

Svařitelnost bariérových fólií

Jan Šmerda

Bakalářská práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ŠMERDA**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**
Téma práce: **Svařitelnost bariérových fólií**

Zásady pro vypracování:

Zpracujte rešerši na dané téma ze všech dostupných a doporučených zdrojů.
Zmapujte momentální stav , zhodnopte problémy a jejich řešení.
Pokuste se odhadnout pravděpodobný další vývoj problematiky a řešení.



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Makromolekulární chemie I – Doc.Ing. Karel Stoklasa CSc.

Technologie a řízení pro zpracování kaučuků a plastů – Ing. Antonín Kuta CSc.

Anglicko-Český obalový slovník – Vedral Jiří

Dále dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

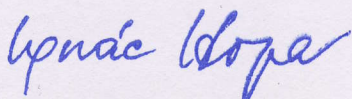
Datum zadání bakalářské práce:

11. listopadu 2006

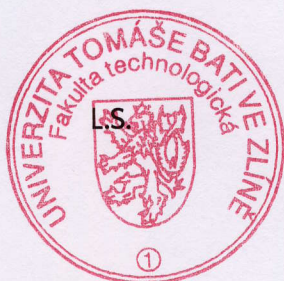
Termín odevzdání bakalářské práce:

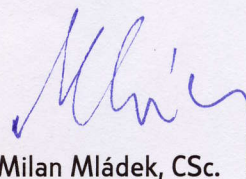
21. května 2007

Ve Zlíně dne 5. února 2007



prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan





prof. Ing. Milan Mládek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vícevrstevními bariérovými fóliemi, jejich svařitelností a dalšími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jsou zde rozebrány adhezní bariérové a nosné polymerní materiály, které se v současné době nejvíce uplatňují v obalové technice, především pro zabalení potravin. U jednotlivých materiálů je brán zřetel hlavně na jejich propustnost vůči kyslíku a vodním parám. Adhezní materiály naopak vynikají svou přilnavostí k ostatním vrstvám. U technologické části je dominující výroba koextruzním vyfukováním a výroba vytlačováním přes plochou šterbinovou hlavu. Dále jsou zde zmíněny různé techniky svařování a problémy svařovatelnosti fólií.

Klíčová slova: vícevrstvé bariérové fólie, obalová technika, svařování

ABSTRACT

This bachelor's work is interested in multiply barrier films, their ability to weld and other physical and chemical properties. There are discussed adhesive barrier and bear polymer materials, which are most applied in packing engineering nowadays, especially for packaging of food-stuffs. We can see a respect of their transmission against oxygen and water vapour at each particular material. Whereas adhesive materials are good at cohesion of other layers. In technology part, there is dominating production by coextrusion exhaustion and production of extrusion through the flat slotted head. Then there is defined various techniques of welding and problems with weldability of barrier films.

Keywords: multilayer barrier films, packaging engineering, welding

Chtěl bych poděkovat své manželce za pochopení a podporu, které mi projevila v průběhu psaní této bakalářské práce a celého studia.

Poděkování patří také vedoucí bakalářské práce Ing. Dagmar Měřínské Ph.D. a Ing. Lubomíru Freundovi za odbornou výpomoc a rady.

