

Vliv povlakování na životnost šneku VS

Kovařík Václav

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav KOVAŘÍK**
Osobní číslo: **T080104**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv povlakování na životnost šneku VS.**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma.**
- 2. Provedte porovnání povlakovaného a nepovlakovaného šneku VS.**
- 3. Vyhodnoďte naměřené výsledky.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

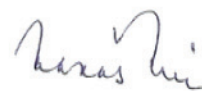
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá porovnáním opotřebení povlakovaného a nepovlakovaného šneku vytlačovacího stoje určeného k výrobě profilů (běhoun, bočnice) z gumárenských směsí. Práce obsahuje seznámení se základními způsoby povlakování šneků vytlačovacích strojů a druhy měření jejich opotřebení.

Klíčová slova: Vytlačovací šnek, opotřebení, systémy povlakování, teorie vytlačování, zkoušky opotřebení.

ABSTRACT

This Bachelor thesis describes the comparison of the wear of coated and the wear of non-coated extruder machine screw, which is used for production of tire treads and sidewalls made from the rubber compounds. The bachelor thesis introduce the basic description of coating methods of extruder machine screws, and describes the testing methods of the wear of such equipment.

Keywords: extrusion screw, abrasion, coating systems, extrusion theory, abrasion tests

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. David Mañas Ph.D. za poskytnuté rady a připomínky k této práci. Také děkuji zaměstnancům Univerzitní knihovny ve Zlíně za ochotu a zapůjčený knižní materiál, který mi byl zdrojem podnětných informací, dále děkuji svým kolegům z Barum Continental s r.o. za podporu při studiu a možnosti práce na projektu povlakování.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TEORIE VYTLAČOVÁNÍ BĚHOUNŮ	11
1.1. VYTLAČOVACÍ LINKA.....	11
1.1.1 Proces vytlačování	12
1.1.2 Šnek vytlačovacího stroje	14
1.1.3 Měření opotřebení šneku vytlačovacího stroje	17
2 POVLAKOVÁNÍ PRACOVNÍCH SOUČÁSTÍ	19
2.1. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY POVLAKOVÁNÍ	19
2.1.1 Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition).....	21
2.1.2 Metoda PVD (Physical Vapour Deposition).....	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	27
4 VYTLAČOVACÍ LINKA	28
4.1 VYTLAČOVACÍ ŠNEK 150 PŮVODNÍ (BEZ POVLAKU)	29
4.1.1 Opotřebení šneku	31
4.2 POVLAKOVANÝ ŠNEK VYTLAČOVACÍHO STROJE	35
4.2.1 Opotřebení povlakovaného šneku	36
5 POROVNÁNÍ POVLAKOVANÉHO A NEPOVLAKOVANÉHO ŠNEKU	39
5.1 POROVNÁNÍ ŽIVOTNOSTI VYTLAČOVACÍCH ŠNEKŮ	39
5.2 POROVNÁNÍ PROCESU VYTLAČOVÁNÍ	44
5.3 POROVNÁNÍ EKONOMICKÉ	46
6 DISKUZE VÝSLEDKŮ	48
ZÁVĚR	50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	52
SEZNAM OBRÁZKŮ	53
SEZNAM TABULEK	55
SEZNAM ROVNIC	56

ÚVOD

Mobilita – jedna z nejvýraznějších vlastností obyvatelstva vyspělých zemí v posledním období. Ovšem se zvyšujícími se požadavky na mobilitu vzrůstá také spotřeba fosilních paliv a energie vůbec.

Současně se však zvyšuje zátěž životního prostředí „odpadními produkty“ z výroby elektrické energie a provozu motorových vozidel.

Automobilový průmysl musí reagovat na požadavky snížení emisí výfukových plynů do ovzduší. Počet automobilů se zvyšuje, roste kamionová přeprava. V rozvinutých zemích je téměř každá druhá rodina vlastníkem automobilu.

Automobilky se snaží dosáhnout snížení emisí především cestou nižší spotřeby paliva u svých vozidel. Kromě nejrůznějších mechanických, elektronických a aerodynamických zdokonalení se na snížení spotřeby podílí také pneumatiky.

Nižší spotřeba ovlivněná pneumatikou – to je v první řadě nižší valivý odpor. Pomineme-li nyní konstrukci samotného pláště, na valivý odpor má významný vliv tvrdost směsí, použitých pro běhoun a bočnice. Pro bezpečnost a komfort provozu je však přílišná tvrdost směsí překážkou.

Vyvíjí se tedy nové směsi – tvrdší, ale zároveň s lepšími adhezními vlastnostmi. Používají se nové typy zpracovatelských přísad. S příchodem těchto směsí se však objevují i zpracovatelské problémy při přípravě polotovarů – běhounů a bočnic.

Tužší směsi mají negativní vliv na životnost komor a šneků vytlačovacích strojů, zvyšuje se mechanické opotřebení těchto nákladných součástí. Při jejich zpracování také nežádoucím způsobem roste teplota během procesu vytlačování a hrozí nebezpečí navulkanizace – znehodnocení polotovarů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

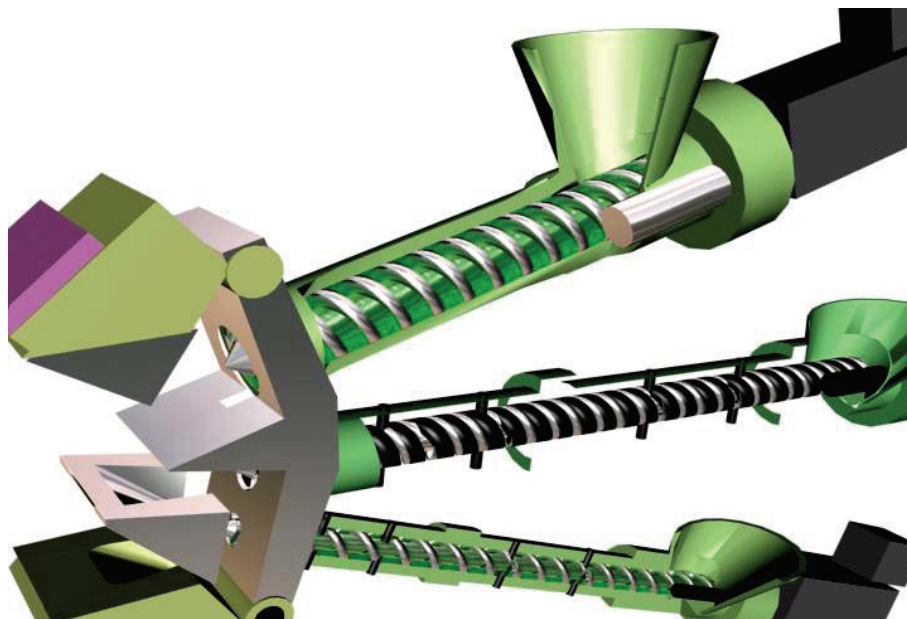
1 TEORIE VYTLAČOVÁNÍ BĚHOUNŮ

Plášť pneumatiky je složen z celé řady polotovarů. Klíčové polotovary, jako jsou běhoun, bočnice, vnitřní guma a jiné, jsou vyrobeny z kaučukových směsí.

Kaučukové směsi se převážně zpracovávají vytlačováním. Je to jedna z nejproduktivnějších metod. Rozumí se tím proces, při kterém se směs rozpracovává mezi šnekem a pláštěm vytlačovacího stroje. Po důkladném rozpracování se přes šablonu vytlačuje na odtahové dopravníky.

1.1. Vytlačovací linka

Vytlačovací stroje (tzv. extrudery) se dělí na šnekové, pístové a diskové. Pro výrobu polotovarů pro konfekci (výroba surových plášťů) se používají vytlačovací stroje šnekové. Mají nepřetržitý cyklus a lze je tedy zařadit do výrobních linek.



Obr. 1 Vytlačovací stroj se třemi šneky pro vytlačování sdrúžených profilů[8]

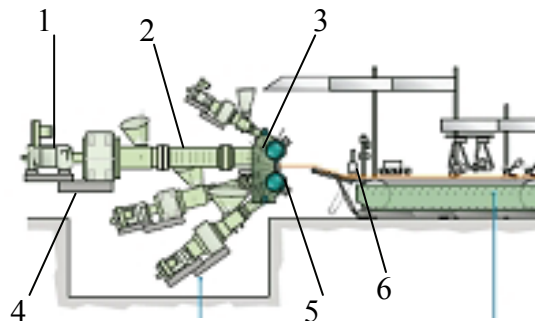
Šnekové vytlačovací stroje dělíme na:

- stroje zásobované teplotou, rozpracovanou směsí na ohřívacím dvouválci
- stroje zásobované studenou směsí přímo z palety

Oba druhy se liší konstrukcí, výkonem a kvalitou vytlačovaných profilů. Velikost zařízení se udává podle průměru šneku v milimetrech.

Hlavní části vytlačovacího stroje:

1. pohonná jednotka
2. šnek a dvojitý plášť stroje
3. vytlačovací hlava
4. chladicí a ohřívací systém
5. zařízení na uchycení předšablon a šablony samotné
6. kontrolní a ovládací prvky



Obr. 2 Vytlačovací stroj[9]

Nejnovější technologií vytlačování jsou plně automatizované vytlačovací linky např. BERSTORFF. Tyto linky obsahují dva, tři, popřípadě čtyři vytlačovací stroje nad sebou. Můžou být zásobované jak teplou tak i studenou směsí, kterou tlačí do společné hlavy. Z hlavy teče směs přes vyhřívanou předšablonu, kde se spojí jednotlivé směsi z vytlačovacích strojů a finální profil je tvarován výstupní šablonou. Pro kvalitu polotovaru je nutno dodržovat přesnou regulaci teploty v jednotlivých zónách vytlačovacích strojů. Vyrábí se tak sdružené profily běhounů a bočnic.

1.1.1 Proces vytlačování

Samotné vytlačování je dáno vytlačovacím předpisem, který obsahuje všechny potřebné údaje k vyrobění požadovaného profilu. Vzhledem k možným odchylkám zpracovávané kaučukové směsi je nutné, aby obsluha linky sledovala šířkové parametry a hlavně úsekové hodnoty hmotnosti při procesu vytlačování. Aby bylo dosaženo požadovaných hodnot z vytlačovacího předpisu, musí obsluha vytlačovacího stroje upravit otáčky šneku, rych-

lost odtahu dopravníku linky. Rovněž musí dodržovat teplotní režim, aby nedocházelo k přehřívání a tím k tzv. „napalování“, navulkanizování směsi což je nežádoucí.

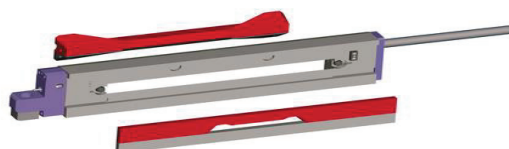
Proces vytlačování sdružených gumárenských profilů na vytlačovací lince se čtyřmi vytlačovacími stroji, tzv. „quadroplex“, je mnohem složitější než u jednoho vytlačovacího stroje. Taková linka je většinou zásobována studenou kaučukovou směsí. Každý vytlačovací stroj může být zásobován rozdílnou směsí. Přes násypku a za pomoci podávacích válečků se směs zavádí k vytlačovacímu šneku. Ten je uložen v kapalinou temperovaném plášti.

Šnek musí zajistit dostatečné prohřátí směsi, její homogenizaci, snížit její viskozitu a zajistit dostatečný tlak. Tyto podmínky jsou nezbytné pro dopravu směsi, protlačení skrze předšablonu a šablonu, která určuje konečný profil. Aby bylo dosaženo potřebného rozpracování a zahřátí směsi, musí být šnek dostatečně dlouhý.

Ohřev a rozpracování směsi ve vytlačovacím stroji zásobovaném studenou směsí byly původně závislé na tření materiálu mezi šnekem a válcovou vložkou. Nové vytlačovací stroje využívají intenzivního míchání pomocí rozdělení a přesměrování toku kaučukové směsi kolem pevných kolíků v plášti.

Rozpracovaná směs je vtlačována šnekem do hlavy vytlačovací linky. Zde se její tok usměrní k šabloně požadovaného profilu (u linky s jedním vytlačovacím strojem) nebo k předšabloně (u linky s více vytlačovacími stroji). Vytlačovací hlava musí být stále vyhřívána, jinak by směs ztrácela vlastnosti vytvořené šnekem. Hlava je konstruována tak, aby v ní směs co nejlépe „tekla“ a neměla mrtvá místa, kde by docházelo ke zpomalení až zastavení směsi a jejímu navulkanizování.

Předšablona se používá u linky s více extrudery. Je konstruována tak, aby přesně dosedala a navazovala na jednotlivé výstupy z vytlačovací hlavy a směřovala jednotlivé směsi k šabloně s požadovaným profilem. Předšablona se vkládá do kazety, kde se nahřívá na požadovanou teplotu. Z druhé strany se přikládá šablona, která se taktéž od kazety nahřívá.



Obr. 3 Kazeta[9]

Profil na šabloně není totožný s požadovaným profilem vytlačovaného polotovaru. Otvor na šabloně je vždy menší než profil vytlačený. Je to zapříčiněno jevem, kterému se říká narůstání materiálu.

