masivní roh

Výroba z lisovaných rohů je častější, jelikož rohy jsou oproti masivním rohům duté uvnitř. Jsou máčeny v horké vodě tak aby změkly a daly se oddělit od kosti. Následně se rozřezají a rozvinují se na pláty. Vrství se na sebe vždy vrstvou s opačnou strukturou vláken. Poté jsou slisovány pod velkým tlakem, za pomoci vodní páry, na desky, které se následně obrábějí. Tento způsob zlepšuje pevnost materiálu a také jeho tvarovou stálost.

Z masivních rohů, především z afrických vodních buvolů, jsou nařezány celistvé destičky, které jsou následně ručně opracovávány do požadovaných tvarů. [13,5]

4.3.2 Želvovina

Zpracovává se lépe než rohovina. Používali se krunýře silné minimálně 3 mm, které byly nařezány na pláty. Pláty byly následně vyvařeny ve vodě a slisovány do desek. Tyto desky jsou dále obráběny a finální úpravou bylo leštění.[5]

Při vsazování brýlových čoček můžeme obrubu nahřát stejně jako rohovinu, nesmíme však překročit nahřívací teplotu. Zvýšení teploty nad kritickou mez by mohlo zapříčinit škvaření materiálu.

Některé obruby mohou být od výroby výrazně nataženy a přehřátím tohoto materiálu by došlo k jeho smrsknutí. [14,15]

4.3.3 Kost

Při výrobě z tohoto materiálu se využívají velké ploché kosti mrtvých živočichů. Z nich jsou posléze vyřezány brýlové obruby. Finální výrobek se nijak dále neupravuje.

Jak již bylo zmíněno, tento materiál se využíval především na nýtované brýlové obruby. [14]

4.3.4 Useň

V první fázi se kůže nasolí, poté se namáčí a louhuje v roztoku sulfidu sodného a vápna. Tento postup odstraní zbytky srsti. Následně se zbaví chlupů a dočistí za pomoci tříslovin z kůry nebo roztokem, který obsahuje soli chromu. V posledním kroku je dále vyždímána, sušena, leštěna, barvena a na konci využita při výrobě brýlových obrub, většinou jako dekorace stránek. [17,18]

Měla by také splňovat přísné normy stanovené pro odolnost vůči mokrému a suchému stření a také odolnost proti slunečnímu záření. [21]

Žádné brýlové obruby, které obsahují kožené části, nesmí být čistěny za pomoci ultrazvukové čističky. [5].

4.3.5 Dřevo

Jak bylo již zmíněno pro výrobu brýlových obrub může být použita velká škála dřevin. Každá z nich má ovšem svá specifika. Některé mohou být použity při výrobě celých brýlových obrub, jiné zase pouze jako finální povrchové vrstvy, jelikož nesplňují některé mechanické vlastnosti.

Většinou platí, že tvrdé dřevo, např. ořech nebo dub, je použito jako základní deska celé brýlové obruby. Na tuto základní desku jsou následně připevněny finální vrstvy, které jsou zhotoveny z některých exotických dřevin, které dodají obrubě zajímavější designový vzhled. Tyto exotické dřeviny jsou většinou nevhodné k tomu, aby z nich byla vyrobena celá brýlová obruba, ať už je to tím, že nejsou tak mechanicky nebo fyzikálně stále nebo pro svou vysokou pořizovací hodnotu. Proto jsou nejčastěji použity pouze jako finální (poslední) vrstva.

K výrobě brýlových obrub ze dřeva může být použito hned několik metod.
[5,19,20]

4.3.5.1 CNC stroj

Tento postup výroby je ve své finální podobě nejrychlejší a nejekonomičtější, při výrobě velkého množství jednoho druhu brýlových obrub. Pracuje se s celistvými dřevěnými bloky, které jsou strojově opracovány na jednotlivé části brýlové obruby a následně sesazeny.

