

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



**PROBLEMATIKA VZHLEDU POVRCHU NA VÝLISCÍCH
VZDUCHOVÝCH PRUŽIN**

PROBLEMS OF SURFACE OF AIR SPRINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Lukáš Baše

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Barbora Bryksí Stunová, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Baše** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **408913**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Problematika vzhledu povrchu na výliscích vzduchových pružin

Název diplomové práce anglicky:

Problems of surface of air springs

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod do problematiky výroby výlisků vzduchových pružin
2. Popis stávajícího způsobu dosažení požadovaného povrchu vlnovců
3. Popis alternativních technologických řešení
4. Experiment - návrh a provedení simulovaného alternativního způsobu dosažení vzhledu povrchu vlnovců
5. Zhodnocení a doporučení pro sériovou výrobu
6. Závěr

Seznam doporučené literatury:

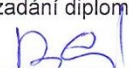
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


Ing. Barbora Bryksí Stunová Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **25.04.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2017**


Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

3.5.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Praha 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Děkuji paní Ing. Barboře Bryksí Stunové, Ph.D. a Ing. Janu Holému za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

Abstrakt

V této diplomové práci jsou podrobněji popsány a vysvětleny jednotlivé procesy výroby vzduchových pružin. Kromě jejich historie a historie pryže obecně, je zde uvedeno složení kaučukové směsi a její následné zpracování. To zahrnuje míchání kaučukové směsi, vytlačování této směsi, její následné nařezávání a konfekci, po které probíhá vulkanizace ve formě za daných podmínek. Vlivem nedostatečného odvzdušnění forem dochází k tvorbě vad na povrchu pryžových výlisků. Praktickým výstupem této práce jsou návrhy vhodných řešení vedoucí k efektivnějšímu odvodu vzduchu, návrhy způsobu jejich výroby a jejich následné ověřování ve zkušební formě. Výsledky experimentu ukázaly, že vytvořením reliéfu na povrchu formy lze výrazně omezit zmetkovitost pryžových výlisků. Bylo provedeno také ekonomické zhodnocení možných způsobů výroby reliéfů na formách používajících se při sériové výrobě. Nakonec bylo provedeno doporučení pro sériovou výrobu, zajišťující odstranění 5 % zmetkovitosti.

Abstract

In this diploma thesis are described and explained in detail individual processes of production of air springs. In addition to their history and rubber history in general, the composition of the rubber compound and its subsequent processing are provided. This involves mixing of the rubber compound, extruding the mixture, subsequently cutting it, and making the vulcanization in the mold under the given conditions. Due to insufficient venting of the molds, defects occur on the surface of the rubber moldings. The practical output of this thesis is the design of suitable solutions leading to more efficient air extraction, suggestions for the method of their production and their subsequent verification in a trial form. The results of the experiment have shown that, by creating a relief on the mold surface, the defects of the rubber molds can be significantly reduced. An economic assessment of possible ways of making reliefs on forms used in serial production has also been carried out. Finally, a serial production recommendation was made to ensure that 5% of the scrap was eliminated.

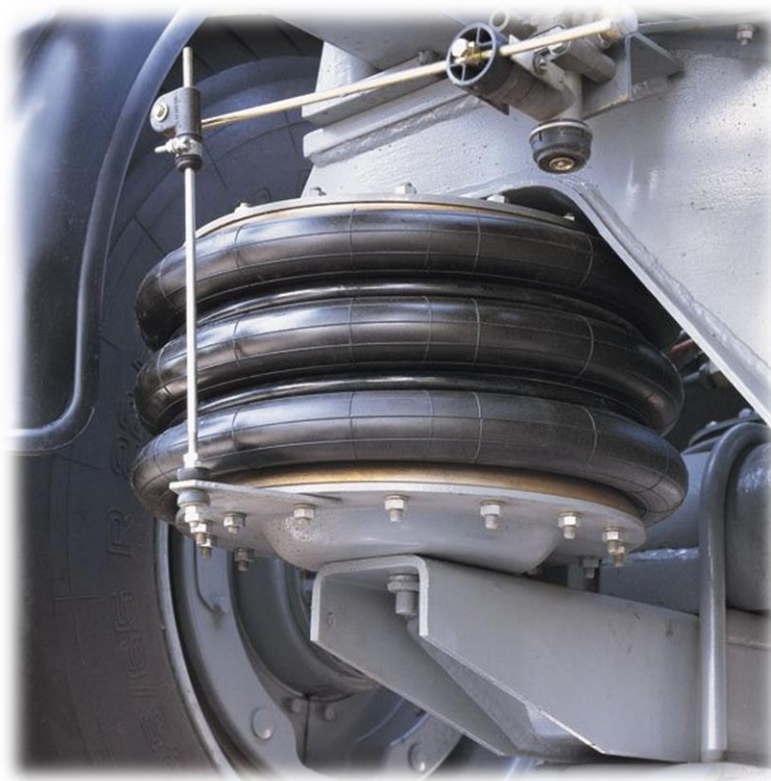
Obsah

1. ÚVOD	6
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY VÝROBY VÝLISKŮ VZDUCHOVÝCH PRUŽIN	8
2.1 HISTORIE KAUČUKU	8
2.2 HISTORIE VZDUCHOVÝCH PRUŽIN	10
2.3 PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI PRO VÝROBU VZDUCHOVÝCH PRUŽIN	13
2.4 ROZDĚLENÍ KAUČUKŮ.....	13
2.5 PŘÍSADEY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	15
2.5.1 <i>Plniva a pigmenty</i>	15
2.5.2 <i>Změkčovadla</i>	16
2.5.3 <i>Prostředky proti stárnutí - antioxidanty, antiozonanty</i>	17
2.5.4 <i>Vulkanizační prostředky, urychlovače, aktivátory a způzd'ovače vulkanizace</i>	18
2.5.5 <i>Mastikační prostředky</i>	19
2.5.6 <i>Prostředky pro omezení zápachu a konzervační prostředky</i>	19
2.5.7 <i>Prostředky pro usnadnění recyklace</i>	20
3. POPIS STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU DOSAŽENÍ POŽADOVANÉHO POVRCHU VLNOVCŮ 21	
3.1 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ	21
3.2 TVAROVÁNÍ SMĚSÍ.....	24
3.3 KONFEKCE	26
3.4 VULKANIZACE.....	29
4. POPIS ALTERNATIVNÍCH TECHNOLOGICKÝCH ŘEŠENÍ	31
4.1 MOŽNOSTI ZHOTOVENÍ DEZÉNU.....	31
4.2 LASER	31
4.2.1 <i>Historie laserové technologie</i>	32
4.2.2 <i>Princip laseru</i>	32
4.2.3 <i>Pevnolátkový laser</i>	34
4.2.4 <i>Diodový laser</i>	34
4.3 LASEROVÉ MIKROOBRÁBĚNÍ, LASEROVÉ GRAVÍROVÁNÍ.....	35
4.4 INTERAKCE LASEROVÉHO PAPRSKU S MATERIÁLEM.....	36
5 EXPERIMENT	38
5.1 NÁVRH FORMY	41
5.2 NÁVRH RELIÉFŮ	44
5.3 APLIKACE TECHNOLOGIE LASEROVÉHO MIKROOBRÁBĚNÍ	46
5.4 PROVEDENÍ EXPERIMENTU	51
5.5 VÝSTUPY EXPERIMENTU	55
6 ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ PRO SÉRIOVOU VÝROBU	59
6.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	59
6.2 DOPORUČENÍ PRO SÉRIOVOU VÝROBU.....	60
7 ZÁVĚR	63
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	67

1. Úvod

Vzduchové pružiny (obr. 1.1) se používají nejčastěji v automobilovém průmyslu jako antivibrační prvek, ale uplatnění nachází i pro odpružení laboratorních nebo kovacích strojů. V automobilovém průmyslu se používají především pro odpružení náprav či sedadel, a to u nákladních automobilů, autobusů, zemědělských a terénních vozidel. [1] [2]

Z důvodu aplikace těchto výrobků, právě do automobilového průmyslu, musí splňovat náročné požadavky na samostatnou funkčnost a spolehlivost celého systému. Tyto požadavky lze dosáhnout dodržáním několika podmínek. Hlavní je dodržet kombinaci vhodné kaučukové směsi a pryžotextilní výplně. To zajistí, že výrobek odolá předepsanému zatížení a dosáhne požadované životnosti. Důležité je také dbát na podmínky vulkanizace ve formě (teplotu, tlak a její dobu). Obsahem diplomové práce je seznámení s problematikou výroby vzduchových pružin a řešení konkrétního problému, který vzniká při jejich výrobě. Analýza daného problému probíhala na reálných produktech při výrobě ve firmě Rubena Náchod.



Obrázek 1.1: Využití vzduchové pružiny pro odpružení nápravy nákladního automobilu

Při vulkanizaci dochází vlivem nedostatečného odvzdušnění forem k tvorbě vad na povrchu pryžových výlisků vzduchových pružin. To způsobuje velkou zmetkovitost a cílem je jí zamezit. Proto je nutné navrhnout řešení, které by snížilo nebo úplně odstranilo tvorbu povrchových vad. Pro danou situaci je možné uvažovat několik variant řešení, která by tento problém vyřešila. První variantou je změna složení kaučukové směsi, kdy by se optimalizací přísad zlepšil proces vulkanizace. Další možností by bylo upravení vulkanizačních podmínek (teplota, tlak a doba vulkanizace). Možnou variantou je také úprava nebo vylepšení stávajícího odvzdušnění formy, případně častější intervaly čištění forem. Tato práce je zaměřena především na návrh řešení, jehož cílem je úprava a vylepšení stávajícího odvzdušnění forem.

V práci jsou popsány možné technologie výroby umožňující úpravu odvzdušnění formy. Podrobněji je vysvětlena technologie laserového obrábění včetně principu daného laseru, jeho částí a důležitých parametrů. Jako vhodné řešení bylo navrženo vytvoření souvislého reliéfu na povrchu formy. Tento reliéf má při vulkanizaci za úkol usnadnit odvod přebytečného uzavřeného vzduchu. Experimentální část diplomové práce ověřuje, zda toto řešení skutečně usnadňuje odvod vzduchu a snižuje povrchovou vadu výlisků. Součástí této práce je také ekonomické zhodnocení zavedení daného řešení do výroby.

Cíle práce:

- Popis procesu výroby výlisků vzduchových pružin a problému, vyskytujícího se při vulkanizaci.
- Návrh řešení odstraňující daný problém.
- Experiment – ověření funkčnosti navrženého řešení.
- Ekonomické zhodnocení a doporučení pro výrobu.

2. Úvod do problematiky výroby výlisků vzduchových pružin

2.1 Historie kaučuku

Počátek historie kaučuku jistě sahá do dob dřívějších, avšak první zmínky o něm souvisí s objevnými plavbami do Jižní Ameriky na přelomu 15. a 16. století. Tam z něho domorodí indiáni vyráběli nepromokavá plátna nebo obuv. Kaučuk získávali z kapaliny, která vytékala ze zářezů v kůře stromů kaučukovníku brazilského, který byl indiány nazýván „Cau-Uchu“ tedy plačící dřevo. [3]

Poměrně dlouhou dobu trvalo, než se kaučuk dostal do Evropy. Důvodem bylo jeho obtížné skladování, přeprava a nemožnost dalšího zpracování kvůli přirozenému vysychání. Do Evropy byl přírodní kaučuk, který byl použitelný pro další zpracování, přepraven v roce 1736. Mezi prvními v Evropě objevenými možnostmi využití kaučuku bylo odstraňování písma z papíru (anglicky to rub). O to se zasloužil anglický chemik Joseph Priestley v roce 1770 a odtud také byl odvozen anglický název pro kaučuk – rubber. Z počátku z něj byly vyráběny pouze jednoduché výrobky, které však při letních teplotách měkly a stávaly se lepivými. Naopak při nižších teplotách tvrdly a křehly. [3]

Společnost se na začátku 19. století době snažila vyřešit tyto problémy. S řešením přišli dva na sobě nezávislí objevitelé vulkanizace Američan Charles Goodyear a Angličan Thomas Hancock. Při zahřívání směsi kaučuku se sírou dosáhli produktu s mnohem lepšími vlastnostmi než u stávajících výrobků. Podíleli se tedy na vynalezení vulkanizace a zároveň na produktu nových vlastností, dnes známého jako pryž. Při vulkanizaci kaučuku dochází k síťování makromolekul, kdy se vytvářejí chemické příčné vazby mezi dlouhými řetězci, ze kterých je složena každá molekula kaučuku. V roce 1844 si Charles Goodyear tento objev nechal patentovat. V jedné ze svých publikací uvádí, že rychlejší přeměny kaučuku v pryž se dosáhne přidáním síry a oxidu zinečnatého do směsi. Takto připravenou kaučukovou směs vyráběl v roztoku terpentýnu nebo na válcovacím stroji s vyhřívávanými válci. Thomas Hancock vyráběl pryž smícháním kaučuku a roztavené síry. Tímto způsobem jako první vytvořil pryž s velkou tvrdostí, kterou později začali nazývat ebonit. Byl také autorem poznatku, ve kterém uvádí, že rychlost chemické reakce mezi sírou a kaučukem se úměrně zvyšuje se zvyšující se teplotou. Konkrétně se rychlost reakce zdvojnásobila při zvýšení teploty o 10 °C.

Ve Spojených státech amerických a ve Velké Británii byly položeny základy vulkanizace kaučuku. Upřesnění těchto vynálezů společně s konkrétním názvem daného procesu přeměny kaučuku v pryž přinesl William Brockendon. Ten nazval proces vulkanizace podle boha Vulkána z řecké mytologie. [3]

Velký rozmach gumárenského průmyslu přinesl vynález pneumatiky. Ta byla patentována v roce 1845 skotským inženýrem R. W. Thompsonem. Tento vynález však nebyl vhodný pro praktické využití. Zdokonalení tohoto vynálezu zajistil v roce 1888 skotský veterinární lékař J. B. Dunlop, který patentoval vzduchem plněné pneumatiky. Od této chvíle docházelo nejen k rozvoji automobilů a dopravy obecně, ale také k rychlému rozvoji gumárenského průmyslu. [3]

Tato expanze na přelomu 19. a 20. století však způsobila obrovskou spotřebu kaučuku, kterou už nebylo možné pokrýt z dosavadních přírodních zdrojů. Bylo tedy zapotřebí zakládat nové plantáže na pěstování kaučukovníku mimo tropickou Ameriku a přijít na způsob, jak připravit kaučuk uměle. [3]

První poznatky o zakládání nových kaučukovníkových plantáží byly publikovány už v roce 1872 Angličanem J. Collinsem. Ten však nezískal povolení pro vyvezení semen a sazenic kaučukovníku z Brazílie. Povolení vyvést semena a sazenice kaučukovníku nezískal ani jiný Angličan, kterému se však podařilo v duté holi tajně propašovat do Anglie 70 000 semen. V londýnské botanické zahradě se z celkového počtu semen podařilo vypěstovat 2000 sazenic, které byly dále vysázeny na Ceylonu. Místní klimatické podmínky byly velmi podobné těm v Brazílii, a proto se zde sazenice dobře uchytily. Vhodné podmínky pro růst zapříčinily jejich rozmnožení a další distribuci do Malajsie a na Borneo, kde se kaučukovník velmi rychle adaptoval a brzy zdomácněl. Změna hlavních producentů kaučukovníku přišla v roce 1920, kdy se stala největším producentem kaučuku tropická Asie na úkor tropické Ameriky, která byla ještě v roce 1905 hlavním a jediným producentem. Tropická Asie je i v dnešní době největším vývozcem přírodního kaučuku. Mezi další země, ve kterých jsou pro růst kaučukovníku ideální podmínky, patří střední a západní Afrika. [3]

Pokračování stálého rozvoje automobilového a strojírenského průmyslu postupně vyžadovalo větší a větší produkci kaučuku. Poptávka po kaučuku jednu dobu dokonce přesáhla množství, které mohly plantáže poskytnout. Tou dobou se rozvíjel také chemický průmysl a intenzivně se věnoval problematice výzkumu syntetických druhů

kaučuku. Největší podíl na vytvoření syntetického kaučuku měli především evropští chemici, jejichž výzkum byl urychlován tlakem v období válek a politické nestability. V období první světové války byl na území Německa vytvořen první syntetický kaučuk (polydimethylbutadien). Bylo to v důsledku blokády, která zamezovala dovoz dostatečného množství zásob přírodního kaučuku. Tento první syntetický kaučuk se používal k výrobě ebonitových skříní pro akumulátory do ponorek. V meziválečném období docházelo také k prudkému rozvoji syntetického kaučuku v USA. Tento vývoj má vliv také na situaci v dnešní době, kdy je na výrobu pryžových produktů použito 70% syntetických kaučuků. Ty zajišťují rozmanitost vlastností pryžových materiálů, které je možno aplikovat pro nejrůznější druhy výrobků v závislosti na jejich využití. [3]

2.2 Historie vzduchových pružin

Historie vzduchových pružin velmi úzce souvisí s historií pneumatiky na konci 19. století, kdy docházelo k rozmachu gumárenského průmyslu. Necelé dva roky po tom, co byl patentován vynález pneumatiky, tedy v roce 1847, byl udělen také první patent na vynález membránové pneumatické pružiny a to J. Lewisovi. Stejně jako nebyla první pneumatika použitelná v praxi, ani v tomto případě tomu nebylo jinak. Trvalo ještě několik let, než bylo možno vyrobit elastickou, neprodyšnou, dostatečně pevnou a trvanlivou membránu, která má být umístěna mezi kovovým válcem a pístem. [4] [5]

