

Vytlačování plastů: Vliv povrchových úprav stroje a nástroje na proces

Petr Holub

Bakalářská práce
2009/2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr HOLUB

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Vytlačování plastů: Vliv povrchových úprav stroje
a nástroje na proces

Zásady pro vypracování:

Teoreticky zpracujte současný stav poznání v oblasti vytlačování plastů.

Zvláštní pozornost věnujte vlivu povrchových úprav vnitřních částí vytlačovacího stroje a vytlačovací hlavy na kvalitativní a kvantitativní parametry celého procesu.

Z pohledu materiálové základny se přednostně věnujte vytlačování polyvinylchloridu a akrylonitril-butadien-styrenovému kopolymeru.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

J. Štěpek, J. Zelinger, A. Kuta -- Technologie zpracování a vlastnosti plastů -- SNTL
Praha 1989

M. Starý, I. Pohl, B. Kašík, B. Štekner - Termopolymery ABS, zpracování a použití-- SNTL
Praha 1977

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: 19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2010

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

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 19.5.2010



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 nevdělečně 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 vzdělávacího 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). Odpírá-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 úlohou povrchových úprav vnitřních ploch strojů a nástrojů při zpracování termoplastů pomocí technologie vytlačování. Jako případová studie byla vybrána problematika výroby profilu na bázi polyvinylchloridu, kde s přechodem na bezolovnatý materiál došlo k významnému posunu ve stabilitě procesu a životnosti strojů a nástrojů. Vhodnou povrchovou úpravou vnitřních ploch strojů a nástrojů došlo k významnému vylepšení procesu i životnosti, což dokumentuje i ekonomická analýza.

Klíčová slova: vytlačování, polyvinylchlorid, ABS kopolymer, povrchová úprava

ABSTRACT

The Bachelor thesis focuses on the role of surface treatment of internal walls in both the extruders and the dies employed for the processing of thermoplastics. Chosen case study was targeted on the processing of polyvinylchloride-based materials. The change of the material from common to lead-free formulation led to a significant decrease of the process stability and the durability of extruders and dies. Subsequent surface modifications of internal walls of the extruders and the dies significantly improved the process and the durability, what was also reflected by economic indicators.

Keywords: extrusion, polyvinylchloride, ABS copolymer, surface treatment

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Romanu Čermákovi Ph.D. za pomoc při vypracování mé práce.

Prohlašuji, že jsem na vypracování této bakalářské práce pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne 25.5.2010

.....

Podpis

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 8 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 9 |
| 1 POPIS PROCESU VYTLAČOVÁNÍ | 10 |
| 1.1 ZPRACOVÁVANÉ MATERIÁLY | 10 |
| 1.1.1 POLYVINYLCHLORID (PVC)..... | 10 |
| 1.1.1.1 Výroba vinylchloridu..... | 11 |
| 1.1.1.2 Výroba polyvinylchloridu..... | 12 |
| 1.1.1.3 Vlastnosti polyvinylchloridu | 13 |
| 1.1.2 KOPOLYMER AKRYLONITRILU BUTADIENU A STYRENU..... | 14 |
| 1.1.2.1 Výroba akrylonitrilu | 15 |
| 1.1.2.2 Výroba butadienu..... | 16 |
| 1.1.2.3 Výroba styrenu..... | 18 |
| 1.1.2.4 Výroba ABS..... | 18 |
| 1.1.2.5 Vlastnosti ABS | 22 |
| 1.2 STAVEBNÍ DÍLY A SOUČÁSTI VYTLAČOVACÍHO STROJE | 23 |
| 1.2.1 Konstrukce stroje | 23 |
| 1.2.2 Upevnění nástroje..... | 23 |
| 1.2.3 Plastifikační jednotka | 24 |
| 1.2.4 Vstupní zóna..... | 24 |
| 1.2.5 Motor /převodovka..... | 24 |
| 1.3 FUNKCE VYTLAČOVACÍHO STROJE..... | 24 |
| 1.3.1 Plastifikační jednotka | 24 |
| 1.3.2 Vstupní zóna..... | 25 |
| 1.3.3 Motor/převodovka | 25 |
| 1.3.4 Obslužné elementy | 26 |
| 1.4 TECHNICKÉ POSTUPY PROCESŮ | 28 |
| 1.4.1 Šnek..... | 28 |
| 1.4.2 Tavenina..... | 29 |
| 1.4.3 Nástroj | 34 |
| 1.4.3.1 Přímé vytlačovací hlavy..... | 35 |
| 1.4.3.2 Nepřímé vytlačovací hlavy | 36 |
| 1.4.3.3 Širokoštěrbinové vytlačovací hlavy..... | 36 |
| 1.4.3.4 Speciální vytlačovací hlavy | 37 |
| 1.4.4 Kalibrační zařízení | 38 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 39 |
| 1. POPIS VÝROBKU | 40 |
| 2 PARAMETRY VYTLAČOVACÍHO PROCESU | 43 |
| 2.1.1 Změna vytlačovacího procesu v souvislosti s nasazením nové receptury PVC1962 R0040 do sériové výroby | 46 |
| 2.1.2 Analýza nevyhovujícího procesu | 49 |
| 2.1.3 Materiálová analýza | 49 |
| 2.1.4 Povrchové úpravy šneků | 52 |
| 2.1.5 Antiadhezní vlastnosti tvrdo-chromových povlaků | 55 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.1.6 | Odolnost proti mechanickému opotřebení tvrdo-chromových povlaků..... | 55 |
| 2.1.7 | Vlastnosti chromového povlaku v korozivním prostředí..... | 56 |
| 2.1.8 | Opotřebení vytlačovacích hlav..... | 56 |
| 2.1.9 | Optimalizace vytlačovacích hlav | 58 |
| 2.1.9.1 | Nitridace vytlačovací hlavy | 58 |
| 2.1.9.2 | Alternativní materiál ELMAX..... | 59 |
| 2.1.10 | Zkoušky alternativního PVC 1962R0050 | 63 |
| ZÁVĚR..... | | 66 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | | 67 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | | 69 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | | 70 |
| SEZNAM TABULEK..... | | 72 |

ÚVOD

V dnešní době náleží podstatné místo ve vývoji výrobků v automobilovém průmyslu termoplastům, které výborně splňují požadavky z hlediska nízké pořizovací hodnoty a zároveň dobré zpracovatelnosti během výroby koncového produktu. Především díky velkým možnostem ve výběru polymerních materiálů lze nalézt vždy takový druh materiálu, který bude mít pro danou aplikaci nejpříhodnější vlastnosti. Mnohé tradiční kovové prvky exteriéru a interiéru vozů jsou postupně nahrazovány výrobky z plastů, pro jejichž výrobu se používá tradičních tvářecích technologií

Jednou z nich je vytlačování plastů, díky kterému vzniká celá škála těsnících a lemovacích profilů, bočních ochranných lišt jakož i dekoračních doplňků pro interiéry vozů. V této práci je popsán vliv povrchových úprav vnitřních částí vytlačovacího stroje při extruzi prahové krycí lišty z předepsané receptury tvrdého PVC. Pro zajištění specifikovaných mechanických vlastností výsledného extruzního profilu bylo do tvrdého PVC přimícháno 40 % kopolymeru ABS s 15% podílem skleněných vláken.

V průběhu roku 2004 byl Evropskou unií nařízen přechod ze standardní receptury PVC stabilizované olověnými stabilizátory na materiál, který je stabilizován zinko-vápenatými stabilizátory. Podnětem pro změnu v receptuře PVC bylo snížení těžkých kovů v životním prostředí.

Již krátce po nasazení nové receptury PVC do sériové výroby jsme začali pozorovat výrazné přepalování materiálu v plastifikačním válci vytlačovacího stroje. Provedenou materiálovou analýzou bylo zjištěno, že nová receptura materiálu má výrazně nižší teplotní stabilitu při zkoušce hnětením oproti původnímu materiálu stabilizovanému olověným stabilizátorem. V sériové výrobě byl tento jev provázen výrazným snížením intervalu čištění vytlačovacího stroje, který vedl ke značným hospodářským ztrátám.

V následujícím textu bude podrobně popsán proces vytlačování plastů včetně vlastností zpracovávaných materiálů. Závěrem bude popsáno řešení vzniklého problému a vyčíslení dosažených úspor vyplývajících ze stanovené optimalizace procesu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POPIS PROCESU VYTLAČOVÁNÍ

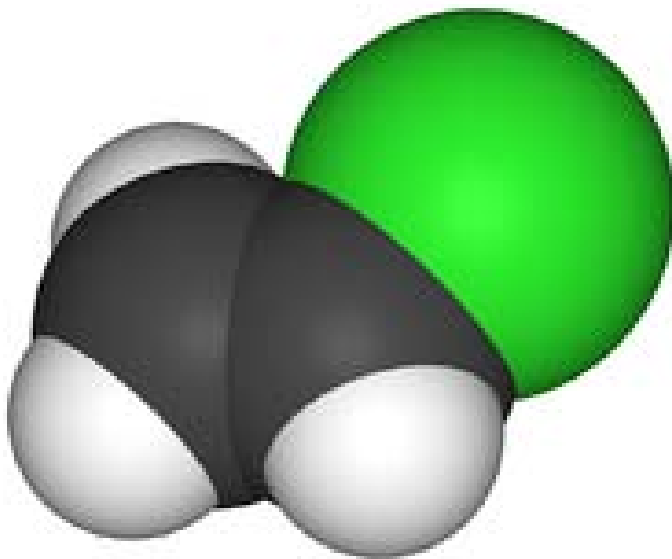
Výrazem extruze (z latinského slova extrudere = vyhánět) se rozumí kontinuální výroba polotovarů, rour nebo folií z plastů. Extruder, česky vytlačovací stroj, pracuje na principu strojku na mletí masa, proto se také často označuje jako „šnekový stroj“. Je to základní část vytlačovací linky a má za úkol dopravovat homogenní taveninu v dostatečném množství s potřebnou teplotou a tlakem do nástroje, který následuje. Úkoly vytlačovacího stroje jsou – doprava, plastifikace, stlačování, homogenizace. [1]

Požadovaný tvar získá tavenina protlačením přes tvarový nástroj, kterému říkáme vytlačovací hlava. Přesný tvar získá profil pomocí nástroje, kterému říkáme kalibrační zařízení. U podtlakového kalibračního zařízení je tavenina polymeru přisávána pomocí vakua na stěny kalibračního zařízení, kde vytlačovaný polotovar získává výsledný tvar a rozměry dle zadané specifikace. Chladícím médiem je obvykle voda, která zajišťuje rozměrovou stabilizaci profilu po průchodu taveniny kalibračním zařízením. Délka chladicích van je stanovována podle hmotnosti a rychlostí vytlačovaných profilů. Nekonečný profil je tažen kontinuální rychlostí pomocí zařízení, které se nazývá pásový odtah. Konstrukce profilových odtahů odpovídá charakteru výrobku. Jiná konstrukce odtahu se volí v případě výroby okenních profilů z PVC a jiná konstrukce se volí při vytlačování hadic z PU.




1.1 ZPRACOVÁVANÉ MATERIÁLY

1.1.1 POLYVINYLCHLORID (PVC)

Polyvinylchlorid (PVC) je jedním ze skupiny vinylových plastů. K jejich výrobě se používají základní látky zvané monomery, které se řetězově spojují během chemické reakce zvané polymerace. Vzniklé makromolekuly s dlouhým řetězcem se nazývají polymery. Vinylchlorid (obr.1-vzorec vinylchloridu) je při pokojové teplotě bezbarvý plyn nasládlé vůně. Vinylchlorid tlumí centrální nervový systém Jeho inhalace má podobné účinky, jako intoxikace alkoholem. Monomer vinylchloridu, ze kterého se vyrábí PVC byl poprvé syntetizován Justusem von Liebigem roku 1835. PVC poprvé připravil Baumann v roce 1872. První komerční výroba PVC začala ve dvacátých letech v USA. V průběhu dalších dvaceti let se začalo PVC v širším měřítku vyrábět i v Evropě.



Obrázek 1 vzorec polyvinylchloridu[3]

| | |
|-------|---|
| chlor |  |
| uhlík |  |
| vodík |  |

1.1.1.1 Výroba vinylchloridu

Tento monomer lze vyrobit třemi způsoby:

- oxychlorací
- reakcí etylenu s chlorem
- reakcí acetylenu s chlorovodíkem

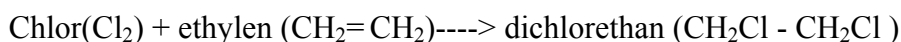
První způsob je v současné době nejrozšířenější a také nejekonomičtější

Hlavními surovinami pro výrobu vinylchloridu jsou chlor (Cl_2) a etylen ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)

Výroba je uspořádána tak, aby tyto hlavní suroviny byly úplně využity k výrobě užitečných produktů a aby z výroby neodcházely odpadní produkty, které by obsahovaly zejména organické sloučeniny chloru. Proto jsou ve výrobě kombinovány různé technologické postupy:

Výroba dichlorethanu (EDC) reakcí chloru s ethylenem (tzv-přímá chlorace)

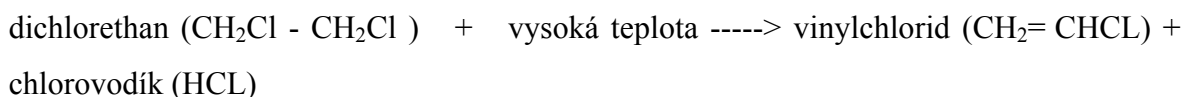
Dichlorethan je hořlavá kapalina s relativně vysokým bodem varu. V tomto výrobním stupni je vyráběn tzv.přímou chlorací etylenu, kdy mezi sebou reagují základní suroviny



Reakce probíhá velmi ochotně i při nízkých teplotách kolem 60°C. Při reakci je uvolňováno teplo. Aby byla zajištěna bezpečnost a obsah reaktoru se nepřehřál, je reaktor chlazen vodou. Meziprodukt dichlorethan je pak čištěn destilací. Při reakci vznikají i vedlejší produkty, kterými jsou organické sloučeniny chloru. Ty se dále využívají na výrobu kyseliny chlorovodíkové. [2]

Výroba monomeru vinylchloridu z meziprojektu dichlorethanu

Vinylchlorid je hlavním meziprojektu výroby. Polymerací vinylchloridu je vyráběn konečný produkt polyvinylchlorid. Reakce vyžaduje vysokou teplotu (500 - 600°C), spotřebované teplo je dodáváno spalováním zemního plynu. Reakce se provádí v trubkové peci. Reaktor na štěpení je vyroben z dlouhé tenké trubky vyrobené ze speciálního materiálu, která je uložena ve spalovacím prostoru pece, ve které se spaluje zemní plyn. Štěpení dichlorethanu na vinylchlorid je proto označováno jako pyrolýza (tepelný rozklad)



Vedlejším produktem rozkladu je chlorovodík. Současně vznikají jako vedlejší produkty vysokopecní reakce organické sloučeniny obsahující chlor. Ty jsou dále řízeným způsobem spalovány za současného vzniku kyseliny chlorovodíkové (prodejný produkt) a oxidu uhličitého. [2]

1.1.1.2 Výroba polyvinylchloridu

Polyvinylchlorid se vyrábí třemi druhy polymerací:

- emulzní
- suspenzní
- roztokovou

Při polymeraci se molekuly monomeru řetězí do dlouhých řetězců zvaných makromolekuly. Výroba polymeru PVC z monomeru vinylchloridu je náročným procesem z hlediska zajištění bezpečnosti. Provádí se ve vsázkových polymeračních reaktorech. Jsou to velkoobjemové reaktory vybavené dvojitým pláštěm k zajištění potřebné teploty vsázky reaktoru. Do reaktoru se dávkuje vedle monomeru vinylchloridu pomocné látky, voda, iniciátory, které startují polymerační reakci, emulgátory, které vytvářejí malé kapky monomeru, a další aditiva. Při reakci se uvolňuje teplo, proto je nutné teplotu v reaktoru řídit chlazením. Po ukončení reakce je z reaktoru odstraněn nezreagovaný vinylchlorid, aby neunikal do ovzduší. Získaný monomer je vrácen do procesu, vytvořený polymer je oddělen a veden do jednotky demonomerace, kde jsou z něj odstraněny stopy nezreagovaného vinylchloridu. Poté je odstředěn a sušen. Produktem je surový práškový polyvinylchlorid, který je buď prodáván přímo, nebo upravován na produkty běžné na trhu. [2]

Konečná úprava polyvinylchloridu

Surový PVC se zpracovává na dva typy produktů:

- granuláty - produkty získané v granulované formě po roztavení promíchané směsi polymeru a přísad
- uživatelské směsi – směsi práškového polymeru s přísadami podle přání zákazníků.