Ovlivňuje ho:

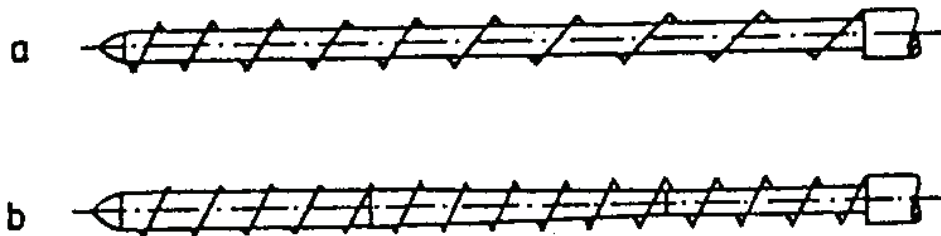
- teplota vytlačovacího stroje (nízká teplota, větší narůstání)
- rozpracovanost kaučukové směsi (méně rozpracovaná více narůstá)
- složení kaučukové směsi (směs s větším podílem kaučuku více narůstá)
- úkos na šabloně (s větším úkosem více narůstá)

Vytlačovaný polotovar, vycházející ze šablony, je odtahován odtahovým válcem dále na dopravník, součástí kterého jsou potřebné měřicí systémy nutné pro regulaci procesu vytlačování.

1.1.2 Šnek vytlačovacího stroje

Princip dopravního účinku otáčejícího se šneku znal již Archimédes. Průmyslové novodobé využití šneků bylo v druhé polovině 18. století při dopravě obilí na sýpkách. Pozdější aplikací podobné zpracování plastů, bylo vytlačování mýdla. Dnes se využívají pro plastifikaci polymerních materiálů a vytlačování kaučukových směsí.

Při zpracování termoplastů a kaučuků se používají především jednošnekové vytlačovací stroje. Pro běžné použití jsou vyráběny se šneky od průměru 30mm (laboratorní stroje) až po průměry 150mm. Větší stroje až do průměru šneku 350mm jsou určeny pro speciální výrobu.

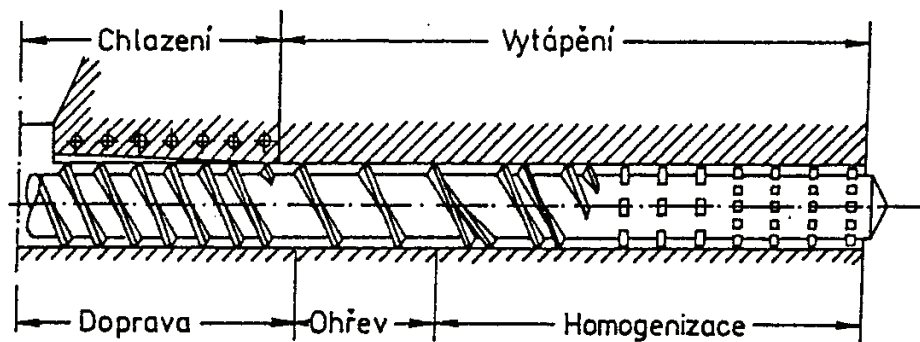


Obr. 4 Příklad vytlačovacích šneků[6]

- Šnek s proměnlivým stoupáním závitu
- Šnek s dlouhou přechodovou zónou

Šnek a tedy i šnekový vytlačovací stroj (extruder) je charakterizován průměrem šneku D a účinnou délkou šneku L , vyjádřenou v násobcích průměru (např. $L=25D$). U extruderů na plasty bývá délka šneku $20 - 25 D$ u menších strojů, $25 - 30 D$ u velkých strojů. Pro vytlačování kaučuků jsou extrudery s kratšími šneky $4 - 6 D$ zásobované již přehřátou směsí. Pro extrudery zásobované směsí studenou je délka $10 - 18 D$.

Obvyklé členění šneku vytlačovacího stroje na část vstupní, přechodovou a výstupní se zpravidla shoduje i s funkčním dělením podle stavu zpracovávaného materiálu. V případě vytlačování plastů se rozlišují zóny podle stavu polymeru. V případě vytlačování kaučuků, se jedná, v podstatě o jednu zónu s taveninou.



Obr. 5 Funkční zóny šnekového vytlačovacího stroje[6]

Tuhý materiál přiváděný do vytlačovacího stroje násypkou, je zachycován šnekem. Postupně je materiál stlačován, zahříván především teplem vzniklým třením. Podmínkou dopravy materiálu je, aby síly tření materiálu o stěnu pouzdra byly větší, než o povrch šneku. Tuhý materiál se převádí na taveninu teplem převáděným pouzdrem i teplem vzniklým třením materiálu o pouzdro i šnek a smykovým namáháním zpracovávaného materiálu (např. u kaučuků).

Závažným nedostatkem jednošnekových vytlačovacích strojů je nedostatečné promíchání materiálu. Proto šneky obsahují části s vhodnými hnětacími elementy.

Při vytlačování kaučuků se obecně přeměňuje více energie na teplo. Stroje jsou vybaveny regulací teploty, protože pracují při relativně nízkých teplotách (max. 130°C). Aby bylo možné dodržet tuto teplotu, musí být plášť i šnek chlazený. Teplota šneku musí být menší, jak teplota pláště. Toho se dosáhne temperancí šneku neboli udržováním stálé teploty za

pomocí média, např. kapaliny. Toho lze dosáhnout, jen pokud je šnek vrtaný. Z pevnostního a výrobního hlediska, lze vrtat šneky o průměru 60mm a více.

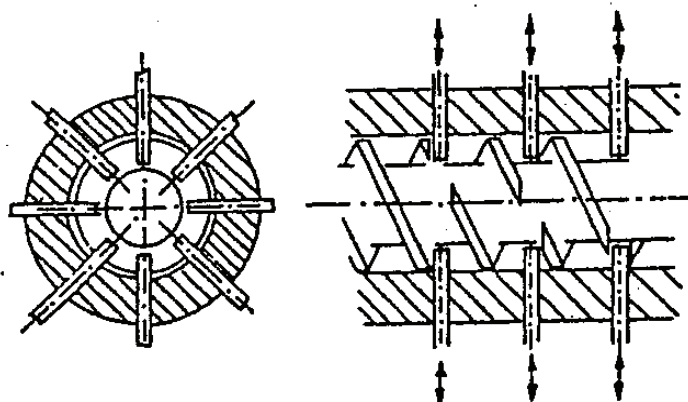
Jak už bylo zmíněno, u vytlačování kaučukových směsí se rozlišuje zásobování přehřátou, teplou směsí a nepřehřátou, studenou směsí.

Při teplém vytlačování jsou kaučukové směsi přehřáté na 60 až 100°C. Funkcí vytlačovacího stroje je pak pouze protlačit materiál skrz vytlačovací hlavu a šablonu. Tyto stroje mají krátké šneky (4 D až 6 D), protože nepotřebují provádět ohřev směsí.

Při zásobování studenou směsí musí stroj provádět ohřev, plastifikaci směsí a vytvářet požadovaný tlak. Proto mají delší šneky (10 D až 18 D i více). Aby mohly dobře splnit tyto požadavky, uplatňují se šneky s hnětacími zónami a šneky s míchacími zónami.

Hnětací elementy pro plastifikaci kaučukových směsí se v principu neliší od používaných pro zpracování plastů. Hmota je podrobena hnětení různými šterbinami a systémem bariér.

Míchací zóny jsou tvořeny elementy, které mají za úkol rozdělit tok. Na nich je požadováno míchání při co nejmenším smykovém namáhání a tím i vývinu tepla. Tyto požadavky splňuje kolíkový vytlačovací stroj. Pouzdrem procházejí kolíky, které zasahují téměř na dno drážky šneku. Obtékáním kolíků je materiál opětovně rozdělován a dochází tak k výměně hmoty a tepla. Dosahuje se tak velmi dobrého míchacího a dispergačního účinku bez značného mechanického namáhání[6].



Obr. 6 Kolíkový vytlačovací stroj[6]

Šnek je nejvýznamnější částí vytlačovacího stroje. Materiály pro výrobu šneků musí být houževnaté a musí se dát povrchově zpracovat na velkou povrchovou tvrdost. Pro vytlačo-

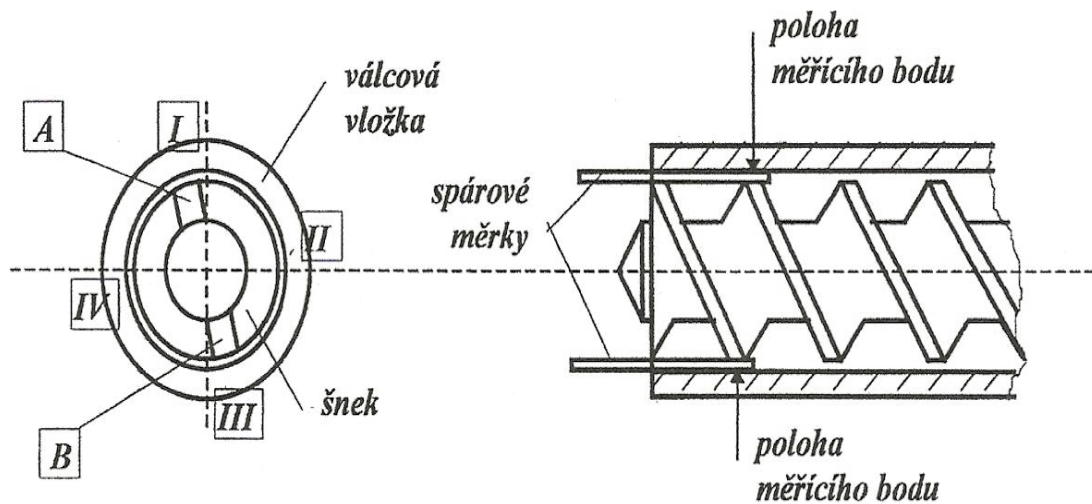
vání korozivních materiálů a kaučukových směsí se šneky vyrábí z odolných slitin s vysokým obsahem niklu, nebo se upravuje povrch tenkou vrstvou povlaku metodou PVD.

1.1.3 Měření opotřebení šneku vytláčovacího stroje

Při vytlačování korozivních materiálů i kaučukových směsí, dochází k opotřebení vytlačovacího šneku a samozřejmě i pláště, a proto je nutné provádět kontrolu jejich opotřebení. Na základě pravidelných kontrolních měření opotřebení – MTC (Machine Tolerance Checking) se zabezpečí, že opotřebení vytlačovacího šneku bude včas zaznamenáno a bude s předstihem známo, kdy bude nutná výměna šneku. Intervaly těchto pravidelných měření se stanovují většinou po zkušenostech z praxe.

Velikost opotřebení se zjišťuje pomocí měření vůle mezi šnekem a pláštěm šneku. Pokud tato vůle přesáhne určitou hodnotu, dochází při vytlačování kaučukových směsí ke zpětnému proudění proti hlavnímu toku materiálu. Následkem je pokles vytlačovacího výkonu a nárůst teploty směsi.

Vůle šneku se měří z pravidla mezi druhým závitem šneku a vložkou pláště. Provádí se pomocí spárové měrky.



Obr. 7 Princip měření šneku

Postup měření:

- Označí se obě křídla konce šneku A a B, na vložce pláště se označí I – IV
- Pootočí se šnekem do polohy, aby bod A na konci šneku se kryl s bodem I na vložce
- Změří se spárovými měrkami obě vůle AI a BIII u druhého závitu šneku
- Poté se pootočí šnekem o 90° a změří se vůle, jak bylo popsáno

Výpočet opotřebení v %:

$$O = \frac{100 \cdot (N - V)}{(L - V)}$$

N – naměřená vůle

O – opotřebení

V – výrobní vůle

L – limitní vůle

Rov. 1 Rovnice pro výpočet opotřebení v procentech

Maximální opotřebení je 100%, při němž je stanovena výměna šneku za nový nebo renovovaný.

Po tepelném zpracování nového, případně renovovaného šneku (navaření tvrdokovu), musí být šnek vyrovnán. Jestliže nedojde k pečlivému vyrovnání, i lehce prohnutý šnek se dotýká válcové vložky a v těchto místech dochází k rychlejšímu vzájemnému opotřebení. Tato místa jsou většinou mimo zónu měření, ve které lze vůli měřit. Z toho důvodu se doporučuje asi po 3 měsících demontovat šnek a prověřit jeho opotřebení.

2 POVLAKOVÁNÍ PRACOVNÍCH SOUČÁSTÍ

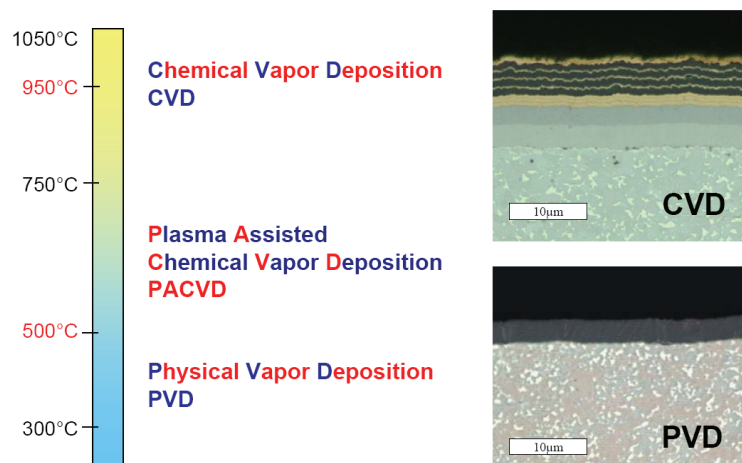
Metody povrchových úprav výrobků byly známy již ve starověku. Větší využití a vývoj těchto technologií a také zvýšení znalostí materiálů přineslo 19. a 20. století.