OBSAH

ÚVOD	8
1 OBALOVÁ TECHNIKA	9
1.1 SOUČASNÁ OBALOVÁ TECHNIKA	9
1.2 TRENDY V OBALOVÉ TECHNICE	10
2 BARIÉROVÉ FÓLIE	11
2.1 POJEM BARIÉRA	11
2.2 PRINCIP ADHEZE	12
2.3 POROVNÁNÍ VÍCEVRSTVÝCH FÓLIÍ S MONOFÓLIEMI.....	13
3 JEDNOTLIVÉ SUROVINY	14
3.1 ADHEZNÍ MATERIÁLY	15
3.1.1 EVA.....	15
3.1.2 Kopolymery etylénu s kyselinou akrylovou (EAA) a metakrylovou (EMA)	15
3.1.3 Ionomery	15
3.1.4 Roubované maleinanhydridy	16
3.1.5 EVOH a PA	16
3.2 BARIÉROVÉ MATERIÁLY	16
3.2.1 EVOH.....	16
3.2.2 PA.....	17
3.2.3 PVDC	18
3.2.4 Al.....	19
3.3 NOSNÉ MATERIÁLY	19
3.3.1 PETP	19
3.3.2 PE	20
3.3.3 PP	23
4 VÝROBA BARIÉROVÝCH FÓLIÍ	25
4.1 VÝROBA KOEXTRUZNÍM VYFUKOVÁNÍM.....	25
4.1.1 Linka na výrobu fólií vyfukováním	25
4.1.2 Vyfukovací hlava	27
4.1.3 Chladicí a odtahovací zařízení	28
4.1.4 Možnosti dalších úprav a přídatných zařízení.....	29
4.2 VÝROBA VYTLAČOVÁNÍM PŘES PLOCHOU ŠTĚRBINOVOU HLAVU	30
4.2.1 Sdružovač proudů.....	30
4.2.2 Vytlačovací štěrbinová hubice	31
4.3 VÝROBA BARIÉROVÝCH FÓLIÍ LAMINACÍ.....	32
4.3.1 Suché kašírování	32
4.3.2 Kašírování pomocí vosků.....	32
4.3.3 Kašírování za tepla.....	32
4.4 VSTŘIKOVÁNÍ NÁNOSŮ NA OBALY.....	33
4.4.1 Nános organických sloučenin křemíku	33

4.4.2	Nános hydrogenovaného amorfního uhlíku	33
4.4.3	Metalizování fólií a papíru	33
5	RŮZNÉ TYPY VÝROBKŮ A JEJICH VYUŽITÍ.....	34
6	SVAŘOVÁNÍ FÓLIÍ	37
6.1	KONTAKTNÍ SVAŘOVÁNÍ	37
6.2	SVAŘOVÁNÍ ULTRAZVUKEM	40
6.3	VYSOKOFREKVENČNÍ SVAŘOVÁNÍ.....	41
6.4	SVAŘOVÁNÍ LASEREM	41
6.5	INDUKČNÍ SVAŘOVÁNÍ.....	42
6.6	PROBLÉMY SPOJENÉ SE SVAŘOVÁNÍM FÓLIÍ.....	43
	ZÁVĚR.....	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	48
	SEZNAM OBRÁZKŮ	50

ÚVOD

V dnešní době globalizace a decentralizace nacházejí bariérové fólie velké uplatnění v jakémkoli průmyslovém, potravinářském i zpracovatelském odvětví, která se zabývají přepravou zboží a jeho skladováním. Využití této fólie je poměrně variabilní a je součástí systému, který je schopen ochrany proti klimatickým vlivům, proti agresivním plynům a aerosolům, chemikáliím, UV záření, olejům, tukům, kyselinám a zásadám a vytváří i dostatečnou ochranu proti mikrobiálnímu napadení. Samotné fólie tedy dokáží nejen zabránit průběhu škodlivých procesů, kde uvnitř fólie vznikne ochranné mikroklima, ale mají i nižší propustnost vody, vodní páry a plynů, čímž jsou schopné déle uchovat zboží v původním stavu.

Pokud nebudeme sledovat jen určitou část použití této fólie, jako je ochrana zboží, má tato forma balení pro konečného odběratele i ekonomický význam. Jedná se o lehký, dostatečně přizpůsobivý materiál, který je z větší části využíván hlavně při přepravě, většinou do vzdálených destinací. Tento obal je schopen zajistit snížení celkového objemu hmotnosti přepravy a zároveň při dlouhodobém skladování udržovat zboží s minimální péčí o něj v původním stavu a suchu, čímž opět snižuje náklady zboží na konzervování a kontrolované skladování.