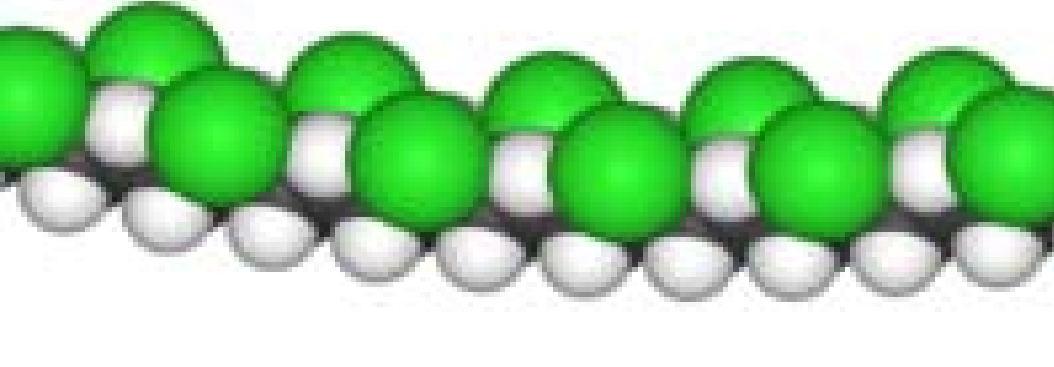
Do surového materiálu se dále přidávají další komponenty, které dávají výslednému produktu požadované vlastnosti:

- změkčovadla – látky ovlivňující mechanické vlastnosti, ohebnost, křehkost, tvrdost, zpracovatelnost
- stabilizátory – látky zvyšující odolnost materiálu proti působení světla a zvýšených teplot
- barviva – látky ovlivňující vzhled materiálu

1.1.1.3 Vlastnosti polyvinylchloridu

Vykazuje neobyčejnou odolnost proti působení chemikálií, jako jsou např. anorganické kyseliny, louhy, organické sloučeniny jako jsou tuky, oleje, benzin, alkohol, čisticí prostředky, voda. Díky tomu je PVC odolný vůči vlivům prostředí, např. kyselým dešťům,

může být použit u bazénů s chlorovanou vodou. Naproti tomu není PVC odolný vůči sloučeninám jako jsou estery, ketony, aromatické uhlovodíky a benzol.

| Polyvinylchlorid | |
|--|------------------------|
|  | |
| Chemický název | Polyvinylchlorid |
| Hustota | 1380 kg/m ³ |
| Molární hmotnost | 42,08 g/mol |
| Teplota skelného přechodu | 87 °C |
| Tepelná vodivost | 0,16 W/(m·K) |
| Teplota varu | 212 °C |
| Měrná tepelná kapacita | 0,9 kJ/(kg·K) |
| Modul pružnosti | 2500 MPa |
| Mez pevnosti | 35 MPa |

tabulka 1 vlastnosti polyvinylchloridu[3]

1.1.2 KOPOLYMER AKRYLONITRILU BUTADIENU A STYRENU

Kopolymer akrylonitrilu, butadienu a styrenu (ABS) se zařadil do sortimentu průmyslově vyráběných plastů v padesátých letech minulého století. Vyvinut byl za druhé světové války v Americe pro zbrojní průmysl, který potřeboval lehký, houževnatý a tuhý konstrukční materiál. První vzorky kopolymeru ABS pocházejí z roku 1942. Zahájení průmyslové výroby na bázi akrylonitrilu, butadienu a styrenu se datuje k roku 1948, kdy byl v USA udělen firmě U.S.Rubber Naugatuck Division patent na výrobu ABS ve formě mechanické směsi. Po něm následovala další řada patentů, tentokrát již na bázi polymerací poskytující

roubované kopolymery. Zavedením výroby roubovaných kopolymerů ABS se ve srovnání se směsí připravovanou mechanickým smícháním podstatně zlepšila jakost materiálu, zejména jeho zatékavost, tepelná stálost a jeho vzhled. Zvýšená kvalita při zajištění snížení jeho výrobní ceny vedla počátkem šedesátých let k prudkému vzrůstu výroby i spotřeby nejen v USA, nýbrž i v Evropě. Prvním výrobcem v Evropě se stala německá firma Farbenfabrik Bayer. [5]

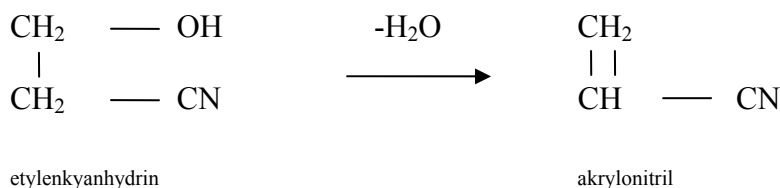
1.1.2.1 Výroba akrylonitrilu

Akrylonitril, běžně označovaný ACN se vyrábí různým způsobem:

1. z etylenkyanhydrinu
2. z acetylenu a kyanovodíku
3. amonoxidací propylenu

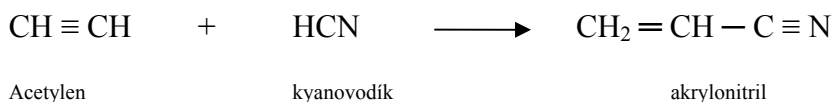
Poslední způsob výroby dnes ve světě převládá a umožnil i podstatné rozšíření výroby tohoto monomeru, neboť je ekonomicky výhodnější než první dva.

1)



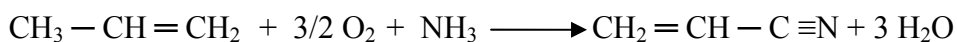
První fáze probíhá za přítomnosti katalyzátoru, jímž je alkalický roztok dietylamínu, druhou fází je katalytická dehydratace v plynné fázi na kysličníku hlinitém při 300°C.

2)



Reakce probíhá buď v kapalně, nebo v plynné fázi. Katalyzátory jsou chlorid měďnatý, chlorid amonný a HCl, respektive kyanid sodný na nosiči.

3)



Propylen

vzd. kyslík amoniak

akrylonitril voda

Reakce probíhá při 450 °C na molybden-bismutových katalyzátorech. Vedlejšími produkty jsou acetonitril a kyanovodík. Akrylonitril je bezbarvá kapalina o hustotě 0,8 g/cm³, který vře při 77 °C. Má toxické účinky a jeho páry jsou ve směsi se vzduchem výbušné. [5]

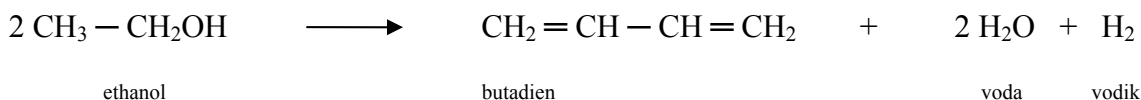
1.1.2.2 Výroba butadienu

Butadien patří mezi nejdůležitější suroviny organické a makromolekulární chemie a připravuje se velmi rozmanitými způsoby. Z řady průmyslově uskutečnitelných postupů je třeba připomenout především výrobu:

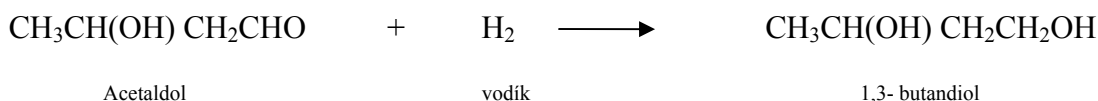
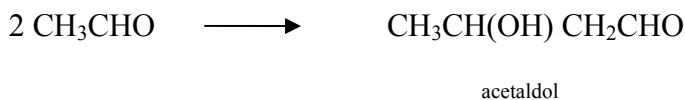
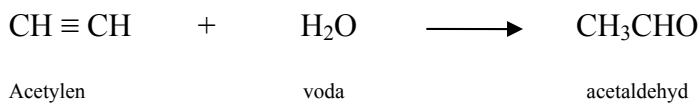
- a) z etanolu podle Lebeděva
- b) z acetylenu tzv. aldolovým postupem
- c) dehydrogenací butanu a butenů
- d) izolací z pyrolýzních plynů

Poslední postup nabývá v souvislosti s rozvojem pyrolýzách jednotek stále většího významu pro svou jednoduchost a ekonomickou výhodnost.

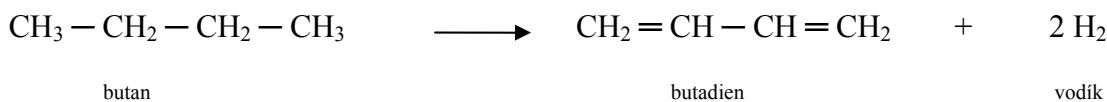
a)



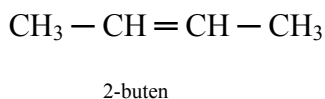
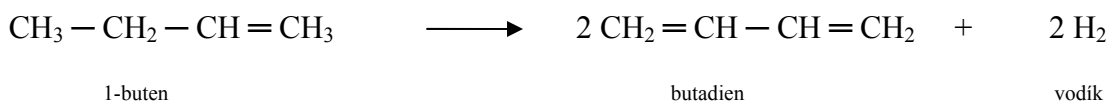
Reakce probíhá při 350 °C na kombinovaném dehydrogenáčně dehydratačním katalyzátoru, složeném z oxidu manganu, křemíku, hliníku, zinku na nosiči.

b)

Tento postup výroby butadienu je složitý a investičně náročný. Používá se jen ojediněle tam, kde je k dispozici laciný zdroj acetyleny.

c)

nebo



V obou případech jde o katalytickou dehydrogenaci, přičemž u butanu se uplatňují oxidační dehydrogenace za katalytické spoluúčasti jodu nebo oxidačních katalyzátorů (oxidů bismutu, molybdenu aj.) [5].

d)

Izolace butadienu z pyrolýzní frakce C_4 je jedním z neekonomičtějších způsobů získávání butadienu všude tam, kde jsou k dispozici dostatečné kapacity pyrolýzních ethylenových jednotek.

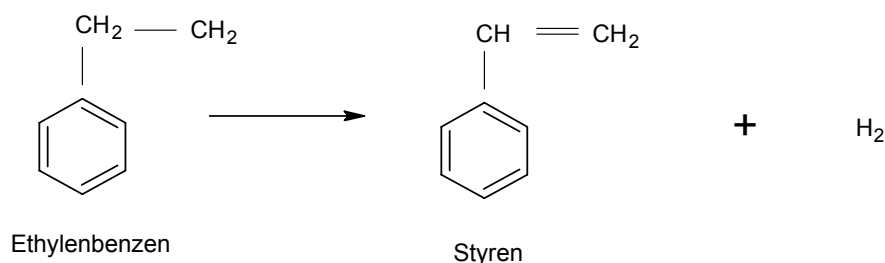
Ze směsi uhlovodíků C_4 , které odcházejí z pyrolýzy primárních benzínů s obsahem až 45% butadienu, se butadien získává extrakcí, extrakční destilací, chemisorpcí nebo destilací na

100 patrových kolonách. Extrakčním, resp. chemisorpčním činidlem jsou methylypyrrolidon, dimethylformamid, furfural a amoniakální roztoky měďnatých solí.

Butadien je za běžných podmínek plyn charakteristického zápachu, má bod varu při $-4,4$ °C a ve směsi se vzduchem je výbušný [5].

1.1.2.3 Výroba styrenu

Styren patří mezi nejrozšířenější monomery. Průmyslově se prakticky vyrábí dehydrogenací ethylenbenzenu s použitím různých druhů katalyzátorů a různých typů reaktorů.

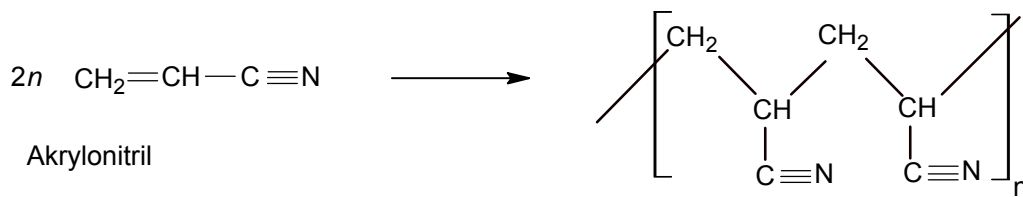


Reakce se provádí při zředění etylbenzenu vodní párou s následným vakuovým dočištěním styrenu. Aby nedocházelo k zarůstání zařízení polymerem, musí se používat stabilizátorů. Styren je bezbarvá kapalina o bodu varu 145°C a hustotě $0,9 \text{ g/cm}^3$. Jeho páry tvoří se vzduchem výbušnou směs [5].

1.1.2.4 Výroba ABS

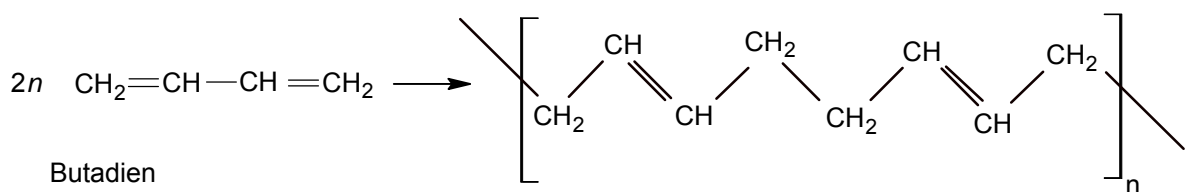
Při všech popsanych technologických postupech, ať už jde o mechanicky mísené, či roubované typy kopolymeru ABS, se vychází ze základních monomerů akrylonitrilu, butadienu a styrenu, které v různých stádiích výrobního procesu polymerují a tvoří řetězce homopolymerů, kopolymerů nebo roubovaných terpolymerů a jejich vzájemné kombinace.

Akrylonitril – polymeruje velmi snadno na homopolymer mající tuto strukturu:



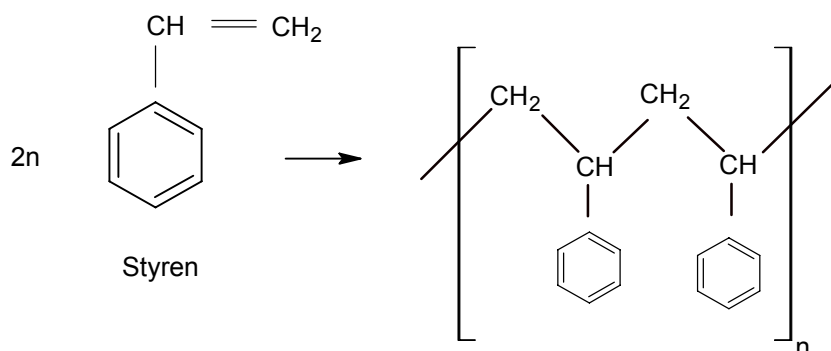
Vyznačuje se velkou odolností proti chemikáliím s výjimkou silně polárních rozpouštědel. Není typickým termoplastem a nemůže se tedy zpracovávat běžným způsobem. Nejběžnější je zpracování z roztoku na vlákna.

Butadien – rovněž snadno polymeruje na kaučukovitý polymer následující struktury:



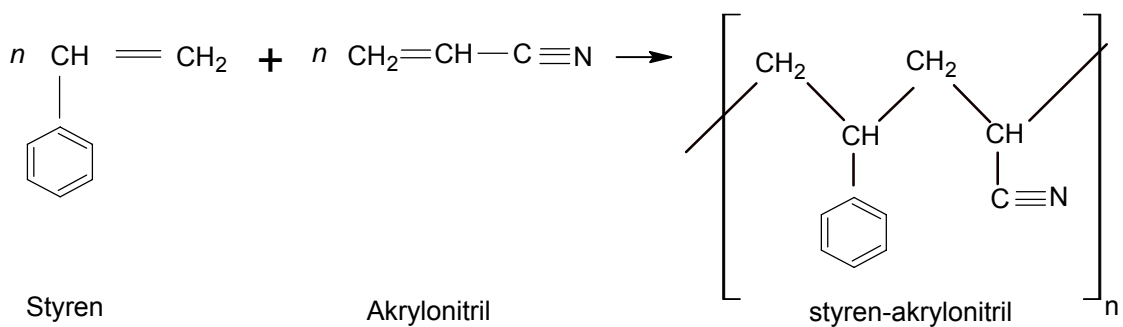
Tento homopolymer vzhledem k tomu, že obsahuje dvojné vazby, velmi dobře vulkanizovatelný a má široké použití v průmyslu zpracování syntetického kaučuku.

Styren – tvoří homopolymer velmi snadno nejen při použití iniciátorů, ale i při pouhém působení tepla:

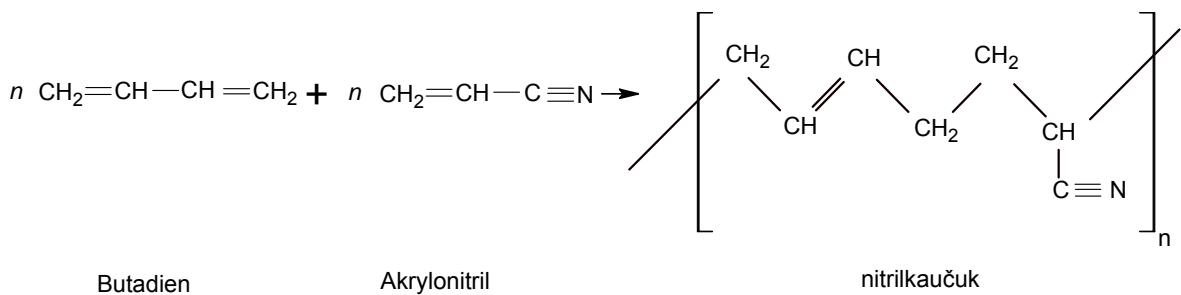


Vzniklý amorfnní polymer je průzračný, velmi tvrdý a křehký. Zhotovují se z něj různé vstřikované výrobky. Pro zlepšení houževnatosti bývá modifikován butadienovými elastomery.

Styren-akrylonitril – je termoplastický kopolymer, který při jakékoli technologii je vždy zastoupen jako termoplastická složka. Připravuje se iniciovanou polymerací obou monomerů:

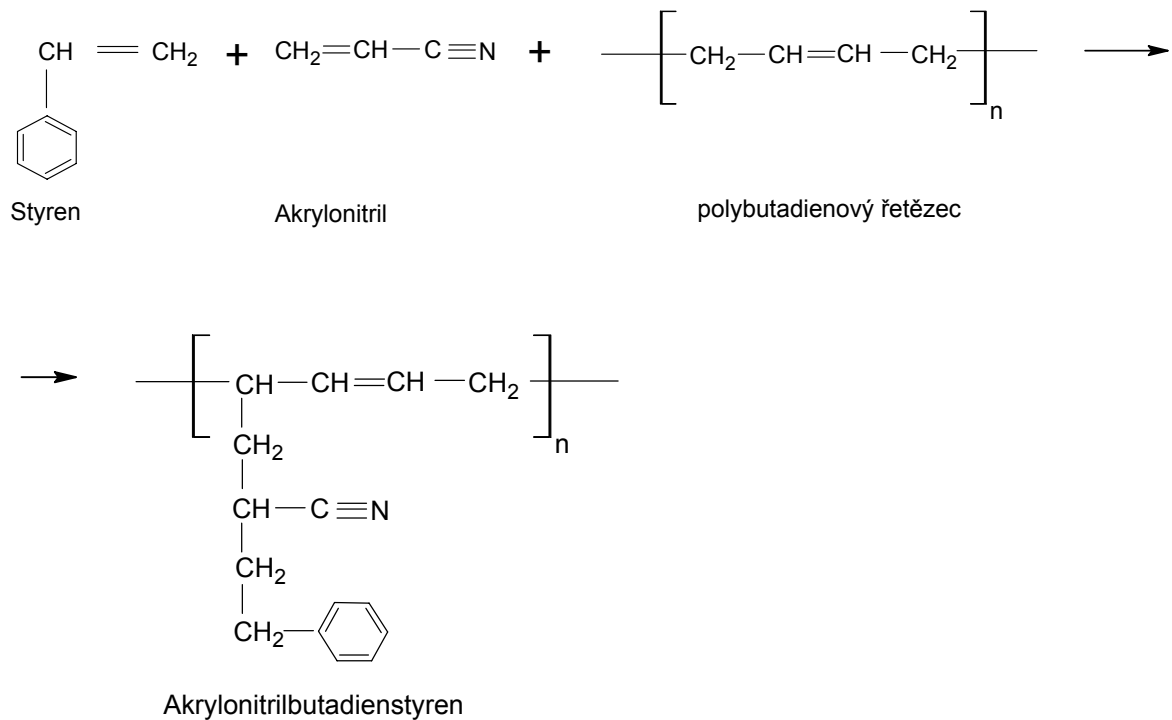


Nitrilkaučuk – je elastomerní kopolymer, který vzniká vzájemnou kopolymerací butadienu a akrylonitrilu.