2.1. Základní způsoby povlakování

Povlakování se řadí mezi nejpoužívanější technologie úprav součástí nebo nástrojů, s cílem dosažení lepších vlastností a vzhledu. Pomocí různých povlaků dosáhneme delší životnosti nástroje nebo součásti strojů, lepší kvalitu povrchu, menší prostoje a následně úsporu nákladů a zvýšení produktivity.

V dnešní době se nejvíce využívá systému „tenkých“ vrstev technologií PVD (Physical Vapour Deposition) a CVD (Chemical Vapour Deposition) a jejich modifikací. Použití tvrdokovových povlaků a jejich vlastností není univerzální. Je to ovlivněno několika důležitými faktory. V první řadě je důležitá volba pevné podložky (substrátu) určené k povlakování, a její mechanicko-fyzikálních vlastností. Kvalita i vlastnosti povlaku jsou do značné míry ovlivněny technologií vytváření tenké vrstvy, opotřebení substrátu nebo vlastnostmi jednotlivých prvků například materiálu terče.

Podle zvoleného substrátu se volí technologie depozice, neboli nanášení tenké vrstvy na nástroj nebo součást. Základní materiál, který při vysokých teplotách může teplotně degradovat, nelze deponovat CVD technologií, která využívá vyšších teplot než PVD technologie.

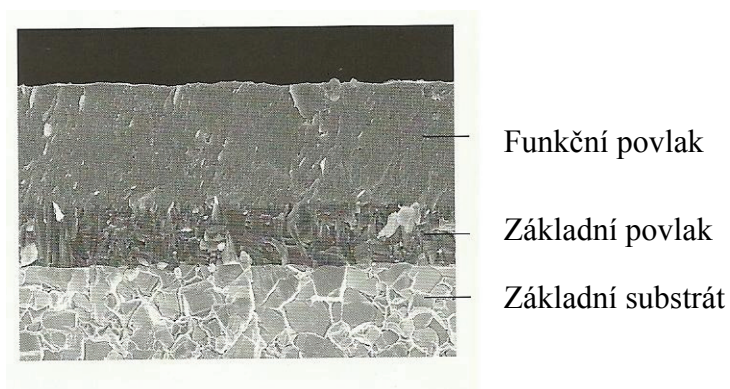


Obr. 8 Depoziční technologie

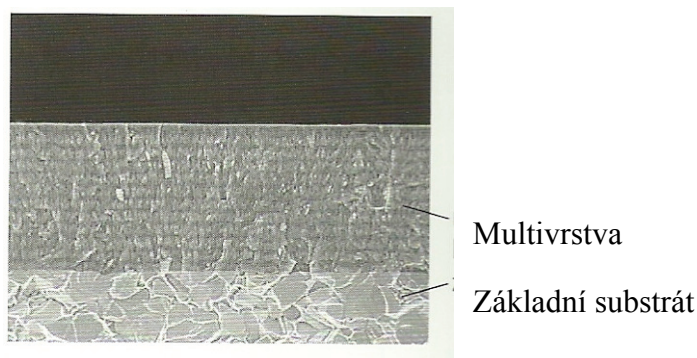
Před každou depozicí je nutné povrch substrátu upravit, aby depozice byla co nejkvalitnější. Pro kvalitní adhezi tenké vrstvy na podložku, musí být její povrch kovově čistý. Čistí se povrch od organických i anorganických nečistot. Pokud povrch není dokonale zbaven nečistot a bude na tento povrch deponován povlak, dojde v místě nečistoty k nekvalitnímu spojení systému substrát – tenká vrstva. V tomto místě při namáhání dojde k odloupení deponované vrstvy.

Stejný důraz je kladen i na kvalitu povrchu. Pokud povrch substrátu bude mít praskliny, nebude mít maximální pevnost a při zatížení může dojít k poruše substrátu, čímž se zničí celý nástroj nebo součást stroje.

Povrch, lépe řečeno plocha nástroje nebo součásti stroje, je substrátem pro nanášení tenké vrstvy povlaku. Tloušťka této vrstvy se pohybuje v řádech nanometrů až mikrometrů. Vlastnosti samotné tenké vrstvy jsou jiné než substrátu. Příčinou není jen tloušťka vrstvy, ale i samotné procesy depozice. Pokud tenkou vrstvou a substrát budeme brát jako jeden systém, bude dosahovat určitých vlastností. Pro zjištění vlastností musíme tedy brát v potaz všechny vrstvy systému.



Obr. 9 Dvouvrstvý povlak[10]



Obr. 10 Multivrstvý povlak[10]

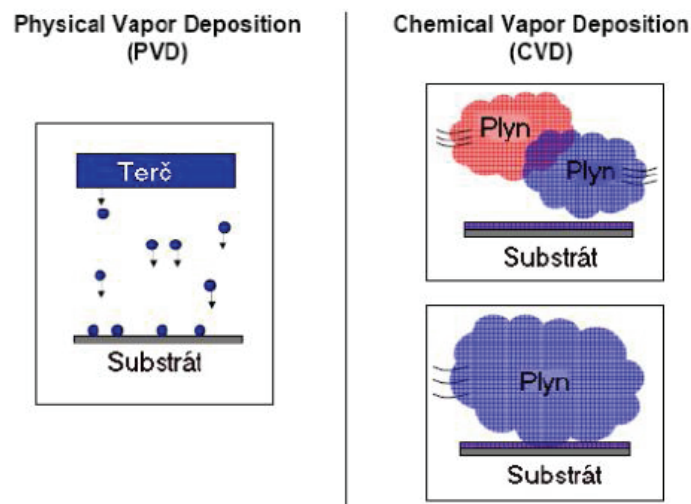
Základní metody vytváření tenkých vrstev:

- Chemická CVD (Chemical Vapor Deposition)
- Fyzikální PVD (Physical Vapor Deposition)

CVD metoda depozice tenkých vrstev vytváří povlak pomocí chemické reakce sloučenin, přivedených v plynném stavu o teplotě 900 – 1100°C k povrchu substrátu.

PVD metoda depozice tenkých vrstev je založena na fyzikálních principech, kdy části, které jsou obsaženy v povlaku (např. Ti), jsou odpařeny nebo odprášeny a následně přilnuli k povrchu podložky.

Rozdíl mezi těmito metodami je hlavně ve způsobu nanesení povlaku a v povlakovací teplotě.



Obr. 11 Princip vytvoření povlaku metodou PVD a CVD

2.1.1 Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition)

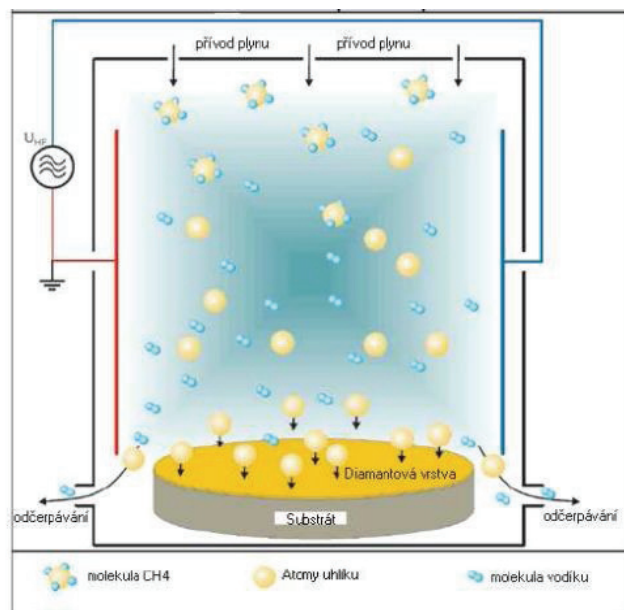
Nástroje nebo součásti povlakované touto metodou mají vyšší životnost, zvýší se produktivita a sníží náklady výroby. Možnosti aplikace povlaků tohoto typu jsou veliké.

CVD technologie zajišťuje vytváření povlaků z chemických sloučenin. Představuje soubor chemických reakcí, které probíhají buď v plynné fázi, nebo na rozhraní plynné a pevné fáze za určitého tlaku a teploty. Vedle vzniku pevné látky vhodných vlastností, vznikají i těkavé produkty. Reakce většinou probíhají heterogenně růstem vrstvy sloučeniny povlaku

na povrchu podložky. Podle výrobních podmínek a postupů, se vytváří povlaky polykrystalické až amorfni.

Pro kvalitní spojení povlaku a základního materiálu se musí vytvořit postupný přechod. Aby došlo ke kvalitnímu spojení, používají se většinou mezivrstvy. Na těchto přechodech mezi podložkou a povlakem, a také na struktuře povlaku, závisí vlastnosti povlaků. Vzhledem k vysokým teplotám při depozici, nelze tuto metodu použít v případě, kde hrozí poškození nebo degradace základního substrátu.

Na výrobu CVD povlaků není nikterak složité zařízení. Skládá se ze zdroje plynných reakčních látek, regulátorů a měřících přístrojů, reaktoru s vnitřním nebo vnějším ohřevem a systémem odvodu plynných produktů vzniklých z chemické reakce v reakčním prostoru.



Obr. 12 Schéma principu CVD metody

Výhody metody CVD:

- Nízké náklady na zařízení pro tvorbu povlaků
- Povlaky jsou poměrně rovnoměrné a homogenní
- Možnost vytvářet povlaky z materiálů hutných, velmi čistých a mechanicky velmi odolných
- Podložky mohou mít komplikovaný tvar

Nevýhody metody CVD:

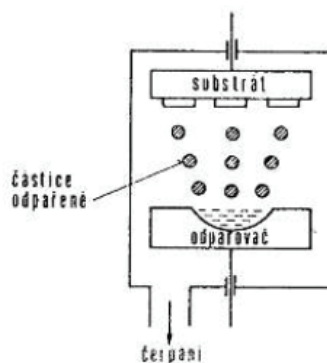
- Nutnost odvodu agresivních plynných látek
- Vysoká teplota deponování
- Dlouhá pracovní doba cyklu

2.1.2 Metoda PVD (Physical Vapour Deposition)

PVD technologie je založena na principu odpaření nebo odprášení pevného materiálu povlaku a následné deponování na podložku. Základní snahou této metody je zajistit dostatečnou ionizaci par kovu, reaktivního a inertního plynu při pracovní teplotě, rovnoměrné rozdělení iontů v prostoru i na povrchu základního materiálu[4].

Tato metoda, jak už název napovídá, využívá fyzikálních principů, a proto nevzniká toxický plyn z chemických reakcí. Celkový proces depozice je tedy ekologický. Povlakovací teplota je oproti CVD metodě výrazně nižší 150 – 600°C.

Takto vytvořená sloučenina je přivedena na podložku ze základního materiálu, na které vytvoří velmi přilnavou, lesklou tenkou vrstvu povlaku. Povlaky této metody mohou být použity i na součásti z hliníku nebo plastu.



Obr. 13 Schéma principu PVD metody – napařování

Nástroj, který budeme povlakovat je důležité nejprve dokonale očistit a odmastit. Povrch nástroje musí být v kovovém lesku, aby povlak dokonale přilnul k základnímu materiálu.

Druhá část přípravy povrchu probíhá již ve vakuové komoře, kde se nejprve odčerpávají povrchově vázané plyny a následně se proudem iontů plynu nebo kovu odstraní několik nanometrů povrchové vrstvy. Zároveň se nástroje ohřívají. Přípravná fáze končí dosažením maximální možné kovové čistoty povrchu nástrojů a jejich ohřátím na požadovanou teplotu. Teplota vhodná pro povlakování se mění v závislosti na vlastnostech předmětů a druhu povlaku od 30 do 500°C[5].

Metody vytváření PVD povlaků jsou reaktivní naprašování, napařování a další možnost je reaktivní iontové plátování.

V případě obloukového odpařování jsou odpařené částice, převážně kladné ionty, urychlovány záporným předpětím. Ionty se v této fázi pohybují po nástroji a spojením vytvoří vrstvu na celém povrchu. Pohybem se vytvoří rovnoměrná vrstva[5].

PVD povlaky se používají nejčastěji na prodloužení životnosti řezných nástrojů, umožňují obrábět tvrdé materiály. U strojních dílů se povlakem zvýší otěruvzdornost a sníží tření.

Výhody metody PVD:

- Tepelná odolnost až 800°C
- Odolnost proti korozi a abrazi
- Nižší teplota depozice
- Snížení třecího odporu

Nejpoužívanější povlaky nanášené procesem PVD jsou nitridy titanu a chromu. Hlavní přednosti těchto vrstev jsou vynikající tvrdost, otěruvzdornost a odolnost proti korozivním vlivům.