Předchází tomu ovšem dlouhé 3D programování, ve kterém se navrhuje vzhled obruby.

Tento postup se vyplatí při výrobě jednoho typu brýlové obruby ve větším počtu. Nevýhodou je jednotvárnost finálního výrobku, složité programování při změně některých parametrů a velký odpad materiálu. Proto se využívá při výrobě z běžných a finančně nenáročných dřevin, např. bambus.

4.3.5.2 Laser

Nejčastěji používaná metoda při výrobě brýlových obrub. Laser vypálí předem naprogramované 2D tvary do tenkých dřevěných dých, které jsou následně vrstveny na sebe, než se dosáhne požadované tloušťky. Následně jsou jednotlivé vrstvy lepeny a pod mechanickým tlakem ohýbány do finálního tvaru. Tato metoda přináší velkou rozmanitost při vrstvení dřeva, což je důležité jak pro pevnost finálního výrobku, tak i pro vizuální efekt.

Nevýhodou tohoto postupu jsou delší technologické přestávky mezi jednotlivými kroky při sestavování a následné úpravy finálních výrobků.

4.3.5.3 Pilování – ruční výroba

Postup využíván u velmi úzké skupiny výrobců. Za pomoci ruční nebo lupénkové pilky jsou z polotovaru vyřezány jednotlivé díly dle předkresleného tvaru. Jsou zde

možné oba typy polotovarů, jak celistvý kus dřeva, tak i polotovar zhotovený z dřevěných dých, které byly před tím navrstveny a slepeny v 1 kus.

Velkou nevýhodou tohoto postupu je velká časová náročnost zapříčiněna jak samotnou výrobou, tak i následnými finálními úpravami. Bývá ovšem vyvážena vysokou pořizovací cenou a jistou prestiží výrobce.

5 KVALITA BRÝLOVÝCH OBRUB

Jako všechny zdravotnické pomůcky, tak i brýlové obruby musí splňovat jisté mezinárodní standardy, aby mohli být nabízeny veřejnosti.

5.1 Označení brýlových obrub



Pod symboly uvedenými na brýlové obrubě vždy hledáme výrobce, velikost obruby, délku straníc, kód barvy (každý výrobce má vlastní označení), číslo modelu apod.

Ze zákona dané údaje a jejich umístění upravuje norma ČSN EN ISO 9456 – Označení brýlových obrub. Ta například udává, že velikost brýlové obruby musí být umístěna na vnitřní straně obruby. A to buď na vnitřní straně stranice, nebo na vnitřní straně nosníku.

Velikost obruby je složena ze tří číselných údajů (měřených v milimetrech) a jedné značky. První číslo vždy udává vnitřní šířku očnice.

Na celém světě existují dva systémy na měření tohoto rozměru. Prvním, a v ČR používaným, je tzv. boxing system, neboli měření do obdélníku. Tento postup měření počítá s hodnotou v nejširším místě očnice.

Druhý, tzv. daten-linie system, neboli měření na ose, se liší hodnotami šířky očnic, nosníku a také očnicového rozestupu, jelikož nepoužívá limitní hodnoty z vnitřních okrajů očnic, ale vypočítává se z průsečíků jejich křivek s horizontální středovou osou. Tento způsob je znám spíše v asijských zemích.

Za tímto prvním číslem je vždy uvedena značka, která označuje způsob měření. Pro boxing systém se používá značka „“, kdežto pro měření na ose je používán tento znak „“. [6]

Druhým číslem je označována šířka nosníku a třetím číslem je označena délka straníc.

5.2 Odolnost materiálu

Prvním kritériem je fyziologická snášenlivost kůže na zvolený materiál. Ten nesmí u většiny testovaných subjektů způsobit alergickou reakci nebo jiné nežádoucí účinky.