Elastomery tohoto typu nalézají uplatnění v průmyslu jako speciální kaučuky odolné proti olejům.

polymer ABS – vzniklý roubováním styrenu a akrylonitrilu na základní polybutadienový řetězec má složitější strukturu, závislou na podmínkách přípravy, ale v podstatě vzniká reakcí:



Vzájemný poměr jednotlivých monomerních jednotek se řídí podle požadavku kladeného na termopolymer při různých aplikacích. Průměrné složení bývá:

21% akrylonitrilu

25% butadienu

54% styrenu

Tohoto složení terpolymeru ABS se dosáhne smísením roubovaného terpolymeru, obsahujícího 50 % butadienu, se stejným podílem styren-akrylonitrilového kopolymeru, obsahujícího 24 % akrylonitrilu. Velkého obsahu butadienu se dosáhne pouze při emulzní polymeraci. Při polymeraci suspenzní nepřesahuje 15%.

Konečná úprava ABS

Při každém způsobu přípravy terpolymeru ABS se vyrobený prášek, který se obvykle za sušárnou skladuje jako meziprodukt v zásobnících nebo silech, musí upravit dodatečnou přísadou stabilizátorů, antioxidantů a barviv na konečný granulát pro zpracování. K tomuto účelu slouží velké hnětací nebo vytlačovací stroje s velkým hnětacím účinkem. K mísení s pigmenty a ostatními přísadami a k homogenizaci dochází přímo v hnětacím stroji po předběžném smísení na běžných míchacích strojích.

Na evropském trhu jsou nejznámější kontinuální hnětací stroje firem Buss (Švýcarsko), Werner Pfleiderer (Německo), Farrel (USA). Přes konstrukční rozdíly jde ve všech případech o kontinuální stroje s velkým mísícím a hnětacím účinkem, jejichž přímou součástí jsou granulátory. Způsob balení je pak shodný jako u ostatních termoplastů [5].

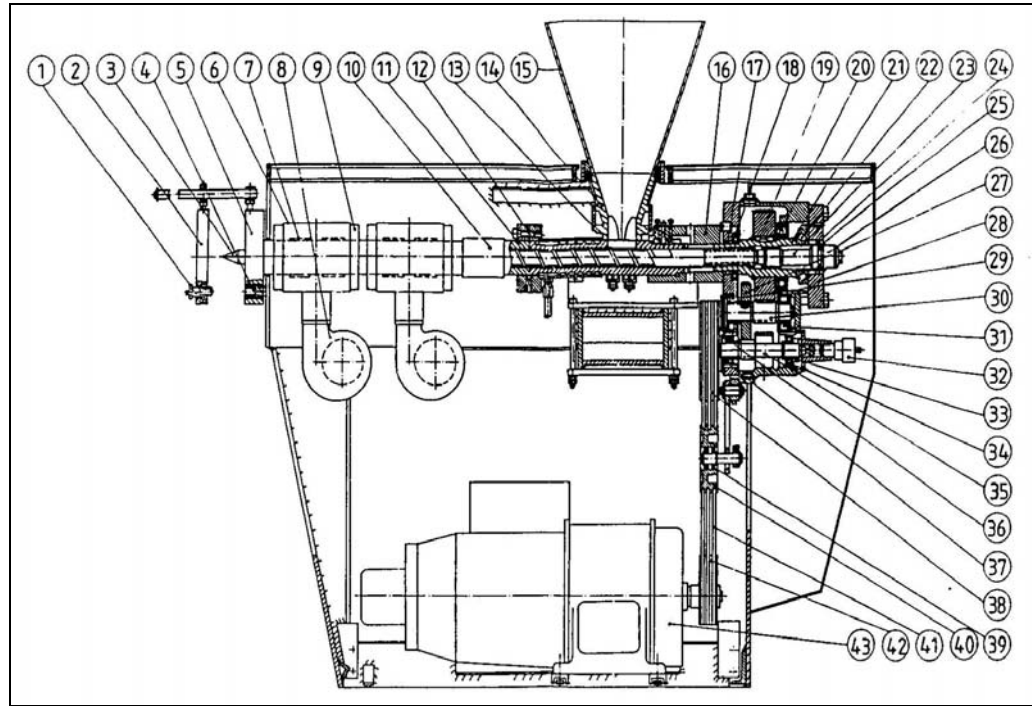
1.1.2.5 *Vlastnosti ABS*

ABS je amorfní termoplastický kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození. Tuhý, houževnatý, dle typu odolný proti vysokým teplotám, málo nasákový, zdravotně nezávadný. Je odolný vůči kyselinám, louhům, olejům, uhlovodíkům a tukům[6].

| ABS | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Amorfní termoplastický kopolymer | |
| <u>Chemický název</u> | Akrylonitridbutadienstyren |
| <u>Hustota</u> | 1020-1070 kg/m ³ |
| <u>Teplota skelného přechodu</u> | 80-105°C |
| <u>Maximální pracovní teplota</u> | 70°C |
| <u>Měrná tepelná kapacita</u> | 1,4 kJ/(kg·K) |
| <u>Modul pružnosti</u> | 1800-2800 MPa |
| <u>Mez pevnosti</u> | 30-50 MPa |

tabulka 2 fyzikální a mechanické vlastnosti ABS [7]

1.2 STAVEBNÍ DÍLY A SOUČÁSTI VYTLAČOVACÍHO STROJE



Obrázek 2 stavební díly vytlačovacího stroje [1, 8]

1.2.1 Konstrukce stroje

Kompletní rám stroje se skládá z ocelových nosníků [1, 8].

1.2.2 Upevnění nástroje

Vytlačovací nástroje se upevňují na přírubu (2), která se montuje na hlavní přírubu (5) plastifikačního válce, do které se implementují snímače tlaku a teploty hmoty. Každá z přírub je rovněž opatřena otopnými pásy [1, 8].

1.2.3 Plastifikační jednotka

Plastifikační jednotka se skládá z válce (11), šneku (3), otopných manžet (7 a 10), chladičích ventilátorů (8) a výměníků tepla (9) [1, 8].

1.2.4 Vstupní zóna

Ke vstupní zóně vytlačovacího stroje patří násypka (15) a chlazené vstupní pouzdro vytlačovacího stroje [1, 8].

1.2.5 Motor /převodovka

Motor na stejnosměrný proud (43), klínový řemen (41) a převodovka (20) tvoří pohon vytlačovacího stroje [1, 8].

1.3 FUNKCE VYTLAČOVACÍHO STROJE

1.3.1 Plastifikační jednotka

Nitridovaný válec má na předním konci okrouhlou přírubu k upnutí nástroje. Na válci se nachází topné zóny, které se chladí pomocí ventilátorů vzduchu. Tím se dosahuje stability nastavených zpracovatelských teplot [1, 9].

Většina šneků je vyrobena z nitridovaných ocelí. Na konci šneků se nachází profil ozubené hřídele, který spojuje šnek přes ozubenou spojku s převodovkou. Následující tabulka ukazuje různé druhy šneků a účel použití:

| Druh šneku | Oblast nasazení |
|----------------------------|-----------------------------|
| Šnek s progresivním jádrem | H-PVC, ABS |
| 2 zónový šnek | W-PVC |
| 3 zónový šnek | PC, PUR |
| Šnek s krátkou kompresí | PA |
| Šnek s „míchacím dílem“ | H-PVC |
| Šnek s uzavřeným závitem | PU |
| Madoc – šnek | W-PVC |
| Hnětací šnek 250 S | W-PVC, ABS, PMMA |
| 250 N | Drážkovaný vstup PP, PE |
| 250 P | Drážkovaný vstup PU 28 – 10 |
| 251 | Hladký vstup PVC N-PVC |

tabulka 3 druhy vytlačovacích šneků [1, 9]

1.3.2 Vstupní zóna

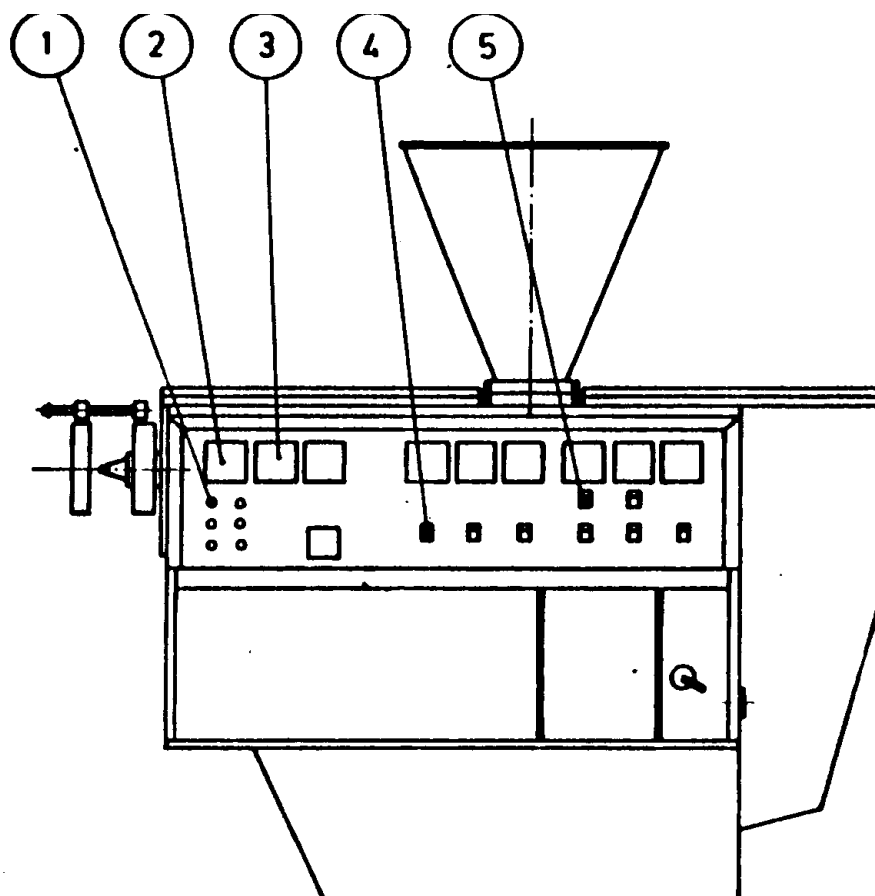
Vstupní zóna se skládá z násypky a vstupního pouzdra. V násypce se nachází materiál. Vstupní pouzdro je většinou chlazené. Existují různé vstupní pouzdra: hladké, lehce, středně, hrubě drážkované. Tyto se nasazují dle typu šneku a specifikace materiálu [1, 10].

1.3.3 Motor/převodovka

Převodovku tvoří sada broušených ozubených kol. Kola rychloběžné vstupní fáze jsou šikmo ozubená. Mazání převodů je zajištěno pomocí olejového čerpadla. Vysoké otáčky stejnosměrného motoru jsou redukovány na nízké otáčky šneku v rozmezí 2-90 U/min. Zpětný tlak šneku se přejímá vysoce dimenzovaným tlakovým uložením [1, 10].

1.3.4 Obslužné elementy

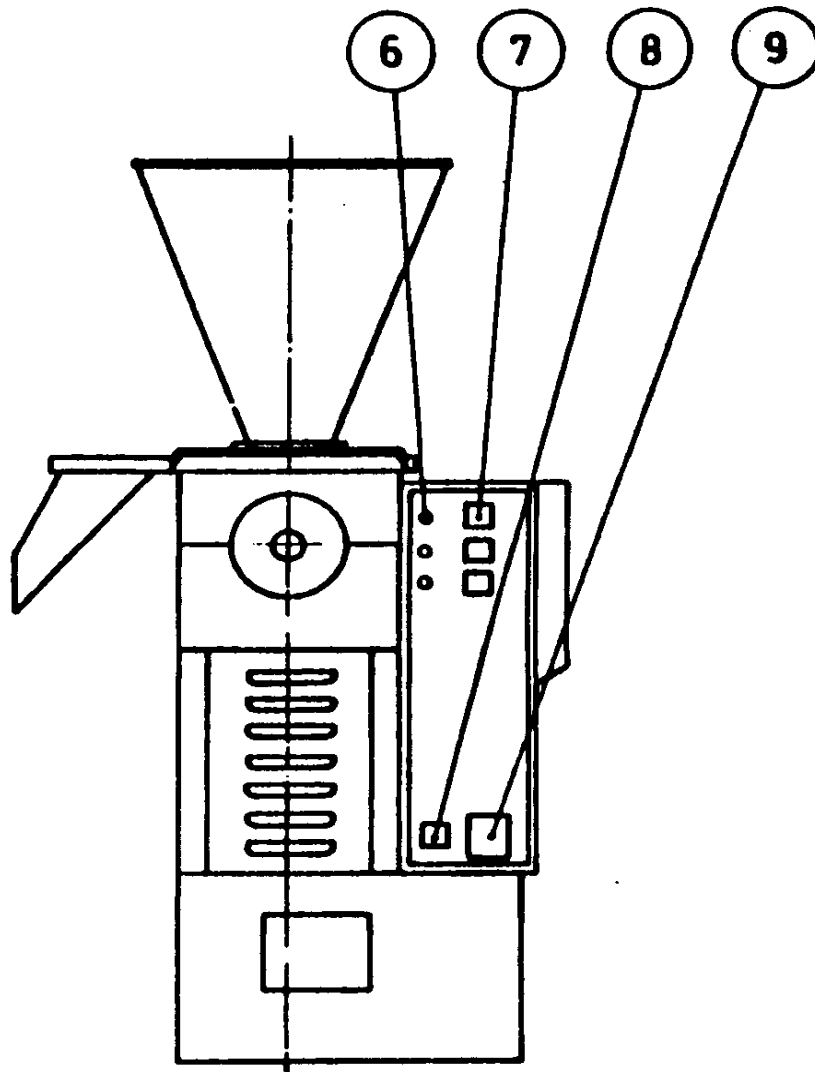
Až na hlavní vypínač jsou všechny obslužné prvky - regulátory teplot, měřící instrumenty, a signální světla umístěny na hlavním ovládacím panelu stroje.



Obrázek 3 ovládací prvky vytlačovacího stroje [1, 11]

1. tlačítko k řízení pohonu stroje
2. měření motorového proudu
3. ukazatel otáček šneku
4. síťový vypínač pro každou topnou zónu
5. regulátory teplot

Na čelní straně stroje jsou umístěny:



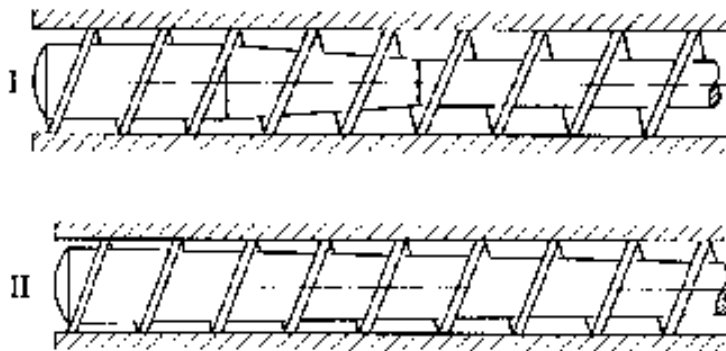
Obrázek 4 ovládací prvky vylačovacího stroje [1, 11]

6. zásuvky pro teplotní čidla
7. zásuvky pro otopné pásy
8. zásuvka 220 V
9. zásuvka pro periferie

1.4 TECHNICKÉ POSTUPY PROCESŮ

1.4.1 Šnek

Šnek je nejdůležitější strojní prvek. Jeho geometrie je závislá na zpracovávaných materiálech. Při zpracovávání tvrdého PVC se používá přednostně šnek s progresivním jádrem s kuželovou špicí. V protikladu s válcem musí mít šnek velmi hladký povrch. K dosažení těchto povrchových vlastností se leští povrchy šneků do vysokého lesku [1, 12].



Obrázek 5 geometrie šneku

Geometrie I 3-stupňový šnek

Geometrie II jádrem progresivní šnek

Popis geometrie šneku

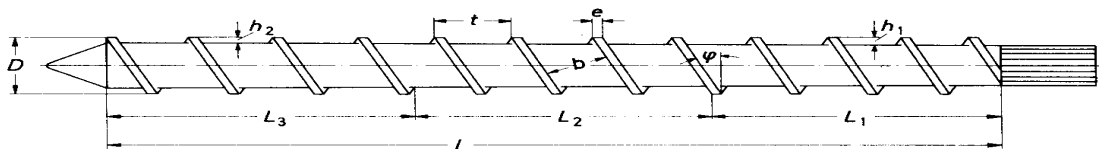


Bild 5.4 Nomenklatur der Schnecke

Obrázek 6 popis geometrie šneku

Délka šneku se stanovuje podle specifikace stroje např. pro stroj RS 45-25D bude

pracovní délka šneku $L=D \times 25$

$L=45 \times 25D \rightarrow 1125\text{mm}$

Důležité parametry šneku:

Kompresní poměr – stanovuje se z hloubky závitu h_1 a h_2

Vůle šneku: vzdálenost mezi stěnou válce a povrhu šroubovice šneku

Úhel stoupání (φ): čím větší úhel, tím větší stoupání

Stoupání (t): $t=D$

Šířka stoupání (e): $e=0,1D$

Hloubka závitu (h_1 a h_2) : vzdálenost mezi povrchem závitu a jádrem šneku

1.4.2 Tavenina

Již mnoho let se lidstvo namáhá vzrůstajícím tempem kvantitativně popsat postupy v oblasti roztavení hmoty jednošnekového plastifikačního vytlačovacího stroje. Experimentálně se může tavenina sledovat ve chvíli chlazení válce při zastavení otáček šneku a jeho následném vytažení z plastifikačního válce stroje. Rozřezaný obsah závitu šneku, ve kterém je vedle sebe tavenina a pevná látka, dává informace o časovém průběhu tavení taveniny v jednotlivých částech šneku. Na základě převážně experimentálních nálezů se dá postup tavení popsat následujícím kanálovým modelem. Tavenina vzniká na vnitřní ploše válce, který je ohříván. Je-li tloušťka filmu větší, než šířka mezery válce δ , tak vytlačuje hybné stoupání šneku taveninu směrem dolů, kde se soustřeďuje do oblasti taveniny rostoucí ve směru šnekového kanálu. Prostřednictvím neustálého transportu natavované hmoty do oblasti taveniny se redukuje šířka toku pevné látky. Šířka toku pevné látky poklesne na nulovou hodnotu, jakmile se kanál šneku zcela naplní taveninou [1, 13].