Po první světové válce, kdy docházelo k prudkému rozvoji automobilového průmyslu a vynálezu syntetických kaučuků, byly testovány první pneumatické pružiny v praxi. Pneumatické pružiny tvořené posuvnými písty ve válcích byly zkoušeny jako alternativa odpružení dobových automobilů. Většina těchto zkoušek však výrazný úspěch nepřinesla, protože v kluzných plochách vlivem tření docházelo k rychlému opotřebení válců a byl zde problém s těsněním pístů. Na území tehdejšího Československa se tyto pístové pružiny zkoušely u nákladního automobilu firmy Tatra. Další vývoj těchto pneumatických pístových pružin směřoval k vynalezení hydropneumatických pružin, které se po četných zdokonaleních používají dodnes. V těchto hydropneumatických pružinách je stálá vysokotlaká náplň vzduchu nebo dusíku a k regulaci statické výšky, nosnosti, tuhosti a tlumení slouží proměnlivá náplň kapaliny. Jejich výroba je velmi složitá a životnost často nepřesahuje 100 tis. km. Využívají se převážně u těžkých

stavebních nebo těžebních strojů a nákladních automobilů. Využití nachází v současné době i v odpružení podvozků letadel. [3] [4]

Dalším směrem vývoje bylo testování pryžových pneumatických pružin s vlnovcovými elementy, které byly vyztuženy kordovým provazcem. Toto testování bylo prováděno v roce 1930 v Anglii u závodního automobilu Bluebird a v roce 1931 také v Itálii u osobního automobilu Regotti. Problémem však byla velmi krátká životnost tohoto typu odpružení a zkoušky tedy byly zastaveny. Až po několikaletém úsilí se podařilo konstrukčně vyřešit a technologicky zvládnout velmi náročnou výrobu vlnovcových pneumatických pružin. Tento úspěch se připisuje americké firmě Firestone a jejich výrobky se v letech 1953 - 1955 testovaly na sériově vyráběných autobusech firmy Greyhound. Výsledky testů uváděly výrazné zlepšení jízdního komfortu a životnost tohoto odpružení už přesahovala 1 milion km. [4]

Zájem o pneumatické odpružení se po dosaženém úspěchu velmi rychle rozšiřoval do celého světa. Gumárenský průmysl se rozšířil o jeden další osvědčený produkt, který od roku 1957 postupně začaly vyrábět další gumárenské společnosti. (Dunlop, Continental, Phoenix, Rubena, Taurus). Na počátku bylo pneumatické odpružení součástí převážně autobusů, nákladních automobilů, návěsů a přívěsů. Později se začalo přidávat do podvozků kolejových vozidel. [4]

Zpočátku se také uvažovalo nad myšlenkou zavést toto odpružení i do osobních automobilů. Několik amerických firem tedy testovalo pneumatické odpružení v jejich sériově vyráběných modelech. Testy však nepřinesly příznivé výsledky. Problémem byly hlavně vysoké pořizovací náklady a v té době komplikované regulační systémy, které byly značně poruchové a budily nedůvěru zákazníků. Do sériové výroby osobních automobilů se tedy pneumatické odpružení neprosadilo. [4]

Výjimkou bylo hydropneumatické odpružení, které se používalo od roku 1954 v automobilech značky Citroën. Jedná se o nekonvenční systém pérování, využívající k tlumení vibrací kombinaci hydrauliky (hydraulický olej) a pneumatiky (stlačený plyn). Tento systém se používal hlavně na zadní nápravě a měl zajišťovat stabilní světlou výšku automobilu nezávisle na hmotnosti nákladu. V průběhu let byl tento systém postupně vylepšován a zdokonalován. V současné době lze tento systém nalézt na osobních automobilech Citroën C5 a C6. V licenci se používal také v některých automobilech značky Audi, BMW a Mercedes-Benz. [6]

Dále docházelo ke zdokonalování pneumatických pružin a dokonce také k vytváření nových typů. Kromě běžně vyráběných rotačně symetrických se vyráběly také vlnovcové obdélné, které sloužily k odpružení náprav těžkých nákladních automobilů a speciálních vozidel. Dalším speciálně řešeným typem byly kombinované pneumatické pružiny (vlnovec-membrána), které byly montážně zaměnitelné s běžnými pružinami. Postupně se díky konstrukčnímu zdokonalení značně zvýšila životnost. [4]

V Československu se na rozvoji a implementaci vlnovcových pneumatických pružin do provozu podílely jednotlivé firmy ve spolupráci s technickými univerzitami. Z počátku chyběly potřebné informace ohledně konstrukčního řešení a technologických postupů. Byly známy pouze výhody, které byly výsledkem testování v ostatních zemích. Bylo potřeba úspěšně vyřešit všechny materiálové, technologické, konstrukční i aplikační problémy. To se postupem času podařilo a vlastnosti vlnovcových pružin vyrobených u nás byly srovnatelné se špičkovými zahraničními výrobky. V roce 1961 byly poprvé aplikovány do podvozků člankových autobusů společnosti Karosa (model Škoda 706 RT0-K). O tři roky později se u nás začaly používat u všech sériově vyráběných autobusů. Dále se začaly používat u nákladních automobilů jako odpružení sedadel řidiče. [4]

V současné době existuje ve světě velmi široký sortiment těchto výrobků z hlediska konstrukčního uspořádání a rozměrů. V porovnání s ocelovými pružinami mají několikanásobně vyšší životnost, menší hmotnost a výrazně lepší antivibrační vlastnosti, které lze snadno regulovat. Jejich uplatnění už není omezeno pouze na odpružení v dopravě, ale využívají se také v dalších technických oblastech. Kromě odpružení podvozků se používají také k odpružení sedadel pro řidiče, odpružení kabin nákladních automobilů a podobně. Jsou součástí pružného uložení strojů s dynamickými a rázovými účinky (buchary, lisy). Uplatňují se při izolaci citlivých přístrojů a laboratorních zařízení, které jsou citlivé na vibrace. Další možné využití je v podobě zvedáků, které usnadňují a urychlují manipulaci s vozidly např. v opravnách. [4]

2.3 Příprava kaučukové směsi pro výrobu vzduchových pružin

Vzduchové pružiny – vlnovce, které se používají především v automobilovém průmyslu jako antivibrační prvek systému pružného uložení, musí splňovat vysoké požadavky na samotnou funkčnost a spolehlivost celého systému. Těch lze dosáhnout při dodržení několika podmínek. Důležité je použití kombinace vhodné kaučukové směsi a pryžotextilní výplně tak, aby výsledný produkt odolal předepsanému zatížení a dosáhl požadované životnosti. Nutné je také dbát na parametry vulkanizace obou složek, zejména na teplotu, tlak a čas.

Kaučuková směs je tedy jeden ze základních pilířů pro vytvoření pryžového vlnovce. Obvykle se skládá z hlavní složky a několika dalších přísad. Hlavní složkou je kaučuk, který může být přírodní či syntetický a má největší vliv na výsledné vlastnosti vlnovce. Kromě toho má ve směsi také největší zastoupení. Ovlivňuje mechanické vlastnosti, odolnost za nízkých teplot, odolnost proti stárnutí a chování výrobku v prostředí různých médií. Mezi přísady kaučukové směsi patří změkčovadla, plniva, přísady proti stárnutí, oleje, urychlovače vulkanizace, pigmenty, zpracovatelské pomocné prostředky, aktivátory nebo zpozdovače vulkanizace a další. Tyto přísady slouží především k tomu, aby došlo ke správnému ztvrdnutí kaučukové směsi. Mohou také zvyšovat množství směsi bez ztráty pevnostních vlastností a plnit další funkce, které budou dále popsány. Mechanické vlastnosti však přísady příliš ovlivnit nemohou.

2.4 Rozdělení kaučuků

Rozlišujeme dva základní druhy kaučuků a k oběma těmto druhům existuje několik dalších modifikací. Jedná se o kaučuky přírodní a syntetické, které je možné vzájemně kombinovat a získat tak pryž s požadovanými vlastnostmi. Z celkového zpracování kaučuků ve světě je patrné, že častěji se zpracovává kaučuk syntetický (70 % celkové světové produkce) než kaučuk přírodní (30 % celkové světové produkce). Důvodem je, jak již bylo uvedeno, obrovská spotřeba, na kterou by dosavadní přírodní zdroje nestačily. Co se týče přírodního kaučuku, z chemického hlediska existuje pouze jeden typ, ale lze ho dle potřeby upravovat pro dosažení různých vlastností. Formy úpravy spočívají v odlišném způsobu zpracování při výrobě. [3]

Chemické složení syntetických kaučuků je mnohem rozmanitější. Liší se především chemickým složením základních řetězců, které jsou poskládány z různých, opakujících se výchozích segmentů. Tyto jednotlivé segmenty se nazývají monomery. Nejčastěji se při získávání polymeru kaučuku používají kombinace dvou až tří základních monomerů. To vede ke vzniku kaučuků s odlišnými zpracovatelskými a aplikačními vlastnostmi. Syntetické kaučuky se dělí na dvě základní skupiny dle použití. Jedná se o kaučuky pro běžné použití a o kaučuky speciální. Zástupci první skupiny se používají především pro výrobu pneumatik a masové technické pryže. Patří sem např. butadienstyrenový kaučuk SBR, polybutadienový kaučuk BR a polyizoprenový kaučuk IR. Zástupci druhé skupiny představují kaučuky se speciálními vlastnostmi jako například zvýšená odolnost proti olejům, teplotě, UV záření apod. Mezi tyto speciální kaučuky řadíme butylkaučuk IIR, chloroprenový kaučuk CR, polyuretanový kaučuk AU. [3]

Rozlišujeme kaučuky také podle polaritity na polární a nepolární. Ryze uhlovodíkové polymery nemají zpravidla žádné polární skupiny, a proto je řadíme do nepolárních kaučuků. Zvulkanizované produkty z nich se vyznačují odolností proti vodě, alkoholům, glykolům, brzdovým kapalinám, některým ketonům a esterům. Naopak jsou náchylné na kontakt s benzinem a minerálními oleji. Počet dvojných vazeb v řetězci, tedy nasycenost příslušného kaučuku, určuje odolnost proti ozonu a stárnutí. [3]

Pokud se v molekule kaučuku vyskytují kromě atomů uhlíku a vodíku další atomy nebo skupiny atomů, jde o kaučuky polární. Polaritu způsobují především atomy Cl, F, N. Na rozdíl od nepolárních kaučuků mají výbornou odolnost proti benzinu a minerálním olejům. Jsou však náchylné na chemicky podobné látky jako jsou např. nízkomolekulární ketony a estery. Stejně jako u nepolárních kaučuků je i zde odolnost proti ozonu a stárnutí dána počtem dvojných vazeb v řetězci kaučuku. [3]

Jak již bylo částečně uvedeno, polární a nepolární kaučuky lze dělit dle nasycenosti na nasycené a nenasycené. Liší se tím, že nasycené kaučuky neobsahují dvojně vazby, lépe odolávají tepelnému stárnutí, atmosférickým vlivům a není možné je vulkanizovat sírou. Nenasycené kaučuky tedy dvojně vazby neobsahují, lze je vulkanizovat sírou a vykazují horší vlastnosti při stárnutí. V tabulce 2.1 je uvedeno přehledné rozdělení kaučuků podle polaritity a nasycenosti včetně zástupců daných skupin. [3]

Tabulka 2.1: Rozdělení kaučuků podle polarity a nasycenosti

Kaučuky			
Nepolární		Polární	
Nenasycené	Nasycené	Nenasycené	Nasycené
IR, BR	IIR	CR	AU

Počet v dnešní době využívaných základních druhů syntetických kaučuků převyšuje 30. K většině těchto druhů existuje ještě řada modifikací, které vznikají odlišnými způsoby přípravy, poměrem výchozích monomerů, délkou řetězců a dále také různým uspořádáním základních monomerů. Dále existuje 7 základních skupin, podle kterých jsou syntetické kaučuky rozděleny podle chemické struktury polymerních řetězců. Tyto skupiny jsou dle normy ISO 1629 (Kaučuky a latexy - nomenklatura) označeny písmenem stojícím na konci mezinárodního značení kaučuků příslušné skupiny. [3] [7]

- M – kaučuky s nasyceným řetězcem polymethylenového typu
- O – kaučuky, obsahující kyslík v polymeračním řetězci
- R – kaučuky s nenasyceným uhlíkovým řetězcem
- Q – kaučuky, obsahující křemík a kyslík v polymerním řetězci
- U – kaučuky, obsahující v polymerním řetězci uhlík, kyslík a dusík
- T – kaučuky, obsahující v polymerním řetězci síru
- Z – kaučuky, obsahující v polymerním řetězci fosfor a dusík

2.5 Přísady kaučukových směsí

2.5.1 Plniva a pigmenty

Základní přísadou kaučukové směsi jsou v největším zastoupení saze nebo minerální plniva. Hlavním důvodem proč se do kaučukové směsi přidávají je usnadnění zpracovatelnosti a dosažení požadovaných vlastností výrobku. Dochází hlavně k zlepšení tvrdosti a pevnosti vulkanizátu, jelikož plniva mají ztužující účinky. Zlepšuje se také odolnost proti otěru. Všechny tyto vlastnosti nelze zvyšovat najednou kvůli rozmanitosti druhů plniv, kdy každé plnivo zvyšuje pouze určitou vlastnost. [3]

Plniva jsou důležitá zejména u syntetických kaučuků, protože mají oproti přírodnímu kaučuku výrazně nižší pevnost a byly by tedy téměř nepoužitelné. Plniva můžeme dělit podle ztužujícího účinku na ztužující a neaktivní. Ztužující významně zvyšují pevnost pryže, ale na druhou stranu negativně ovlivňují její zpracovatelnost. Snaha výrobců plniv do kaučukových směsí je najít optimální kompromis mezi ztužujícími schopnostmi a zpracovatelností směsí. Optimálním řešením je použití vhodné kombinace ztužujících a neaktivních plniv. Často se používají i anorganická plniva. Jedná se o přírodní mleté minerály (křída, kaolin) nebo o synteticky vytvořená plniva (oxid křemičitý, křemičitan hlinitý, křemičitan vápenatý). Oxid křemičitý, který se označuje jako „bílé saze“, je vhodný jako plnivo pro vulkanizáty, které mají být barevné. [3]

Většina pryžových výrobků je černá. Důvodem je použití sazí jako plniva. Pokud je potřeba vyrábět barevné pryžové výrobky, je nutné použít, jak již bylo zmíněno, plnivo bílé saze (oxid křemičitý). Kaučukovou směs s takovýmto plnivem lze barvit přidávkou anorganických nebo organických pigmentů. Nejčastěji se používají anorganické pigmenty, které se vyznačují vysokou stálostí za zvýšených teplot a v agresivním prostředí. Jedná se např. o oxidy titanu nebo železa. Nejsou však ideální pro životní prostředí, protože v nich jsou často obsaženy sloučeniny kadmia nebo jiných těžkých kovů. Přechází se tedy na organické pigmenty, jejichž výhodou je jasné zbarvení, ale nejsou zdaleka tak tepelně stálé jako anorganické pigmenty. Další jejich nevýhodou je nestálost v olejích, rozpouštědlech a tucích. [3]

2.5.2 Změkčovadla

Změkčovadla v kaučukové směsi fungují hlavně jako přísada pro zlepšení zpracovatelnosti, ale poskytuje také další výhody. Kromě zlepšené plasticity směsi dochází také ke zvýšení jejího objemu a tím se celá směs zlevňuje. Základním změkčovadlem jsou nejčastěji minerální oleje. Lze použít také syntetická změkčovadla, která navíc zlepšují další vlastnosti vulkanizátu, jako je např. mrazuvzdornost. Existuje několik druhů změkčovadel podle chemického složení. Jsou to například změkčovadla parafinická, aromatická, esterová, éterová, polymerní a změkčovadla na bázi chlorparafinu. [3]

Pro dosažení zlepšené zpracovatelnosti směsi stačí jen malé množství změkčovadla (5 %) aniž by se výrazně ovlivnily mechanické vlastnosti výrobku. Čím více se však přidá změkčovadla, tím více ztrácí výrobek na mechanických vlastnostech. Může také dojít k dalším nežádoucím vlivům. Po zsvulkanizování směsi se plniva často uvolňuje a způsobuje znečištění sousedních částí výrobků. Horní hranice procentuálního obsahu změkčovadla ve směsi je asi 30 %. [3]

Vedle změkčovadel existují také další prostředky zlepšující zpracovatelnost. Jsou to různé druhy pryskyřice (kalafuna, kumaronová pryskyřice – pryskyřice obsahující sloučeniny kumaronu), vosky, mýdla (Ca a Zn – stearáty), pevné uhlovodíky (polyetylen, vazelína, parafin), mastné kyseliny (stearin) a speciální polymerační produkt nenasycených olejů se sírou zvaný faktis. [3]

2.5.3 Prostředky proti stárnutí - antioxidanty, antiozonanty

Stárnutí vulkanizátů je možno omezit nízkým množstvím organických sloučenin v kaučukové směsi. Sloučeniny typu sulfidů, fenolů a aromatických aminů dodávají vulkanizátům dlouhodobou ochranu před různými vlivy stárnutí a tím prodlužují jejich životnost nejen při funkci, ale i při skladování. Často se používá kombinace těchto sloučenin pro dosažení specifické účinnosti. Podle ochranného účinku se tyto prostředky dělí na antioxidanty, antiozonanty a speciální prostředky. Antioxidanty chrání výhradně proti účinkům vzdušného kyslíku. Antiozonanty zpomalují nežádoucí vznik ozonových trhlin při statickém namáhání. Speciální prostředky pak chrání vulkanizáty proti specifickým druhům stárnutí, například stárnutí světlem nebo hydrolytickými vlivy. [3]