Obr. 14 Vzhled povlaku TiN[10]



Obr. 15 Vzhled povlaku CrN [10]

Nitrid titanu byl prvním povlakem a ještě dnes, kdy už jsou vyvinuty kvalitnější vrstvy, se často používá hlavně pro jeho zlatavou barvu z dekorativních účelů nebo jako identifikátor opotřebení.

Nitrid chromu má mimořádně homogenní a hladký povrch, odolný proti korozi a opotřebení, dobré kluzné vlastnosti zaručuje nízký koeficient tření. Má stříbrnošedou barvu a je používán i v potravinářském průmyslu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat povlakovaný a nepovlakovaný šnek vytlačovacího stroje z hlediska opotřebení. Vytlačovací stroj byl určen pro výrobu profilů (běhoun, bočnice) z gumárenské směsi. Povlakovaný šnek byl opatřen vrstvou nitridu chromu (CrN), která je vysoce odolná vůči opotřebení. Měření opotřebení u jednotlivých šneků vytlačovacího stroje bylo prováděno pomocí spárových měrek. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

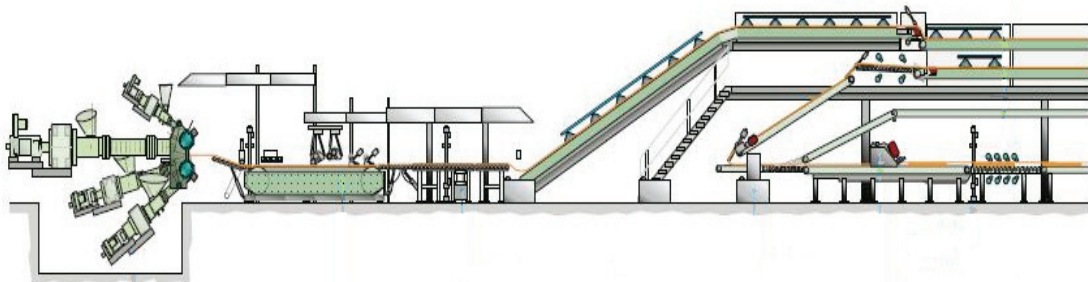
Cílem bakalářské práce bylo:

- Vypracovat literární studii na dané téma
- Provést porovnání opotřebení povlakovaného a nepovlakovaného VS
- Vyhodnotit naměřené výsledky

4 VYTLAČOVACÍ LINKA

Při výrobě pneumatik je jedním z používaných polotovarů běhoun. Běhoun je vytlačovaný profil z gumárenské směsi. Vytlačování se provádí na vytlačovací lince složené z několika vytlačovacích strojů. V každém se zpracovává jiná směs a je samostatně říditelný.

Pro moji práci jsem si vybral vytlačovací linku se čtyřmi vytlačovacími stroji – Quadroplex na výrobu běhounů pneumatik. Vytlačovací stroje byly navrženy podle požadavků výroby. Při dané rychlosti odtahu, musí být schopny dodávat potřebné množství směsi s potřebným tlakem do vytlačovací hlavy. Linka má dva vytlačovací stroje se šneky o průměru 150mm. Jeden stroj s 200mm šnekem a jeden s 90mm šnekem. Každý vytlačuje jiný druh používané směsi v běhounu.



Obr. 16 Vytlačovací linka – Quadroplex[9]

Parametry linky:

Kolíkový stroj zásobovaný studenou směsí

Výkon vytlačování až 10000 kg/hod

Pracovní délka šneků 16 D

Počet otáček šneků max. 50 ot/min

Vyhřívací zóny 3x pouzdro

1x šnek

Teplota vytlačování max. 130°C

Rychlost odtahu max. 40 m/min

U zpracovávání kaučukových směsí dochází k přeměně energie na teplo, které s kombinací s vlastností směsi opotřebovávají šnek vytlačovacího stroje. Další možností opotřebení je rychlost otáček. Čím větší rychlost, tím je větší opotřebení šneku, ale i vložky válce a ložisek. U vytlačování kaučukových směsí lze začínající opotřebení odhadnout bez jakéhokoli měření. Opotřebováním vznikne mezera mezi vložkou válce a závitem šneku vytlačovacího stroje, kterou se vrací směs zpět, a je delší dobu teplotně namáhána. Čímž dochází k navulkanizování.

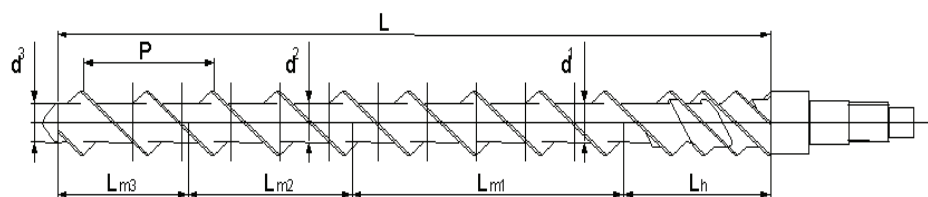
Dalším ukazatelem je snižování tlaku ve vytlačovací hlavě. Opotřebovaný šnek má špatný tok taveniny, díky tomu není schopen vytvořit dostatečný tlak. Kompenzací je zvýšení otáček. Následkem toho je ještě větší opotřebení a navulkanizování směsi.

Tyto negativní vlivy se snažíme odstranit nebo omezit a tím snížit velké náklady na renovování šneků, nebo koupi nových. Možnost jak omezit negativní vlivy se naskýtá v povrchové úpravě v podobě vrstvy tvrdého povlaku metodou PVD. Pro porovnání vlivu povlaku na odolnost proti opotřebení, snížení teplot vedoucí ke zmírnění rizika navulkanizace směsi, jsem vybral vytlačovací stroj 150, který zpracovává směs určenou na vrstvu podběhounu.

4.1 Vytlačovací šnek 150 původní (bez povlaku)

Vytlačovací stroj 150 na výrobu podběhounové části má míchací část vybavenou kolíky na zlepšení homogenizace směsi. Tyto kolíky jsou symetricky uspořádány po obvodu vytlačovacího válce. Jejich hloubka je nastavitelná téměř na jádro šneku. Rozložení kolíků v jedné rovině záleží na zpracovávané směsi.

Šnek je vyroben z velmi kvalitní oceli s tepelnou povrchovou úpravou. Závit šneku má vhodnou hloubku a větší rozteč. Tím je vhodná ke zpracování nejrůznějších přírodních a syntetických kaučukových směsí.



Obr. 17 Popis vytlačovacího šneku

Parametry:

Délka šneku L:	16D
Průměr šneku D:	150mm
Výrobní vůle:	0,003D
Limitní vůle:	0,012D
Materiál:	15330
Tvrдост:	750 – 850 HV _{0,05}



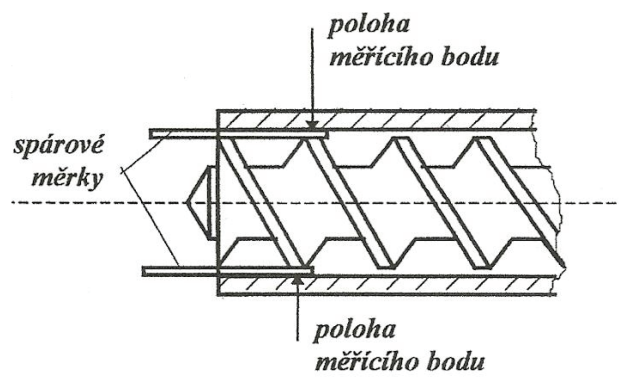
Obr. 18 Původní šnek

Plazmovou nitridací je šnek vystaven v dusíkové atmosféře působení plazmy, která vzniká působením vysokého napětí v řádech stovek voltů. Po této teplotní úpravě není nutné dodatečné obrábění a díky relativně nízké teplotě nitridace jsou rozměrově stálé.

4.1.1 Opotřebení šneku

Vytlačovací stroj pracuje 24 hodin denně. Měření opotřebení se provádí dvakrát ročně. Pokud přesáhne opotřebení šneku 60%, měří se častěji.

Měření se provádí bez materiálu při prázdném vytlačovacím stroji. Použitím spárové měrky se zjišťuje velikost vůle mezi závitem šneku vytlačovacího stroje a vložkou válce. Měrky se zasouvají až na druhý závit, aby bylo měření provedeno dál od konce šneku, který může být vlastní vahou položený na vložce a více opotřeбенý.



Obr. 19 Popis měření šneku

Opotřebení udávám v procentech a je to poměr naměřené vůle bez výrobní vůle k limitní vůli bez výrobní vůle.

$$O = \frac{100 \cdot (N - V)}{(Lm - V)}$$

O – opotřebení
V – výrobní vůle
Lm – limitní vůle
N – naměřená vůle

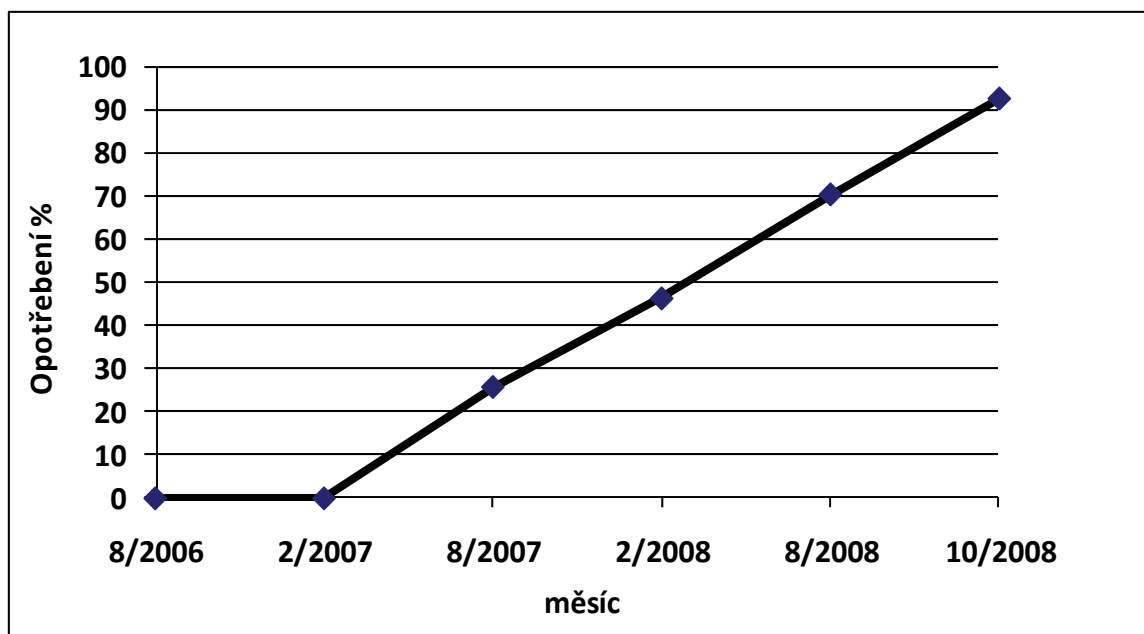
Rov. 2 Rovnice výpočtu opotřebení

Nový šnek byl nainstalován do vytlačovacího stroje v srpnu roku 2006. Měření se provádělo podle instrukcí dvakrát do roka. Z naměřených hodnot se vypočítalo opotřebení v procentech. Z výsledků v tabulce lze vidět, že šnek se opotřeboval celkem pravidelně. Každý půl rok přibližně o 20 až 25%. Vytlačovací šnek vydržel dva roky a poté už dosáhlo opotřebení téměř sta procent a došlo k výměně šneku.

Tab. 1 časové opotřebení šneku v procentech

Datum	8/2006	2/2007	8/2007	2/2008	8/2008	10/2008
Opotřebení v %	Nový šnek	0	25,8	46,3	70,4	92,6

Na první pohled, jak bylo napsáno, je opotřebení pravidelné. Pokud se na to podíváme detailně, jde vidět, že v měsících od druhého až osmého je větší opotřebení než v měsících osmého až druhého. Respektive první půl rok je větší opotřebení než druhý půl rok, jak je patrné z obrázku 20.



Obr. 20 časové opotřebení šneku v procentech

Příčina těchto rozdílů může spočívat v několika různých důvodech. Může to být zapříčiněno větším nárůstem výroby a zvětšujícím se sortimentem. Aby byly potřeby výroby zajištěny, byla zvýšena rychlost linky, zvyšují se otáčky šneku a narůstá jeho opotřebení.

Vzhledem k narůstajícím potřebám požadavků od zákazníků se výroba zvyšuje. V období od nainstalování nového vytlačovacího šneku v osmém měsíci roku 2006 až po jeho opotřebení a výměnu po dvou letech se výroba za toto období zvýšila o 20%. To má vliv na celkovou životnost, která se zkrátí. Když se zaměříme na výrobu po měsících, tak v období

2. – 8. měsíc je výroba o 10% větší než v dalším měřeném období. Tento rozdíl má vliv na rozdílné opotřebení v jednotlivých obdobích.