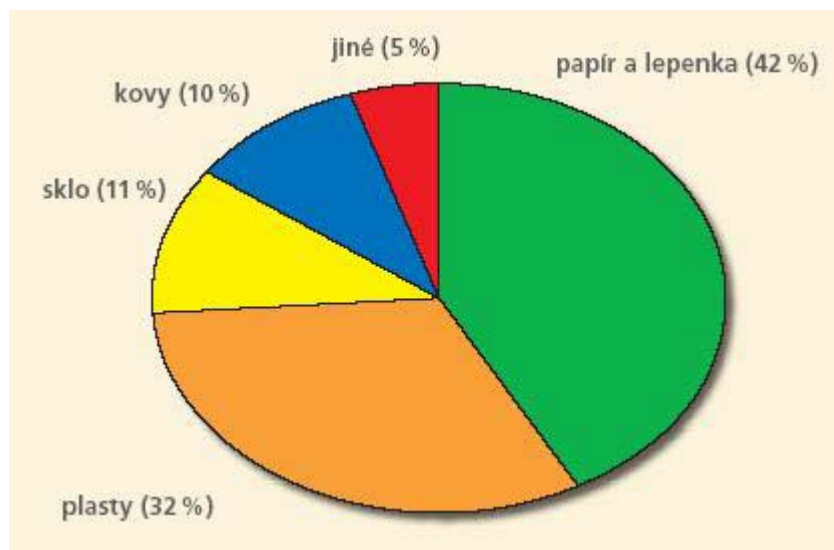
Z hlediska využití bezbariérové fólie lze jako hlavního odběratele označit potravinářský průmysl, jedná se hlavně o polyolefiny a jejich kopolymery, polyestery, polystyrénové polymery, vinylové polymery a polyamidy. Potravinářský průmysl je sám o sobě specifickým odvětvím, co se týče ekonomické náročnosti a požadavků spotřebitelů nebo výrobců.

Pokud se zaměříme na využití fólie v tomto odvětví, jedná se o uplatnění z hlediska zachování vlastností při skladování zboží, funkčnost a pevnost obalů při přepravě, estetické provedení, zaujetí spotřebitele a celková flexibilita při jejím využití. To jsou hlavní kritéria pro výrobu a odběr fólie od spotřebitelů. Samotné konečné zákazníky v obchodních jednotkách zajímá hlavně estetická stránka zboží a konkrétního obalu. V případě, že se jedná o obal, který je schopen zabránit mikrobiálnímu napadení potravin a naopak zboží má určité charakteristické vůně a vzhled, může v konečném zákazníkovi vyvolat pocity, které vedou k zakoupení konkrétního výrobku. Tím opakovaně podporují opětovnou výrobu těchto fólií.

1 OBALOVÁ TECHNIKA

1.1 Současná obalová technika

Souběžně se zvyšováním světové produkce plastických hmot roste i jejich spotřeba v obalové technice a v současnosti zaujímá již 2. místo za papírem a lepenkou, jak je patrné z Obr. 1.



Obr. 1. Podíl materiálů na spotřebě obalů v ČR

Nároky kladené na obalové materiály jsou náležitě vysoké. Například obal by měl být natolik pevný, aby dokázal uchránit potraviny před zničením v nákupní tašce, ale zároveň musí jít snadno otevřít. Je důležité, aby uzenina, ryba nebo sýr, zůstaly v obalu čerstvé po maximálně dlouhou dobu a aby během ní neztratily nic ze svého vábného vzhledu.

U bariérových obalů se dosahuje zvýšení funkčních vlastností fólií koextruzí různých typů plastů, laminací více vrstev vhodných typů fólií, případně jejich kombinací s Al, vakuovým pokovením, úpravou SiO_x . Více se technologií výroby a chemickým složením u bariérových fólií budeme zabývat na dalších stranách této práce.

Odlíšným materiálem než jakým jsou fólie, ale dnes zcela neopomenutelným, je zušlechtěná kartonáž. Do této skupiny náleží i hermetické skládačky od společnosti Tetra Pak, které nabízejí alternativu pro potraviny tradičně balené do konzervových plechovek, sklenic, popř. plastových misek či sáčků [1], [2].