Vedlejší účinek těchto prostředků je zbarvení pryže. Existují také nezbarvující prostředky, ale jejich účinnost není zdaleka tak vysoká. Antioxidanty, které silně zbarvují pryž, jsou považovány za nejúčinnější a používají se pouze v sazových směsích. Není možné je používat u výrobků, u kterých by hrozilo kontaktní zbarvení (např. výrobky s potiskem, laky apod.). Mezi tyto účinné zbarvující prostředky patří i vosky, které chrání výrobek tím, že na jeho povrchu vytvoří souvislou ochrannou vrstvu, která brání přístupu kyslíku a ozonu. Vnější namáhání však tento film postupně narušuje, až dojde k jeho úplnému poškození. [3]

V poslední době je snaha tyto vysoce účinné antioxidanty silně omezit a to z ekologických důvodů. Podle některých studií jsou prokázány jejich kancerogenní účinky (vznik nitrosaminů při vulkanizaci). Podobně je snaha omezovat i některé urychlovače vulkanizace. [3]

2.5.4 Vulkanizační prostředky, urychlovače, aktivátory a zpoždovače vulkanizace

Tyto prostředky se podílejí na tom, aby došlo k vulkanizaci a jejímu správnému průběhu. Prvním známým prostředkem je síra, která se používá již od dob vynalezení vulkanizace. Používá se pro vulkanizaci nenasycených kaučuků, které v hlavním nebo vedlejším řetězci obsahují dvojnou vazbu. V dnešní době dochází k vývoji nových bez sírových vulkanizačních systémů. Ty je možné částečně použít i pro vulkanizaci nasycených druhů kaučuku. [3]

Pro vulkanizaci sírou je nutné zajistit její poměrně vysoké dávkování a dlouhou dobu výdrže na vysoké teplotě. Vyrobené vulkanizáty rovněž nedosahují požadované jakosti. Proto se síra kombinuje s jedním nebo více druhy organických urychlovačů. [3]

Efektivní dávkování síry je do značné míry závislé na druhu a množství aktivačních nebo zpožďujících složek směsi a urychlovačů vulkanizace. Příkladem může být výroba měkké pryže, kdy se dávkování pohybuje okolo 0,3 hmotnostních dílů na 100 dílů kaučuku. Jak bylo uvedeno, je snaha o snížení dávkování síry. Důvodem je fakt, že síra negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti a stárnutí vulkanizátů. S rostoucím množstvím síry v kaučukové směsi se obecně zhoršuje odolnost proti stárnutí, snižují se elastické a pevnostní vlastnosti vulkanizátů. Pro výrobu tvrdé pryže se podíl síry zvyšuje na 25 – 40 dílů na 100 dílů kaučuku. Tvrdá pryž nachází v současných odvětvích čím dál menší uplatnění. [3]

Jako zástupce vulkanizačních prostředků lze uvést také organické peroxidy a některá další speciální vulkanizační činidla. [3]

Snaha o snížení dávkování síry a tím také zkrácení vulkanizační doby vede už od objevení vulkanizace k hledání nových látek. Zpočátku byly prvními urychlovači kovové oxidy (oxidy olova, zinku, vápníku, hořčíku), ale kvůli neuspokojivé účinnosti se dlouho při výrobě neudržely. Zásadním zlomem bylo zavedení organických urychlovačů. Umožňovaly zkrácení vulkanizační doby, snížení vulkanizační teploty

a hlavně snížení dávkování síry. Výsledkem bylo zlepšení mechanických vlastností vulkanizátů a jejich odolnost proti stárnutí. [3]

Ke zvýšení účinnosti urychlovačů vulkanizace se v malém množství přidávají látky, kterým se říká aktivátory. Mezi tyto prostředky patří oxid zinečnatý a kyselina stearová, které jsou univerzální a žádoucí téměř pro všechny druhy směsí. [3]

Důležité je také uvést zpoždovače vulkanizace, které se do kaučukové směsi přidávají hlavně z důvodu zamezení nebezpečí navulkanizace této směsi během skladování a zpracování. Urychlovače nemají negativní vliv na vznik a průběh vulkanizace kaučukové směsi. [3]

2.5.5 Mastikační prostředky

Mastikace je proces, při kterém v hnětiči dochází ke stálé mechanické deformaci tuhé kaučukové směsi za přítomnosti vzdušného kyslíku. Molekulární řetězce kaučuku se oddělují, snižuje se molekulová hmotnost a to vede ke zvýšení plasticity. Jednotlivé složky kaučukové směsi se tímto snadněji smísí. Nejedná se však o stejné zvyšování plasticity směsi jako je tomu u změkčovadel, ale při mastikaci jde o oxidační odbourávání. Aby došlo k rozštěpení molekulárních řetězců, musí být zajištěna přítomnost kyslíku. Mastikace je teplotně závislá a při použití některých sloučenin lze odbourávání kaučuku urychlit. [3]

Mastikační (odbourávací) prostředky nachází uplatnění hlavně u směsí z přírodního kaučuku. Syntetické kaučuky se již dodávají s plasticitou, která umožňuje okamžité vmíchávání přísad a to bez použití mastikačních činidel. U syntetických kaučuků je již molekulová hmotnost dostatečně snížena. [3]

2.5.6 Prostředky pro omezení zápachu a konzervační prostředky

Prodejnost některých výrobků je často dána zápachem, který je typický pro pryžové výrobky. Zápach je možno částečně omezit skladováním, ale nelze jej zcela vyloučit. Malým množstvím těchto speciálních vonných esencí lze zápach neutralizovat nebo překrýt. [3]

Skladování kaučukových směsí umožňuje vznik rizika napadení těchto směsí plísněmi, bakteriemi nebo hmyzem. Aby bylo možné tomuto riziku předejít, přidávají se do směsi fenoly nebo organické sloučeniny s obsahem chlóru nebo síry. [3]

2.5.7 Prostředky pro usnadnění recyklace

Z hlediska možné recyklace se přidávají prostředky pro usnadnění recyklace. K tomu, aby se mohla uskutečnit recyklace, je třeba rozrušit síťovou strukturu zvulkanizované pryže. Rozrušení struktury lze dosáhnout tepelnou, chemickou a mechanickou cestou. Tyto prostředky tento proces usnadňují. Tímto procesem se získá plastická hmota, jejíž složení je stejné jako složení kaučukové směsi před vulkanizací včetně všech přísad a lze ji znovu použít na výrobu příslušného produktu. Nedochozí tím k ovlivnění mechanických ani zpracovatelských vlastností. [3]

Mezi prostředky usnadňující recyklaci patří různá změkčovač nebo peptizační činidla, které se nezpracovávají samostatně, ale vmíchávají se do čerstvých kaučukových směsí. Kromě toho, že můžeme zvulkanizovaný produkt recyklovat a tím částečně snížit náklady, zlepšují se i zpracovatelské vlastnosti směsi. Dochází však ke snižování pevnostních vlastností vulkanizátů. [3]

3. Popis stávajícího způsobu dosažení požadovaného povrchu vlnovců

3.1 Míchání směsí

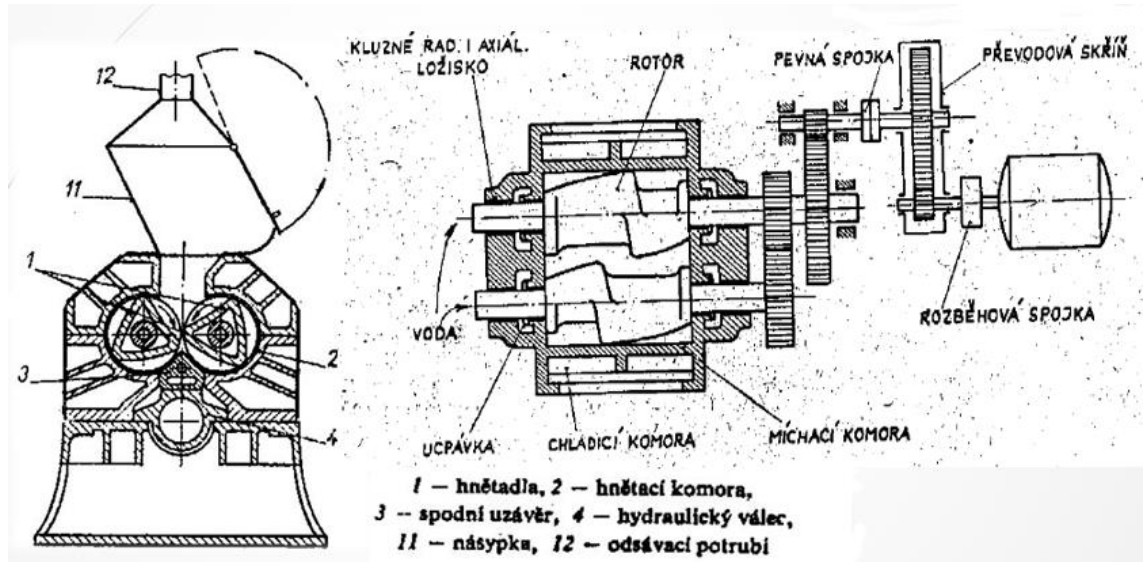
Před procesem samotného míchání jednotlivých složek kaučukových směsí (kaučuk a ostatní prostředky) musí dojít k jejich přesnému navážení. Automatické zásobníky a váhy zajišťují požadované množství dané přísady podle vloženého receptu. Tento velice efektivní proces navažování směsí lze snadno automatizovat a v dnešní době je nedílnou součástí většiny gumárenských podniků. Správnost směsí lze snadno kontrolovat či zpětně vyhledat pomocí průvodní dokumentace, která je součástí každé navážené směsi. Průvodní dokumentace je pak porovnávána s požadovanou normou a na základě toho se zjišťují možné odchylky.



Obrázek 3.1: Automaticky navážené přísady kaučukové směsi

Zařízení určené k samotnému míchání směsí se nazývá hnětič. Součástí hnětiče jsou dva otáčivé tvarované rotory, které se pohybují proti sobě a jsou umístěné v míchací komoře. Při míchání kaučukové směsi vzniká teplo, které je nutné odvádět. Míchací komora je opatřena systémem chlazení, který zabraňuje navulkanizaci směsi při míchání. Od automatického systému navažování je kaučuková směs přiváděna do hnětiče. U většiny hnětičů je proces míchání udržován pod tlakem pomocí pneumaticky ovládaného pístu. K důkladnému zamíchání kaučukové směsi o hmotnosti 200 kg je nutné, aby proces trval alespoň 5 minut. Jak již bylo uvedeno, intenzivní míchání způsobuje, že v hnětiči může teplota dosáhnout 150 °C až 180 °C. Hrozí tedy riziko

navulkanizace směsi a proto se v hnětiči míchá kaučuková směs bez přísady urychlovačů. Ty se přidávají na dvouválci pod výpustnými dvířky hnětiče. Zde dochází k postupnému odkrajování směsi, aby došlo k ještě lepšímu účinku promíchání. Zároveň také dojde k částečnému vychlazení kaučukové směsi.



Obrázek 3.2: Schéma hnětiče a hnětacího ústrojí



Obrázek 3.3: Míchání a odkrajování směsi na dvouválci

Chlazení se dokončuje ve speciálním chladicím systému. Tento systém se nazývá chladicí bubnový stroj a obsahuje 1 až 8 navazujících válců uspořádaných v řadě. Délka těchto chladicích válců je stejná jako délka válců válcovacího stroje. Chladicí válce však mají větší průměr a jejich pláště jsou navrženy z hliníkového plechu, aby zajišťovali co nejlepší odvod tepla. Pláště válců jsou z vnitřní strany intenzivně postříkávány vodou. Poté co je směs vychlazená se krájí a skládá do plástů. Materiál v této formě se považuje

za důkladně promíchaný a je určen k dalšímu zpracování. Celý tento proces obsahující systém automatického navažování, míchání a chlazení umožňuje připravovat kvalitní kaučukové směsi s vysokou reprodukovatelností bez významného vlivu lidského faktoru na kvalitu výsledných směsí.

Pro míchání speciálních směsí v malém množství se používají otevřené dvouválce, které se pohybují proti sobě a každý jinou rychlostí. Princip tohoto procesu míchání spočívá v nastavení mezery mezi oběma válci tak, aby došlo při jejich otáčení ke vzniku návalku. V tomto návalku vznikají maximální síly, které umožňují vmíchání plniv a ostatních složek kaučukové směsi. Tento postup není vhodný pro sériovou výrobu a používá se převážně na malé provozy. Doba míchání kaučukové směsi o hmotnosti 50 kg je přibližně 45 minut. Pokud se tyto hodnoty srovnají s procesem míchání v hnětiči, získá se výrazně nižší produktivita procesu míchání. Při správném chlazení válců teplota směsi nepřekročí teplotu 100 °C, a proto lze pláсты rovnou vykrajovat a umístit na stojany k vychladnutí. Tento proces míchání je značně ovlivněn zručností operátora.

Po vychladnutí každé umíchané směsi (ať už na dvouválci nebo v hnětiči) se musí provést tzv. denní kontrola. Při této kontrole se měří vlastnosti neztvrdlé směsi (plasticita, viskozita, vulkanizační schopnost) a fyzikálně-mechanické hodnoty. K tomu, aby směs mohla být uvolněna k dalšímu zpracování, je nutné, aby všechny vlastnosti dosahovaly předepsaných hodnot. Pro stanovení viskozity se při dané teplotě a konstantní rychlosti otáčení zjišťuje krouticí moment na ose smykového disku přístroje, v jehož pracovním prostoru je umístěn zkoušený materiál (kaučuková směs). Zařízení, na kterém se provádí měření viskozity, je rotační diskový viskozimetr Mooney. Měření probíhá tak, že se jednu minutu zkušební vzorek zahřívá v pracovním prostoru a poté se spustí otáčení disku. Smykové disky se rozlišují ve dvou velikostech a to ve velikosti L (velký) a S (malý), jejichž naměřené hodnoty nejsou srovnatelné. Viskozita Mooney se pro kaučukovou směs stanovuje při teplotě 100 °C a dále se stanovuje rozdíl viskozit po 15 minutách a po 1,5 minutě od začátku otáčení smykového disku.

Zjišťuje se také doba navulkanizování směsí při 120 °C nebo při 140 °C. Stanovují se vulkanizační charakteristiky kaučukových směsí na zařízení s kmitajícím diskem. Vzorek z kaučukové směsi je pod tlakem umístěn do zkušební komory a poté je vyhříván na zkušební teplotu. Kmitající disk s malou výchylnou tvaru dvojitého kužele je během měření vtlačován do vzorku kaučukové směsi. Tím vznikne smyková deformace

zkušební vzorku, kdy krouticí moment, který je potřeba ke kmitání disku, závisí na smykovém modulu (tuhosti) kaučukové směsi. Krouticí moment je automaticky zaznamenáván do počítače jako funkce času. Výsledkem je vulkanizační křivka, ze které lze vyčíst nejmenší a největší krouticí moment, zpracovatelská doba, doba navulkanizace a doba dosažení 90 % vulkanizace. Rozsah a průběh vulkanizační křivky se liší podle druhu dané kaučukové směsi a jejího složení. Při pozitivním výsledku všech zmíněných zkoušek je možné danou kaučukovou směs dále zpracovávat.

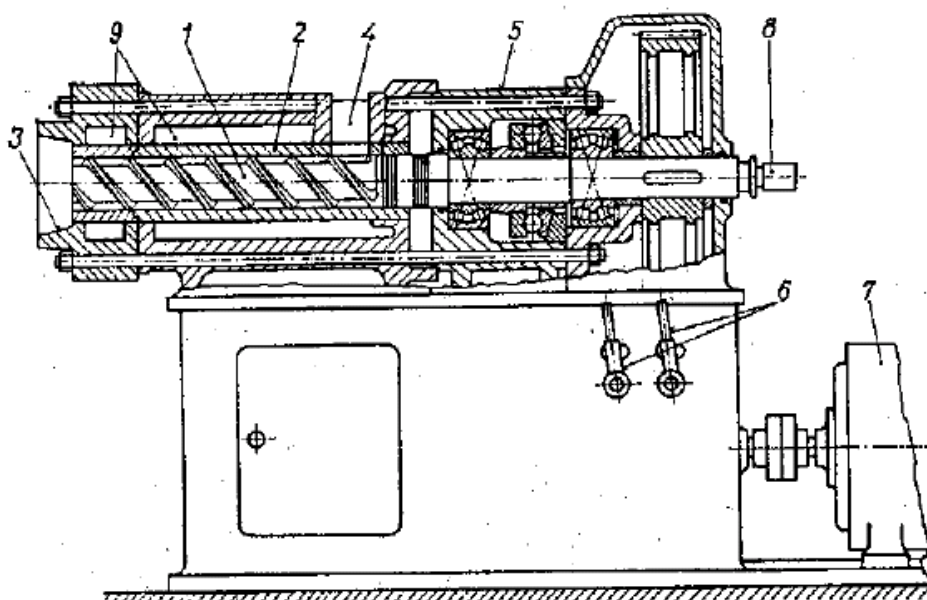
3.2 Tvarování směsí

Kaučukové směsi ve formě plástů, které jsou důkladně zamíchané, a prošly denní kontrolou, jsou výchozím materiálem pro výrobu pryžových výrobků. Další fází zpracování je tvarování. Tvarování se provádí buď do konečného tvaru (vytlačování profilů) nebo do tvaru vhodného k uložení do formy při klasickém lisování. Pro tvarování směsí určených k výrobě pryžových vlnovců se používá zmíněné vytlačování profilů.