Nejdůležitější cíle teorie jsou:

- a) Výpočet kapacity taveniny
- b) Výpočet přínosu zóny taveniny k charakteristice šneku
- c) Prognóza nestability, která souvisí s taveninou
- d) Odvození modelových zákonitostí
- e) Optimalizace zóny taveniny

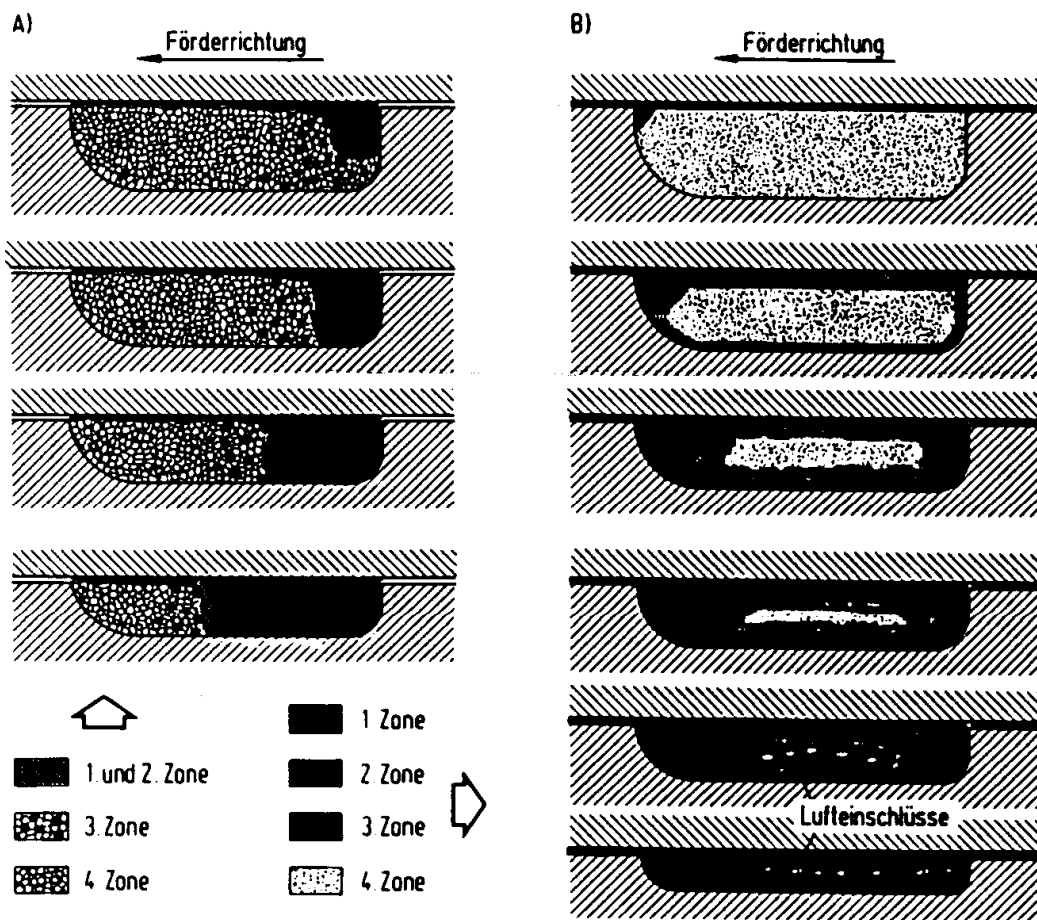


Bild 56. Aufschmelzmodell
 A) wandhaftende Schmelzen, B) wandgleitende Schmelzen [20]

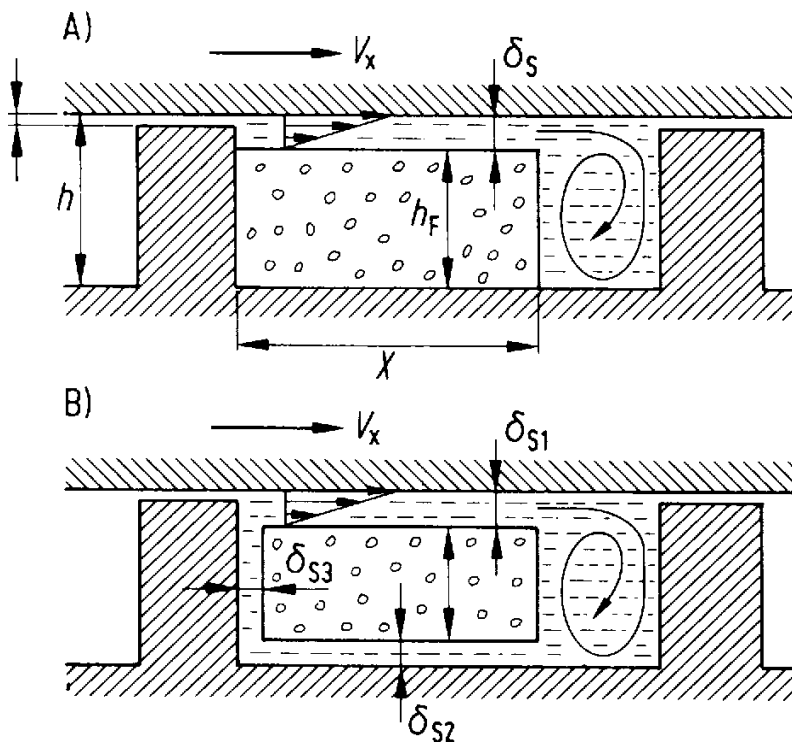
Obrázek 7 modely pole taveniny

Taveniny přilnuté ke stěně – Stěnou vedené taveniny

Materiál se začíná nejdříve na horkém válci natavovat. Vzniklý film, který nejdříve dosáhne dostatečnou tloušťku, se hybnou silou sloupne ze stěny válce a je veden na plochu čela.

Tavenina nahromaděná na aktivním čele a tavenina proniklá na základě netěsného proudu z předního závitu šneku obtéká ještě nenatavený materiál.

Tavenina se částečně tlačí následkem tlaku vznikajícího v kompresní zóně mezi granulátem. Vytváří se druh vírového nebo točícího se toku. Zaostává však jádro pevné látky, které se na základě postupů toku sotva rozmíchá nebo nataví prostřednictvím špatného vedení tepla pevné látky [1, 13].



Obrázek 8 stěnou vedené taveniny

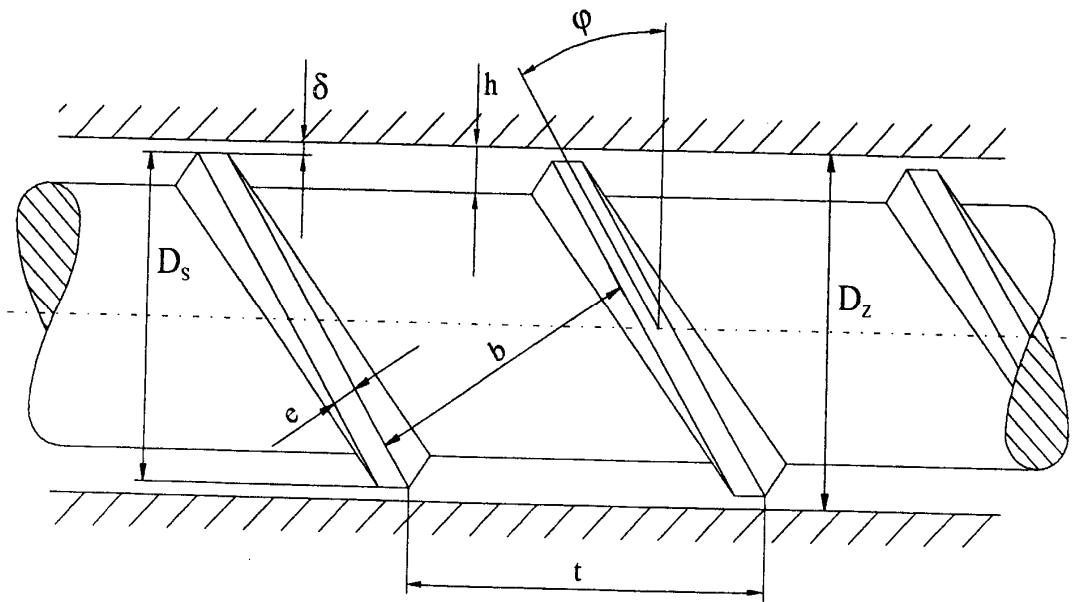
Postup natavení v modelu

A) bez taveniny na šneku

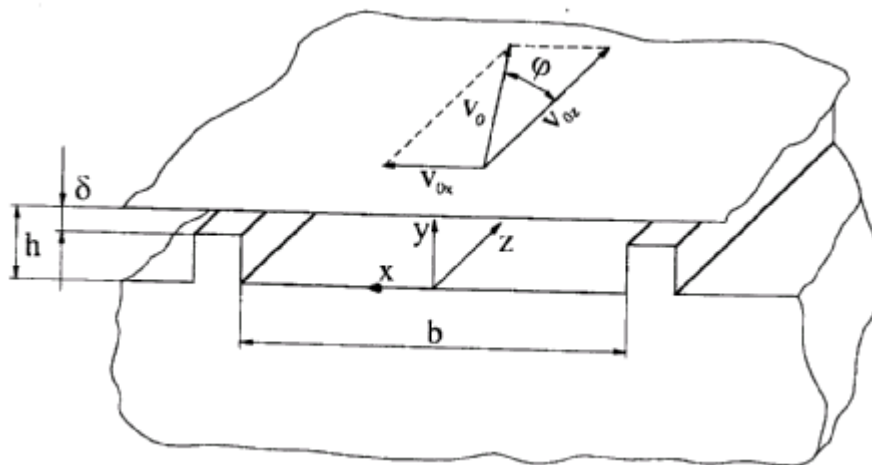
B) s taveninou na šneku

V dalších odstavcích rozvineme matematický model pro dopravu taveniny popř. pro šneky tavných vytlačovacích strojů se stálou hloubkou závitu a stoupání. Nejdříve však musíme diskutovat o některých geometrických relacích šneku [1, 14].

Dvě hlavní proměnné jsou průměr šneku D_s a délka šneku L . Na následujícím obrázku jsou znázorněny další důležité geometrické údaje:



- | | | | |
|---|-------------------|-----------|----------------------|
| t | hloubka závitu | δ | výška mezery |
| b | šířka závitu | D_s | průměr šneku |
| e | šířka cesty šneku | D_z | průměr válce |
| h | hloubka kanálu | φ | úhel stoupání závitu |



Obrázek 9 Geometrie jednoduchých šneků a stočených kanálů šneků

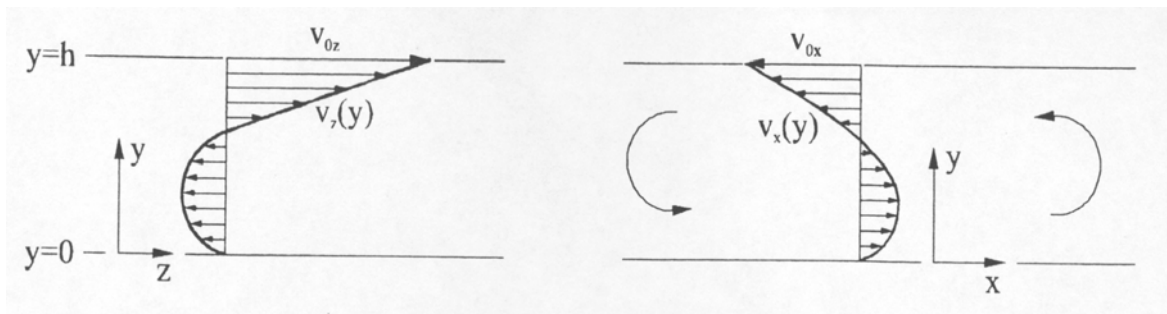
Pro další matematické úvahy si musíme představit šneky pevné a válce točící se kolem šneku. Další vychází z odvíjeného kanálu šneku. To poté představuje další kanál, přes který se pohybuje deska s rychlostí v_0 (rotační rychlost válce)

$$(n = \text{počet otáček}) \quad v_0 = \pi \cdot n \cdot D_z$$

Pro komponenty v koordinačních směrech z a x poté platí :

$$v_{0z} = v_0 \cdot \cos \varphi$$

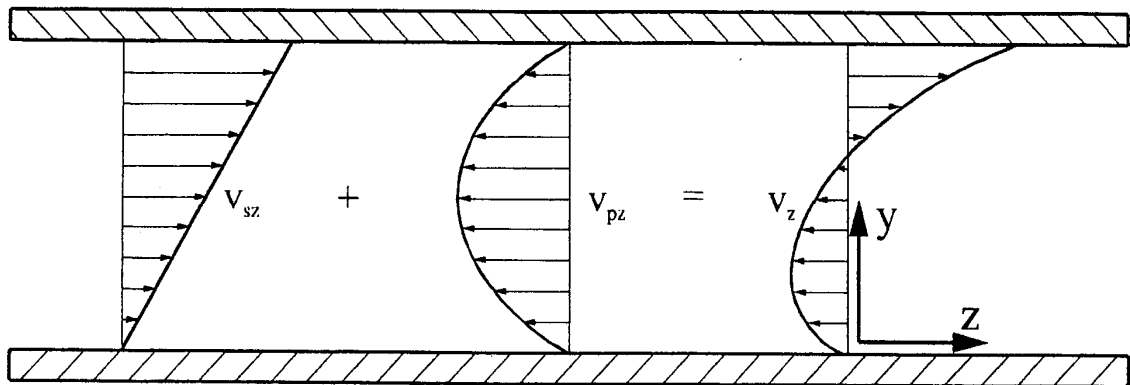
$$v_{0x} = v_0 \cdot \sin \varphi$$



Obrázek 10 Profil rychlosti ve směru koordinát z a x

Dále si představme, že konec kanálu je uzavřen až na malý průnik. Tím se v kanále vystaví tlak ve směru z , který je způsoben v reálném případě extruzním nástrojem. To poté představuje diskutované případy toků mezi paralelními deskami se dvěma avšak velmi důležitými rozdíly[1, 14]:

- 1) Tok ve směru Z je dvojdimenzionální [$v_z(X, Y)$]
- 2) Vyskytuje se komponenta rychlosti ve směru X , která způsobuje cirkulační tok ve směru příčného řezu kanálu.



Obrázek 11 Překrývání vlečných a tlakových proudů pro newtonské kapaliny

1.4.3 Nástroj

Dává profilu jeho požadovaný tvar. Vytlačovací nástroj je konstruován tak, že širší vtok, který se postupně zmenšuje, předává materiálu pomalu jeho tvar. Nástroj musí mít takový profil, aby zaručoval pravidelný a trvalý tok materiálu. Nesmí v něm existovat mrtvé prostory, ve kterých by se materiál mohl zastavit a zůstat tak dlouho v kontaktu s vyhřívanou stěnou nástroje, až by došlo k teplotní degradaci materiálu [4, 15]. Materiál vystupuje z nástroje a poté mu dává jeho konečnou podobu průchod přes kalibrační zařízení, kde se materiál chladí a tím stabilizuje.

Rozdělení nástrojů

Podle konstrukce se vytlačovací hlavy dělí do těchto základních skupin [4, 15]:

1) hlavy přímé

- s kruhovým symetrickým průřezem, určené především pro vytlačování trubek a hadic
- s komplikovaným průřezem určené pro vytlačování profilů

2) hlavy nepřímé

- určené pro opláštění vícevrstvých hadic a kabelů. Dále hlavy pro vyfukování fólií, pro vyfukování dutých předmětů apod.

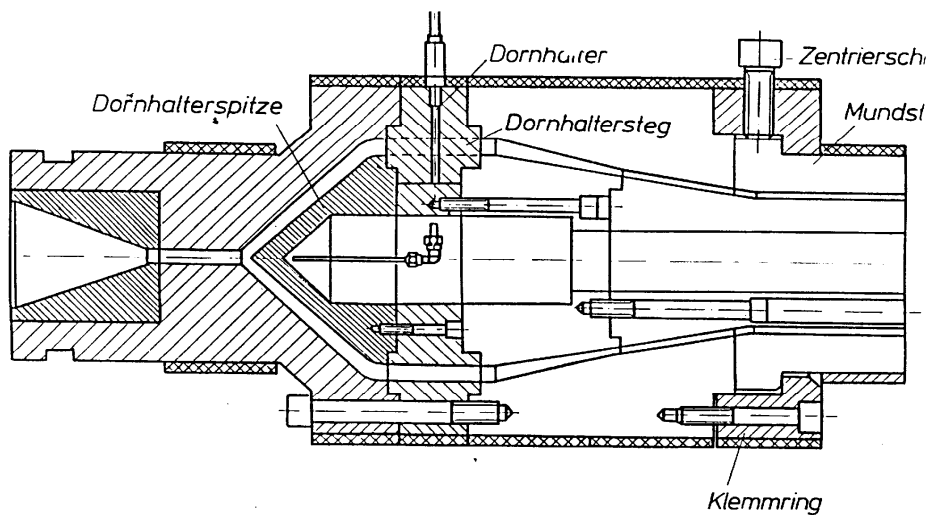
3) širokoštěrbinové hlavy

- hlavy určené pro vytlačování desek a fólií

4) speciální vytlačovací hlavy.