1.2 Trendy v obalové technice

S obalovými materiály úzce souvisí např. sofistikovaná technologie „balení v ochranné atmosféře“ MAP. Při této technice je okolní vzduch vytlačen a nahrazen modifikovanou ochranou atmosférou, která nejlépe vyhovuje baleným potravinám a která se skládá z dusíku a dalších inertních plynů, resp. směsí dusíku a oxidu uhličitého. Modifikované složení plynů zpomaluje oxidační procesy a růst mikroorganismů, což výrazně prodlužuje trvanlivost produktu, a to bez použití konzervačních látek. Mimo využití v potravinářství můžeme chránit například strojní zařízení proti korozi aplikací vložených vysoušedel, respektive VCI vypařovacích inhibitorů. Vzrůstající tendenci má dnes i tzv. „systém aktivního balení“, který je založen na vkládání absorbérů kyslíku, CO₂, ethylenu, vlhkosti a pachů. V současné době začínají být nabízeny také „systémy inteligentního balení“, u kterých jsou v aplikovány zejména indikátory teploty a indikátory složení vnitřní atmosféry [3].

V současné době se upíná zvýšená pozornost na vývoj biodegradovatelných plastů z trvale obnovitelných zdrojů. Jsou založeny na bázi polysacharidů, resp. škrobových aditiv jako přísad do polyolefinů, které vedou k jejich totální a rychlé biodegradaci na skládkách. Tyto kompostovatelné plasty mohou být dokonce i bariérové jako např. biopolymer PLA (na bázi polymléčné kyseliny – polylactic acid), citosan či gel z tropické rostliny Aloe vera [4], [5].

2 BARIÉROVÉ FÓLIE

2.1 Pojem bariéra

Pojem bariéra znamená překážka, v obalovém průmyslu tomu rozumíme jako překážka pro plyny (O_2 , N_2 , CO_2), vodní páry, pachy, aroma a mikroby. S tímto úzce souvisí transportní (přenosový) děj, což je proces, při němž se mění hodnota sledované veličiny v určitém místě systému v závislosti na čase. Dalším důležitým pojmem je difúze – je to samovolné promítání molekul z oblasti vyšší koncentrace do oblasti nižší koncentrace. Je to typický nevratný proces spojený se vzrůstem entropie [6].

Bariérové vlastnosti materiálů nejlépe zjistíme např. pomocí nového diferenciálního permeometru, který byl zkonstruován ve spolupráci VŠCHT Praha s firmou Micropur s.r.o. Oproti předchozím aparaturám tento nový přístroj lépe vyhovuje pro stanovení propustnosti nejen plynů, ale také nasycených i nenasycených par a jejich směsí.

U této diferenciální metody jsou páry látky prošlé skrze membránu odváděny nosným plynem (vodíkem) s průtokem v k detektoru a pro hustotu molárního difúzního toku látky vzhledem k nehybnému polymeru lze ve stacionárním stavu psát:

$$J = \frac{v \cdot c}{A} \quad (2.1)$$

kde c (mol m^{-3}) je molární koncentrace dané látky a A (m^2) je aktivní plocha membrány.

Za předpokladu, že koncentrace látky (plynu nebo par) v membráně je lineární funkcí vnějšího rovnovážného tlaku, lze na základě 1. Fickova zákona při konstantním difúzním koeficientu vyjádřit hustotu difúzního toku J ($\text{mol m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$) vztahem:

$$J = -P \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2.2)$$

kde $\partial p / \partial x$ je gradient tlaku látky v membráně a P ($\text{mol m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$) je koeficient propustnosti udávající množství látky prošlé jednotkovou plochou membrány za jednotku času při jednotkovém gradientu tlaku.