Dále se testuje odolnost materiálu vůči potu pomocí roztoku složeného z 50 g kyseliny mléčné, 100 g chloridu sodného a 900 ml vody. Ten je aplikován na podložky

z vaty. Na ty se následně brýlové obruby umístí a v uzavřeném válci o teplotě 55 °C jsou vystaveny působení tohoto roztoku po dobu 8 hodin.

Po uplynutí této doby jsou brýlové obruby vyjmuty a porovnány s netestovanými obrubami. Testované obruby nesmí vykazovat změny zbarvení, lesku nebo odlupování povrchových vrstev. Pokud splní tyto podmínky je doba testu prodloužena na 16 hodin.

Dalším testem je chování materiálu při vystavení vysokým teplotám. K tomuto testu je využita ocelová tyčinka, zahřátá na 650°C. Ta se přiloží po dobu 5 sekund a materiál nesmí vzplanout. Pokud dojde ke vzplanutí, sleduje se, zda materiál hoří i po oddálení tyčinky.

Poslední z testovaných vlastností, je odolnost vůči záření. Ta se testuje pomocí xenonového světla. Po uplynutí testované doby nesmí materiál, vykazovat změnu intenzity zbarvení nebo lesku. [5]

5.3 Mechanická stálost

Pomocí tlaku, působícího na brýlovou čočku v kolmém směru, vsazenou do brýlových obrub, po dobu 5 sekund a silou 5 newtonů, se testuje, zda po uplynutí této doby, nedochází k trvalé deformaci neboli k prohnutí nosníku.

Dále se testuje trvanlivost. Test probíhá ohýbáním straníc do všech možných směrů (500 cyklů) a sleduje se, zda v materiálu nevznikají praskliny či zlomy. Stranice se i poté musí dát lehce zavírat a otvírat. Nesmí se však zavírat samovolně. [5]

ZÁVĚR

Při zpracování bakalářské práce, jsem narazil na úskalí získat informace o výrobě brýlových obrub z výše uvedených přírodních materiálů. O výrobě z netradičních materiálů je velmi málo odborné literatury, která se těmto materiálům věnuje vždy jen okrajově.

V rámci bakalářské práce jsem se účastnil optického veletrhu v Mnichově – OPTI2018, na které jsem vyhledal několik výrobců, kteří mají ve své nabídce brýlové obruby zhotovené z přírodních materiálů. Většina výrobců poskytla pouze strohé informace o jejich výrobě. Dle mého názoru si pouze chránili své „knowhow“. Po utřídění všech informací se mi ale povedlo ucelit výčet všech netradičních materiálů, které se v minulosti používaly, nebo jsou dnes opět využívány při výrobě.

Část bakalářské práce, která se věnuje výrobním postupům, by měla čtenáři nastínit všechny, dnes dostupné, postupy výroby. Tato část je velmi zredukovaná o složité technické detaily tak, aby byla srozumitelná i pro netechnicky založené osoby. Při psaní této části jsem se snažil zmínit veškeré postupy, které jsou dnes běžně využívány. Všechny postupy jsou technologicky upraveny na výrobu z jednotlivých materiálů a při výrobě brýlových obrub ze speciálních materiálů se využívají pouze jejich modifikace. Širší pojetí a výčet všech modifikací by ale vydalo na samostatnou bakalářskou práci.