Zařízení, které umožňuje tvarování směsí, se nazývá vytlačovací stroj. Rozlišují se dva základní typy těchto strojů. Oba tyto typy mají jednoduchou konstrukci a jsou buď šnekové, nebo pístové. Rozdíl mezi nimi je v tom, že u šnekového stroje je ve válcovém pouzdře umístěn šnek a u pístového stroje je ve válcovém pouzdře píst. Princip vytlačovacího stroje připomíná princip strojků na maso. Pláсты kaučukové směsi jsou přiváděny do zásobníku stroje a odtud k šneku, který otáčením plastikuje směs a zároveň ji vytlačuje požadovaným tvarem pomocí nástroje. Nástroj je totožný s tvarem požadovaného profilu, který je v případě výroby vlnovců tvaru trubky. Vnitřní strana profilu je po výstupu ze stroje oprašována speciálním prostředkem (klouzkem), aby nedocházelo k jeho slepování. Pokud je to nutné, lze válcové pouzdro stroje a hubici podle potřeby vyhřívat či chladit. Vytlačovaný profil je nejčastěji odebírán dopravním pásem a nakonec je strojně krájen na požadovanou velikost.



Obrázek 3.4: Šnekový vytlačovací stroj



1 – šnek, 2 – komora, 3 – kužel pro upevnění hlavy, 4 – plnicí otvor, 5 – ložisková skříň, 6 – řadící páky čtyřrychlostní převodovky, 7 – hnací motor, 8 – vstupní hlava, 9 – komůrky chladičho systému

Obrázek 3.5: Schéma šnekového vytlačovacího stroje

3.3 Konfekce

Konfekce je proces přípravy a výroby polotovarů pro vlnovce vzduchových pružin. Celý proces se skládá z několika kroků a jeho převážná část je prováděna ručně. Kvalita výrobku je tedy výrazně ovlivněna zručností operátorů.

Pro zahájení procesu výroby polotovarů pro vlnovce jsou nezbytné 3 dílčí materiály, kdy dva tvoří vnější vrstvu a jeden slouží jako výztuž. Prvním materiálem je do požadovaných rozměrů a profilu (trubka) vytvarovaná kaučuková směs. Dále jsou to obdélníkové fólie z té samé kaučukové směsi nasekané do požadovaných rozměrů. Tyto dva materiály jsou vnější vrstvou vlnovcového polotovaru. Mezi tyto dva materiály patří ještě výztuž. Výztuží je pogumovaný textil (pogumované kordové provazce), který je s oběma vrstvami spojen speciálním roztokem neztvrdlé pryže rozmíchané v benzínu. Pogumovaný textil, který je dodáván na vále, se musí na speciálním stroji uříznout pod úhlem v rozsahu cca 60 ° až 70 °, aby byl efekt zpevnění co největší. Po zajištění těchto materiálů následuje samotná konfekce.

Konfekce probíhá na jednoduchém konfekčním stroji, který je osazen válcem o průměru odpovídajícímu vnitřnímu průměru vlnovce. Na válec se nejprve nasadí první vrstva (trubka z kaučukové směsi). Na tu se nanese vrstva speciálního roztoku, na kterou



Obrázek 3.4: Konfekční stroj

se položí dva pod úhlem nařezané pogumované textily. Následně je provedeno válečkování ručním válečkem. To se provádí z důvodu odstranění přebytečných bublin nebo případných přehybů pogumovaného textilu, který by mohl způsobovat výrobu zmetků. Poté se nasadí dva pryžové patní kroužky. Pryžové kroužky mohou být vyztuženy také kovovým drátem a mohou se umísťovat i doprostřed polotovaru, záleží na typu vlnovce. Nakonec se přidá poslední vrstva vnější folie, provede se válečkování a polotovar je sundán ze stroje. Poté je polotovar ještě vyválnen v separačním prostředku, který při vulkanizaci usnadňuje odvzdušnění formy a omezuje tvorbu povrchových vad (bubliny). K tomu se nejčastěji používá klouzek nebo brusný prach, což je velmi jemně rozdrčená zvulkanizovaná pryž, která se během vulkanizace začlení do zbytku směsi a po vulkanizaci není na povrchu vlnovce znát.



Obrázek 3.5: Polotovar po dokončení konfekce

Poslední krok před samotnou vulkanizací je proces bombírování. Výstupem konfekce je polotovar tvaru válce. Cílem je předtvarovat tento polotovar do vhodného

tvaru pro vložení do formy. Proces probíhá ve stroji zvaném bombírka, který připomíná lis, kde vrchní část je pevná a spodní pohyblivá. Polotovary vlnovce jsou upnuty za patky do upínáků, aby se zamezilo unikání vzduchu potřebného k vytvarování jednotlivých vln. Počet vln je dán počtem upnutých kleštů (nejčastěji mají jednu, dvě nebo tři vlny). Na vytvoření dvou vln je potřeba jedna klešтина. Do upnutého polotovaru je napuštěn vzduch o tlaku 2 MPa a zároveň dochází k jeho stlačení spodní částí bombírky. Dochází k rozpínání vzduchu v polotovaru a k vytvoření požadovaných vln. K tomu, aby si polotovar udržel tvar, než bude přesunut do formy k vulkanizaci, musí v bombírce setrvat alespoň 50 % doby vulkanizace. Tato doba závisí na velikosti vlnovce.



Obrázek 3.6: Bombírka při natlakování a stlačení polotovaru

3.4 Vulkanizace

Vulkanizace je proces, při kterém se bombírovaný polotovár při dané teplotě a tlaku přemění na hotový výrobek. Proces probíhá v hydraulickém lise. Polotovár se vloží do formy, která má tvar a počet vln požadovaného vlnovce a je uložena v lise. Následně dojde k jejímu uzavření a stlačení pomocí hydraulického systému. Do formy je vpuštěna pára o teplotě 178 °C a tlaku 0,8 MPa, která vyplní a rozepne polotovár vlnovce. Doba procesu je závislá na velikosti vlnovce a pohybuje se od 10 do 40 minut. Dělicí rovina vlnovcových forem není umístěna ve středu. Důvodem je snadnější vyjímání vylisku a zamezení vzniku přehybů při uzavírání. Forma je také po obvodu opatřena několika drážkami, které zajišťují odvod vzduchu. Po vylisování je výrobek ještě ručně opracován pro odstranění přetoků a případně je částečně kompletován.



Obrázek 3.7: Vlnovec ve formě před vulkanizací



Obrázek 3.8: Vlnovec ve formě po vulkanizaci

4. Popis alternativních technologických řešení

4.1 Možnosti zhotovení dezénu

Technologické postupy, kterými je možné zhotovit dezén je několik. Je důležité rozhodnout, který technologický postup bude nejvýhodnější. Reliéf je možné vytvořit chemickým leptáním, elektroerozivním obráběním, laserovým gravírováním nebo konvenčním frézováním. Každou metodu lze hodnotit z hlediska ekonomické náročnosti, technologické náročnosti, doby zhotovení a podobně.

Pro uvedení do situace je třeba zmínit, že úprava by se týkala přibližně 90 forem. Formy jsou vyrobeny z nerezové oceli s vysokou pevností a jsou často tvarově náročné. Chemické leptání by proto bylo časově velmi náročné a málo produktivní. V případě elektroerozivního obrábění by byl problém s výrobou tvarově složitých elektrod a jejich údržbou. Proto lze jako dvě nejvýhodnější technologie uvažovat frézování a laserové gravírování. Konvenční frézování je však omezeno pouze na výrobu pravidelných dezénů. To je také nutné zohlednit při konečném rozhodnutí. Laserové gravírování má prakticky neomezené možnosti a lze s ním vytvořit dezény různých tvarů a hloubek. Rozhodující je však ekonomická náročnost a ta je u laserového gravírování znatelně větší než u konvenčního frézování.

Pro účely této práce bylo použito laserového gravírování. Proto bude tato technologie podrobněji popsána. Popsány budou výhody této technologie, krátká historie laserů, jejich princip a dva nejčastěji používané lasery pro gravírování kovových materiálů (pevnotlátkový a diodový laser).

4.2 Laser

Laser je zjednodušeně charakterizován jako úzký paprsek světla vysoké energie. V současné době je laser nedílnou součástí nejen ve strojírenském průmyslu, ale i v lékařství, kosmickém průmyslu, zbrojním průmyslu, ve vědě a výzkumu. Výhody laseru, který dosahuje obecně velmi dobrých výsledků, často kompenzují jeho vysokou pořizovací cenu a provoz. Jde o značně složitá zařízení, které se v průběhu několika desítek let zdokonalovalo pro jeho první využití. [8]

4.2.1 Historie laserové technologie

V roce 1960 byl poprvé představen funkční laser z dílny amerického fyzika T. H. Maimana. Jako aktivní prostředí použil krystal rubínu s využitím tří energetických hladin, a proto mohl pracovat jen v pulsním režimu. Proto vznikala snaha odstranit tento nedostatek a o vylepšení se postarali fyzici N. G. Basov, A. M. Prochorov a Ch. H. Townes. Zasloužili se o to, že díky použití více energetických hladin umožnili ustavení populační inverze a tím i souvislé činnosti laseru. Za tento objev obdrželi v roce 1960 Nobelovu cenu. [9] [10]

Od šedesátých let dvacátého století se laser začal rychle rozšiřovat do vědy, průmyslu, medicíny, chemie, biologie, energie apod. Lasery se lišily vlnovou délkou generovaného záření, konstrukčním uspořádáním, výkonem a účinností. Nejčastějšími aplikacemi laseru v současné době v oblasti technologické jsou především řezání, svařování, vrtání, tepelné zpracování, povrchové úpravy, gravírování, značení, metody Rapid prototyping a také laserová podpora konvenčního obrábění. [9] [10]

4.2.2 Princip laseru

Hlavní části laseru tvoří aktivní prostředí, rezonátor a zdroj energie. Zdrojem energie (budící zařízení) může být například výbojka. Tato výbojka dodává do aktivního prostředí energii, která v něm vybudí elektrony ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny. Dochází k excitaci. Tímto způsobem je do vyšších energetických hladin vypuzena většina elektronů, tomuto ději se říká inverze populace. Při opětovném přestupu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření kvanta energie ve formě fotonů. Tyto fotony následně vzájemně působí na další elektrony a tím se spouští hromadná stimulovaná emise fotonů. Budící zařízení ovlivňuje pracovní režim laseru. Způsob buzení je určen laserovým médiem. Plynné médium je téměř vždy buzeno elektrickým výbojem pomocí stejnosměrného nebo střídavého proudu. Naopak pevné médium je buzeno lampami nebo diodami. [10] [11] [12]

Aktivní prostředí je látka, která obsahuje oddělené energetické hladiny elektronů. Na těchto hladinách přeskakují elektrony z nižší energetické hladiny do vyšší,

poté zpět na nižší energetickou hladinu. Na nižší energetickou hladinu mohou přeskočit dvěma způsoby, buď pomocí stimulované emise, nebo pomocí spontánní emise. Lasery pracují pouze na bázi stimulované emise. Aktivní prostředí může být plynné (aktivní prostředí se skládá z jednoho či více plynů), pevnolátkové (prostředí tvořeno krystalem), diodové (prostředí tvořeno polovodičem typu p-n), kapalně (tvořeno roztoky různých organických barviv). [10] [11] [12]

Rezonátor je zařízení, které umožňuje zformovat a zesílit záření, což vlastně znamená zesílit elektromagnetickou vlnu z něj vycházející. Konstrukční uspořádání rezonátoru určuje jeho vlastnosti jako např. koherenci, intenzitu záření, spektrální charakteristiky apod. Optický rezonátor je nejčastěji tvořen dvěma zrcadly – polopropustným a nepropustným. Nejčastěji užívaná zrcadla jsou zrcadla sférická v konfokálním stabilním nebo v konfokálním nestabilním uspořádání. Průměr a zakřivení zrcadel určují rozdělení intenzity záření a energetickou rozbíhavost laserového záření. Paprsek fotonů se nejdříve odrazí v nepropustném zrcadle a dojde k jeho opětovnému průchodu aktivním prostředím. Aktivní prostředí je umístěno v rezonátoru a podporuje stimulovanou emisi a tím dochází k zesilování toku fotonů. Výsledný paprsek opouští rezonátor průchodem skrz výstupní polopropustné zrcadlo. [10] [11] [12]

V případě průmyslových laserů je svazek opouštějící rezonátor dále upravován systémem čoček a clon, který zvyšuje kvalitu a upravuje průměr výstupního svazku. Tento systém se nazývá expander a slouží především ke snížení divergence svazku. V expanderu dochází k velkým energetickým ztrátám, což vždy snižuje výslednou účinnost laserového systému. Kvalita svazku je však v řadě aplikací preferována před jeho výkonem. [10]

Další částí laseru je často také chladicí systém, který odvádí nevyužitou energii, jež se nepřemění v záření, ale v tepelnou energii. Nejčastěji se používá chlazení vodou. Chladicí okruh má dvě větve – vnitřní (používá se deionizovaná voda) a vnější (voda z vodovodní sítě). [11]

Laser je kvantový generátor a zesilovač koherentního (vnitřně uspořádaného) optického záření, které vyniká extrémní monochromatickostí (všechny fotony tohoto záření mají stejnou frekvenci), nízkou rozbíhavostí svazku (všechny fotony laserového záření se pohybují stejným směrem) a vysokou hustotou přenášeného výkonu.

Další klíčovou vlastností pro laser je modová struktura (TEM transverse electromagnetic mode). Podle ní se určuje vhodnost a využitelnost laseru pro průmyslové použití. Jde o rozdělení intenzity záření v průřezu výstupního paprsku laseru. Největší hustoty energie při dané výstupní intenzitě energie můžeme dosáhnout u laserů pracujících v základním modu TEM00. [10] [11] [12]

4.2.3 Pevnolátkový laser

Tento laser se označuje Nd:YAG podle zkratky anglického názvu „yttrium aluminum garnet“. Tyto lasery mohou být zdrojem kontinuálního infračerveného záření o výkonu až 1 kW, nebo v pulzním režimu vysílat extrémně krátké a silné záblesky záření. Značně rozšířený je i typ s neodymovým sklem, který může být vyroben prakticky v libovolných rozměrech a může produkovat velmi silné záření. V pulzním režimu je schopen během 10-12 s dosáhnout výkonu až 106 MW. Proto se s ním počítá jako se zdrojem laserového vybuzení termionukleární reakce. [10] [13] [16]

Jedná se o nejčastěji používaný typ pevnolátkového laseru. Aktivním materiálem je izotropní krystal yttrium aluminium granátu dopovaný neodymem. Tepelná vodivost granátu dovoluje účinné chlazení aktivního materiálu, a proto lze tento laser provozovat jak v impulsním, tak i v kontinuálním režimu. Při kontinuálním provozu je Nd:YAG laser buzen kontinuálně-hořícími kryptonovými výbojkami a může dosahovat výkonů 100, až 200 W. Pro impulsní buzení se do krystalové mřížky yttrium aluminium granátu přidává další dopující prvek – iont chromu. Potom lze použít pro buzení xenonové výbojky. Excitované ionty chromu předávají svoji energii iontům neodymu a zvyšují účinek buzení xenonové výbojky. Energie dosahované ve volně běžícím režimu jsou až 5 J při opakovací frekvenci 100 Hz. Účinnost tohoto laseru dosahuje až několika procent. [10] [13] [16]

4.2.4 Diodový laser

Při průchodu elektrického proudu polovodičovým přechodem PN se může za vhodných podmínek přeměnit část elektrické energie na světlo. Tento jev se běžně využívá u luminiscenčních svítivých diod LED. Přechod PN, opatřený na protilehlých

stranách zrcadly (jedno z nich je polopropustné), se může stát i zdrojem laserového světla. Musí však mít velmi přesné rozměry s ohledem na vlnovou délku vyzařovaného světla. [10] [13]

Aktivním prostředím je zde okolí PN přechodu, kde dochází k injekci elektronů a děr. Doba života elektronů a děr je pro polovodičové materiály typicky několik nanosekund. Poté dojde k rekombinaci za současného vyzáření fotonu v náhodném směru a o náhodné fázi a polarizaci. Ke stimulované emisi dochází v případě, že do prostředí přijde foton s energií rovnou rozdílu příslušných energetických hladin ještě předtím, než dojde k rekombinaci (a případné spontánní emisi). V takovém případě tento foton takzvaně stimuluje přechod elektronu do nižší energetické hladiny a tedy i emisi dalšího fotonu, tentokrát stejného směru, fáze i polarizace jako má foton stimulující. Důležitým parametrem laserové diody souvisejícím se stimulovanou emisí je tzv. prahový proud (případně prahové napětí). Pod hodnotou prahového proudu dochází pouze ke spontánní emisi a tedy ke generaci nekoherentního záření, naopak s proudem, který dosáhne mezní hodnoty, prudce vzrůstá výkon diody a dochází ke stimulované emisi a produkuje se koherentní záření. Hodnoty prahového proudu jsou obvykle v rozmezí 40-250 mA (prahové napětí okolo 1,8 V). Jsou však značně závislé na teplotě. [10] [13]

4.3 Laserové mikroobrábění, laserové gravírování

Tato technologie jsou velmi rychlé a vhodné pro všechny kovové materiály, včetně těch nejpevnějších používajících se na výrobu forem. Touto technologií lze upravovat formy nejen pro pryžové výrobky, ale široké uplatnění nachází i u úpravě forem pro vstřikování plastů, výrobků ze dřeva, skla, plastů, kůže apod. Použitý laser je v případě kovových materiálů nejčastěji pevnolátkový, a to konkrétně vláknový, který nepotřebuje téměř žádnou údržbu. Zpracovávaný materiál je hlavním ukazatelem použitého laseru s danou vlnovou délkou. Je důležité, aby daný materiál účinně absorboval laserový paprsek. Hlavní výhody jsou kromě rychlého zpracování také velmi přesné, kvalitní a čisté zpracování, velká variabilita textur nebo dezénu a texturování rovinného povrchu i těžko dostupných míst (různé zaoblení, přechodové oblasti apod.). Vytváření dezénu na formách s většími rozměry je zajištěno posuvným pracovním stolem

a soustavou naklápěcích zrcátek umístěných v hlavě laseru. Další výhodou je také to, že laser neovlivňuje mechanické vlastnosti upravované plochy. [8]