Další důvod zvětšení opotřebení může být se zaváděním výroby zimních pneumatik, která začíná většinou v měsíci dubnu a končí v měsíci září. Do zimních pneumatik se zpracovávají směsi s výrazně větším podílem obsahu siliky, která zlepšuje adhezi mezi běhounem pneumatiky a vozovkou. Avšak silika způsobuje mnohem větší abrazi už při jejím samotném míchání na hnětacích a dvouválcových strojích, a taky na vytlačovacím šneku. Tento fakt, že největší množství směsí s větším obsahem siliky se zpracovává opět v období 2. – 8. měsíc, může hrát taktéž roli ve větším opotřebení v tomto období.

Protože původní šnek dosáhl opotřebení téměř 100%, byl v jedenáctém měsíci roku 2008 vyměněn za nový. Ten má jako předešlý stejné parametry v oblasti rozměrové, ale i v tvrdosti materiálu.

Parametry:

Délka šneku L:	16D
Průměr šneku D:	150mm
Výrobní vůle:	0,003D
Limitní vůle:	0,012D
Materiál:	15330
Tvrlost:	750 – 850 HV0,05

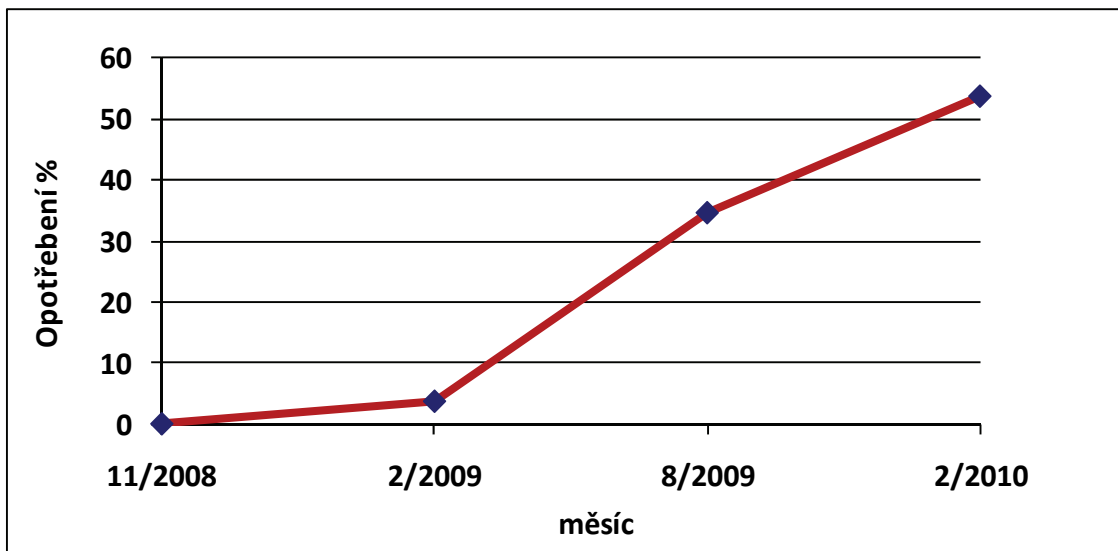
Nejprve je nutno podotknout, že tento nový vytlačovací šnek byl v provozu rok a poté byl nahrazen vytlačovacím šnekem opatřeným povlakem. Měření je z tohoto důvodu méně.

Po nainstalování opět najela plná sériová výroba. Po třech měsících bylo znovu zavedeno pravidelné měření opotřebení dvakrát ročně (tab. 2).

Tab. 2 Časové opotřebení šneku v procentech

Datum	11/2008	2/2009	8/2009	2/2010
Opotřebení v %	Nový šnek	3,7	34,6	53,7

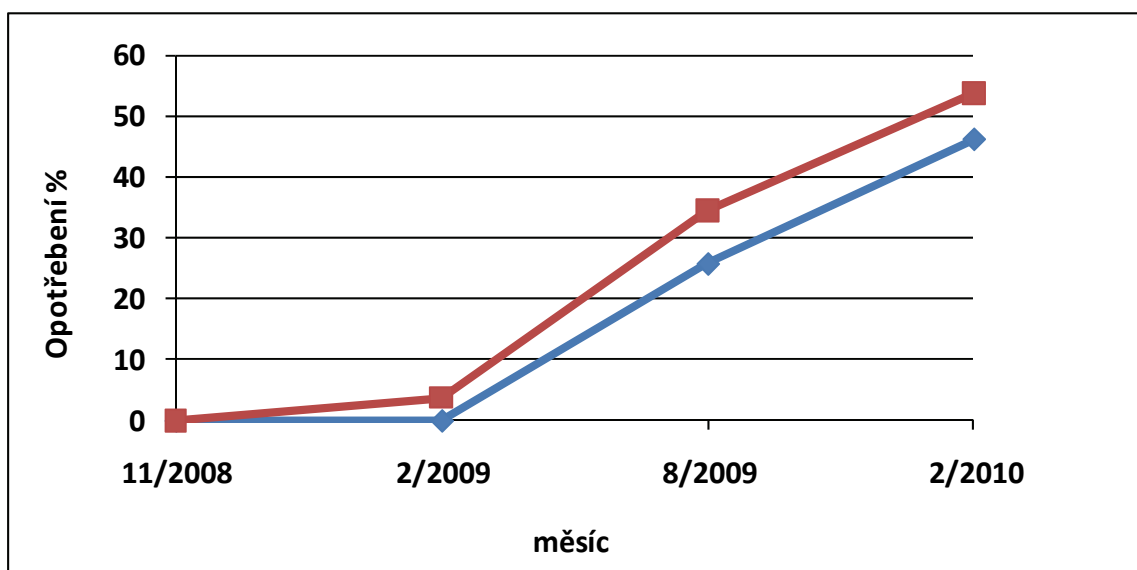
Ze zkrácené tabulky je vidět procentuální míra opotřebení. Jako u předešlého šneku je mezi 2. – 8. měsícem větší nárůst opotřebení, než mezi 8. – 2. měsícem, jak je patrné z obrázku 21.



Obr. 21 časové opotřebení šneku v procentech

Tento rozdíl mezi jednotlivými obdobími je pravděpodobně zapříčiněn taktéž nárůstem výroby a změnou sortimentu na zimní pneumatiky.

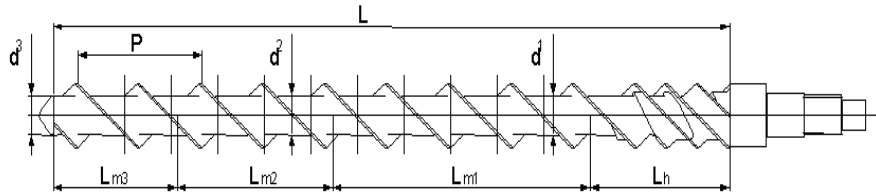
Na obrázku 22 je patrná stejná tendence průběhu opotřebení. Avšak druhý šnek má opotřebení větší za stejný časový úsek jednoho roku.



Obr. 22 časové opotřebení obou šneků v procentech

4.2 Povlakovaný šnek vylačovacího stroje

Povlakovaný šnek vylačovacího vychází z původního šneku, který byl opatřen úpravou zajišťující extrémní odolnost proti vysokému opotřebení korozivnímu a abrazivnímu (povlak CrN – nitrid chromu). Tuto odolnost vytváří povlak vytvořený metodou PVD (Physical Vapour Deposition).



Obr. 23 Popis šneku

Parametry:

Délka šneku L:	16D
Průměr šneku D:	150mm
Výrobní vůle:	0,003D
Limitní vůle:	0,012D
Materiál:	15330 nitridovaný (0,3 – 0,7mm)
Povlak:	CrN (0,003 – 0,005mm)
Tvrдость:	1800 – 2700 HV0,05



Obr. 24 Povlakovaný šnek

Povlakováním šneku vytlačovacího stroje se docílí výrazných změn vlastností. Nejdůležitější změna je v tvrdosti povrchu, která je navýšena až o 2,5 násobek původní. Tímto dosáhneme vícenásobného prodloužení životnosti nitridovaného povrchu.

Výrazné zlepšení je i v odolnosti proti abrazivním účinkům zpracovávaných materiálů, například plastů s vysokou přilnavostí, ale i přírodních a syntetických kaučukových směsí. Větší homogenita povrchu dává vysokou ochranu proti poškrábání, čímž se zlepšuje čištění a povrch má nízkou přilnavost k materiálům. Tím se sníží teplota zpracovávaných materiálů a zamezí se možnosti navulkanizování, což je u zpracování kaučukových směsí důležité.

Snížení koeficientu tření v porovnání s nepovlakovanými povrchy je výrazné. Už při přípravě šneku před povlakováním se musí brát v úvahu směr toku materiálu. Povrch se brousí do kovového lesku, ale zásadně ve směru toku materiálu. Následně nanesený povlak kopíruje přesně povrch podložky, takže broušení proti směru toku materiálu by zapříčinilo zvýšení koeficientu tření.

4.2.1 Opotřebení povlakovaného šneku

Výměna šneku za povlakovaný se uskutečnila v květnu roku 2010. Po výměně ihned najela sériová výroba. Až na nepatrné odstávky je vytlačovací stroj v chodu prakticky 24 hodin denně po celý rok.

Měření opotřebení probíhá stejně jako u předešlých nepovlakovaných. To znamená, že za pomoci spárové měrky se změří vůle mezi plochou závitů a vložkou válce vytlačovacího stroje podle pracovní instrukce. Z výsledků se vypočítá procentuální opotřebení.



Obr. 25 Měření opotřebení spárovou měrkou

Po nainstalování do vytlačovacího stroje se první měření provedlo po třech měsících plného chodu a následné měření už probíhalo dvakrát do roka jako při předchozích.

Vzhledem k tomu, že šnek vytlačovacího stroje byl namontován teprve před rokem, máme k dispozici omezený počet naměřených hodnot. Z těchto měření se přesto dá vyhodnotit, zda byl povlak na šneku přínosem či nikoli. Z tabulky (Tab. 3) s hodnotami procentuálního opotřebení je na první pohled jasné, že šnek má velké opotřebení.

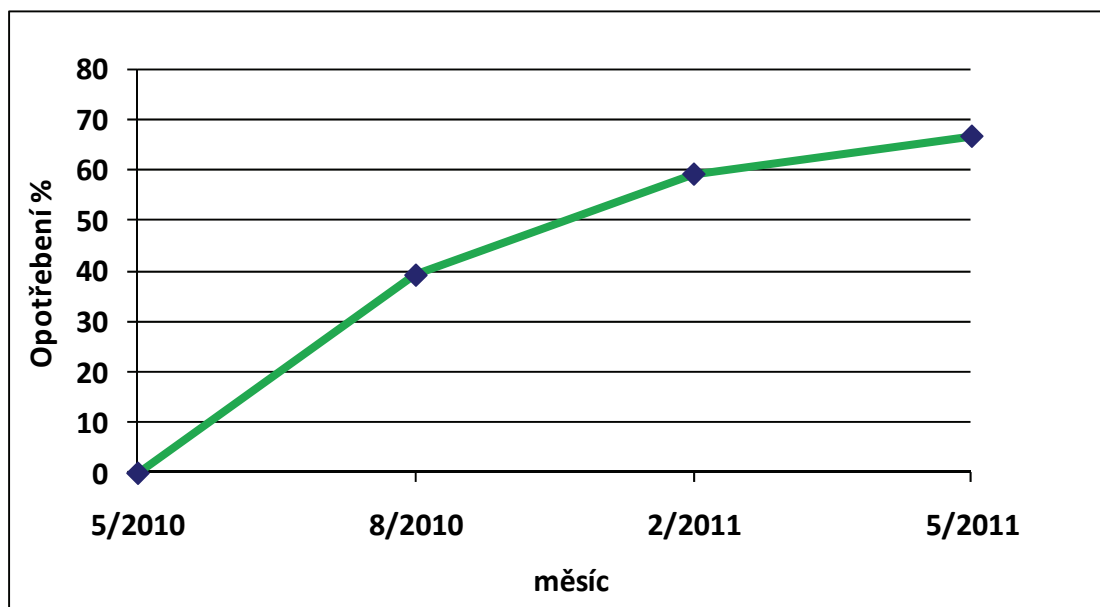
Tab. 3 Časové opotřebení povlakovaného šneku v procentech

Datum	5/2010	8/2010	2/2011	5/2011
Opotřebení v %	Nový šnek	39,2	59,2	66,7

Po prvních třech měsících, kdy se šnek přeměřuje, bylo opotřebení až neuvěřitelných 39%. Takový nárůst byl v prvním momentu považován za špatně provedené měření, které se opakovalo. Druhé měření potvrdilo správnost prvního.

Po kontrole bezchybné montáže šneku do vytlačovacího stroje bylo rozhodnuto v pokračování výroby a přeměření v pravidelné době, z důvodů vykazování zlepšení kvality výrob-

ního procesu. Po půl roce se měřením zjistilo, že opotřebení se o 20% zvýšilo. Tento nárůst již není tak extrémní a lze říci, že jde považovat za normální.



Obr. 26 časové opotřebení obou šneků v procentech

Jelikož hodnota dosáhla téměř 60%, zkrátila se frekvence měření. Další kontrola byla tedy provedena po třech měsících (z původních 6 měsíců). Hodnota opotřebení byla o dalších 7% vyšší.