Dále integrujeme za počátečních $p = p_1$, při $x = 0$ a okrajových podmínek $p = p_2$, při $x = L$:

$$J \cdot \int_0^L dx = -P \cdot \int_{p_1}^{p_2} dp \quad (2.3)$$

$$P = \frac{J \cdot L}{(p_1 - p_2)} \quad (2.4)$$

kde p_1 a p_2 (Pa) jsou stálé rovnovážné tlaky látky po obou stranách membrány ($p_1 > p_2$) a L (m) je tloušťka membrány.

Dosazením rovnice (1.1) do (1.4) a následnou úpravou dostáváme:

$$P = \frac{\frac{v \cdot c}{A} \cdot L}{p_1 - p_2} = \frac{v \cdot c \cdot L}{A \cdot (p_1 - p_2)} \quad (2.5)$$

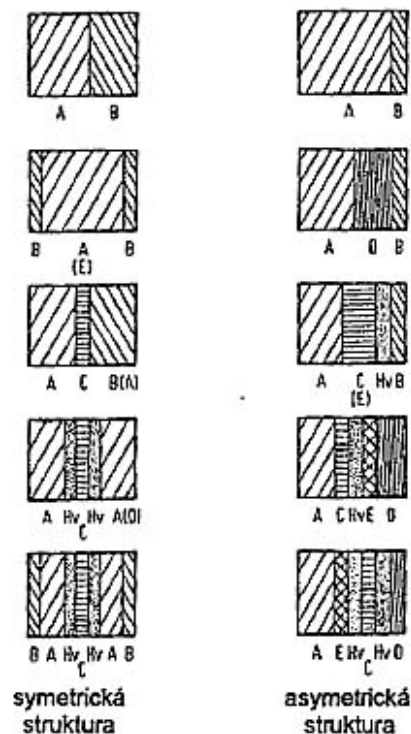
K této problematice je třeba ještě uvést: různá pracoviště používají různé metody zjišťování bariérových vlastností, hodnoty jsou pouze orientační a to jen pro určité podmínky jako je teplota a vlhkost okolí [7], [8].

2.2 Princip adheze

Jedná se o takový princip, kdy mezi dvěma povrchy, které jsou vzájemně spojeny působí síly, které jsou charakteru elektrického, fyzikálního a chemického. Zlepšení adheze dosáhneme dodatečnou úpravou jedné vrstvy, čímž změníme fyzikálně chemické vlastnosti a zvýšíme polaritu. Můžeme tedy říct, že dobré adhezní vlastnosti má vrstva polární k dalšímu polárnímu povrchu, jako je to v případě lepidel, která jsou všechna polárního charakteru. Jedním ze způsobů zvýšení adheze je oxidace částí řetězců nacházejících se na povrchu. Tímto postupem vzniknou nové polární skupiny aldehydické, ketonické a karboxylové. Samotné oxidace docílíme např. pomocí elektrického výboje, ozónu, H_2O_2 , HNO_3 , chlornanů, ozáření na vzduchu, ožehnutím plamenem, chlorací či chlorsulfonací. K často používané metodě patří i úprava ozónem [9].

2.3 Porovnání vícevrstvých fólií s monofóliemi

Vlastnosti vyžadované především obalovým průmyslem jsou často nesplnitelné jediným polymerem. Vhodným řešením jsou fólie obsahující více vrstev různých polymerů, kdy jednotlivé vrstvy dodávají požadované vlastnosti, jako např. nízkou propustnost pro kyslík, vodní páru a dobré mechanické vlastnosti. Na Obr. 2 je znázorněn jen určitý počet variant symetrických a asymetrických struktur. V dnešní době jsou běžné až 12-ti vrstvé fólie.



Obr. 2. Struktury vícevrstvých fólií

A – hlavní vrstva, nosná (konstrukční) ; B – vnější nebo horní vrstva (výborný lesk, svařovatelnost, antistatické vlastnosti nebo barvitelnost) ; C – bariérová vrstva ; D – hlavní, barevná vrstva ; E – vrstva z recyklátu (používá se spíše výjimečně) ; Hv – spojovací vrstva.