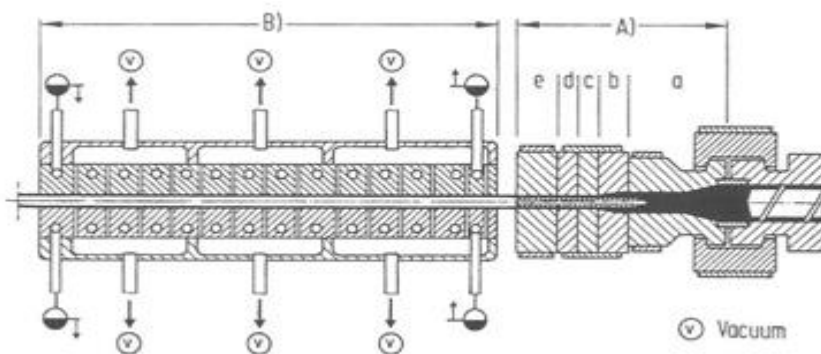
1.4.3.1 Přímé vytlačovací hlavy

Hlavy přímé jsou především určeny pro vytlačování uzavřených symetrických profilů, jako jsou např. trubky, hadice nebo uzavřených nesymetrických profilů, jako jsou např. okenní profily. Konstrukce hlavy pro uzavřené profily by měla zabezpečit volný přívod vzduchu do dutin profilu obzvláště u navíjených profilů. Další použití přímých hlav je vytlačování otevřených profilů např. okapové žlaby., kryty zářivek apod. Hlavy pro vytlačování profilů jsou mnohem náročnější [15, 16]. Hubice i trn jsou mnohem delší kvůli relaxaci napětí



v tavenině.

Obrázek 12 řez přímou vytlačovací hlavou na trubky [1, 15]

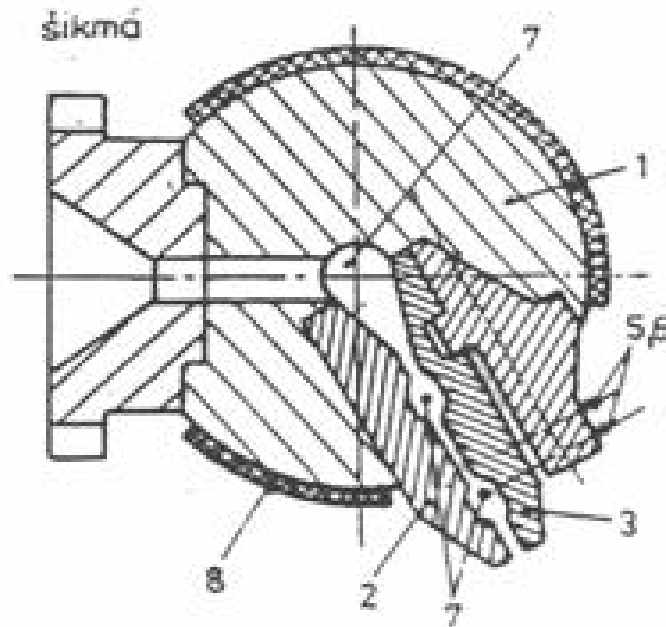


Obrázek 13 řez přímou vytlačovací hlavou na profily [15, 16]

Při konstrukci vytlačovací hlavy se musí počítat s narůstáním taveniny za hubicí, smrštěním při chlazení a se změnou rozměrů vlivem protažení. U tenkých stěn bývá hubice zvětšena 5 až 10 %, u tlustých stěn bývá o cca. 10 % zmenšena.

1.4.3.2 Nepřímé vytlačovací hlavy

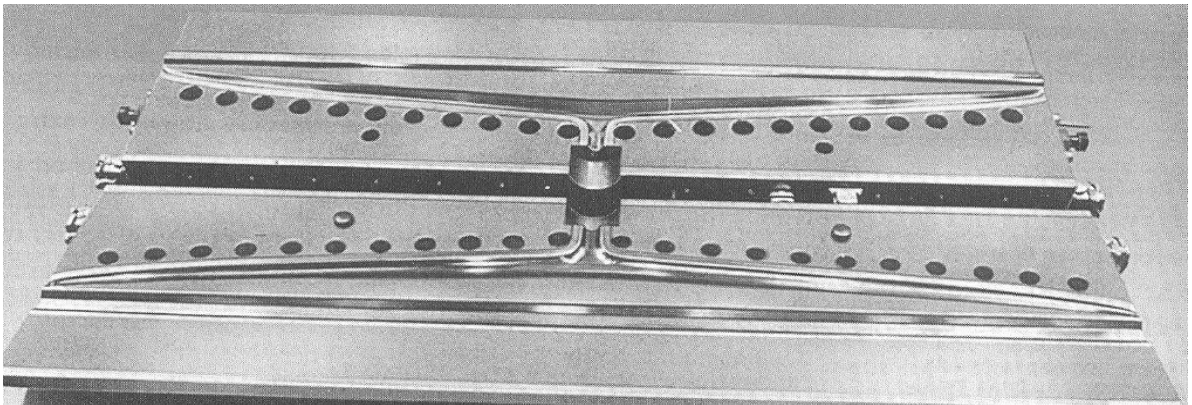
Hlavy nepřímé tj. hlavy příčné a šikmé se používají pro opláštění vodičů, kabelů nebo kovových profilů. Hlavy pro opláštění vodičů mají vrtaný trn, kterým prochází vodič a tím se vyhýbáme vedení přes šnek. Nepřímé hlavy mají různý úhel odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje. U příčných hlav je tento úhel 90° , u šikmých hlav je 30 až 60° . Čím větší je úhel odklonu, tím větší jsou problémy s nerovnoměrností toku taveniny.



Obrázek 14 řez šikmou plochou hlavou [15, 16]

1.4.3.3 Širokoštěrbínové vytlačovací hlavy

Širokoštěrbínové vytlačovací hlavy rozvádějí materiál pomocí kanálů do široké štěrbině. Odpor toku a tedy množství hmoty na výstupu se řídí stavěcími šrouby. Nejčastější tvar širokoštěrbínových hlav je tvar „rybího ocasu“, který nemá mrtvé prostory, ale u kterého je problematické nastavení při změně tokových vlastností plastu.

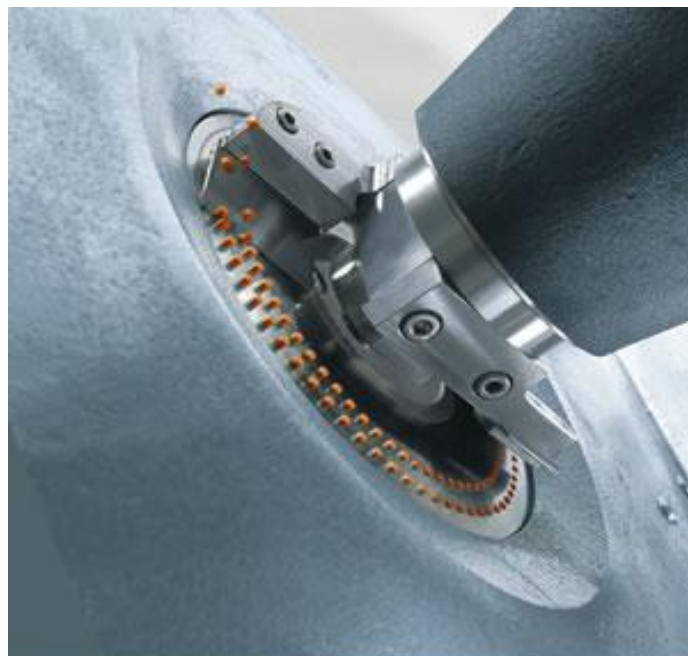


Detail otevřené vytlačovací hlavy

Obrázek 15 Detail otevřené štěrbinové vytlačovací hlavy [15, 16]

1.4.3.4 Speciální vytlačovací hlavy

Mezi speciální vytlačovací hlavy patří hlavy pro ostatní aplikace např. pro granulování materiálu, hlava pro výrobu vláken, hlava pro vytlačování sítí, střížné hlavy, hlavy pro kaučuky apod.

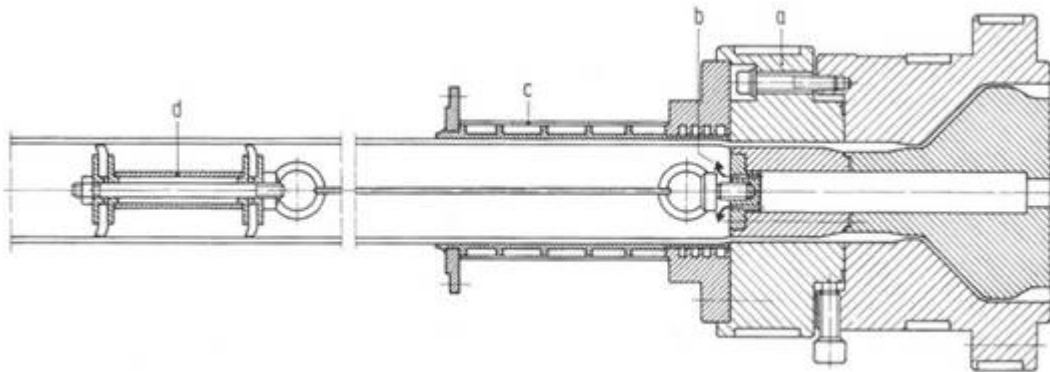


Odřezávání granulí

Obrázek 16 vytlačovací hlava pro granulování materiálu [15, 16]

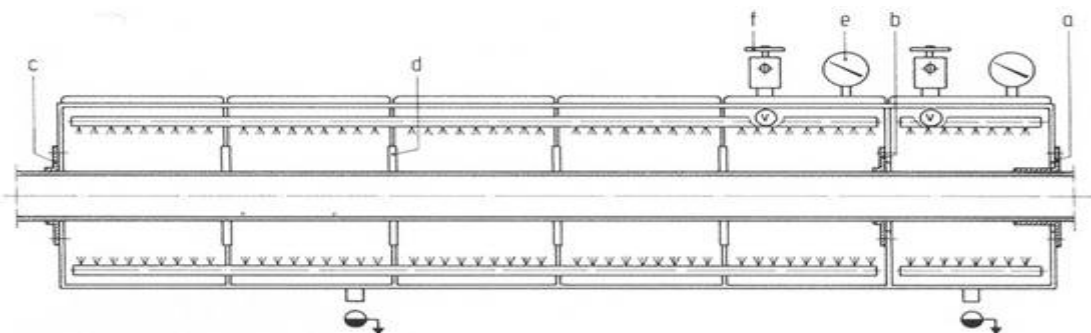
1.4.4 Kalibrační zařízení

Účelem kalibračního zařízení je ochladit vytlačovanou trubku nebo profil tak, aby získal požadovaný tvar a rozměr[4]. Kalibrační zařízení pro výrobu trubek nebo profilů je buď přetlakové, podtlakové nebo průvlastkové. Přetlaková kalibrace se používá při výrobě trubek větších průměrů nebo uzavřené profily, které příliš nemění svůj tvar. Vzduch o přetlaku o velikosti 0,075 MPa se přivádí přes rozdělovač a trn do trubky a ta je tímto tlačena na chlazené stěny kalibračního zařízení. V trubce je umístěna zátka, která je k hlavě uchycena pomocí lanka nebo řetězem popř.elektromagnetem. Zátka umožňuje malý průtok vzduchu, aby se trubka chladila také zevnitř. Přetlak vzduchu je pro malé trubky větší, než pro velké trubky [16, 17].



Obrázek 17 Přetlaková kalibrace [16, 17]

Nejběžnějším používaným typem kalibračního zařízení je podtlaková kalibrace. Kalibrovaný profil či trubka je přisávána pomocí vakua na stěnu kalibračního zařízení, kde se stabilizuje na požadovaný tvar.

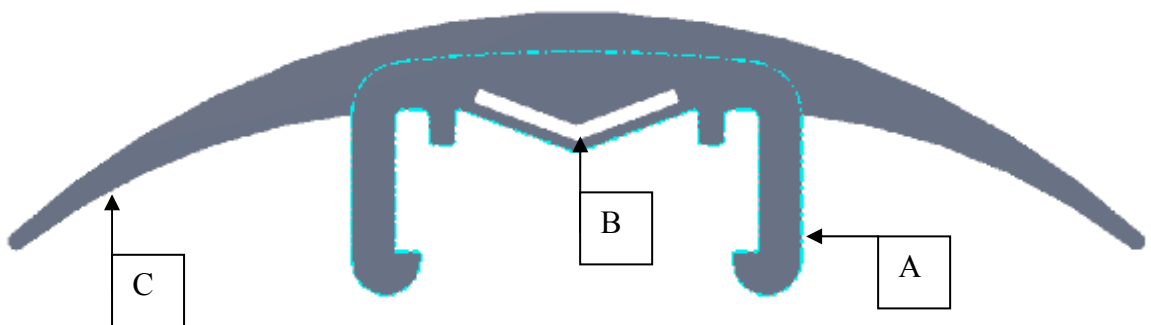


Obrázek 18 podtlaková kalibrace [16, 17]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

1. POPIS VÝROBKU

Kompletní výrobek je složen ze základního profilu, který vzniká nanesením vrstvy tvrdého PVC na tvarovaný ocelový pásek. Na takto vzniklý základní profil se nanese krycí vrstva měkčeného PVC, která slouží jednak jako dekorativní prvek a zároveň plní funkci těsnícího elementu proti vniknutí vody a nečistot do montážních otvorů prahového systému vozu.



Obrázek 19 profil krycí lišty

A- základní profil / PVC 1962

B-výztužný profil / nerezový pásek

C- krycí vrstva / PVC 9268

Vytlačovací linka

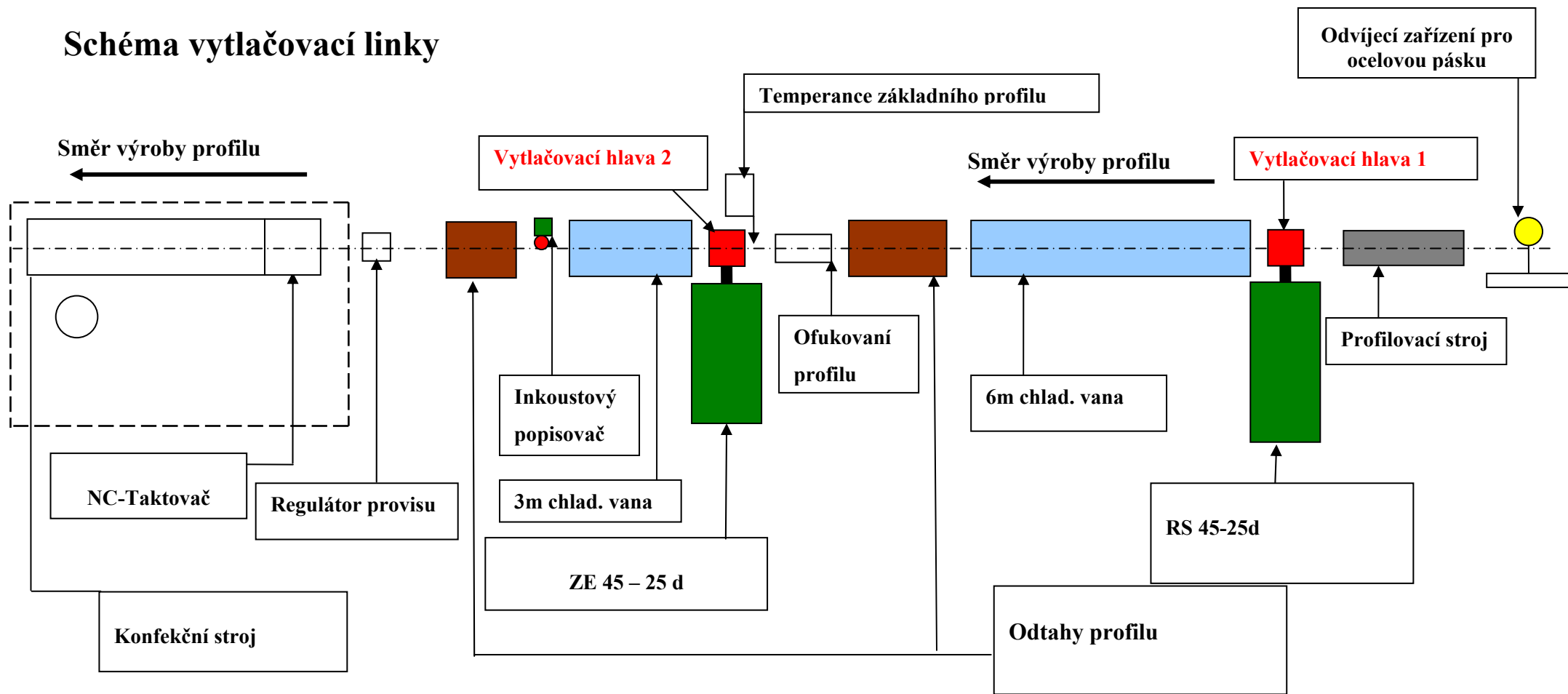
Vytlačovací linka pro výrobu prahové krycí lišty se skládá z ucelené řady technologických zařízení, počínaje vstupem surovin do vytlačovacích strojů po závěrečnou část linky, kde se provádí krácení profilu a jeho úseková konfekce. První operací před zavedením materiálu do vytlačovacích strojů je odstranění zbytkové vlhkosti z granulátu, která se provádí v kontinuálních absorpčních sušárnách. Správně vysušený granulát je základní předpoklad pro následnou stabilitu vytlačovacího procesu a jakost koncového produktu.