Gravírování obecně znamená vytváření nápisů, ornamentů nebo log pomocí odebrání materiálu. Možnou variantou gravírování je laserové gravírování. Tato technologie se používá pro popisování a označování výrobků. Technologie spočívá v odebrání tenké vrstvy materiálu laserovým paprskem o vysoké intenzitě záření. Laserové gravírování je široce využíváno zejména díky jeho výhodám a možnosti využití pro všechny druhy materiálů. [8]

Mikroobrábění spočívá v odstraňování malých objemů materiálu zejména u obrobků miniaturních rozměrů. Jelikož je v dnešní době snaha o miniaturizaci výrobků, například čipů a jiných součástek, i zde nachází uplatnění laserové mikroobrábění. Charakteristickým znakem laserového mikroobrábění je přesnost, dosažená kvalita povrchu obrobce a míra tepelného ovlivnění. Uplatnění nachází hlavně u součástí, které není možné vyrobít běžným způsobem. [8]

4.4 Interakce laserového paprsku s materiálem

Laser působí na malé ploše, ale vysokou intenzitou. To je jeden z charakteristických znaků laserového paprsku. Materiál se v místě dopadu paprsku zahřeje vysokou rychlostí a zároveň nedojde k výraznému ovlivnění jeho okolí. Po přerušení kontaktu laserového paprsku s daným místem dojde k rychlému tuhnutí a chladnutí daného místa. Tento jev je charakteristický hlavně pro kontinuální nebo pulsní lasery s délkou pulsu do 10^{-6} s. Paprsek s kratšími pulsy způsobuje vypařování a sublimaci materiálu. Tepelně ovlivněná oblast je tím nižší, čím je kratší délka pulsu. Interakce paprsku s materiálem je určena mírou absorpce. Ta je ovlivněna optickými a tepelnými vlastnostmi materiálu a použitým typem laseru s příslušnou vlnovou délkou. Při mikroobrábění a gravírování se dosahuje špičkových výkonů a laserový paprsek je pohlcován materiálem mnohem lépe. [8]

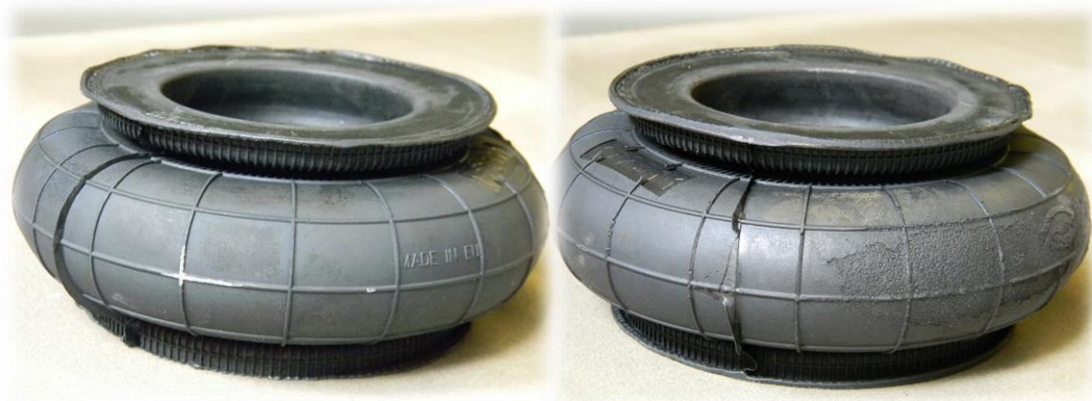
Po dopadu laserového paprsku na materiál dochází k jeho ohřevu, natavení, sublimaci a ke vzniku plazmatu. Plazma společně s nataveným materiálem snižují hustotu výkonu paprsku, protože způsobují částečné pohlcení a rozptyl laserového paprsku. Tento problém je často řešen přidáním stlačeným plynem, který je přiváděn do místa styku

laserového paprsku a povrchu materiálu. Jeho úkolem je zajištění efektivního průchodu paprsku k materiálu a odvod zplodin, které jsou vytvářeny interakcí paprsku a materiálu. Velikost kráteru, který způsobí laserový puls, závisí na parametrech laserového paprsku a na pracovních parametrech laseru. Interakce paprsku a materiálu je dána také druhem materiálu. Každý materiál na laserový paprsek reaguje odlišně. [8]

5 Experiment

Při vulkanizaci pryžové směsi ve formě docházelo k vytváření povrchových vad (obr. 5.1 – výlisek bez defektu s defektem). Ty byly pravděpodobně způsobeny nedostatečným odvodu vzduchu. Cílem bylo hledání alternativních technologických řešení, která zaručí dostatečný odvod vzduchu z uzavřené formy a tím sníží výskyt povrchových vad na výrobku. Zmetkovitost způsobená podobným druhem vad je přibližně 5 %.

Po uzavření formy a při následné vulkanizaci dochází k nedostatečně rychlému úniku vzduchu, který je stlačován a narůstá jeho tlak a teplota. Pokud je nárůst těchto hodnot příliš velký, hrozí riziko částečného spálení kaučukové směsi. Dále může dojít také k proniknutí vzduchu přímo do kaučukové směsi a tím vytvořit na povrchu nebo uvnitř směsi vzduchové bubliny, které mohou být zdrojem snížení hodnot mechanických vlastností nebo nekvalitního povrchu výlisku.



Obrázek 5.1: Výlisek vzduchové pružiny bez defektu (vlevo) a s defektem (vpravo)

Na problém tvorby povrchových vad lze nahlížet z několika hledisek. Vznik vad na povrchu výlisků může souviset se složením kaučukové směsi a způsobem její přípravy, s nedostatečným odvodu vzduchu forem, s nedostatečným čištěním forem a s nesprávným nastavením podmínek vulkanizace. Složení kaučukové směsi a způsob její přípravy je stanoven již několik let a provádí se stále stejným způsobem. Vlastnosti (hustota, viskozita, vulkanizační charakteristiky), kterých má dosahovat každá takto připravená směs, bohužel velmi často kolísají a to i při malé změně určité přísady. Kaučuková směs je v tomto ohledu velmi „nevyzpytatelná“ a proto je snaha držet se ověřeného složení a postupu a příliš mnoho se směsí neexperimentovat. Každá přísada má ve směsi příslušné množství zastoupení a celá skladba této směsi vede k dosažení optimálních vlastností

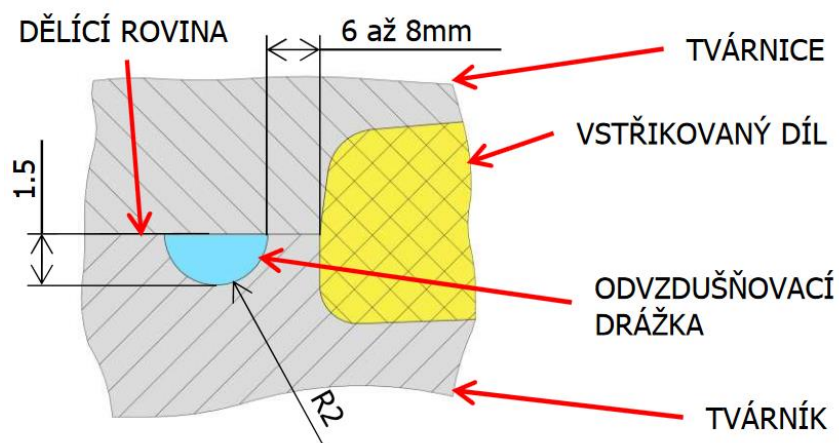
pro výrobu kvalitních pryžových výlisků. Zvýšení obsahu přísady, která by usnadnila snížení tvorby povrchových vad, by mohlo způsobit jiný a podobně závažný problém. Proto je důležité dbát na vhodné složení a přípravu směsi, ale v rámci této práce není možné tuto variantu uvažovat jako možné zlepšení vyskytujícího se problému.

Další možností, jak je možné snížit tvorbu povrchových vad, je vhodné čištění forem. Jelikož jsou formy čištěny v pravidelných časových intervalech a pomocí daného roztoku, není prokázán tento vliv jako zásadní.

Pro zlepšení kvality povrchu pryžových výlisků je možné také uvažovat jinou kombinaci vulkanizačních podmínek. Ty jsou však vzhledem k omezeným možnostem dosažení těchto podmínek nevhodné. Zejména pro omezené možnosti dosažení tlaku a teploty, které jsou zajištěny horkou párou.

Jak už bylo zmíněno, variantou řešení, která bude popsána v této práci, je efektivnější odvzdušnění. Stávající odvzdušnění je vyřešeno několika drážkami na povrchu pryžového výlisku (obr. 5.1). Ve vrchní a spodní části je hustější osazení těchto drážek z důvodu většího rizika výskytu povrchových vad. Jelikož však takto vyřešené odvzdušnění není dostatečné, je nutné navrhnout vhodnější řešení. Nabízí se možnost vytvoření hustější sítě drážek, stejně jako tomu je v kritických místech ve spodní a vrchní části výlisku. To by však výrazně ztěžovalo vyjímání výlisků z forem kvůli rozměrům drážek, které jsou hluboké asi 1 mm.

Efektivnějšího odvzdušnění lze dosáhnout vytvořením drážky v dělicí rovině (obr. 5.2). Drážka by musela být vytvořena v určité vzdálenosti od dutiny formy podél celého tvaru a dále by musela být vyvedena mimo dělicí rovinu. Vzhledem k velké ploše odkud má být vzduch z formy odveden, by toto samotné řešení bylo opět nedostatečné. Lze ho však zkombinovat s dalšími variantami odvzdušnění. [17]



Obrázek 5.2: Možný příklad odvzdušňovací drážky v dělicí rovině [17]

Pro zlepšení odvzdušnění se také často používají speciální vložky z porézního materiálu (obr. 5.3). Ten je vyroben spékáním prášků a umísťuje se do problematických částí formy. Kvůli tomu, že při výskytu povrchových vad na daných pryžových výliscích nelze jednoznačně definovat tato problematická místa, není vhodné tento typ odvzdušnění použít. Nevýhodou těchto vložek je náročná údržba, kdy by bylo nutné je pravidelně čistit a vypalovat pro zbavení nečistot. [18]



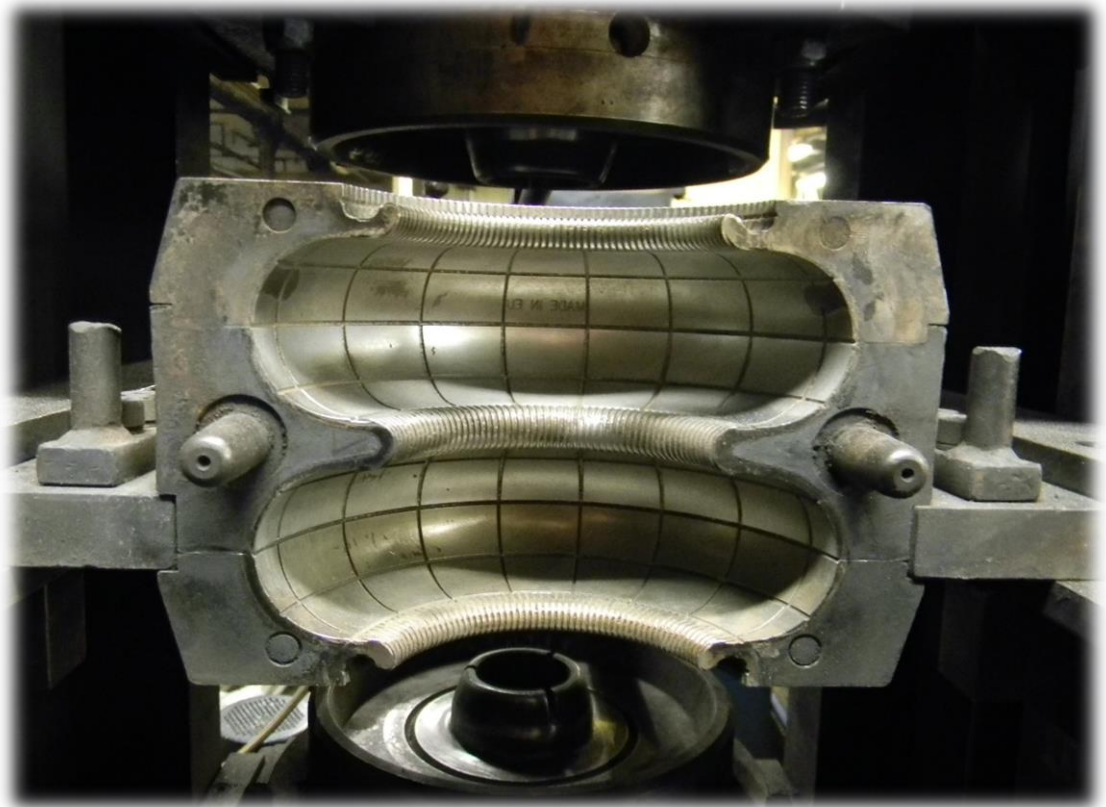
Obrázek 5.3: Porézní vložka [19]

Bylo tedy navrženo vytvoření souvislého reliéfu na povrchu forem pro pryžové výlisky o hloubce 0,2 mm. Předpokládá se, že tento souvislý reliéf jednak umožní účinný odvod vzduchu do dělicí roviny a do mezer vytvořených skládáním forem a zároveň nebude výrazně ztěžovat vyjímání výlisků z forem.

Cílem experimentální části této práce je ověření toho, zda navržené řešení skutečně usnadní odvod vzduchu a tím sníží tvorbu povrchových vad na výliscích vzduchových pružin. Experiment probíhal na vzorcích zhotovených ve speciální zkušební formě s vyhotoveným reliéfem. Podmínky lisování (teplota, tlak a doba vulkanizace) odpovídaly reálným hodnotám, které se používají při výrobě.

5.1 Návrh formy

Pro uskutečnění experimentu bylo nutné rozhodnout, zda použít formu, která se používá k výrobě pryžových vlnovců nebo navrhnout a vyrobit novou zkušební formu. Vzhledem k náročnosti zhotovení dezénu na tvarově složité formě a dostupným technickým zařízením byla zvolena varianta navržení a vyrobení nové zkušební formy.

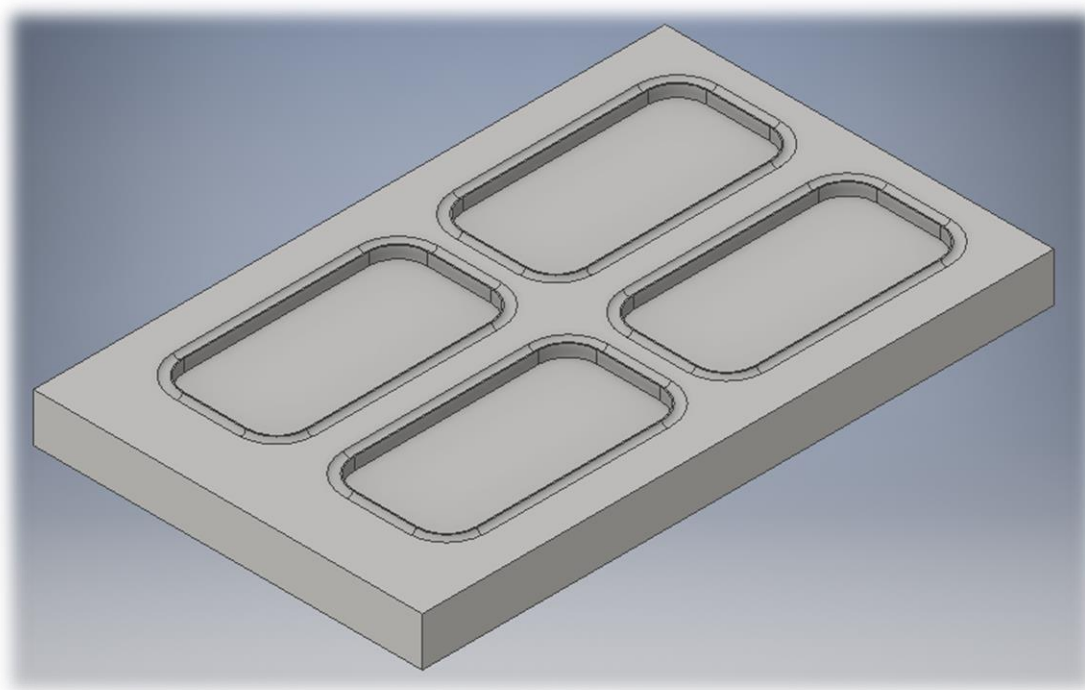


Obrázek 5.4: Forma pro výlisky vzduchových pružin

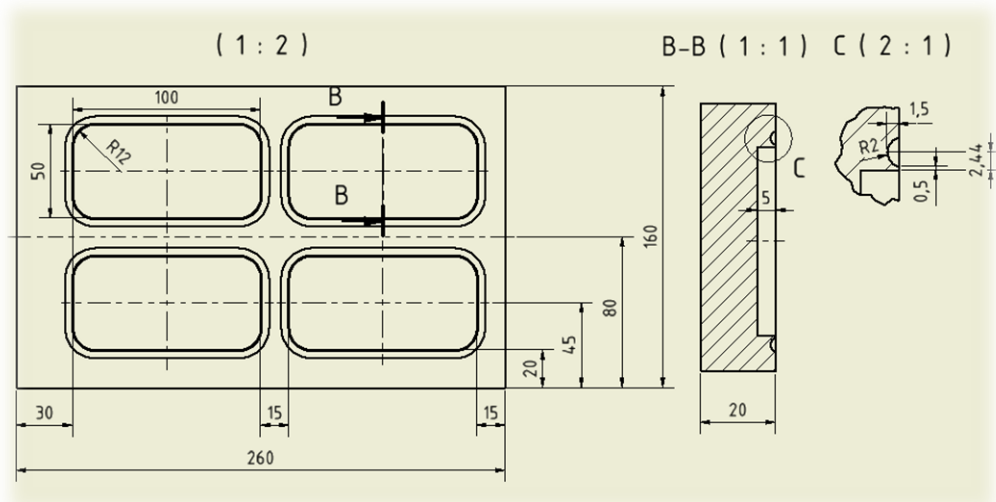
Reálná forma (obr. 5.4), která se používá při výrobě, se často skládá ze dvou částí. Jak již bylo uvedeno, dělicí rovina neprochází středem výlisku. Důvodem je skutečnost, aby nedocházelo ke skřípnutí bombírovaného polotovaru při zavírání formy a aby nedocházelo k vypadnutí výlisku při otevírání formy po vulkanizaci. Odvzdušnění forem

zajišťují svislé a vodorovné drážky na povrchu formy. Ve vrchní a spodní části formy je tato síť drážek hustší, z důvodu většího rizika vzniku povrchových vad. Hloubka a šířka těchto drážek je 1 mm a hustější síť těchto drážek ztěžuje vyjímání vylisku z formy. Při nešetrném vyjímání může docházet k dalšímu znehodnocení vylisku. K vytvoření dezénu na takto tvarově složité formě by bylo potřeba laseru se speciálním systémem naklápěcích zrcátek, která by zajistila optimální rozložení dezénu po celé ploše formy. Další překážkou při testování různých typů dezénů by byla nutnost vytvoření daných dezénů na třech různých formách a s tím související ekonomická náročnost experimentu.