Pokud bychom první měření nebrali v potaz a považovali za neplatné a uvažovali s nulovým opotřebením, tak za následující období byl nárůst o 20%. V případě, že by se měření provádělo každý kvartál v roce, dalo by se konstatovat, že opotřebení je téměř lineární.

Z naměřených hodnot a uvažovaného lineárního nárůstu opotřebení jde vypočítat, že šnek bude mít za dalších 6 měsíců bezmála 90% opotřebení a bude nutná výměna.

Příčiny opotřebení jsou stejné jako u předešlých vytlačovacích šneků. Zpracovávají se stále stejné směsi a výroba se navýšila jen zanedbatelně o 1%.

5 POROVNÁNÍ POVLAKOVANÉHO A NEPOVLAKOVANÉHO ŠNEKU

Rozhodnutí o výměně původního nepovlakovaného šneku vytlačovacího za povlakovaný vycházelo ze sledování výrobního procesu. Pro pokrytí výrobní poptávky bylo nutné zvýšit výrobu, to ale zrychlilo opotřebení a následně zhoršilo kvalitu. Pro zmírnění opotřebení, ale hlavně zlepšení kvality výroby se hledalo řešení, které se naskýtá v nových a kvalitnějších materiálech.

Nový vytlačovací šnek opatřený povlakem je rok v plném provozu a je dostatek informací na vyhodnocení přínosu porovnáním obou šneků. V prvním bodu porovnáme celkovou životnost, která zatím není ještě u konce, ale z výsledků měření opotřebení se dá vypočítat předpokládaná životnost povlakovaného šneku oproti původnímu nepovlakovanému.

Kvalita a zlepšení procesu vytlačování je další velmi sledovaný bod. Porovnáním zjistíme, jaký vliv má vrstva povlaku na jednotlivé parametry výrobního procesu, kterými jsou například teplota, rychlost linky, rychlost otáček šneku atd.

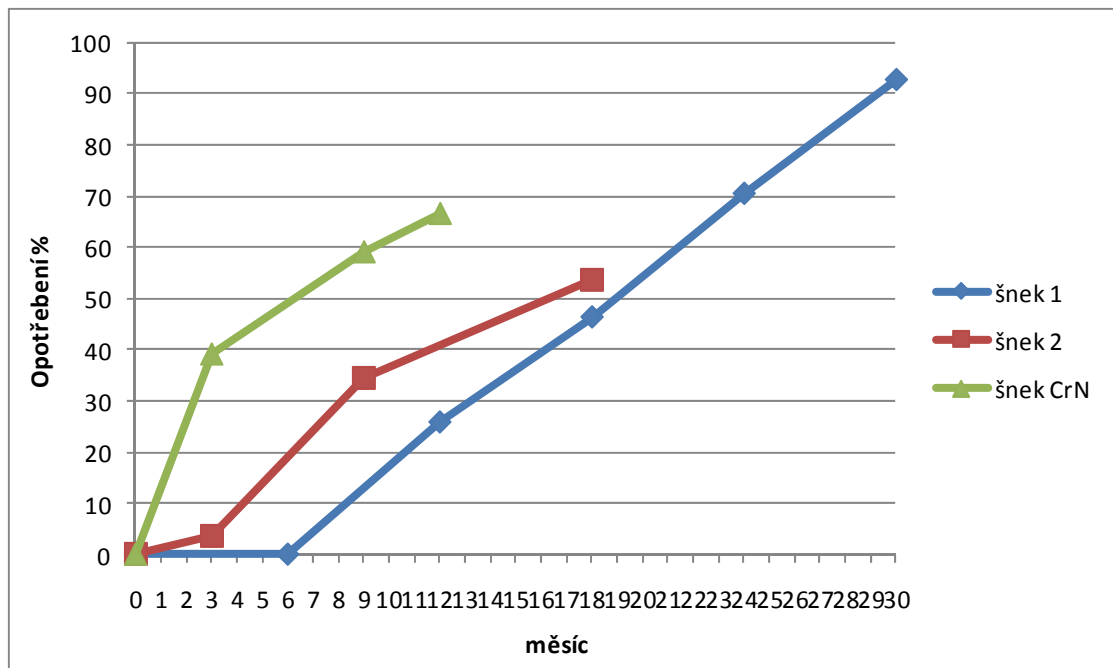
Posledním, neméně důležitým porovnáním, je ekonomická stránka.

5.1 Porovnání životnosti vytlačovacích šneků

Životnost šneku v tomto případě závisí, jaký materiál byl použit na jeho výrobu. Každý má jiné vlastnosti, které ovlivňují životnost. Oba mají jádro ze stejného materiálu, ale povrch, který je nejdůležitější, mají rozdílný.

Vlastnosti nitridu chromu jsou výrazně lepší. Vysoká tvrdost povrchu a snížení tření materiálu s povrchem snižuje opotřebení a tak narůstá doba životnosti. Materiálově má tedy jednoznačně navrch povlakovaný šnek.

Jednoduché, rychle a výstižné porovnání je z dat uskutečněných měření opotřebení. Více dat je u nepovlakovaného šneku, protože byl použit vícekrát, zatím co povlakovaný je v provozu pouze rok a jeho životnost do dnešního dne nebyla u konce. Na obrázku 27 jsou pro informaci znázorněna všechna doposud provedená měření.



Obr. 27 Srovnání šneků v procentuálním opotřebení

Na obrázku 27 je uvedena závislost procentuálního opotřebení všech šneků, které byly nainstalovány ve vytlačovacím stroji, po měsíčních intervalech. Výsledek je viditelný hned na první pohled.

Největší životnost měl původní šnek (na obr. 27 je to šnek 1). Pokud pomineme jeho poslední dvě měření a budeme brát v úvahu jen data do 18. Měsíce je provozu, protože zbylé dva šneky byly přibližně 18 měsíců ve stroji, i tak bude mít nejmenší procentuální opotřebení, tudíž i nejdelší životnost.

Toto grafické porovnání uvedené na obrázku 27 však odporuje faktu, že šnek s povlakem CrN má kvalitnější a tvrdší povrch a měl by mít tedy větší životnost. Po důkladném procházení všech výsledků bylo zjištěno, že použitá metoda měření nebyla vhodná z důvodu přesnosti měření.

Použitou metodou pomocí spárových měrek naměříme vůli mezi šnekem a válcovou vložkou. Tato vůle však není pouze opotřebení šneku vytlačovacího stroje, ale započítává i opotřebení válcové vložky. U vytlačovacích strojů se při konstrukci navrhuje válcová vložka s větší tvrdostí povrchu, než má vytlačovací šnek. Je to z důvodu jednodušší, rychlejší a méně nákladné výměny opotřebovaného šneku, oproti výměně vložky. Z tohoto dů-

vodu je i při měření bráno opotřebení vložky za nulové a zjištěná hodnota vůle je považována za přímé opotřebení šneku.

Pro zjištění opotřebení samotné vložky válce vytlačovacího stroje musela být použita jiná metoda. Pro přesné změření by muselo být použito úchylkoměru na zjištění průměru. To by ale musel být z válce vytáhnut šnek a to je časově i finančně nákladné. Z tohoto důvodu byl průměr vložky změřen nepřesnou metodou za pomoci posuvného měřidla. Výsledek je však jen orientační, protože zvolená metoda je na měření průměru nevhodná.



Obr. 28 Měření vložky válce vytlačovacího stroje

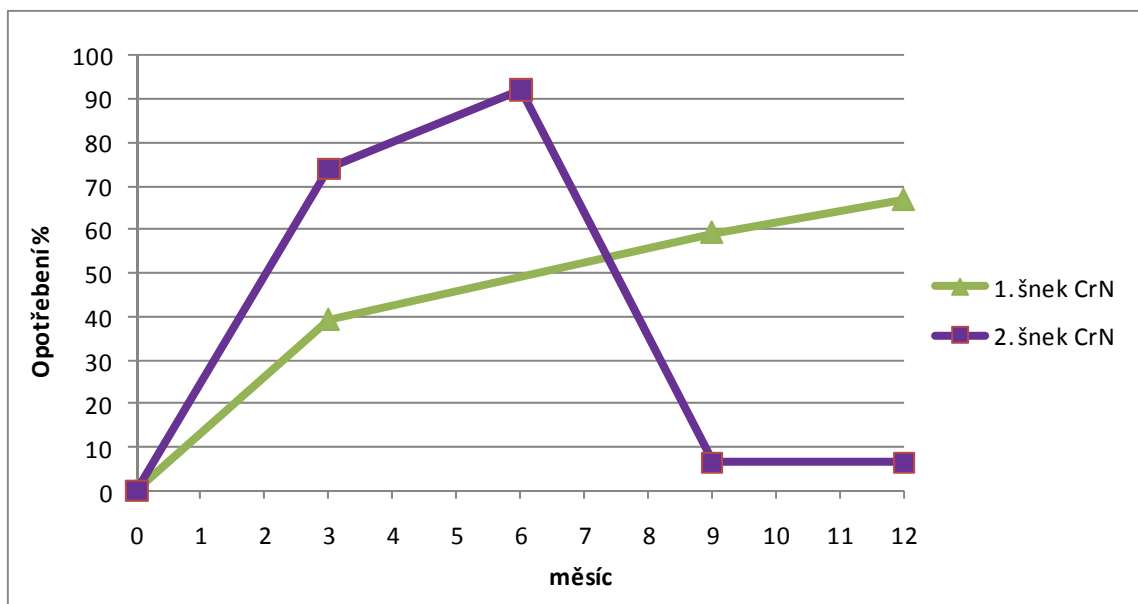
Přesto tato orientační hodnota ukazuje na opotřebení vložky a to by znamenalo, že hodnoty vůle, které byly naměřeny pomocí spárových měrek, odpovídají opotřebení vložky. Šnek CrN by potom měl opotřebení téměř nulové. Životnost vložky válce se udává 2 – 3 násobek životnosti šneku. Podle šneku 1 (nepovlakovaný), který měl životnost 30 měsíců, by vložka měla vydržet 60 – 90 měsíců.

V roce 2005 byly vložky nainstalovány do vytlačovacího stroje a od té doby nebyly vyměněny. Poslední měřená hodnota vůle mezi šnekem a vložkou v 5/2011 byla 67%, což by odpovídalo na opotřebení vložky a ne šneku. Orientační hodnota za pomoci posuvného měřidla zaznamenala hodnotu průměru 151,4mm a to by za použití vzorce na výpočet opo-

třešení v procentech z pracovní instrukce, odpovídalo 71%. To se liší pouze o 4% od měření vůle pomocí spárových měrek. Ukazuje to tedy na opotřebení vložky válce.

Další důkaz toho, že toto měření není vhodné na zjištění opotřebení šneku, je sledování opotřebení na jiném vytlačovacím stroji stejných parametrů. Tento stroj je zařazen v jiné vytlačovací lince, ale zpracovává stejné směsi na vrstvu podběhounu a má přibližně stejné parametry procesu.

Šnek se stejnou povrchovou úpravou povlakem CrN, byl namontován ve stejném roce jako námi sledovaný šnek. Z obdržení hodnot měření byl vypracovaný graf, ve kterém je srovnání opotřebení obou šneků s povlakem.



Obr. 29 Porovnání dvou šneků s povlakem CrN

Z obrázku 29 je patrné, že oba šneky po třech měsících měli velké opotřebení. U druhého šneku se po šesti měsících, kdy opotřebení dosáhlo 90%, vyměnily vložky válce. Po této výměně opotřebení kleslo na pouhých 6,5%. Tato hodnota už ukazuje opotřebení šneků, protože vložky jsou nové a šnek byl v činnosti devět měsíců.

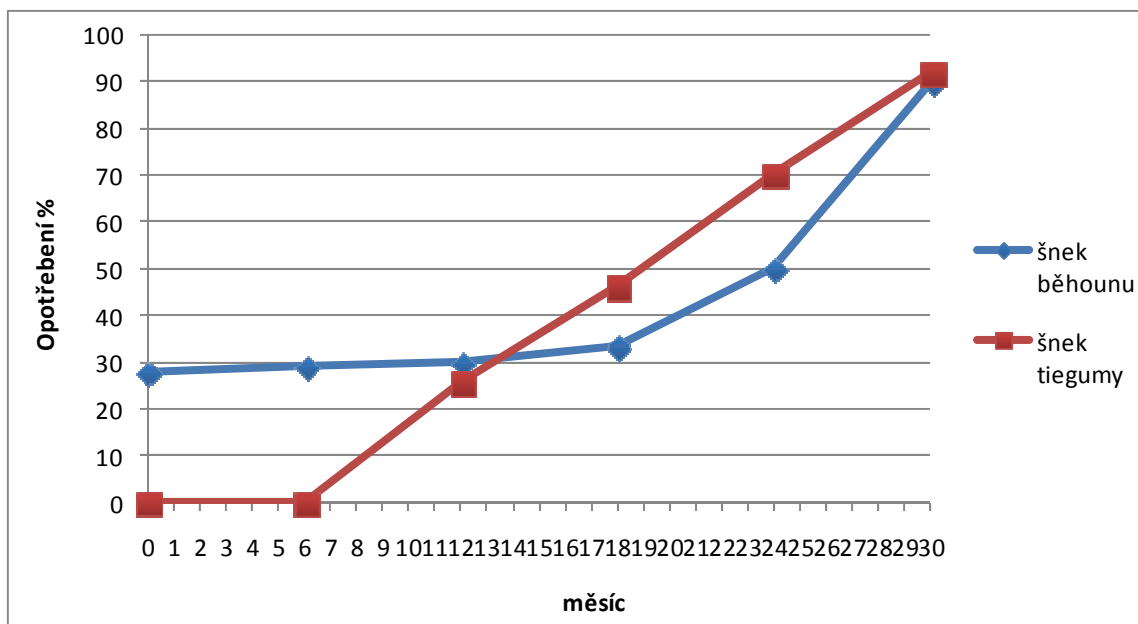
První šnek s povlakem byl nainstalován do stroje s opotřebovanými vložkami, a proto měření není objektivní. Pro přímé změření opotřebování šneků by musel být demontován ze

stroje a přeměřen samotný šnek. To je ale časově a finančně nákladné, tudíž zvolená metoda je dostačující, musí se ale počítat s opotřebením vložky.