Druhou operací, která následuje těsně před spuštěním vytlačovacího stroje je tvarování ocelového pásu pomocí profilovacího stroje, který sadou tvarových kol udělí ocelovému pásku požadovaný tvar. Takto natvarovaný pásek se protáhne příčnou vytlačovací hlavou. Po vytlačení první taveniny z vytlačovací hlavy se spustí tvarovací stroj předepsanou rychlostí a zároveň se vytlačený profil zavede do pásového odtahu. Přílnavost tvrdého PVC na ocelový pásek je zajišťována pomocí speciálního laku, kterým je ocelový pásek oboustranně opatřen. K aktivaci laku na předepsanou provozní teplotu slouží HF generátor, který těsně před vstupem pásu do vytlačovací hlavy zahřeje vrstvu laku na 180°C. Za této teploty dojde k dokonalému spojení obou nesterorodých vrstev materiálů, které lze poté v úsekové konfekci mechanicky obrábět, aniž by došlo k délkové separaci jednotlivých vrstev materiálu.

Požadovaný tvar profilu vzniká pomocí kalibračního zařízení. Všechny funkční kluzné plochy kalibračního zařízení jsou vyrobeny z keramického materiálu, abychom předešli změnám tvaru profilu vlivem neúměrného opotřebení jednotlivých prvků kalibračního zařízení. Takto vzniklý polotovár je chlazen v chladicí vaně. Délka chladicí vany musí úměrně odpovídat nastavené vytlačovací rychlosti, aby výsledný profil byl dostatečně ochlazen a nedocházelo k jeho deformacím v pásovém odtahu.

Další výrobní operací je povrstvení základního profilu vrstvou měkkého PVC. Tak jako v případě ocelové pásky je vyrobený základní profil protažen vytlačovací hlavou, kde se nanese vrstva měkkého PVC. Dobré přílnavosti obou vrstev PVC dosahujeme opětovným temperováním základního profilu pomocí horkovzdušných ventilátorů. Povrstvený profil musí být rovněž kalibrován, chlazen v druhé chladicí vaně a těsně před vstupem do druhého pásového odtahu potisknut identifikačními znaky zákaznického dílu. Hotový polotovár vstupuje do úsekové konfekce, kde je obráběn a střihán na požadovanou délku.

Schéma vytačovací linky



2 PARAMETRY VYTLAČOVACÍHO PROCESU

Vytlačovací protokol

Výrobek:

krycí lišta

| | | |
|----------|-----------------|---------------|
| 1 | Materiál 1 | PVC1962 R0030 |
| | Barva | černá |
| | Forma materiálu | granulát |
| | Sušení | 2h/80°C |
| | Nerezový pásek | 5,5x0,5mm |

| | |
|-----------------|---------------|
| Materiál 2 | PVC9268 R0380 |
| Barva | antracitová |
| Forma materiálu | granulát |
| Sušení | 2h/80°C |

| | | |
|----------|---------------------|------------------|
| 2 | Vytlačovací stroj 1 | Weber |
| | Typ | RS45-25d |
| | Typ šneku | 250S/hl.vst.pouz |
| | Inv.č. | 36900 |

| | |
|---------------------|------------------|
| Vytlačovací stroj 2 | IDE |
| Typ | ZE45-25d |
| Typ šneku | 250S/hl.vst.pouz |
| Inv.č. | 36901 |

| | | | | |
|----------|----------------------------|----------|---------|--|
| 3 | Vytlačovací stroj 1 | Standard | Zkouška | |
| | Otáčky šneku - U/min | 45,5 | | |
| | Výkon motoru / % | 39 | | |
| | Tlak hmoty / bar | 227 | | |
| | Teplota hmoty / °C | - | | |
| | Výkon stroje - kg/h | 63 | | |
| | Vakuum / bar | 0,8 | | |
| | Váha na 100m / kg | 10,5 | | |
| | Rychlost profilu-m/min | 10 | | |
| | Předehřev pásky /°C | 180 | | |
| | Předehřev zakl.prof./°C | 120 | | |

| | | | | |
|----------|----------------------------|----------|---------|--|
| 4 | Vytlačovací stroj 2 | Standard | Zkouška | |
| | Otáčky šneku - U/min | 60,4 | | |
| | Výkon motoru / % | 23 | | |
| | Tlak hmoty / bar | 203 | | |
| | Teplota hmoty / °C | 180 | | |
| | Výkon stroje - kg/h | | | |
| | Vakuum / bar | 0,8 | | |
| | Váha na 100m / kg | | | |
| | Teplota chl. Vody / °C | 10 | | |

| Teplotní program vytlačovacího stroje 1 /°C | | | Teplotní program vytlačovacího stroje 2 /°C | | |
|---|----------|---------|---|----------|---------|
| Zo- na | Standard | Zkouška | Zo- na | Standard | Zkouška |
| 1 | 175 | | 1 | 150 | |
| 2 | 185 | | 2 | 155 | |
| 3 | 185 | | 3 | 155 | |
| 4 | 185 | | 4 | 155 | |
| 5 | 185 | | 5 | 160 | |
| 6 | 180 | | 6 | 160 | |
| 7 | 180 | | 7 | 160 | |
| 8 | | | 8 | 160 | |

Pro zajištění optimálního výrobního procesu musí být dodržovány hlavní zásady pro zpracovávání tvrdého PVC a sice:

- nasazení bezpečnostních upínacích šroubů (vysoký vytlačovací tlak z důvodu vysoké viskozity materiálu)
- kontrola čistoty sedel teplotních snímačů plastifikačního válce stroje
- demontáž teplotních čidel taveniny z důvodu možného zahoření materiálu
- čistota povrchu plastifikačního válce
- vysoký lesk povrchu šneku a kanálů vytlačovací hlavy
- minimální opotřebení šneku a plastifikačního válce
- nasazení proplachovacího PVC (výše stabilizovaná receptura) před prvotním zavedením materiálu do plastifikačního válce
- stabilní výška granulátu v násypce stroje
- dokonalé promíchání obou surovin (60% PVC+40%ABS) v předepsaném poměru pomocí gravimetrického směšovače
- maximální zbytková vlhkost zpracovávaného materiálu po sušení v TLT < 0,1%
- okamžité vyčištění stroje po přerušení provozu stroje delším než 2min.
- čištění nástrojových hlav a nástrojů v neutralizační lázni
- zamezení vniknutí mazacích prostředků do kanálů nástroje při montáži vytlačovací hlavy

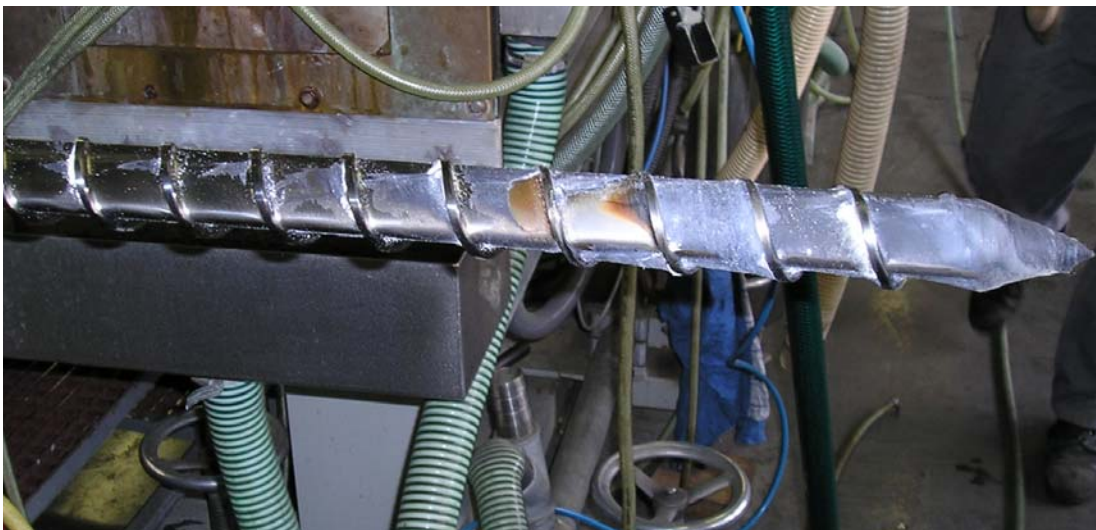
Nedílnou součástí výrobního procesu jsou pravidelné intervaly čištění strojů, v jejímž rámci musejí být všechny funkční prvky stroje, které přicházejí do styku s vytlačovaným materiálem, řádně vyčištěny. Předepsaný hospodárný interval čištění byl stanoven na 36 hodin nepřetržitého provozu stroje.

2.1.1 Změna vytlačovacího procesu v souvislosti s nasazením nové receptury PVC1962 R0040 do sériové výroby

Jak jsem se již v úvodu zmínil, zásadní zlom v hospodárnosti výroby a kvalitativních standardů výsledného profilu nastal v rámci přechodu na novou recepturu PVC 1962 R0040. Tento materiál je stabilizován zinko-vápenatými stabilizátory. Již krátce po nasazení této receptury PVC do sériové výroby byla pozorována velká „lepivost“ materiálu na povrch šneku spojená s rapidním snížením předepsaného intervalu čištění stroje z původních 36 hodin na 8 hodin.



Obrázek 20 vrstva PVC na povrchu šneku



Obrázek 21 pohled na tlakovou část vytlačovacího šneku

Dalším nežádoucím jevem byla zvýšená koroze rozvodových kanálů vytlačovací hlavy působením **produktů tepelné degradace PVC obsahujících chlor**.

Takto poškozené kanály vytlačovací hlavy mají za následek zhoršené vlastnosti toku taveniny v kanálech vytlačovací hlavy, které v konečném důsledku vede k rozměrové nestabilitě výsledného profilu (nepravidelné síly stěn). Takto vytlačený profil má výrazně zhoršené mechanické vlastnosti, které vedou k destrukci rastrové oblasti profilu při montáži krycí lišty na práh vozu.



Obrázek 22 koroze kanálů vytlačovací hlavy



Obrázek 23 koroze části vytlačovací hlavy



Obrázek 24 poškození mezidesky vytlačovací hlavy

2.1.2 Analýza nevyhovujícího procesu

Z důvodu vysokých ztrát při výrobě krycí lišty z nové receptury R0040 bylo nutné zjistit kmenovou příčinu vzniklého problému a následně stanovit adekvátní nápravné opatření. Analýza procesu včetně nutných technologických zkoušek se ubírala v následující posloupnosti

- a) materiálové zkoušky
- b) povrchové úpravy šneků a vytlačovací hlavy
- c) zkoušky alternativních materiálů

2.1.3 Materiálová analýza

Vzhledem k rychlému tepelnému poškození materiálu v plastifikačním válci stroje musela být zvolena vhodná materiálová zkouška, která by ukázala rozdíl teplotní stability mezi původně zpracovávaným PVC1962 R0030 a nové receptury PVC 1962 R0040. Pro porovnání vlastností obou receptur materiálu byla zvolena zkouška dynamické teplotní stability materiálu na hnětiči Brabender. Vzorek granulátu je hněten pomocí dvourotorového hnětiče při předepsané teplotě a otáčkách vřetene. V průběhu zkoušky se snímá hodnota točivého momentu až po dosažení jeho výrazného navýšení, které je spojeno s počátkem chemického zesíťování PVC. V tomto okamžiku je již vyčerpán veškerý stabilizátor, který je schopen udržet makromolekuly PVC v původním řetězci. Po překročení této hranice (v grafu bod B) dojde k odštěpení radikálu chloru z řetězce PVC (uvolněný chlor lze během zkoušky vnímat jeho charakteristickým štiplavým zápachem) a jak jsem již předeslal, začne fáze chemického zesíťování. Tento jev provází výrazný růst molekulové hmotnosti PVC a v tomto důsledku roste snímaný točivý moment. Konečnou fází zkoušky (v grafu bod D) je definitivní rozpad vzorku PVC. V tomto okamžiku je zkouška ukončena.

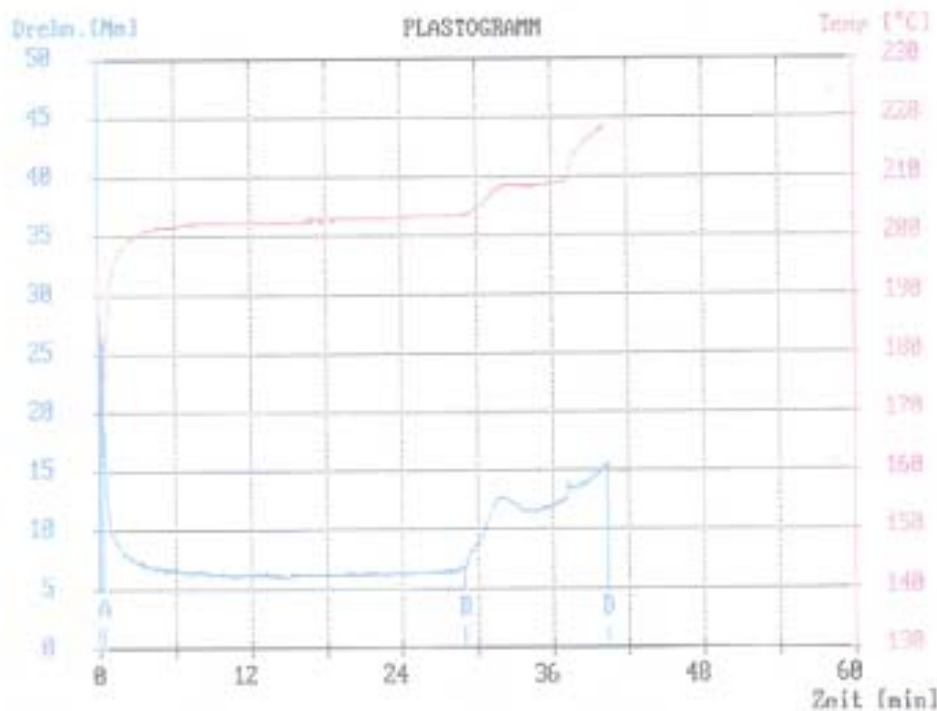
Výstupem ze zkoušky je křivka točivého momentu v závislosti na teplotě a době hnětení.

PVC 1962 R0030

BRABENDER PLASTOGRAMM 4.5

Datenverarbeitungs - PLASTI-CORDER PL2000/PL2100 und Mess-Knetter
Wärme- und Scherstabilität

Knetter-Temp. : 200 °C
Drehzahl : 60 1/min
Messbereich : 50 Nm
Null-Unterdr. : 0 t
Dampfung : 3
Test-Zeit : 60.0 min
Proben-Gew. : 33.00 g
Codenummer : 0330204
Start-Temp. : 197 °C



| Wert | Zeit | Drehmoment [Nm] | Massetemp. [°C] |
|------------------|----------|-----------------|-----------------|
| Einfüllmaximum A | 00:00:20 | 26.5 | 166 |
| Minimum B | 00:29:00 | 6.9 | 203 |
| Maximum X | 00:40:24 | 15.4 | 219 |
| Zersetzung D | 00:40:26 | 15.6 | 219 |

Integration / Energie

- Einfüllmaximum bis Minimum A - B : W1 = 72.5 [kJNm]
 - Minimum bis Maximum B - X : W2 = 60.0 [kJNm]
 - Maximum bis Zersetzung X - D : W3 = 0.0 [kJNm]
 - Einfüllmaximum bis Maximum A - X : W4 = 133.0 [kJNm]
 - Einfüllmaximum bis Zersetzung A - D : W5 = 133.0 [kJNm]
 - Spezifische Energie (W5/Probengewicht) : W6 = 4.0 [kJNm/g]

Ergebnisse

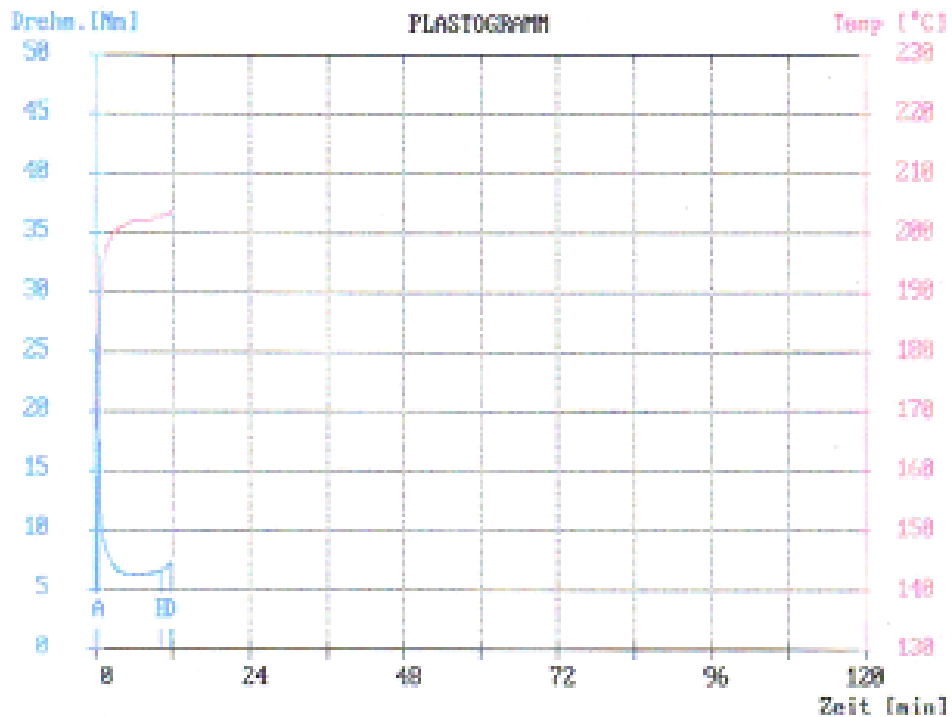
- Plastifizierzeit A - X : t = 00:40:04
 - Zersetzungszeit A - D : tD = 00:40:06

PVC1962 R0040

BRABENDER PLASTOGRAMM 4.5

Datenverarbeitungs - PLASTI-CORDER PL2000/PL2100 und Mess-Kneteter
Wärme- und Scherstabilität

Kneteter-Temp. : 200 °C
Drehzahl : 60 1/min
Meßbereich : 50 Nm
Null-Unterdr. : 0 %
Dämpfung : 3
Test-Zeit : 90.0 min
Proben-Gew. : 33.00 g
Codenummer : 0340204
Start-Temp. : 196 °C



| Wert | Zeit | Drehmoment [Nm] | Massetemp. [°C] |
|------------------|----------|-----------------|-----------------|
| Einfüllmaximum A | 00:00:28 | 33.3 | 164 |
| Minimum B | 00:10:16 | 6.7 | 203 |
| Maximum X | 00:11:44 | 7.2 | 204 |
| Zersetzung D | 00:11:48 | 7.2 | 203 |

Integration / Energie

- Einfüllmaximum bis Minimum A - B : W1 = 26.8 [kJNm]
 - Minimum bis Maximum B - X : W2 = 3.8 [kJNm]
 - Maximum bis Zersetzung X - D : W3 = 0.2 [kJNm]
 - Einfüllmaximum bis Maximum A - X : W4 = 30.6 [kJNm]
 - Einfüllmaximum bis Zersetzung A - D : W5 = 30.8 [kJNm]
 - Spezifische Energie (W5/Probengewicht) : W6 = 0.9 [kJNm/g]

Ergebnisse

- Plastifizierzeit A - X : t = 00:11:16
 - Zersetzungszeit A - D : tD = 00:11:20

Závěrem materiálových zkoušek lze tedy konstatovat, že nová receptura R0040 má v porovnání s původní recepturou R0030 přibližně **trojnásobně nižší** dynamickou teplotní stabilitu. Tomuto zjištění také odpovídá pozorované snížení intervalu čištění stroje při zpracovávání nové receptury PVC1962 R0040

2.1.4 Povrchové úpravy šneků

V rámci pravidelných čištění vytlačovací hlavy a šneku jsme pozorovali časté nalepení taveniny na povrch jádra nitridovaných šneků. K zamezení tohoto jevu bylo rozhodnuto, že celý šnek bude opatřen vrstvou tvrdo-chromu, která by měla výrazně zvýšit skluz taveniny po stěně šneku a zároveň působit jako antiabrazivní ochrana nitridovaného povrchu šneku proti působení skleněného plniva.