Systém naklápěcích zrcátek u laseru, který bylo možné použít, nebyl dostupný. Byla tedy navržena zkušební forma pro 4 druhy vzorků (obr. 5.5). Rozměry formy jsou 260x160x20 mm. Čtyři plochy vzorků určené k vytvoření dezénu mají rozměry o velikosti 100 x 50 x 10 mm. Výkres zkušební formy je uveden na obrázku 5.6.



Obrázek 5.5: Model zkušební formy



Obrázek 5.6: Výkres zkušební formy

Následně byla forma vyrobena a každý otvor pro kaučukovou nálož byl po obvodu opatřen přetokem pro odvod přebytečné kaučukové směsi (obr. 5.7). Materiál formy je nástrojová ocel 1.2316. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 5.1. Chrom – molybdenová martenzitická ocel vhodná ke kalení v oleji s velmi dobrou prokalitelností a dobrou pevností za tepla. Ocel vykazuje zvýšenou odolnost proti korozi vzhledem k zvýšenému obsahu chromu, vykazuje výbornou odolnost proti opotřebení, dobrou obrobiteľnosť a leštiteľnosť, pro použití je dodávaná v zušlechťeném stavu. Ocel je vhodná pro výrobu forem pro lisování chemicky agresivních hmot apod. [19] [20]



Obrázek 5.7: Zkušební forma pro vzorky z kaučukové směsi

Tabulka 5.1: Chem. složení a mech. vlastnosti nástrojové ocele 1.2316 [19][20]

Značka oceli	Chemické složení oceli v %								Tvrdość ve stavu	
									Žíh. na měkko	Zušlechtěném
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	HB	HRC
1.2316	0,43	1	1	0,03	0,03	16	1,15	1	250	49

Takto zhotovená forma je připravena pro další úpravy. Zejména půjde o vytvoření třech souvislých reliéfů, jejichž návrh a podrobný popis bude vysvětlen v následující kapitole. Další úpravy formy budou záležet na možnostech a správném použití technologie pro zhotovení reliéfů. Kompletní forma bude složena ze dvou částí, kdy druhou částí bude rovná, hladká deska, která bude plnit funkci vrchního víka pro uzavření formy při lisování a následné vulkanizaci. Tuto druhou část formy není nutné nově vyrábět, protože lze použít takovou, která se již v daném lise používá při výrobě. Bude však nezbytné ji před použitím vyčistit vhodným roztokem, aby neznehodnotila kvalitu výlisků.

5.2 Návrh reliéfů

Mezi hlavní požadavky, které byly kladeny při návrhu reliéfů, patří souvislé propojení daného dezénu, nízká hloubka vytvořeného dezénu a jeho tvar. Všechny tyto požadavky zajišťují vyrobení daného reliéfu a funkčnost odvodu vzduchu.

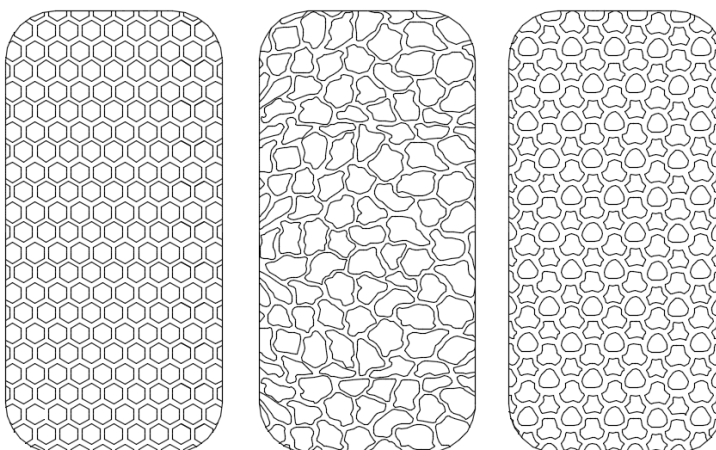
Aby bylo zajištěno dostatečné a efektivní odvádění vzduchu z uzavřené formy, bylo nutné navrhnout vhodný tvar a uspořádání reliéfu. Pokud by byl použit reliéf, který by nebyl dostatečně propojený nebo souvislý, hrozilo by, že dojde k nedostatečnému odvodu vzduchu nebo k uzavření vzduchu ve slepých místech reliéfu. Proto jsou navržené reliéfy souvisle propojené a vyvedené do boků vzorků. V reálných formách by byly vyvedeny do dělicí roviny.

V průběhu navrhování bylo nutné brát ohled také na hloubku reliéfu. Velká hloubka by znamenala výrazné ztížení při vyjímání výlisků z formy. Další nevýhodou by byla samotná výroba reliéfu. S rostoucí hloubkou výrazně roste čas výroby daného

reliéfu a to jak konvenční metodou, tak metodou laserového obrábění, u které je doba výroby ještě znatelnější. Hloubka reliéfu nesmí být naopak příliš nízká, aby umožnila odvod veškerého uzavřeného vzduchu. Nízká hloubka by také mohla znamenat riziko neúplného zatečení kaučukové směsi do všech částí reliéfu při vulkanizaci. Odvzdušnění by zlepšovalo také vytvoření dezénu s proměnnou hloubkou, kdy by se postupně zužovala. Stejně jako u nízké hloubky dezénu by i v tomto případě hrozilo neúplné zatečení kaučukové směsi a s tím související nekvalitní vzhled povrchu.

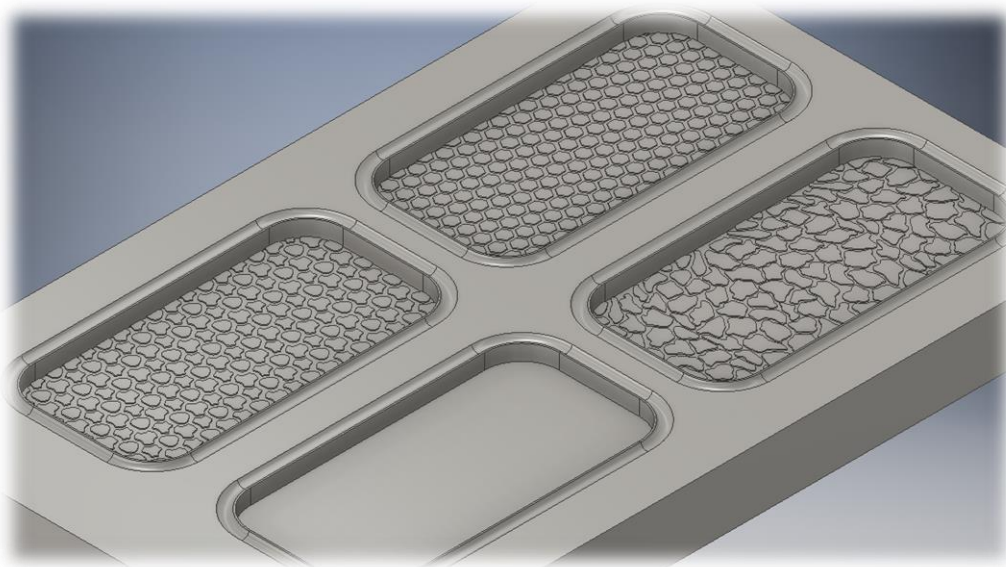
Tvar reliéfu byl zvolen z hlediska možné technologie výroby. Vytvoření pravidelného reliéfu je možné jak běžným frézováním, tak laserovým obráběním. V případě vytvoření nepravidelného reliéfu nebo kombinace pravidelného a nepravidelného by bylo nutné použít pouze technologii laserového obrábění. Použití této nekonvenční metody je výrazně nákladnější. To je důvodem zkoumání vlivu jednotlivých reliéfů na kvalitu odvzdušnění, které budou popsány v dalších kapitolách. V případě dosažení lepších výsledků v kvalitě odvzdušnění u nepravidelného reliéfu by bylo nutné zvážit jeho aplikaci pro formy používající se ve výrobě.

Pro vyrobenou formu byly navrženy tři druhy reliéfů. Jak již bylo naznačeno, jedná se o jeden pravidelný, další nepravidelný a poslední kombinací pravidelného a nepravidelného (obr. 5.8). Všechny druhy dezénů tvoří souvislou a propojenou síť umožňující odvod vzduchu. Hloubka dezénů byla navržena s ohledem na výrobní čas reliéfů a s ohledem na snadné vyjímání pryžových výlisků z reálných forem. Hloubka je tedy 0,2 mm. Stejně tak jako hloubka i šířka kanálků reliéfů byla zvolena co nejmenší s ohledem na dobu výroby. Tvar reliéfů byl vytvořen pomocí křivek v softwaru Autodesk Autocad 2016.



Obrázek 5.8: Navrhnuté reliéfy pro zkušební vzorky

Navržené reliéfy jsou následně připraveny pro další zpracování potřebné k jejich vytvoření do formy. Podrobný postup od návržení reliéfů do jejich samotného vytvoření bude uveden v následující kapitole. Model formy s dezény je vidět na obrázku 5.9.



Obrázek 5.9: Model formy s vytvořenými reliéfy

5.3 Aplikace technologie laserového mikroobrábění

K vytvoření navržených reliéfů bylo použito technologie laserového mikroobrábění, které bylo popsáno v kapitole 4.3 Laserové mikroobrábění. Pro uskutečnění experimentu a výrobu reliéfů ve formě byl použit pevnolátkový diodami buzený Nd:YAG laser. Tento laser se nachází na Ústavu výrobních strojů a zařízení v Praze. Laser byl využit pro aplikace v oblasti mikroobrábění a gravírování, kdy se pomocí pulsního režimu odstraňovaly jednotlivé vrstvy pro dosažení navržených reliéfů o dané hloubce. Obráběna byla forma z korozivzdorné oceli používající se nejčastěji právě k výrobě forem pro pryžové nebo plastové výlisky.

Hlavní část zařízení určeného pro laserové obrábění byl diodový popisovací laser LD50s (obrázek 5.10) od firmy Medicom. Komerční název laseru je Laserdiode LDII-s. Zařízení se skládá ze dvou částí. První část tvoří kabinet s řídicí elektronikou, PC a vodním chlazením laseru. Druhá část je samotný laser a vychylovací hlava v odolném provedení se zvýšeným krytím. Pohyb laserové hlavy v jednotlivých osách je zajištěn pomocí servomotorů. Vychylovací hlava umožňuje otáčení pole popisu kolem

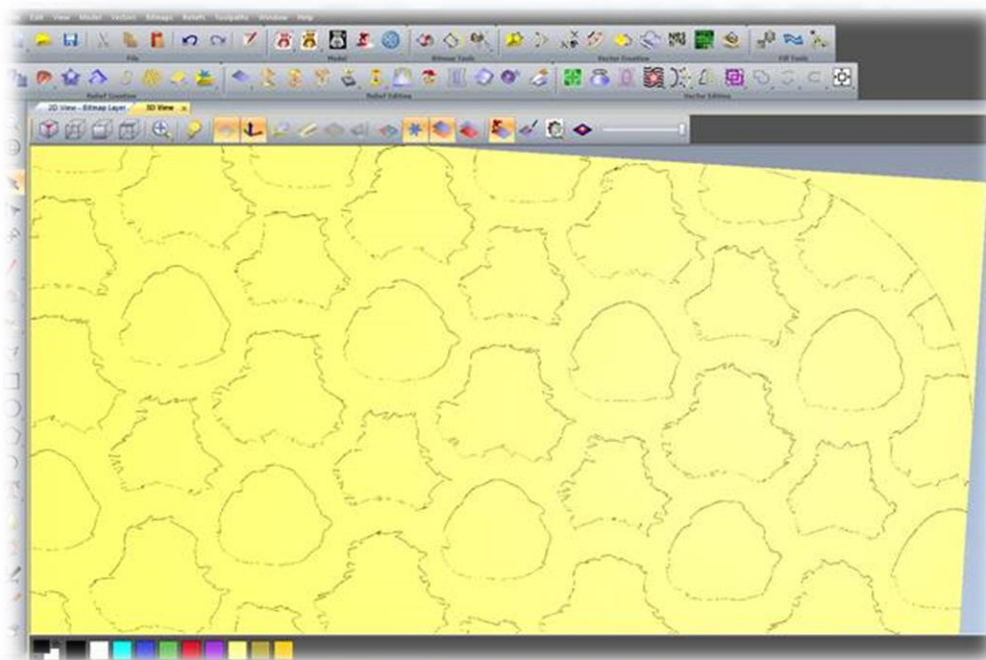
osy laseru, což umožňuje jeho širší uplatnění. Laser je propojen s kabinetem jedním sdruženým přívodem. Mezi základní parametry laseru, které je nutné vhodně nastavit pro dosažení požadovaného výsledku, patří výkon, vlnová délka, kontinuální (i pulsní) režim, maximální frekvence, minimální délka pulsu, rychlost pohybu paprsku a velikost stopy paprsku v ohnisku. Laser je vhodný pro popis a gravírování kovových materiálů. Parametry laseru LD50s:

- vlnová délka 1064 nm,
- maximální výstupní výkon 50 W,
- maximální frekvence pulzů 50 000 Hz,
- maximální rychlost pohybu paprsku laseru 2000 mm.s⁻¹,
- velikost stopy paprsku laseru v ohnisku 0,1 mm.



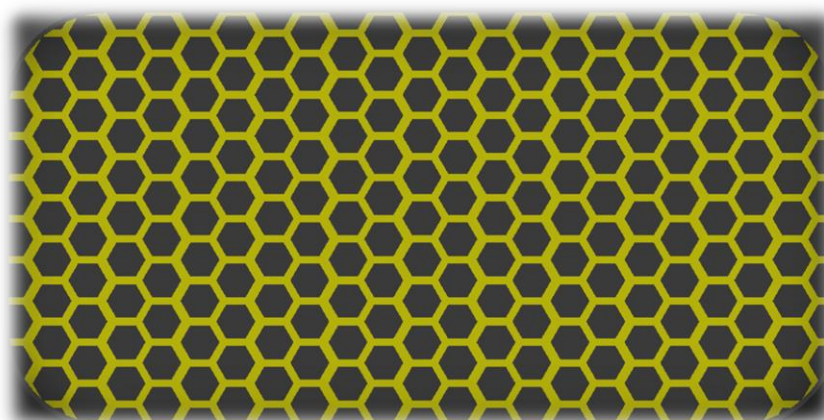
Obrázek 5.10: Diodami buzený pevnolátkový Nd:YAG laser LD50s

Navržené reliéfy, které byly vytvořené pomocí křivek (obr. 5.8), bylo nutné převést do formátu pro ukládání rastrové grafiky. Důvodem byl problém, který se vyskytl při převádění formátu DWG do programu Artcam. Křivky se po převedení porušily (obrázek 5.11) a tím nebylo možné dosáhnout požadovaných tvarů reliéfů.