Porovnáním těchto dvou situací je tedy jasné, že šnek s povlakem nitridu chromu má opotřebení minimální a je kvalitnější než původní šnek.

Na životnost šneku ať s povlakem nebo bez, má velký vliv složení směsi, které vytlačovací stroj zpracovává. Na stroji, kde je testovaný šnek, se zpracovávají směsi, ze kterých je vytlačována vrstva podběhounu (tiegumy) z celého profilu běhounu. Tato směs je všeobecně více abrazivní než směsi na výrobu vrstvy běhounu.

Porovnáním opotřebení stejných šneků původního povrchu, které jsou zařazeny v jedné vytlačovací lince, dostaneme jasnou ukázkou jaký vliv má směs na životnost šneku.



Obr. 30 Porovnání šneku běhounu a šneku tiegumy

Šnek na podběhounovou vrstvu byl nainstalován nový a jeho životnost byla přesně 30 měsíců. Běhounový šnek měl za stejné časové období opotřebení viditelné z obrázku 30, ale je nutno podotknout, že byl nainstalován o tři roky dřív. Jeho životnost činí 5,5 roku, takže více, jak dvakrát tolik, než podběhounový šnek.

Na životnosti těchto šneků je vidět, jaký vliv má druh zpracovávané směsi. Vytlačovací stroj určený na zpracování směsi na podběhoun má nízkou životnost šneku. Prodloužení životnosti a zlepšení podmínek vytlačování se podařilo právě povlakem nitridu chromu.

Povlak dosahuje nižší hodnoty tření, a proto odolává i silně abrazivním směsím a životnost se zvyšuje.

5.2 Porovnání procesu vytlačování

Do procesu vytlačování patří několik operací, které jsou důležité pro kvalitní výrobu. Povlak šneku ovlivňuje operaci vytlačování profilu. Porovnáme jednotlivé hodnoty procesu u jednotlivých šneků.

Rychlost celé vytlačovací linky se odvíjí od parametrů jednotlivých vytlačovacích strojů. Pokud tedy budeme chtít zvýšit rychlost, musíme být schopni zvýšit otáčky šneků. Tím se zvýší také teplota směsí, protože dochází k intenzivnější přeměně práce v teplo. Toto má zase vliv na kvalitu vytlačovaného materiálu a na změnu požadovaného profilu.

U původního šneku, byla linka dimenzována na optimální rychlost. Problém nastal při požadavku větší výroby. Při zrychlení docházelo k častějšímu znehodnocení směsi předčasným zvučkanizováním z důvodu větší teploty.



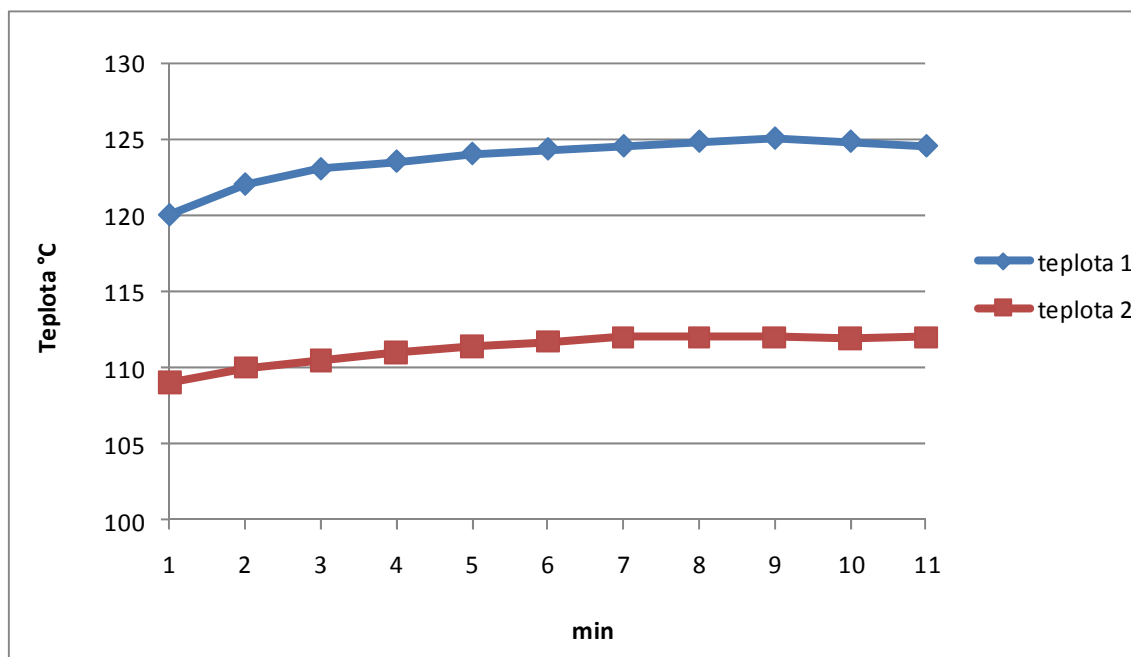
Obr. 31 Zvučkanizovaná směs

Při optimální rychlosti se otáčky v průměru pohybovaly kolem 20 ot/min. Teplota směsi byla ideální kolem 105°C. Po vytlačení profilu a následného ochlazení, měla i vrstva podběhounu správné vlastnosti například vynikající lepivost.

Při větším opotřebení docházelo ke zpětnému toku, a to zapříčinilo nárůst teploty až o 10°C. Do toho se ještě přidalo potřebné zrychlení linky k vyšší kapacitě a zvýšení otáček šneku. Teplota šla opět nahoru, až k hranici kdy dochází k vulkanizaci. Následkem byla změna stálosti profilu, zhoršení lepivosti vrstvy podběhounu a také časté znehodnocení výrobku navulkanizovanou gumou.

Výměnou šneku za povlakovaný byla změna ihned znatelná. Teplota směsi klesla v průměru o 10°C. Ve směsi se už neobjevovaly navulkanizované kousky. Povrch šneku má nižší koeficient tření a z toho důvodu není směs tolik namáhána, ale byla stále důkladně zhomogenizována.

Tento pokles teploty dovolil další zrychlení linky a vyprodukovalo se přibližně o 15% více kusů běhounů. Další, sice už ne tak znatelná změna, byla ve stálosti procesu vytlačování. S novým povrchem šneku nedochází k časté změně tlaku směsi dodávané do hlavy vytlačovacího stroje a tím se ustálil profil. Regulace hodnot řídicím systémem je přesnější a proces je téměř automatický bez nutnosti zásahu obsluhy linky.



Obr. 32 Porovnání teplot směsi při vytlačování

Porovnáním hodnot teploty při vytlačování směsi původním nepovlakovaným šnekem a povlakovaným šnekem, je z obrázku 32 vidět teplotní rozdíl, jaký nastal po výměně šneku. Vytlačován byl stejný výrobek, ze stejné kaučukové směsi, za stejných otáček šneku a stejného odtahu vytlačovací běhounové linky.

Při zajíždění rozměru teplota v prvních minutách stoupá. Důvodem je zahřívání a homogenizace směsi v přechodovém pásmu vytlačovacího stroje. Po ustálení vytlačovacího procesu se teplota pohybuje na určité hodnotě až do konce vytlačování.

V případě vytlačování původním šnekem dosáhla teplota nastavené maximální hodnoty a z bezpečnostních důvodů se rychlost odtahu linky zpomalila. Tím došlo k poklesu teploty. U vytlačování povlakovaným šnekem byla teplota dostatečně pod maximální hodnotou a proces vytlačování probíhal po celou dobu v předepsaných rychlostech.

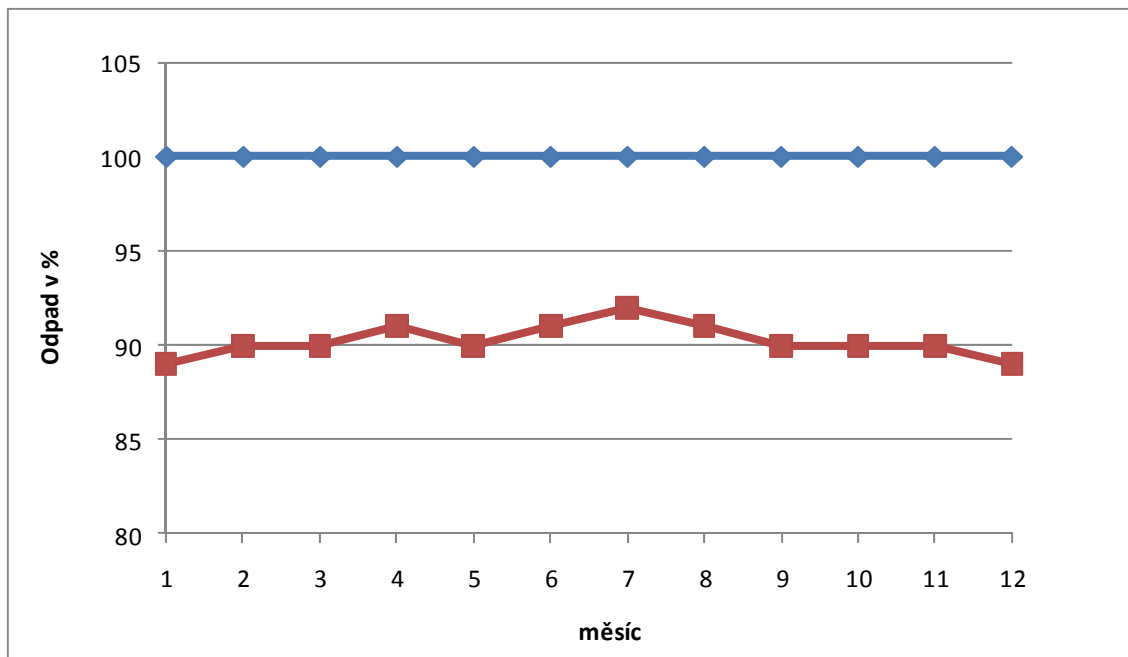
5.3 Porovnání ekonomické

Toto porovnání zajímá nejvíce většinou vedení firem a ekonomy, kteří chtějí vědět, zda se vyplatí investovat do kvalitnějšího pracovního nástroje, či nikoli. Nejdůležitější je návratnost investice, od které se veškeré rozhodování odvíjí.

Cenové srovnání nových vytlačovacích šneků je poměrně jednoduché. Povlakovaný šnek svými vlastnostmi jednoznačně převyšuje původní nepovlakovaný šnek. Kvalitnější a lepší materiál je taky dražší a tím pádem i cena jde nahoru. Cenový rozdíl mezi šneky je v řádu statisíců.

Nepovlakovaný šnek je standardně doporučován k tomuto vytlačovacímu stroji, proto veškeré srovnání bude rozdíl vztažený k hodnotám od tohoto šneku.

Nový šnek, jak již bylo vyhodnoceno, zlepšil proces vytlačování. To má vliv na velikost vratného odpadu, který se vyprodukuje při najíždění nebo ukončení výroby daného profilu. V průběhu vytlačování se vratný odpad vyskytne jen v případě zakolísání tlaku, čímž se změní parametry výrobku.



Obr. 33 Porovnání procenta odpadu

V obrázku 33 je porovnání procenta odpadu od celkového odpadu při výrobě se šnekem bez povlaku. Množství odpadu se snížilo v průměru o 9%, což je snížení v řádech stovek tun. Každá tuna vratného odpadu stojí přibližně tisíc korun. O procenta sníženého odpadu se navýšilo množství vyrobených kusů. Další zisk přináší zvýšení kapacit vytlačování díky možnosti zvýšit rychlost z důvodů nižších teplot.

Větší nárůst odpadu je vidět opět v období od dubna do října z důvodu najíždění zimních kaučukových směsí, které mají větší nestálost procesu při vytlačování. Další důvod je ve zvýšení sortimentu výrobků. To znamená, že je více změn rozměrů a při každé změně se vyřadí určité množství špatných kusů do odpadu z nájezdu a dojezdu.