Krátce po nasazení pochromovaného šneku do sériové výroby bylo pozorováno značné prodloužení intervalu čištění stroje. Po demontáži šneku z plastifikační komory nebyl pozorován charakteristický povlak zesíťovaného PVC na povrchu jádra šneku.



Obrázek 25 Povrch pochromovaného šneku

Díky omezení tvorby shluků materiálu na povrchu šneku se výrazně redukoval počet případů ucpání tokových kanálů vytlačovací hlavy úlomkem zesíťovaného materiálu. Toto zlepšení vytlačovacího procesu vrátilo dosažené mechanické vlastnosti profilu na úroveň kvality profilu z receptury stabilizované olovnatým stabilizátorem.

Parametry vytlačovacího procesu s nasazením pochromovaného šneku

Vytlačovací protokol - pochromovaný šnek

Výrobek: krycí lišta

| | | |
|----------|-----------------|---------------|
| 1 | Materiál 1 | PVC1962 R0040 |
| | Barva | černá |
| | Forma materiálu | granulát |
| | Sušení | 2h/80°C |
| | Nerez. pásek | 5,5x0,5mm |

| | |
|-----------------|---------------|
| Materiál 2 | PVC9268 R0380 |
| Barva | antracitová |
| Forma materiálu | granulát |
| Sušení | 2h/80°C |

| | | |
|----------|---------------------|------------------|
| 2 | Vytlačovací stroj 1 | Weber |
| | Typ | RS45-25d |
| | Typ šneku | 250S/hl.vst.pouz |
| | Inv.č. | 36902 |

| | |
|---------------------|-------------------|
| Vytlačovací stroj 2 | IDE |
| Typ | ZE45-25d |
| Typ šneku | 250S/hl.vst.pouz. |
| Inv.č. | 36901 |

| | | | | |
|----------|-------------------------|----------|---------|--|
| 3 | Vytlačovací stroj 1 | Standard | Zkouška | |
| | Otáčky šneku - U/min | 43,8 | 40,4 | |
| | Výkon motoru / % | 39 | 39 | |
| | Tlak hmoty / bar | 225 | 225 | |
| | Teplota hmoty / °C | - | - | |
| | Výkon stroje - kg/h | 63 | 63 | |
| | Vakuum / bar | 0,5 | 0,7 | |
| | Váha na 100m / kg | 10,5 | 10,5 | |
| | Rychlost profilu-m/min | 10 | | |
| | Předehřev pásky /°C | 180 | | |
| | Předehřev zakl.prof./°C | 120 | | |

| | | | | |
|----------|------------------------|----------|---------|--|
| 4 | Vytlačovací stroj 2 | Standard | Zkouška | |
| | Otáčky šneku - U/min | 58,4 | 61,5 | |
| | Výkon motoru / % | 23 | 24 | |
| | Tlak hmoty / bar | 211 | 216 | |
| | Teplota hmoty / °C | 180 | 179 | |
| | Výkon stroje - kg/h | | | |
| | Vakuum / bar | 0,5 | 0,5 | |
| | Váha na 100m / kg | | | |
| | Teplota chl. Vody / °C | 10 | 10 | |

| Teplotní program vytlačovacího stroje 1 /°C | | | Teplotní program vytlačovacího stroje 2 /°C | | |
|---|----------|---------|---|----------|---------|
| Zo- na | Standard | Zkouška | Zo- na | Standard | Zkouška |
| 1 | 175 | 175 | 1 | 150 | 150 |
| 2 | 185 | 185 | 2 | 155 | 155 |
| 3 | 185 | 185 | 3 | 155 | 155 |
| 4 | 185 | 185 | 4 | 155 | 155 |
| 5 | 185 | 185 | 5 | 160 | 160 |
| 6 | 180 | 180 | 6 | 160 | 160 |
| 7 | 180 | 180 | 7 | 160 | 160 |
| 8 | | | 8 | 160 | 160 |

2.1.5 Antiadhezní vlastnosti tvrdo-chromových povlaků

Díky schopnosti chromu tvořit se vzdušným kyslíkem velmi hutné vrstvy oxidů, propůjčí tato vrstva chromované vrstvě velmi dobré kluzné vlastnosti.

Z tohoto důvodu se často používá chromování všude tam, kde je třeba snížit adhezi zpracovávaného materiálu k povrchu nástroje a částí zpracovatelského stroje. Tímto je umožněno např. lepší odformování dílů z dutin forem.

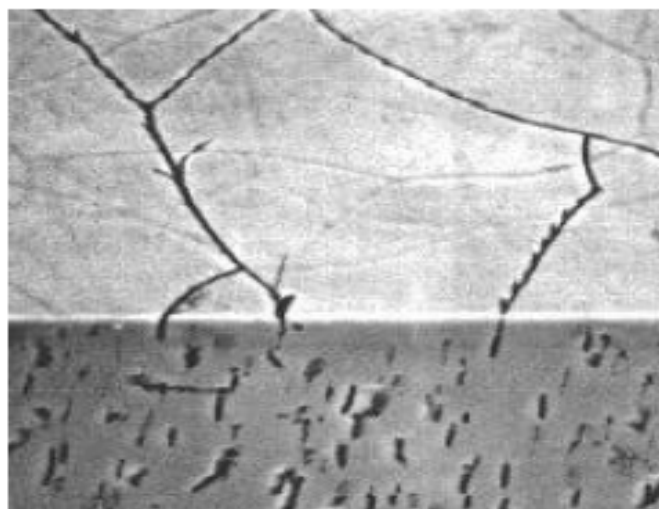
Kovalentní vazba (atomová vazba) oxidu chromu zamezí adheznímu opotřebením. Tvorba vrstvy oxidů chromu se naruší pouze v případě nedostatku kyslíku nebo specifických plošných tlaků [18].

2.1.6 Odolnost proti mechanickému opotřebením tvrdo-chromových povlaků

V zásadě je nedobré srovnávat odolnost proti opotřebením tvrdo-chromového povlaku jenom s jeho tvrdostí. Pokud vůbec, platí toto srovnání pouze v případě tzv. abrazivního a adhezního opotřebením. V převážné většině případů jsou tvrdo-chromové povlaky nasazovány kvůli větší stálosti při namáhání opotřebením.

Z obecného hlediska je charakter odolnosti proti opotřebením dán následujícími znaky:

- prostorově středěnou krystalovou mřížkou chromu
- tvorbou neprodyšných oxidů chromu
- možností tvorby objemově silné vrstvy chromu



Obrázek 26 příčný řez vrstvou chromu [18]

2.1.7 Vlastnosti chromového povlaku v korozivním prostředí

Nanesená vrstva chromu je vždy protkána jemnými prasklinami (obr.26/str.53). Protikoroziční vlastnosti pochromovaných povrchů jsou závislé většinou na síle nanesené vrstvy, členitosti pochromovaného dílu a v neposlední řadě výskytem velkých prasklin (jedná se o praskliny, které jsou průchozí přes celou vrstvu chromu).

Obzvlášť je třeba mít na zřeteli, že chromové vrstvy mají díky vysokému vlastnímu tahu napětí malou houževnatost a tím jsou velmi citlivé při mechanickém zatížení na vznik trhlin.

Chromové vrstvy jsou dobře odolné proti působení organických kyselin a fosforečným sloučeninám. Neodolávají však působení kyseliny sírové a fluorovodíkové.

Těžko odolávají působení sloučenin chloru, jako jsou chloridy mědi a zinku a kyselině solné [18].

2.1.8 Opotřebení vytlačovacích hlav

Vlivem 15% podílu částicového skleněného plniva ve zpracovávané receptuře PVC ve spojitosti s agresivním prostředím vzniklém při pomalém vylučování chloru ve vytlačovací stroji, bylo v průběhu výroby pozorováno masivní abrazivní opotřebení jednotlivých desek vytlačovací hlavy. Vytlačovací hlava byla vyrobena z nerezavějící nástrojové oceli třídy 1.2316.



Obrázek 27 abrazivní opotřebení oceli 1.2316

Složení a vlastnosti oceli 1.2316

Charakteristika

Chrom-molybdenová ocel ke kalení v oleji s velmi dobrou prokalitelností a dobrou pevností za tepla. Ocel vykazuje zvýšenou odolnost proti korozi vzhledem k zvýšenému obsahu chromu. Ocel vykazuje výbornou odolnost proti opotřebení, dobrou obrobitelnost a leštitelnost, pro použití je dodávána v zušlechťeném stavu [19].

Vhodnost použití

Formy pro lisování chemicky agresivních plastů apod. [19].

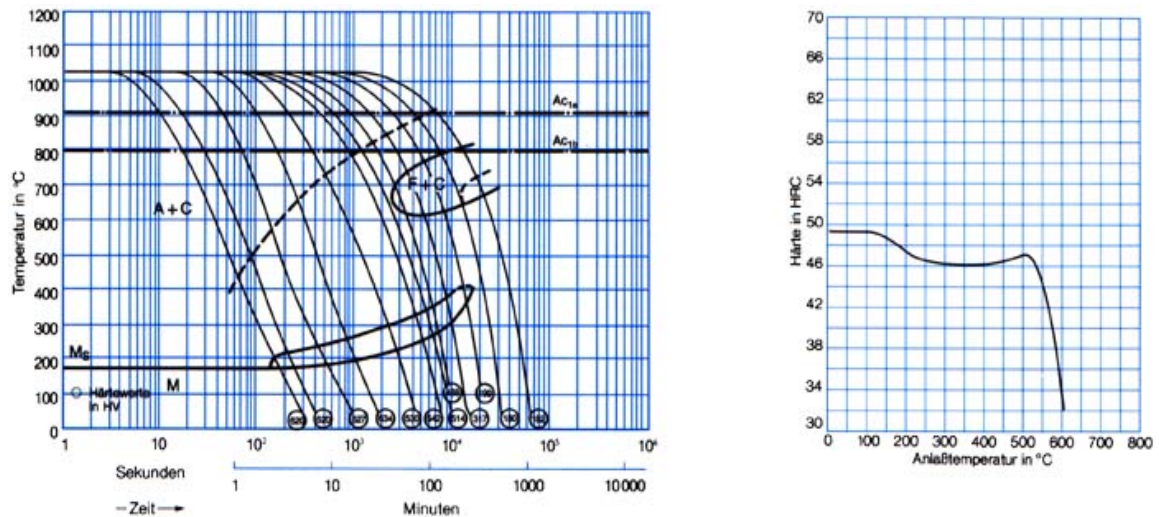
| Chemické složení oceli . 1.2316 | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|------|------|----------|--------------|----|---|--------|----|--------|--------|-------------------|--------------|
| Značka oceli | Chemické složení v % | | | | | | | | | | | Tvrдость ve stavu | |
| | C | Mn | Si | Cr | W | Mo | V | Ni max | Co | P max. | S max. | Žih. na měkko | Zušlechťeném |
| | | | | | | | | | | | | HB max. | HRC min. |
| DIN X42Cr13 | 0,33 až 0,43 | 1,00 | 1,00 | 15 až 17 | 1,00 až 1,30 | | | 1,00 | | 0,030 | 0,030 | 250 | 49 |
| ČSN není | | | | | | | | | | | | | |

| Tepelné zpracování oceli 1.2316 | | |
|---------------------------------|--------------|--|
| Způsob | Teplota [°C] | Postup |
| Kování | 1050 až 850 | Pomalou ochlazovat v suchém popelu nebo silné průřezy v peci |
| Žihání na měkko | 760 až 800 | Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci |
| Kalení | 1020 až 1050 | Ochlazovat v oleji nebo v horké lázni teplé 500-600°C, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu |

Tabulka popouštěcích hodnot v závislosti na tvrdosti

| °C | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| HRC | 49 | 47 | 46 | 46 | 47 | 32 |

Graf



2.1.9 Optimalizace vytlačovacích hlav

Vzhledem k velmi malé životnosti vytlačovací hlavy z tepelně neupravené oceli 1.2316, která musela být po šesti měsících sériové výroby za nemalých nákladů nahrazena novou, bylo nutné pomocí vhodné tepelné úpravy dosáhnout vyšší otěru-vzdornosti povrchu jednotlivých desek vytlačovací hlavy.

2.1.9.1 Nitridace vytlačovací hlavy

První zkoušenou úpravou, kterou se zvýšila otěruodolnost materiálu 1.2316, byla **plynová nitridace**. Takto upravený povrch materiálu vytlačovací hlavy vykazoval po prvním nasazení do výroby velmi dobré výsledky z hlediska jakosti vytlačovaného povrchu spojený s výrazně zlepšenými mechanickými vlastnostmi rastrové části základního profilu v porovnání s profilem, který byl vyroben s původně tepelně neupraveným (měkkým) nástrojem. Ačkoli první výsledky výroby byly velmi povzbudivé, tak se po šesti po sobě jdoucích výrobach bohužel ukázalo, že nitridovaná vrstva vytlačovací hlavy není schopna dostatečně odolávat působení vylučovaného chlorovodíku.



Obrázek 28 koroze povrchu nitridovaného nástroje

2.1.9.2 Alternativní materiál ELMAX

Jelikož úprava povrchu nástroje nitridováním nepřinesla očekávaný efekt, bylo nutné vyrobit nástroj z kvalitnější nerezavějící oceli, která by odolala jak zvýšenému mechanickému a také silnému koroznímu zatížení.

Druhou zkoušenou úpravou byla tedy aplikace nástrojového materiálu ELMAX. Tento materiál nám umožnil díky své dobré odolnosti proti korozi a zároveň možnosti kalení v pásmu 50-60HRC vyrobit vytláčovací hlavu potřebných vlastností. V porovnání s původně nasazeným materiálem 1.2316 a jeho nitridovanou modifikací jsme dosáhli použitím materiálu ELMAX zlepšení odolnosti proti abrazivnímu a koroznímu opotřebení vytláčovací hlavy v řádu stovek procent.

Po dvouletém provozu vytláčovací hlavy jsme nezaznamenali prakticky žádné měřitelné opotřebení, které by negativně ovlivnilo výrobu krycí lišty. Za těchto podmínek nám nasazení nové oceli ELMAX umožnilo zvýšit výkon vytláčovací linky o 20 % a prodloužení intervalu čištění vytláčovacího stroje na původní hranici 36 hodin.



Obrázek 29 opotřebení desek vytláčovací hlavy Elmax

Složení a vlastnosti oceli ELMAX

ELMAX

Charakteristika

ELMAX je Cr-Mo-V slitinová, práškovou metalurgií vyrobená ocel, s následujícími vlastnostmi:

- vysoká odolnost proti opotřebení
- vysoká pevnost v tlaku
- vysoká rozměrová stabilita
- vysoká korozní odolnost.

Obvyklé ocele jsou buď odolné proti opotřebení nebo proti korozi. ELMAX je díky speciálním legurám odolný jak proti opotřebení, tak proti korozi.

ELMAX nabízí možnost vyrábět nástroje s dlouhou životností a nízkými náklady na údržbu.

| | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|-----|-----|------|-----|-----|
| Chemické složení % | C | Si | Mn | Cr | Mo | V |
| | 1,7 | 0,8 | 0,3 | 18,0 | 1,0 | 3,0 |
| Dodávaný stav | měkce žíhané cca 250 HB | | | | | |
| Barevné označení | modrá/černá | | | | | |

Použití

Mnoho dnešních umělých hmot na konstrukční prvky obsahuje vysoký podíl plnicích látek. Tímto vznikají větší nároky na odolnost proti korozi a proti opotřebení u materiálů na nástroje. ELMAX je speciálně vyvinut na použití v oblasti Hi-Tech (např. konektorové spínače, vypínače, integrované spínací komponenty atd.).

ELMAX se také používá v balicím a potravinářském průmyslu, kdy je - při použití pro řezání - nutná kombinace odolnosti proti korozi a proti opotřebení.

Vlastnosti

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Kaleno a popouštěno na 58 HRC

| | | | |
|---|---------|-------------------------|-------------------------|
| Teplota | 20°C | 200°C | 400°C |
| Měrná hmotnost kg/m ³ | 7 800 | 7 750 | 7 700 |
| Modul pružnosti Mpa N/mm ² | 240 000 | 230 000 | 220 000 |
| Součinitel tepelné roztažnosti °C od 20°C | - | 10,7 x 10 ⁻⁶ | 11,6 x 10 ⁻⁶ |
| Tepelná vodivost* W/m °C | - | 21 | 23 |
| Specifická teplota J/kg °C | 460 | - | - |

TEPLOTA

Pevnost v tlaku

| | | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| Tvrdost | 60 HRC | 55 HRC | 50 HRC |
| Pevnost v tahu Rm N/mm ² | 3000 | 2700 | 2300 |
| Mez pružnosti N/mm ² | 2300 | 2150 | 1800 |

KOROZNÍ ODOLNOST

Formy z elmaxu se vyznačují dobrou korozní odolností, za předpokladu, že zpracování korozních umělých hmot nastává za normálních podmínek.