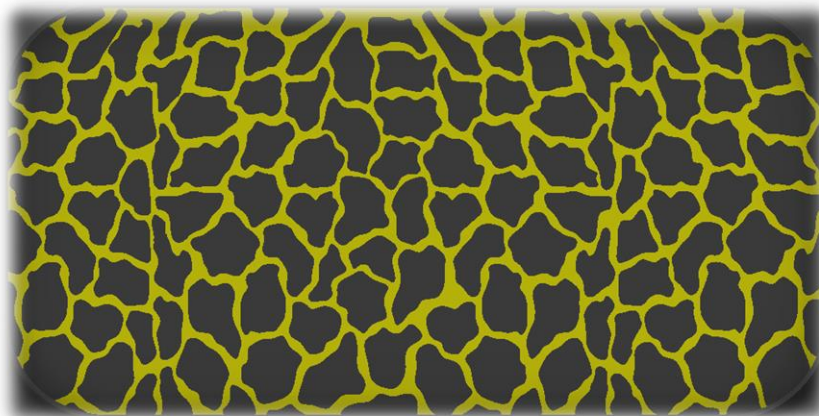


Obrázek 5.11: Porušení křivek reliéfu

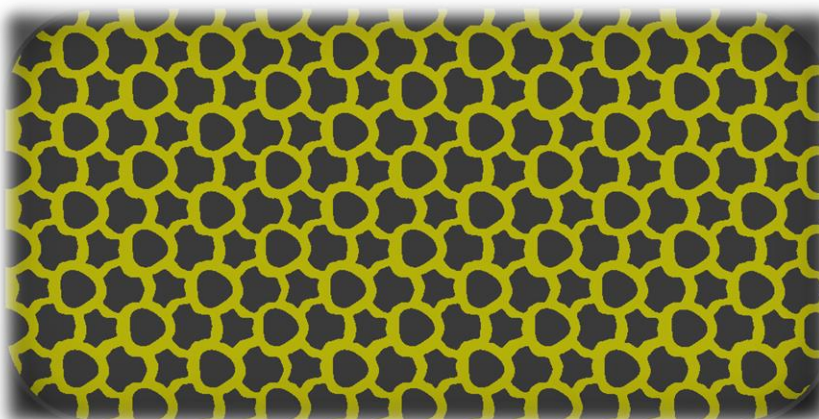
Soubory jednotlivých reliéfů ve formátu DWG byly převedeny na formát BMP (obrázek 5.12 až obrázek 5.14). Pouze soubor v takovém formátu bylo možné nahrát do speciálního programu ArtCAM a v něm vytvořit dráhy laserového paprsku pro každý reliéf. Autodesk ArtCAM je umělecký CAD CAM software pro frézování a gravírování, speciálně navržený také pro obrábění dřeva, uměleckých předmětů apod. Program na základě zadaných požadavků (tvaru a hloubky reliéfů) provedl návrh drah laserového paprsku pro všechny reliéfy. [21]



Obrázek 5.12: Reliéf pravidelný ve formátu BMP



Obrázek 5.13: Reliéf nepravidelný ve formátu BMP

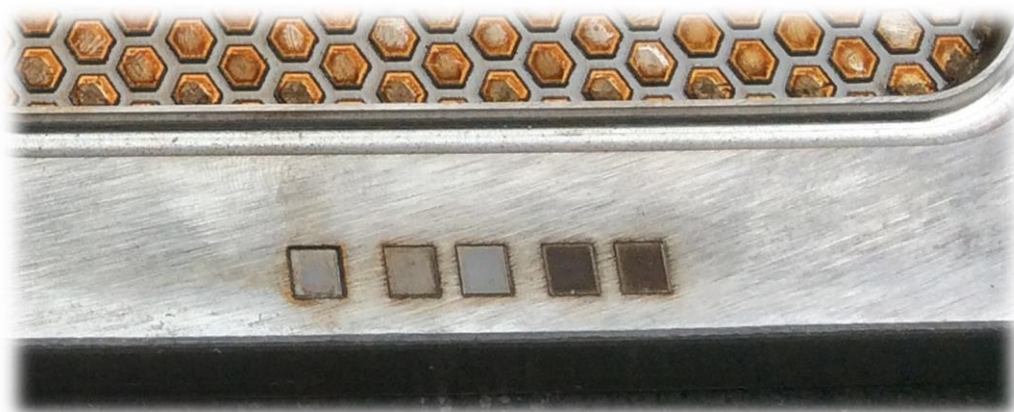


Obrázek 5.14: Reliéf kombinovaný ve formátu BMP

Bylo nutné také optimalizovat parametry laseru pro daný materiál – tedy korozivzdornou ocel, aby bylo zajištěno dosažení požadované hloubky a tvaru. Proto se mimo funkční část formy nejprve vytvořilo několik drážek (obrázek 5.15) a na nich bylo provedeno testování několika souborů parametrů, ze kterých se následně vybral optimální, pro výrobu daných reliéfů. Parametry laserového gravírování použité pro vytvoření struktur:

- frekvence 4500 Hz,
- průměrný výkon 30 W,
- energie v pulzu 6,7 mJ,
- rychlost pohybu paprsku 150 mm/s,
- rozteč jednotlivých přejezdů 0,07 mm,
- celkový počet vrstev 168,
- nastavená hloubka gravírování 0,2 mm.

Po optimalizaci parametrů bylo již vše připraveno a jednotlivé reliéfy byly následně zhotoveny. Nakonec byla odebraná struktura dokončena laserovým leštěním. Doba výroby jednoho reliéfu o rozměrech 100 x 50 mm byla přibližně 8 hodin.



Obrázek 5.15: Drážky pro testování zvolených parametrů

Mezi výrobou jednotlivých reliéfů byla provedena vizuální kontrola a kontrola hloubky a tvaru daného reliéfu. Po dokončení laserového obrábění bylo nutné formu dodatečně mechanicky obrousit a očistit pomocí jemné brusné vlny, protože na krajích neodebraných částí reliéfu byly viditelné otřepy a opal od paprsku (obrázek 5.16).



Obrázek 5.16: Neočištěná forma s otřepy a opalem

Broušení bylo nutné provést důkladně, ale šetrně, aby nedošlo k poškození formy. Po broušení již bylo možné formu (obrázek 5.14) použít pro následnou simulaci vulkanizace vzorků z kaučukové směsi.



Obrázek 5.17: Vybroušená forma připravená k použití

5.4 Provedení experimentu

Experiment byl proveden na sloupkovém lisu 400 x 400 Vlašim, který je vidět na obrázku 5.18. Jedná se o vulkanizační lis s vyhřívanou spodní a vrchní deskou, mezi které se vkládají formy určené k vulkanizaci pryžových výlisků. Uzavírání lisu je zajištěno pomocí hydraulického čerpadla s elektromotorem. Do pracovního prostoru lisu je možné vkládat formy o velikosti až 400 x 400 mm.



Obrázek 5.18: Otevřený sloupkový lis 400 x 400 Vlašim

Nejprve bylo nutné zajistit kaučukovou směs pro vytvoření několika sérií zkušebních vzorků. Tato směs má hlavní podíl elastomeru BR, NR nebo SBR. Pro každou směs jsou stanoveny technologické parametry směsi (tabulka 5.2). V tabulce jsou uvedeny kromě číselného označení a typu elastomeru také skutečná hustota, skladovací doba, použití dané směsi a vulkanizační podmínky. Vulkanizační teplota je pro tuto směs 170 °C a je to teplota, při které je zajištěn optimální stupeň vulkanizace výrobku. Tolerance vulkanizační teploty je stanovena na ± 5 °C pro sloupkový typ lisů. Vulkanizační doba je u směsi nastavena na 8 minut a je to doba potřebná k dosažení optimálního stupně vulkanizace výrobku při dodržení stanovené teploty a tlaku vulkanizace. Měří se od uzavření lisu a dosažení vulkanizačního tlaku až do jeho otevření. Tolerance vulkanizační doby je 0 až +1 minuta. Vulkanizační tlak je pro sloupkové lisy 27 ± 2 MPa.

Tabulka 5.2: Technologické parametry směsí dle firmy Rubena

Elastomer	Hustota skutečná (mg/m ³)	Sklad. doba	Vulkanizační podmínky		Pozn.
			Teplota (°C)	Čas (min)	
IIR	1,173	1 měsíc	170	8	
IIR	1,148	1 měsíc	170	8	
CIIR/NR	1,165	1 měsíc	170	15	
CIIR/NR	1,160	1 měsíc	170	5	
SBR	1,130	1 měsíc	170	10	
BR/NR/SBR	1,145	2 týdny	170	8	Vzduch. pružiny

Při stanovování vulkanizačních podmínek je nutné přihlížet k hmotnosti a tvaru výrobku, skladbě a vulkanizační schopnosti použité směsi, konstrukci a složitosti formy, vhodnému tvaru přípravy a správné volbě separačního roztoku. K některým zásadám platným pro stanovení optimálních vulkanizačních podmínek patří:

- u silnostěnných výrobků se volí nižší teplota a delší vulkanizační doba,
- s rostoucí teplotou vulkanizace se zvyšuje smrštění hotového výrobku,
- nízký stupeň vulkanizace způsobuje znečištění formy.

Po zohlednění všech výše uvedených aspektů nebylo nutné dodatečně upravovat podmínky vulkanizace. Podle skutečné hustoty a rozměrů otvoru pro vzorky ve formě byla stanovena hmotnost přípravy (jedné kaučukové nálože). Skutečná hustota byla zvolena podle tabulky 5.1 - 1,145 mg/m³. Rozměry jednoho otvoru pro zkušební vzorek byly 100 x 50 x 10 mm. Zjištěná hmotnost byla 28 g. Pro hmotnost náloží do formy je stanovena tolerance přibližně ±3 % hmotnosti. Z fólie kaučukové směsi byla tedy nastříhána příprava a následně vložena do vyhřáté formy v lisu (obrázek 5.19). Nakonec za daných podmínek proběhla vulkanizace v lise. Vylisované vzorky bylo nutné ještě zbavit přetoků, které vznikly během vulkanizace (obrázek 5.20).



Obrázek 5.19: Příprava kaučukové směsi ve formě před vulkanizací



Obrázek 5.20: Zvulkanizované pryžové výlisky s přetoky ve formě

Po ručním odstranění přetoků (obrázek 5.21) a vychladnutí byly vzorky (obrázek 5.22) připraveny k porovnávání. Před každým uzavřením lisu byla u všech sérií kontrolována teplota dotykovým teploměrem na povrchu formy. Čas byl kontrolován pomocí stopek a tlak pomocí barometru, který je součástí lisu. Pro snadnější vyjímání výlisků z formy byl použit separační roztok.



Obrázek 5.21: Zkušební vzorky po vulkanizaci s přetoky



Obrázek 5.22: Zkušební vzorky po vulkanizaci bez přetoků

5.5 Výstupy experimentu

Celkem bylo vylisováno dvacet sérií pryžových vzorků z dané kaučukové směsi. Každá série se skládala ze čtyř vzorků. První vzorek byl opatřen pravidelným reliéfem, druhý nepravidelným, třetí kombinovaným a čtvrtý byl bez reliéfu (obrázek 5.22).

Předpokladem experimentu bylo zjišťování výskytu povrchových vad na jednotlivých pryžových vzorcích z příslušné kaučukové směsi.

Počet sérií byl zvolen dle dostupných možností. K dispozici byly 2,3 kg směsi, ze kterých se připravilo 80 kaučukových náloží pro zkušební vzorky o hmotnosti 28g. V průběhu experimentu nebylo nutné opakovat žádnou sérii. Simulace vulkanizace za daných podmínek probíhala bez problémů a u všech sérií bylo dosaženo požadovaného stupně vulkanizace. Vzorky dosáhly odpovídajícího tvaru a mechanických vlastností. Rovněž u všech sérií došlo ke správnému vyplnění tvaru všech reliéfů. Při vulkanizaci nedocházelo k výraznému znečištění formy, viditelné nečistoty byly po každé sérii odstraněny tlakem vzduchu.

Co se týče výše zmíněných zkoumaných vad, dle předpokladu se objevily na povrchu vzorků bez reliéfu. U několika sérií bylo na povrchu možné zaznamenat více drobných vad, ty však byly zanedbatelné. Prokazatelná a pro výrobu závažná vada se objevila konkrétně ve čtvrté (obrázek 5.23) a jedenácté sérii (obrázek 5.24). Jedná se o typickou vadu způsobenou nedotlakem – tedy vlivem uzavřeného vzduchu, který brání směsi v dokonalém vyplnění formy. Povrchová vada se neprojevuje stejně jako na reálném výlisku vzduchové pružiny (obrázek 5.1). Důvodem je rozdílný charakter vady ve zkušební formě a ve formě reálné. Reálná forma se vyznačuje větší a tvarově složitější (zaoblenou) plochou. Na této ploše se uzavřený vzduch může více rozložit na rozdíl od plochy na formě zkušební, ve které je vzduch uzavřen nejčastěji u hran formy. Charakteristickým znakem povrchových vad na výliscích vzduchových pružin, je koncentrace těchto vad na větší ploše a v menší hloubce. Naopak vady na zkušebních vzorcích jsou často koncentrovány na jednom nebo více místech a ve větší hloubce.



Obrázek 5.23: Vada vyskytující se na vzorku bez reliéfu u 4. série

To je také vidět na obrázku 5.23 a 5.24, vady jsou soustředěny na vrchní části u hran vzorků. Kromě vady samotné je možné vidět také poškození pryže v okolí vady. Vada často zasahuje i do boku vzorku. Výskyt povrchových vad vzorků bez reliéfu u dvou sérií z dvaceti zhruba odpovídá 5 % zmetkovitosti při reálné výrobě.



Obrázek 5.24: Vada vyskytující se na vzorku bez reliéfu u 11. série

Závažnější vada se objevila také v sedmé sérii pravidelného dezénu (obrázek 5.25.). Vada vyskytující se na vzorku s pravidelným dezénem ze sedmé série je už na boku vzorku. To nasvědčuje tomu, že část uzavřeného vzduchu byla odvedena z povrchu do boku vzorku právě díky reliéfu.



Obrázek 5.25: Vada vyskytující se na vzorku s pravidelným reliéfem u 7. série

Všechny série vzorků s nepravidelným a kombinovaným reliéfem nevykazovaly povrchovou vadu nebo byly zanedbatelné oproti výše uvedeným vadám. Pro přehlednost je v tabulce 5.2 uveden souhrn provedeného experimentu. Jsou zde pro všechny typy

vzorků uvedeny informace o každé vylisované sérii, zejména zda došlo nebo nedošlo ke vzniku povrchové vady a v případě že ano, je uvedena její četnost a závažnost.

Tabulka 5.3: Hodnocení daných sérií vzorků pro jednotlivé reliéfy

typ vzorku série	Bez reliéfu	Pravidelný reliéf	Nepravidelný reliéf	Kombinovaný reliéf
1.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
2.	Zanedbatelná vada na jednom místě vzorku	Bez vady	Bez vady	Bez vady
3.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
4.	Prokazatelná vada nedotlakem na dvou místech vzorku	Bez vady	Bez vady	Bez vady
5.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
6.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
7.	Bez vady	Prokazatelná vada nedotlakem na jednom místě na boku vzorku	Bez vady	Bez vady
8.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
9.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
10.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
11.	Prokazatelná vada nedotlakem na jednom místě vzorku	Bez vady	Bez vady	Bez vady
12.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
13.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
14.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
15.	Zanedbatelná vada na jednom místě vzorku	Bez vady	Bez vady	Bez vady
16.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
17.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
18.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady
19.	Zanedbatelná vada na jednom místě vzorku	Bez vady	Bez vady	Bez vady
20.	Bez vady	Bez vady	Bez vady	Bez vady

6 Zhodnocení a doporučení pro sériovou výrobu

6.1 Ekonomické zhodnocení

Z výše uvedených výsledků je patrné, že provedení reliéfu, ať už pravidelného nebo nepravidelného, přineslo prokazatelné zlepšení odvzdušnění zkušební formy. Na základě tohoto poznatku se předpokládá, že by stejným způsobem došlo ke zlepšení odvzdušnění i u reálné formy, která se používá pro výrobu vzduchových pružin. Ověření a přesnější výsledky by byly prokázány až testováním na této formě.

Nejlepších výsledků dosahoval nepravidelný a kombinovaný reliéf, kdy u žádné jejich série nedošlo ke vzniku povrchové vady na zkušebním výlisku. U pravidelného dezénu se u sedmé série vyskytla prokazatelná a závažná vada. K určení, zda se jednalo o ojedinělý případ, nebo zda by se daná vada opakovala, by bylo nutné provést větší počet měření. Jelikož však byly použity stejné podmínky pro všechny druhy vzorků, je pravděpodobné, že by se daná vada opakovala. Porovnávání kombinovaného a nepravidelného reliéfu z hlediska výskytu povrchových vad nelze provést, protože oba reliéfy dosáhly stejných výsledků. Při aplikaci reliéfů na formy pro zakázkovou výrobu by na jejich použití mohlo mít vliv přání zákazníka. V případě sériové výroby by se volil jeden z těchto dvou typů reliéfu.

Z tohoto hlediska a získaných výsledků vyplývá, že kombinovaný a nepravidelný reliéf jsou vhodnější variantou pro odvzdušnění forem než reliéf pravidelný. Tyto vhodnější varianty reliéfů lze zhotovit pouze technologií laserového mikroobrábění. Pravidelný reliéf lze zhotovit kromě laserového mikroobrábění také frézováním a to pomocí speciální mikrofrézy. Protože nepravidelný a kombinovaný reliéf výrazně zlepšovaly odvzdušnění, je nutné zvážit jejich zhotovení na formách pro vzduchové pružiny. S tím souvisí také způsob jejich zhotovení z ekonomického hlediska. Laserové mikroobrábění je oproti frézování dražší a pomalejší při obrábění dané hloubky.

V případě zavedení reliéfů na formy pro pryžové výlisky bude z ekonomického hlediska porovnáván způsob výroby. Výchozí hodnoty, které budou potřeba pro určení a porovnávání ekonomické náročnosti, jsou zmetkovitost, počet upravovaných forem, uvažované roční tržby, výrobní cena pryžových výlisků při uvažované roční tržbě

a náklady spojené s technologií výroby daných reliéfů. Následující výpočty jsou přibližné a předpokládá se u nich úplné odstranění zmetkovitosti daným navrhnutým řešením.