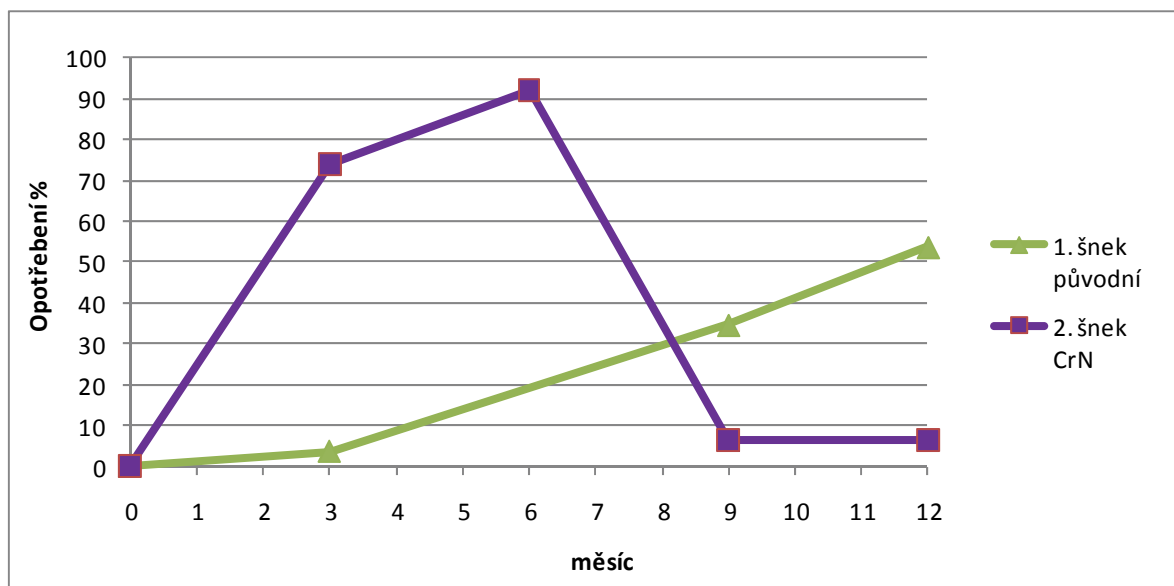
Takové snížení odpadu a nárůst vyrobených kusů je hlavním ziskem, který vrátí investované peníze do povlakovaného šneku přibližně za 9 měsíců. Delší životnost šneku se promítne do dalšího ušetření za náklady na výměnu šneku.

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem experimentální bakalářské práce bylo porovnat povlakovaný a nepovlakovaný šnek vytlačovacího stroje z hlediska opotřebení. Vytlačovací stroj byl určen pro výrobu profilů (běhoun, bočnice) z gumárenské směsi. Povlakovaný šnek byl opatřen vrstvou CrN, která je vysoce odolná vůči opotřebení. Měření opotřebení u jednotlivých šneků vytlačovacího stroje bylo prováděno pomocí spárových měrek. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Porovnávané šneky jsou ze stejného materiálu, stejných parametrů, liší se pouze v povrchové úpravě. Každá úprava má rozdílné vlastnosti, které ovlivňují jak životnost, tak proces vytlačování. Porovnání bylo rozděleno do tří částí, důležitých pro případné rozhodnutí o lepší povrchové úpravě.

Životnost šneku je dána opotřebením, které je ovlivněno vlastnostmi povrchu. Pro zjištění hodnot opotřebení, kdy je šnek v plné sériové výrobě, bylo použito interní podnikové instrukce měření. Z výsledků byl sestaven graf pro lepší představu odlišnosti (obr. 34).



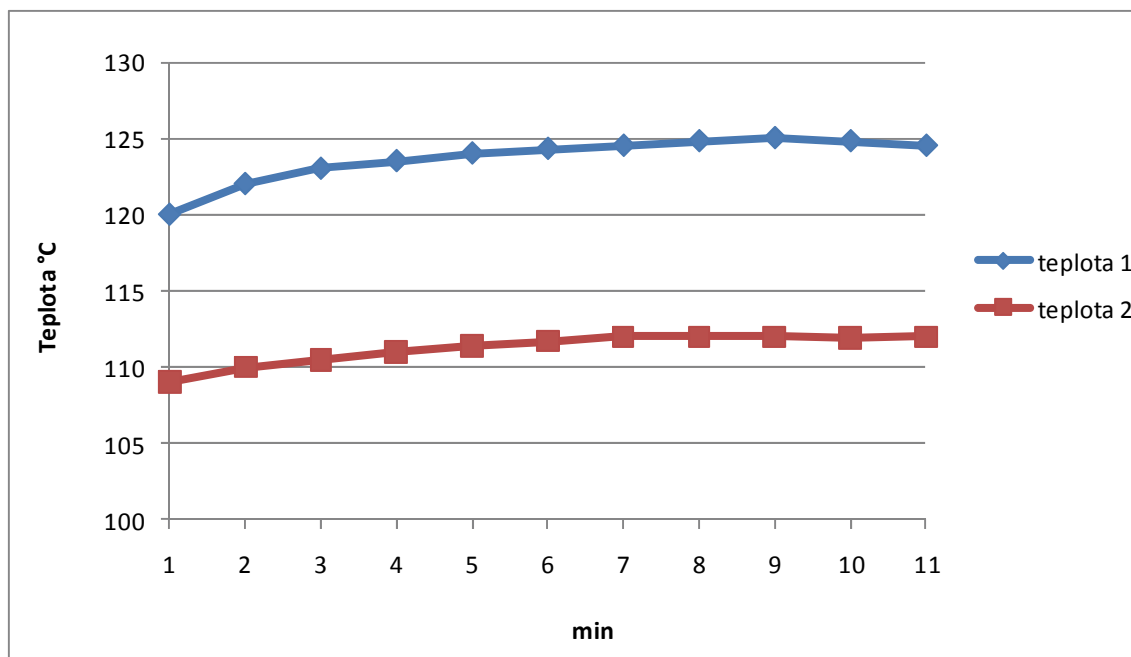
Obr. 34 Porovnání procentuálního opotřebení vytlačovacích šneků

Při vyhodnocování měření byla zjištěna nedokonalost měřící metody na přesné zjištění opotřebení šneku. Touto metodou bylo do výsledků započítáno i opotřebení vložky vytla-

čovacího válce. Původní šnek vytláčovacího stroje měl nové vložky, tudíž měření lze považovat za správné. Nový povlakovaný šnek byl instalován do opotřebovaných vložek, proto je u prvních hodnot vysoké procento, které značí opotřebení vložky. Po výměně vložek byly hodnoty měření již opotřebení šneku.

Z výsledků lze říci, že po zdokonalení měření vychází nižší hodnoty opotřebení šneku povlakovaného a tudíž jeho delší životnost.

Vliv druhu povrchové úpravy na vytláčovací proces je dříve znatelný, než opotřebení. Nejprve byl instalován nepovlakovaný šnek, který byl z důvodů potřeby navýšit kapacity, vyměněn za povlakovaný pro teoreticky lepší vlastnosti.



Obr. 35 Porovnání teplot směsi při vytlačování

Výměnou šneku se dosáhlo snížení teploty směsi pod maximální dovolenou teplotu při vytlačování. Celkový proces vytlačování se ustálil, čímž se zjemnila regulace hodnot řídicího systému a zdokonalil se profil výrobku. Snížení teploty je způsobeno nižším koeficientem tření, tím se také snížilo množství znehodnocené směsi navulkanizováním.

Z grafických a popsanych výsledků je zřejmé, že vliv povrchové úpravy povlakováním, je velkým přínosem pro sériovou výrobu ve zlepšení procesu.

ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce řeší porovnání nepovlakovaného a povlakovaného vytlačovacího stroje, určeného pro výrobu profilů z gumárenské směsi. Porovnávání probíhalo za plného provozu v sériové výrobě, kdy ve vytlačovacím stroji byl nejprve standardně dodáván šnek od výrobce. Po vyhodnocení výroby, kvality vytlačování a životnosti šneku došlo k výměně za povlakovaný šnek (povlak CrN – chrom nitrid). V sériové výrobě je rok od instalování.

Z důvodu, že vytlačovací stroj je velmi strategickým a důležitým pro výrobu pneumatik, nebylo možné šnek demontovat z vytlačovacího stroje pro přesné přeměření opotřebení. Toto měření probíhalo podle interní pracovní instrukce, podle které se měření opotřebení uskutečňovalo pomocí zjištění vůle mezi šnekem a vložkou válce pomocí spárové měřky.

Při měření byla zjištěna nedokonalost v podobě nepřesného měření. Tato nepřesnost spočívala ve sčítání opotřebení jak šneku, tak i vložky. Proto není vhodná na uvádění opotřebení. Vzhledem k tomu, že je to nejjednodušší, nejrychlejší a nejlevnější metoda, kterou se dokáže přibližně určit velikost opotřebení, aniž by se musel šnek demontovat, je tedy pro tuto situaci dostačující.

Podle porovnávání pracovního procesu, byl vyhodnocen povlakovaný šnek jako lepší a výhodnější. Vlastnosti, které jsou deklarovány pro tento povlak a mají vliv na proces vytlačování, byly skutečně zaznamenány a odpovídaly.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I.* Brno : CERM, 2001. 505 s. ISBN 8072041932.
- [2] ŠESTÁK, Jaroslav; STRNAD, Zdeněk; TRÍSKA, Aleš. *Speciální technologie a materiály.* Vyd. 1. Praha : Academia, 1993. 688 s. ISBN 80-200-0148-4.
- [3] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie.* 1. vyd. Brno : VUT, 1992. 273 s. ISBN 8021403993.
- [4] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy.* 1. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2000. 216 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [5] Vyšlo v MM 2003 / 4, 23. dubna 2003 v rubrice Trendy / Slévárenství, strana 52
- [6] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů.* Vyd. 1. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [7] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II.* 2., opr. a rozš. vyd. Brno : CERM, 2002. 392 s. ISBN 8072042483.
- [8] Barum Continental spol. s.r.o., Otrokovice, *Gumárenská technologie.* 2004, počet stran 80.
- [9] Berstorff GmbH, An der Breiten Wiese, 30165 Hannover, Deutschland, *Berstorff – Extrusionstechnik für Kunststoff- und Gummiprodukte* [online]. 2006, 2011-05-20 [cit. 2011-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.kraussmaffe.com/en/>.
- [10] Oerlikon Balzers Coating Austria GmbH [online]. 2006 - 2010, 2011-05-20 [cit. 2011-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.oerlikonbalzerscoating.com>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

L	Délka šneku [mm]
D	Průměr šneku [mm]
°C	Stupně celsia
MTC	Machine Tolerance Checking
PVD	Physical Vapour Deposition
CVD	Chemical Vapour Deposition
TiN	Nitrid titanu
CrN	Nitrid chromu
Ti	Titan
HV	Tvrdomost podle Vickerse
O	Opotřebenost
N	Naměřená vůle
V	Výrobní vůle
Lm	Limitní vůle
min	minuty

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vytlačovací stroj se třemi šneky pro vytlačování sdružených profilů.....	11
Obr. 2 Vytlačovací stroj.....	12
Obr. 3 Kazeta.....	13
Obr. 4 Příklad vytlačovacích šneků.....	14
Obr. 5 Funkční zóny šnekového vytlačovacího stroje.....	15
Obr. 6 Kolíkový vytlačovací stroj.....	16
Obr. 7 Princip měření šneku.....	17
Obr. 8 Depoziční technologie.....	19
Obr. 9 Dvouvrstvý povlak.....	20
Obr. 10 Multivrstvý povlak.....	20
Obr. 11 Princip vytvoření povlaku metodou PVD a CVD.....	21
Obr. 12 Schéma principu CVD metody.....	22
Obr. 13 Schéma principu PVD metody – napařování.....	23
Obr. 14 Vzhled povlaku TiN.....	24
Obr. 15 Vzhled povlaku CrN.....	25
Obr. 16 Vytlačovací linka – Quadroplex.....	28
Obr. 17 Popis vytlačovacího šneku.....	29
Obr. 18 Původní šnek.....	30
Obr. 19 Popis měření šneku.....	31
Obr. 20 časové opotřebení šneku v procentech.....	32
Obr. 21 časové opotřebení šneku v procentech.....	34
Obr. 22 časové opotřebení obou šneků v procentech.....	34
Obr. 23 Popis šneku.....	35
Obr. 24 Povlakovaný šnek.....	35
Obr. 25 Měření opotřebení spárovou měrkou.....	37

Obr. 26 časové opotřebení obou šneků v procentech	38
Obr. 27 Srovnání šneků v procentuálním opotřebení	40
Obr. 28 Měření vložky válce vytlačovacího stroje	41
Obr. 29 Porovnání dvou šneků s povlakem	42
Obr. 30 Porovnání šneku běhounu a šneku tiegumy	43
Obr. 31 Zvulkanizovaná směs	44
Obr. 32 Porovnání teplot směsi při vytlačování	45
Obr. 33 Porovnání procenta odpadu	47
Obr. 34 Porovnání procentuálního opotřebení vytlačovacích šneků	48
Obr. 35 Porovnání teplot směsi při vytlačování	49

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Časové opotřebení šneku v procentech	32
Tab. 2 Časové opotřebení šneku v procentech	33
Tab. 3 Časové opotřebení povlakovaného šneku v procentech	37

SEZNAM ROVNIC

Rov. 1 Rovnice pro výpočet opotřebení v procentech.....	18
Rov. 2 Rovnice výpočtu opotřebení	31