Obrázek 30 - vlastnosti materiálu ELMAX [20]

ELMAX

Tepelné zpracování

ŽIHÁNÍ NA MĚKKO

Ocel chránit před oxidací, prohřát na 980°C a na této teplotě držet 2 hodiny. Pomalu ochlazovat v peci rychlostí 10°C za hodinu až na 850°C a držet 10 hodin na této teplotě. Potom pomalu v peci ochladit na 750°C, nakonec volně ochladit na vzduchu.

ŽIHÁNÍ NA SNÍŽENÍ VNITŘNÍHO Pnutí

Po hrubém opracování nástroj prohřát na 650°C a na této teplotě držet 2 hodiny. Potom pomalu ochladit v peci na 500°C a nakonec volně na vzduchu.

KALENÍ

Předehřev: 600-850°C
Austenitizační teplota: 1050-1100°C běžně 1080°C

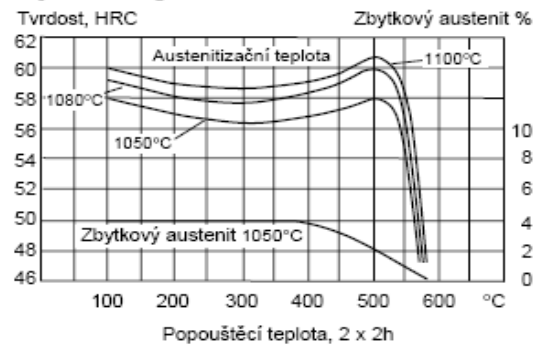
| Teplota °C | Výdrž Min. | Primární tvrdost |
|------------|------------|------------------|
| 1050 | 30 | 60 HRC |
| 1080 | 30 | 61 HRC |
| 1100 | 30 | 62 HRC |

* Výdrž = Časový usek držení na austenitizační teplotě, začínající s dosažením předepsané teploty v jádru, až k zavedení chladičoho procesu.
Chraňte díly proti oduhličení a oxidaci během kalení.

POPOUŠTĚNÍ

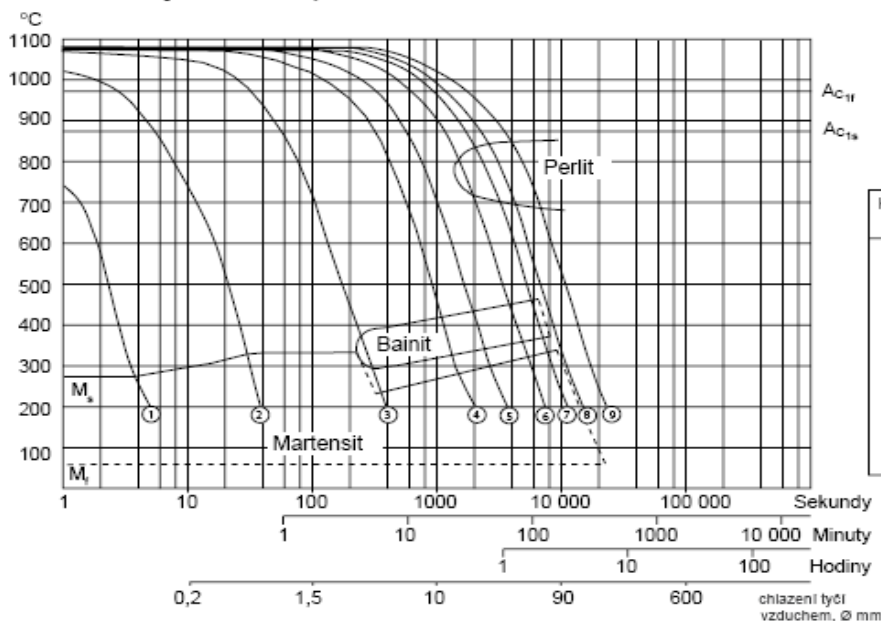
Popouštěcí teploty volit podle požadované tvrdosti z popouštěcího diagramu. Popouštět dvakrát s mezi ochlazením na pokojovou teplotu. Nejnižší popouštěcí teplota je 180°C. Minimální doba je 2 hodiny.

Popouštěcí diagram



Časově-teplotní-přeměnný diagram průběžného ochlazování

Austenitizační teplota 1050°C, výdrž 30 minut



Obrázek 31 tepelné zpracování ELMAX [20]

2.1.10 Zkoušky alternativního PVC 1962R0050

Vzhledem k výborným výsledkům při aplikaci pochromovaného šneku ve spojitosti s nasazením nové vytlačovací hlavy z oceli ELMAX se nabízela možnost provést zkoušky alternativní receptury PVC, která by vedla k redukci stávajících materiálových nákladů. Základem zkoušeného materiálu byla vlastní receptura PVC (bez plniva), která byla smíchána s alternativním ABS materiálem s vyšším obsahem plniva. Složení výsledné receptury bylo 60% PVC / 40% ABS + 15% skleněného plniva.

Materiálové zkoušky probíhaly za stejných technologických podmínek jako v případě nasazení sériového materiálu PVC 1962 R0040.

Cílem zkoušky nové receptury PVC 1962 R0050 bylo stanovení zpracovatelnosti nového materiálu ve smyslu dosažení všech rozměrových a funkčních požadavků na profil. V závěru krátké zkušební výroby byla posouzena „lepivost“ nového materiálu na chromovaný šnek. Jelikož po vytažení šneku z plastifikační komory stroje nebyl na povrchu šneku pozorován žádný „přilepený“ materiál, byla zkouška nové receptury hodnocena pozitivně a na základě zákaznické funkční zkoušky bylo rozhodnuto o uvolnění této receptury materiálu pro sériovou výrobu.



Obrázek 32 povrch šneku po zkoušce receptury PVC1962 R0050

Parametry vytlačovacího procesu zkušební receptury PVC1962 R0050

Vytlačovací protokol – alternativní materiál PVC1962R0050

Výrobek: krycí lišta

| | | |
|----------|-----------------|---------------|
| 1 | Materiál 1 | PVC1962 R0050 |
| | Barva | černá |
| | Forma materiálu | granulát |
| | Sušení | 2h/80°C |
| | Nerez. pásek | 5,5x0,5mm |

| | |
|-----------------|---------------|
| Materiál 2 | PVC9268 R0380 |
| Barva | antracitová |
| Forma materiálu | granulát |
| Sušení | 2h/80°C |

| | | |
|----------|---------------------|------------------|
| 2 | Vytlačovací stroj 1 | Weber |
| | Typ | RS45-25d |
| | Typ šneku | 250S/hl.vst.pouz |
| | Inv.č. | 36902 |

| | |
|---------------------|-------------------|
| Vytlačovací stroj 2 | IDE |
| Typ | ZE45-25d |
| Typ šneku | 250S/hl.vst.pouz. |
| Inv.č. | 36901 |

| | | | | |
|-----------------------|------------------------|----------|---------|--|
| 3 | Vytlačovací stroj 1 | Standard | Zkouška | |
| | Otáčky šneku - U/min | 44,5 | 40,9 | |
| | Výkon motoru / % | 39 | 50 | |
| | Tlak hmoty / bar | - | - | |
| | Teplota hmoty / °C | - | - | |
| | Výkon stroje - kg/h | 63 | 63 | |
| | Vakuum / bar | 0,5 | 0,7 | |
| | Váha na 100m / kg | 10,5 | 10,5 | |
| | Rychlost profilu-m/min | 10 | 10 | |
| | Přehřev pásy / °C | 180 | | |
| Přehřev zakl.prof./°C | 120 | | | |

| | | | | |
|------------------------|----------------------|----------|---------|--|
| 4 | Vytlačovací stroj 2 | Standard | Zkouška | |
| | Otáčky šneku - U/min | 58,4 | 66,4 | |
| | Výkon motoru / % | 23 | 24 | |
| | Tlak hmoty / bar | 203 | 198 | |
| | Teplota hmoty / °C | 180 | 182 | |
| | Výkon stroje - kg/h | | | |
| | Vakuum / bar | 0,5 | 0,6 | |
| | Váha na 100m / kg | | | |
| Teplota chl. Vody / °C | 10 | 10 | | |

| Teplotní program vytlačovacího stroje 1 /°C | | | Teplotní program vytlačovacího stroje 2 /°C | | |
|---|----------|---------|---|----------|---------|
| Zo-na | Standard | Zkouška | Zo-na | Standard | Zkouška |
| 1 | 175 | 175 | 1 | 150 | 150 |
| 2 | 185 | 185 | 2 | 155 | 155 |
| 3 | 185 | 185 | 3 | 155 | 155 |
| 4 | 185 | 185 | 4 | 155 | 155 |
| 5 | 185 | 185 | 5 | 160 | 160 |
| 6 | 180 | 180 | 6 | 160 | 160 |
| 7 | 180 | 180 | 7 | 160 | 160 |
| 8 | | | 8 | 160 | 160 |

tabulka 6 parametry procesu PVC1962R0050

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl popis vlivu povrchových úprav částí vytlačovacího stroje a vytlačovací hlavy na kvalitativní a kvantitativní parametry celého vytlačovacího procesu.

V první kapitole jsem se věnoval popisu výroby PVC a ABS. Zde jsou popsány jednotlivé stupně výroby obou materiálů a zároveň jsem zmínil jejich specifické vlastnosti a použití.

V druhé kapitole jsou uvedeny základní stavební díly vytlačovacího stroje, popis funkce vytlačovacího šneku a plastifikační jednotky.

Závěrečná část teoretické části je věnována popisu a užití celé škály vytlačovacích hlav a kalibračních zařízení.

V praktické části jsem se zaměřil na popis optimalizace výroby vytlačované krycí lišty v souvislosti s přechodem na bezolovnatou recepturu PVC. Stěžejní pozornost je věnována popisu vlivu povrchové úpravy vytlačovacího šneku chromováním a vlastnostem chromového povlaku. Díky této technologii lze dosáhnout výrazného snížení přilnavosti taveniny zpracovávaného materiálu na stěnu vytlačovacího šneku, která je v konečném důsledku rozhodující pro jakost a vlastnosti celého vytlačovaného produktu.

V další samostatné kapitole jsou popsány vlastnosti a tepelné úpravy materiálů vytlačovací hlavy (nitridace oceli 1.2316 a kalení práškové oceli ELMAX) Vhodnou volbou tepelného zpracování materiálu vytlačovací hlavy můžeme docílit požadovaných vlastností výrobního procesu a jakosti vytlačovaného profilu. V konečném důsledku lze dosáhnout výrazného navýšení životnosti vytlačovací hlavy a růstu hospodárnosti výroby koncového produktu.

Z nákladového hlediska se v tomto konkrétním případě podařilo dojít k ročním úsporám ve výši 77000 EUR. V této částce je zahrnuto zvýšení výkonu vytlačovací linky o 20 % a nasazení alternativní receptury PVC při zachování stejných jakostních standardů výsledného profilu.

Dalším výstupem je úprava vnitropodnikových výrobních postupů pro všechna technologická zařízení, kde jsou nasazeny těžko zpracovatelné receptury materiálů PVC a ABS. Zde se nasazení pochromovaných vytlačovacích šneků stalo novým vnitropodnikovým standardem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Firemní materiály* Fa.Hans Weber Maschinenfabrik GmbH
- [2] *Spolana a.s.* [online]. [cit.2009-11-4]. Dostupný z WWW:
<http://www.spolana.cz/>
- [3] *Vlastnosti PVC* [online]. [cit.2009-11-6]. Dostupný z WWW:
http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride
- [4] ŠTĚPEK,J.; ZELINGER,J.; KUTA,A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989
- [5] STARÝ,M.; POHL,I.;ŠTEKNER,B.;KAŠÍK,B. *Termopolymery ABS, zpracování a použití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977
- [6] *Vlastnosti ABS* [online]. [cit.2009-11-8]. Dostupný z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Akrylonitrilbutadienstyren>
- [7] LEINVEBER,J.; VÁVRA,P. *Strojnické tabulky*
Praha: Albra pedagogické nakladatelství, Úvaly 2008. ISBN 978-80-7361-051-7
- [8] HENSEN,F. *Plastics Extrusion Technology*
München: Nakladatelství Carl Hanser 1997. ISBN 978-3-446-18490-9
- [9] RAUWENDAAL,CH. *Understanding Extrusion*
München: Nakladatelství Carl Hanser 2010. ISBN 978-3-446-41686-4
- [10] RAUWENDAAL,CH. *Polymer Extrusion*
München: Nakladatelství Carl Hanser 2001. ISBN 978-3-446-21774-4
- [11] CHUNG, I.CHAN. *Extrusion of Polymers , Theory & Practice*
München: Nakladatelství Carl Hanser 2000. ISBN 978-3-446-21376-0
- [12] WHITE,J; POTENTE,H. *Screw Extrusion*
München: Nakladatelství Carl Hanser 2002. ISBN 978-3-446-19624-7
- [13] HARRIS,H. *Extrusion Control, Maschine-Process-Produkt*
München: Nakladatelství Carl Hanser 2004 ISBN 978-3-446-22167-3

- [14] NARANJO,C; NORIEGA,P; SIERRA,M; SANZ,J. *Extrusion Processing Data*
München : Nakladatelství Carl Hanser 2001 ISBN 978-3-446-21694-5
- [15] MICHAELI,W. *Extrusion Dies for Plastics and Rubber*
München : Nakladatelství Carl Hanser 2003 ISBN 978-3-446-22561-9
- [16] LENFELD,P. *Technologie II* [online]. [cit. 2010-01-3]. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm#065
- [17] NORIEGA,P; RAUWENDAAL,CH. *Troubleshooting the Extrusion Process*
München : Nakladatelství Carl Hanser 2001 ISBN 978-3-446-21766-9
- [18] *Betz-Chrom GmbH & Co.* [online]. [cit. 2010-02-6].
Dostupný z WWW:
http://www.betz-chrom.de/pdf/TechInfo_%20I_Hartchrom.pdf
- [19] *JKZ a.s.* [online]. [cit. 2010-2-8]. Dostupný z WWW:
<http://www.jkz.cz/ocel.php?ocel=12316&lang=cz>
- [20] *Böhler-Uddeholm cz s.r.o.* [online]. [cit. 2010-03-3]. Dostupný z WWW:
<http://www.bohler-uddeholm.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|------------------|---------------------------------|
| TLT | Horkovzdušná sušárna granulátu. |
| PVC | Polyvinylchlorid. |
| ABS | Akrylonitrilbutadyenstyren. |
| H-PVC | Tvrký polyvinylchlorid |
| W-PVC | Měkký polyvinylchlorid |
| PC | Polykarbonát |
| PUR | Polyuretan |
| PA | Polyamid |
| PP | Polypropylen |
| PE | Polyetylen |
| PMMA | Polymetametakrylát |
| ACN | Akrylonitril |
| HF- generátor | Vysokofrekvenční generátor |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|------------|--|----|
| Obrázek 1 | vzorec polyvinylchloridu[3]..... | 11 |
| Obrázek 2 | stavební díly vytlačovacího stroje [1, 8] | 23 |
| Obrázek 3 | ovládací prvky vytlačovacího stroje [1, 11]..... | 26 |
| Obrázek 4 | ovládací prvky vytlačovacího stroje [1, 11]..... | 27 |
| Obrázek 5 | geometrie šneku | 28 |
| Obrázek 6 | popis geometrie šneku..... | 28 |
| Obrázek 7 | modely pole taveniny | 30 |
| Obrázek 8 | stěnou vedené taveniny | 31 |
| Obrázek 9 | Geometrie jednoduchých šneků a stočených kanálů šneků | 32 |
| Obrázek 10 | Profil rychlosti ve směru koordinát z a x | 33 |
| Obrázek 11 | Překrývání vlečných a tlakových proudů pro newtonské kapaliny..... | 34 |
| Obrázek 12 | řez přímou vytlačovací hlavou na trubky [1, 15] | 35 |
| Obrázek 13 | řez přímou vytlačovací hlavou na profily [15, 16]..... | 35 |
| Obrázek 14 | řez šikmou plochou hlavou [15, 16]..... | 36 |
| Obrázek 15 | Detail otevřené šterbinové vytlačovací hlavy [15, 16] | 37 |
| Obrázek 16 | vytlačovací hlava pro granulování materiálu [15, 16] | 37 |
| Obrázek 17 | Přetlaková kalibrace [16, 17] | 38 |
| Obrázek 18 | podtlaková kalibrace [16, 17]..... | 38 |
| Obrázek 19 | profil krycí lišty | 40 |
| Obrázek 20 | vrstva PVC na povrchu šneku | 46 |
| Obrázek 21 | pohled na tlakovou část vytlačovacího šneku | 46 |
| Obrázek 22 | koroze kanálů vytlačovací hlavy | 47 |
| Obrázek 23 | koroze části vytlačovací hlavy | 48 |
| Obrázek 24 | poškození mezidesky vytlačovací hlavy | 48 |
| Obrázek 25 | Povrch pochromovaného šneku | 52 |
| Obrázek 26 | příčný řez vrstvou chromu [18]..... | 55 |
| Obrázek 27 | abrazivní opotřebení oceli 1.2316 | 56 |
| Obrázek 28 | koroze povrchu nitridovaného nástroje..... | 59 |
| Obrázek 29 | opotřebení desek vytlačovací hlavy Elmax..... | 60 |
| Obrázek 30 | vlastnosti materiálu ELMAX [20] | 61 |
| Obrázek 31 | tepelné zpracování ELMAX [20]..... | 62 |

| | | |
|------------|---|----|
| Obrázek 32 | povrch šneku po zkoušce receptury PVC1962 R0050 | 63 |
|------------|---|----|

SEZNAM TABULEK

| | | |
|-----------|---|----|
| tabulka 1 | vlastnosti polyvinylchloridu[3] | 14 |
| tabulka 2 | fyzikální a mechanické vlastnosti ABS [7]..... | 22 |
| tabulka 3 | druhy vytlačovacích šneků [1, 9] | 25 |
| tabulka 4 | parametry vytlačovacího procesu PVC1962-R0030..... | 44 |
| tabulka 5 | parametry procesu s nasazením pochromovaného šneku..... | 54 |
| tabulka 6 | parametry procesu PVC1962R0050..... | 64 |