Zmetkovitost, která je dosažena při výrobě pryžových výlisků kvůli nedostatečnému odvzdušnění, je 5 %. Pro příklad uvažujme roční tržby 100 000 000 Kč. Z této částky 60 000 000 představuje výrobní cenu pryžových výlisků. Uvažovaná hodinová práce stroje je v případě laserového mikroobrábění 1 500 Kč a v případě frézování mikrofrézou 1 000 Kč. Vytvoření reliéfu by se týkalo 90 forem, které se průběžně používají ve výrobě. Jelikož se formy liší velikostí, bude uvažována průměrná velikost formy. Plocha této průměrné velikosti formy je 600 x 400 mm. Přibližná doba obrábění této plochy je u mikrofrézování 90 minut a u laserového mikroobrábění 24 000 minut.

Přibližné výrobní náklady u mikrofrézování vycházejí z hodinové práce stroje, přibližné doby obrábění dané plochy, počtu upravovaných forem a z ceny potřebné pro zajištění dostatečného množství mikrofréz (životnost jedné mikrofrézy je při použití na materiál formy přibližně 60 minut). Úspora nákladů v důsledku zavedení odvzdušnění na formách vychází z roční zmetkovitosti, ročních nákladů na výrobu pryžových výlisků a činí 3 000 000.

V případě laserového mikroobrábění vycházejí pouze z hodinové práce stroje, přibližné doby obrábění dané plochy a z počtu upravovaných forem. Úspora nákladů je opět 3 000 000 Kč.

Z výše uvedených hodnot je patrné, že výrobní náklady u laserového mikroobrábění budou výrazně vyšší. To je způsobeno především mnohem vyšší dobou obrábění dané plochy a také vyššími hodinovými náklady stroje. Z tohoto hlediska je výhodnější vytvořit pravidelný reliéf frézováním pomocí mikrofrézy. Je však důležité zohlednit také výsledky experimentu, který ukázal, že odvzdušnění u pravidelného reliéfu nebylo dokonalé. Dá se tedy předpokládat, že zmetkovitost by se úplně neodstranila.

6.2 Doporučení pro sériovou výrobu

Výsledky experimentu ukázaly, že použití reliéfů ve zkušební formě je efektivním řešením pro její odvzdušnění. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u nepravidelného

a kombinovaného reliéfu. U žádné série těchto reliéfů se nevyskytla povrchová vada. Dobrých výsledků bylo dosaženo také u pravidelného reliéfu, u kterého se povrchová vada vyskytla pouze jednou. Důležité je také zmínit, že výskyt této vady byl na boku vzorku. Uzavřený vzduch byl tedy odveden z plochy pomocí reliéfu. Optimalizací pravidelného reliéfu by u něj následně bylo možné dosáhnout stejných výsledků jako u reliéfu nepravidelného a kombinovaného. Z hlediska výsledků experimentu lze uvažovat všechny druhy reliéfů. Reliéf kombinovaný a nepravidelný by však byl z hlediska omezení výskytu povrchových vad a zlepšení odvodu vzduchu vhodnější.

Kvůli rozdílnosti výrobní technologie daných reliéfů bylo nezbytné zjistit jejich ekonomickou náročnost. Technologie laserového mikroobrábění byla výrazně ekonomicky nákladnější než frézování s mikrofrézou. To je způsobeno především delší dobou odebrání materiálu laserem a vyššími hodinovými náklady provozu stroje. Z hlediska ztuhlých nákladů na vytvoření reliéfu je vhodnější frézování mikrofrézou, tedy aplikace pravidelného reliéfu.

Ačkoliv jsou výsledky experimentu ve prospěch použití kombinovaného a nepravidelného reliéfu, z důvodu vysokých nákladů a časové náročnosti technologie laserového mikroobrábění je pro sériovou výrobu doporučeno zvolit pravidelný reliéf. Ten, jak bylo prokázáno v experimentu, nezajistil 100 % odstranění povrchových vad. Díky výskytu dané vady u tohoto reliéfu však lze předpokládat, že svoji funkci z velké části splní a proto je vhodným řešením nejen z hlediska snadnější a levnější výroby.

Pravidelný reliéf je také možné dále optimalizovat. Lze měnit a upravovat jeho tvar, velikost, hloubku a šířku jeho kanálků. Nepravidelný dezén byl charakteristický velkým poměrem mezi velikostí plochy vzorku a šířkou kanálků reliéfů. Zároveň však byla zajištěna dostatečně hustá síť těchto kanálků, aby bylo možné odvést přebytečné množství vzduchu ze všech částí formy. Dá se také předpokládat, že při zvolení proměnné hloubky kanálků bude dosaženo ještě lepších výsledků. Vytvoření dokonalé proměnné hloubky je však omezeno výrobní technologií a proto by bylo obtížné ji aplikovat pomocí frézování mikrofrézou. U proměnné hloubky by také mohlo hrozit riziko neúplného zatečení kaučukové směsi do těchto kanálků a tím by mohla vzniknout další estetická povrchová vada. Z těchto hledisek lze doporučit upravit tvar pravidelného reliéfu tak, aby byl poměr velikosti plochy vzorku a šířky kanálků co největší s tím, že síť kanálků reliéfu musí být dostatečně hustá a vzájemně propojená. Je však nutné brát ohled na to,

že šířka kanálků bude závislá na průměru zvolené mikrofrézy. U té platí, že čím menší je její průměr, tím vyšší je její cena, což by se následně mohlo projevit do nákladů. Tyto náklady na zhotovení pravidelného reliéfu by bylo možné snížit a to použitím menší hloubky kanálků. Bylo by však nutné provést další experiment, nejlépe na reálné formě pro pryžové výlisky vzduchových pružin. Ten by následně ukázal, zda by zvolená menší hloubka kanálků byla dostatečná pro odvod vzduchu ze všech částí formy.

Takto optimalizovaný tvar pravidelného reliéfu by mohl být pro odvzdušnění forem velmi efektivní. Dalším doporučením je vytvoření tohoto reliéfu na povrchu formy v kombinaci s dalším systémem odvzdušnění. Tím je myšleno vytvoření ekvidistantní drážky daných rozměrů a v určité vzdálenosti od obrysu tvaru součásti v dělicí rovině formy. Kombinace těchto řešení by znamenala optimální odvod vzduchu ze všech částí formy do dělicí roviny, případně do mezer, které vznikají skládáním jednotlivých částí forem.

Nabízí se také využít možnosti vytvoření nepravidelného reliéfu. U něj by bylo možné snížit náklady na výrobu snížením hloubky kanálků tohoto reliéfu. Opět by bylo nutné ověřit, zda by tato nižší hloubka kanálků reliéfu byla dostatečná pro odvod veškerého uzavřeného vzduchu ve formě. Snížením hloubky kanálků o 0,1 mm by se snížila doba obrábění reliéfu o polovinu. Tím by výrazně klesly náklady na výrobu a snížila by se doba návratnosti. Pokud by tento předpoklad o snížené hloubce kanálků fungoval i u pravidelného reliéfu, pořád by zde byl výrazný rozdíl v ekonomické náročnosti obou technologií.

7 Závěr

V současné době dochází k obrovskému rozvoji automobilového průmyslu a s ním také k rozvoji a vylepšování dílčích výrobků potřebných pro správný chod každého automobilu. Zároveň dochází k zvyšování nároků na kvalitu daných výrobků, a to především z hlediska bezpečnosti. Výjimkou nejsou ani vzduchové pružiny – vlnovce, které zajišťují odpružení nejčastěji u nákladních automobilů. Zajišťují v automobilech důležitou funkci, a proto je důležité, aby splňovaly náročné požadavky na dosažení požadovaných vlastností. A to nejen mechanických, ale také třeba na zajištění požadované kvality povrchu pryžových výlisků vzduchových pružin, která je řešena v této práci.

Proto bylo nutné navrhnout řešení, zajišťující lepší odvod vzduchu z forem pro pryžové výlisky vzduchových pružin, který způsobuje vznik povrchových vad při vulkanizaci. Byl zde popsán proces zpracování a přípravy kaučukové směsi pro výrobu výlisků vzduchových pružin. Dále byl popsán způsob výroby pryžových výlisků – tedy vulkanizace v lise, po které získá kaučuková směs požadované mechanické vlastnosti. Tato výroba také odpovídá způsobu, jakým se současně dosahuje daného povrchu výlisků. Jak už bylo zmíněno, dochází zde však k tvorbě povrchových vad. Tím vzniká zmetkovitost, která při ročním objemu výroby dosahuje 5 %.

Bylo tedy navrženo několik řešení, která by výrazně omezila, nebo úplně odstranila danou zmetkovitost. Z několika možných řešení bylo navrženo vytvoření souvislého reliéfu na povrchu forem pro usnadnění odvodu uzavřeného vzduchu ve formě při vulkanizaci. Uzavřený vzduch je odveden z formy právě pomocí reliéfu do dělicí roviny nebo do mezer, které vznikají skládáním jednotlivých částí forem.

V experimentální části bylo ověřováno, zda toto řešení bude skutečně fungovat a odstraní vznik povrchových vad vlivem uzavřeného vzduchu. Pomocí technologie laserového obrábění byly do zkušební formy vytvořeny 3 druhy reliéfů – pravidelný, nepravidelný a kombinovaný. Následně byla ve formě prováděna simulace vulkanizace za stanovených podmínek a při použití směsi, která se používá pro výrobu pryžových výlisků. Bylo vylisováno celkem 20 sérií vzorků. Jedna série obsahovala vzorek bez reliéfu a vzorky s pravidelným, nepravidelným a kombinovaným reliéfem.

Výsledky experimentu ukázaly, že na vzorcích bez reliéfu se u 20 sérií dvakrát objevila vada, která by byla pro výrobek nepřijatelná. Naopak u vzorků s nepravidelným a kombinovaným reliéfem se vada neobjevila ani v jedné sérii. V případě pravidelného reliéfu došlo k závažné vadě pouze v jedné sérii a tato vada se navíc objevila na boku vzorku, což nasvědčuje tomu, že reliéf svoji funkci částečně splnil. Dá se předpokládat, že po optimalizaci tohoto reliéfu by dosáhl podobných výsledků jako reliéf nepravidelný a kombinovaný.

Stanovení ekonomické náročnosti spočívalo v porovnávání nákladů na výrobu reliéfu danou technologií. Nepravidelný a kombinovaný reliéf by bylo nutné vytvořit technologií laserového mikroobrábění a pravidelný reliéf frézováním za použití mikrofřezy. Náklady technologií vycházely z doby obrábění 90 forem, které se používají při výrobě, z hodinového provozu strojů a u technologie frézování také z množství mikrofrez potřebných pro zajištění obrobení všech forem. Doba obrábění vycházela u laserového mikroobrábění z přibližné doby obrábění jednotkové plochy a u frézování z rychlosti frézování pro daný materiál formy. Počet potřebných mikrofrez vycházel z životnosti těchto fрез pro daný materiál formy. Výrazný rozdíl výrobních nákladů daných technologií je způsoben především mnohem delší dobou obrábění a vyššími hodinovými náklady na provoz stroje u technologie laserového mikroobrábění.

Po uvážení všech hledisek bylo navrženo výsledné doporučení pro sériovou výrobu. To zahrnuje použití technologie frézování pomocí mikrofřezy, a tedy vytvoření pravidelného reliéfu na povrchu forem. Je však doporučeno optimalizovat tvar tohoto reliéfu tak, aby byl dosažen co největší poměr mezi plochou vzoru a šířkou kanálků reliéfu. Zároveň musí být zajištěna dostatečně hustá síť těchto kanálků. K vytvoření tohoto optimalizovaného reliéfu je doporučeno vytvoření ekvidistantní drážky v dělicí rovině podél tvaru výlisku. Kombinace těchto dvou řešení by s největší pravděpodobností měla zajistit zamezení veškeré zmetkovitosti a zároveň by se jednalo o nejméně ekonomicky náročnou variantu řešení.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1.1: Využití vzduchové pružiny - odpružení nápravy nákladního automobilu ..	6
Obrázek 3.1: Automaticky navážené přísady kaučukové směsi	21
Obrázek 3.2: Schéma hnětiče a hnětacího ústrojí.....	22
Obrázek 3.3: Míchání a odkrajování směsi na dvouválci	22
Obrázek 3.4: Schéma šnekového vytlačovacího stroje.....	25
Obrázek 3.5: Šnekový vytlačovací stroj	25
Obrázek 3.6: Konfekční stroj	26
Obrázek 3.7: Polotovar po dokončení konfekce.....	27
Obrázek 3.8: Bombírka při natlakování a stlačení polotovaru.....	28
Obrázek 3.9: Vlnovec ve formě před vulkanizací	29
Obrázek 3.10: Vlnovec ve formě po vulkanizaci	30
Obrázek 5.1: Výlisek vzduchové pružiny bez defektu (vlevo) a s defektem (vpravo).	308
Obrázek 5.2: Možný příklad odvzdušňovací drážky v dělicí rovině [17].....	40
Obrázek 5.3: Porézní vložka [19]	40
Obrázek 5.4: Forma pro výlisky vzduchových pružin	41
Obrázek 5.5: Model zkušební formy	42
Obrázek 5.6: Výkres zkušební formy	43
Obrázek 5.7: Zkušební forma pro vzorky z kaučukové směsi	43
Obrázek 5.8: Navrhnuté reliéfy pro zkušební vzorky	45
Obrázek 5.9: Model formy s vytvořenými reliéfy	46
Obrázek 5.10: Diodami buzený pevnolátkový Nd:YAG laser LD50s	47
Obrázek 5.11: Porušení křivek reliéfu	48
Obrázek 5.12: Reliéf pravidelný ve formátu BMP	48
Obrázek 5.13: Reliéf nepravidelný ve formátu BMP	49
Obrázek 5.14: Reliéf kombinovaný ve formátu BMP	49
Obrázek 5.15: Drážky pro testování zvolených parametrů	50
Obrázek 5.16: Neočištěná forma s otřepy a opalem	50
Obrázek 5.17: Vybroušená forma připravená k použití.....	51
Obrázek 5.18: Otevřený sloupkový lis 400 x 400 Vlašim	52
Obrázek 5.19: Příprava kaučukové směsi ve formě před vulkanizací	54
Obrázek 5.20: Zvulkanizované pryžové výlisky s přetoky ve formě	54
Obrázek 5.21: Zkušební vzorky po vulkanizaci s přetoky	55
Obrázek 5.22: Zkušební vzorky po vulkanizaci bez přetoků	55
Obrázek 5.23: Vada vyskytující se na vzorku bez reliéfu u 4. série.....	56
Obrázek 5.24: Vada vyskytující se na vzorku bez reliéfu u 11. série.....	57
Obrázek 5.25: Vada vyskytující se na vzorku s pravidelným reliéfem u 7. série	57

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Rozdělení kaučuků podle polariry a nasycenosti	15
Tabulka 5.1: Chem. složení a mech. vlastnosti nástrojové ocele 1.2316 [19][20].....	44
Tabulka 5.2: Technologické parametry směsí dle firmy Rubena.....	53
Tabulka 5.3: Hodnocení daných sérií vzorků pro jednotlivé reliéfy	58

Seznam použité literatury

- [1] Vlnovce vzduchového pružení. Rubena [online]. [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: <http://www.rubena.eu/cz/produkty/vzduchove-pruzeni-silove-prvky/vlnovce-vzduchoveho-pruzeni/>
- [2] HUMPHREYS, W. Pneumatic spring for vehicles. 1906. USA. US1130656 A. Uděleno 2. března 1915. Zapsáno 10. listopad 1906. Dostupné také z: <https://www.google.com/patents/US1130656>
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] KREJČÍŘ, O. Pneumatická vibroizolace. Liberec, 1986. Doktorská disertační práce. VŠST Liberec.
- [5] LEWIS, J. Pneumatic spring. 1847. USA. US4965 A. Uděleno 10. únor 1847. Dostupné také z: <https://www.google.com/patents/US4965>
- [6] Hydropneumatic suspension. Wikipedia [online]. [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Hydropneumatic_suspension
- [7] Kaučuky a latexy - Nomenklatura ČSN ISO 1629. 2. 2015.
- [8] LÁZNIČKA, P. Laserové mikroobrábění. Brno 2014. 64 s, 7 příloh, Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Odbor technologie svařování. Vedoucí práce doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/32751/2014_Laserove_mikroobrabeni_Laznicka_Pavel_Diplomova_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [9] LAPŠANSKÁ, H. Laserové technologie v praxi [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
- [10] VRBOVÁ, M., H. JELÍNKOVÁ a P. GAVRILOV. Úvod do laserové techniky. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998, 228 s. ISBN 80-01-01108-9.

- [11] ŠULC, J. Úvod do laserové techniky [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: http://people.fjfi.cvut.cz/sulcjan1/ult/ulat_sl_03.pdf
- [12] ŘASA, J. a Z. KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění - 4. díl. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, (3) [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- [13] Typy laserů. Lasery kolem nás [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>
- [14] CO2 laser. Lintech [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.lintech.cz/co2-laser>
- [15] RÜTERING, M. Co rozhoduje při volbě typu laseru. MM Průmyslové spektrum [online]. 2011, (9) [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/co-rozhoduje-pri-volbe-typu-laseru.html>
- [16] Konstrukce laserů. Lasery kolem nás [online]. [cit. 2015-5-04]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>
- [17] HYNEK, M. Odvzdušnění [online]., 7 [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Odvzdušneni.pdf
- [18] For Better Mold Venting, Start with the Metal. Mold making technology [online]. [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/for-better-mold-venting-start-with-the-metal>
- [19] Data sheet 1.2316. Doerrenbern [online]. [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: http://www.doerrenberg.com.sg/fileadmin/template/doerrenberg/stahl/DatenblaetterEng/1.2316_en.pdf
- [20] 1.2316 Plastic Mould Steel. Steel express [online]. [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: http://www.steelexpress.co.uk/toolsteel/1_2316-plastic-mould-steel.html
- [21] Artcam. Cadcam [online]. [cit. 2017-08-05]. Dostupné z: <https://www.cadcam-systems.cz/cad-cam-software/artcam/>