CITOVANÁ LITERATURA

- [1] RUDOLF, V., Historie brýlí, první část. *Česká oční optika*, 2008, č. 3, str. 70-71, ISSN 1211-233
- [2] RUDOLF, V., Historie brýlí, druhá část, *Česká oční optika*, 2008, č. 4 str. 72-73, ISSN 1211-233
- [3] RUDOLF, V., Historie brýlí, závěr, *Česká oční optika*, 2009, č. 1, str. 78-79, ISSN 1211-233
- [4] KUBÁLKOVÁ, P. *I brýle mají svou historii*. [online]. 2008 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.fiftyfifty.cz/i-bryle-maji-svou-historii-4093471.php>
- [5] NAJMAN, L. *Dílenská praxe očního optika*. Vyd. 2., přeprac. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů , 2010, 208 s. ISBN 978-807-0135-297
- [6] RUTRLE, M. *Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí.: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. 1. vyd. Brno: IDVPZ, 2001, 143 s. ISBN 80-701-3347-3
- [7] POLÁŠEK, J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Oční Optika, 1974.
- [8] TOMAN, M. *Zpracování plastů v brýlové optice 2 pro třetí ročník - učební obor strojní mechanik, zaměření brýlová optika*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, 1988, s. 14
- [9] NetPrice Designer Spectacles. *Spectacle Frame Materials. Materials used in spectacle frame production*. [online]. 2010. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.netpricedesignerspectacles.com/spectacle-frames/glasses-frame-materials-explained.aspx>
- [10] SWINE. *Hair glasses* [online]. 2011 [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <http://www.studioswine.com/hair-glasses>
- [11] FETSCH, Y. 3D-Druck in der Augenoptik – Realitat oder Zukunftsvision? DOZ 10/2014, str. 55-57.
- [12] BUFFLE HORN. PERRET OPTICIANS [online]. © 2012 [cit. 2017-09-22]. Dostupné z: http://www.perretoptic.ch/lunetterie/Lunette_plastique/Lun_plastique_matiere/lun_plastique_mat_d.htm
- [13] Perfect Augenoptiker. *Verschiedene Kunststoffe zur Herstellung von Brillenfassungen*. [online]. 2012. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z:

- http://www.perretoptic.ch/lunetterie/Lunette_plastique/Lun_plastique_matiere/lun_plastique_mat_d.htm
- [14] NAJMAN, L. Odlišnosti v postupu vsazování čoček do obrub z různých materiálů. *Česká oční optika*. Brno: EXPO DATA spol. s r.o., 2009, č. 1. ISSN 1211-233X.
- [15] WALSH, Shell G. *The Optician*. Sutton: Reed Business Information UK, 2004, Issue 5979. ISSN 0030-3968.
- [16] WALSH, Bone G. *The Optician*. Sutton: Reed Business Information UK, 2004, Issue 5962. ISSN 0030-3968.
- [17] HOTMAR, J. Kůže nebo useň? *Svět outdooru*. [online]. 2002 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?106994-kuze-nebo-usen>
- [18] WALSH, Leather G. *The Optician*. Sutton: Reed Business Information UK, 2004, Issue 5968. ISSN 0030-3968.
- [19] WALSH, Wood G. *The Optician*. Sutton: Reed Business Information UK, 2004, Issue 5982. ISSN 0030-3968.
- [20] Perfect Glasses USA. *Difference Between Quality Frames*. [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://www.perfectglassesusa.com/content/difference_between_quality_frames
- [21] TAG Heuer Eyewear. *Luxury Eyesight*. [online]. 2013. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.luxuryeyesite.com/designer/tag-heuer/>
- [22] NAJMAN, L. Výroba kovových brýlových obrub. *Česká oční optika*. Brno: EXPO DATA spol. s.r.o., 2004, č. 2. ISSN 1211-233X.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: „Lesestein“- čtecí kámen.....	7
Obrázek 2: První vyobrazení brýlových obrub	8
Obrázek 3: Monokl	9
Obrázek 4: Lorňon (druhý z hora) a cvikr (první a třetí předmět).....	10
Obrázek 5: Brýlové obruby s očnicemi	12
Obrázek 6: Obruby vázané	13
Obrázek 7: Vrtané brýle.....	13
Obrázek 8: Brýle vyrobené pomocí vlasů.....	23
Obrázek 9: Ruční fréza	26
Obrázek 10: Tavný válec s násypkou	27
Obrázek 11: Vstříkovací cyklus.....	27
Obrázek 12: Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válnování (1, 2 – válce, 3 – materiál).....	29
Obrázek 13: Galvanické pokovení.....	33