Jakási nevýhoda vícevrstvých fólií oproti monofóliím je, že při materiálové recyklaci vykazují větší problémy a proto je výhodnější jejich spalování [10], [11].

3 JEDNOTLIVÉ SUROVINY

Kromě bariérových vlastností u polymerů jsou také neméně důležité jejich mechanické vlastnosti.

Příčinou menší skutečné pevnosti polymerů proti teoretické jsou mikrostrukturní a technologické defekty. Rozměry mikrostrukturních defektů závisejí na chemické a nadmolekulární struktuře. Jejich nebezpečnost z hlediska vzniku předčasného, obvykle křehkého, lomu souvisí mimo jiné s omezenou schopností polymerů vytvářet plastické deformace. Krátkodobými zkouškami se charakterizuje pevnostní a deformační chování při spojitém zvětšování vnějších sil. U fólií nás většinou nejvíce zajímá z mechanických vlastností mez pevnosti v tahu, poměrné protažení při přetržení, modul pružnosti, případně rázová houževnatost.

Největší hodnotu pevnosti a nejmenší tažnost mají aromatické polyamidy, vysokou hodnotu pevnosti má i PVAL. Řádově menší pevnost a větší tažnost mají fólie z PETP, PA a PP. Pevnost σ_p (Pa), nebo-li dovolené napětí, je vlastně mez pevnosti v tahu v okamžiku přetržení a udává nám, jakou sílu musíme vyvinout, abychom fólii přetrhli. S rostoucí průměrnou molární hmotností \bar{M} například pevnost prudce roste, avšak jen do ustálené hodnoty σ_{MAX} .

Poměrné protažení při přetržení ε_p (Pa) (také tažnost) nás informuje o tom, o kolik procent se zvětší těleso těsně před přetržením.

Další důležitou vlastnost jako například odolnost vůči oděru charakterizuje modul pružnosti, který s rostoucí teplotou stoupá.

Mnoho vlastností, jak mechanických, tak bariérových, se dá změnit dodatečnou úpravou – dloužením - tzv. změnou orientace. Hlavním cílem orientačních pochodů je získání produktu se zlepšenými vlastnostmi: se zvýšenou tuhostí (modulem pružnosti), pevností v tahu, energií potřebnou k přetržení, se zlepšenou odolností proti únavě s opakovanými deformacemi, zlepšenými bariérovými vlastnostmi atd. Jednosměrnou orientací vzniká výrazná anizotropie mechanických vlastností: posílí se směr orientace, avšak ve směru kolmém se pevnost a houževnatost mohou snížit a pozoruje se i tendence k rozvláknování. Proto je výhodnější orientace biaxiální, při níž se sice jen málo zvýší pevnost polymerů v podélném směru (asi 1 a 1,5krát), avšak zlepší se pevnost i v příčném směru [6], [5].

3.1 Adhezní materiály

Tzv. TIE - vrstvy

3.1.1 EVA

Kopolymery etylénu s vinylacetátem (EVA, EVAC) viz. Obr. 7 se vyrábějí radikálovou kopolymerací. Mohou obsahovat 5 až 50 % vinylacetátu. Se stoupajícím obsahem vinylacetátu klesá krystalinita (při obsahu 50 % je kopolymer zcela amorfni), ale zlepšuje se průhlednost, flexibilita, houževnatost, síla adheze a přilnavost za tepla. Pro většinu aplikací se však doporučuje, aby obsah vinylacetátu nepřesahoval 20 %.

Vlastnosti:

- $E = 60 \text{ MPa}$; $\rho = 0,93 \text{ g/cm}^3$; $\sigma_p = 15 \text{ MPa}$; $\varepsilon_p = 800 \%$
- absorpce vody 0,07 %, teplotní použitelnost -60 až 55 °C
- není odolný vůči kyselinám a rozpouštědlům
- oceňují se jejich bariérové vlastnosti, houževnatost, ohebnost a svařovatelnost teplem [12], [13].

3.1.2 Kopolymery etylénu s kyselinou akrylovou (EAA) a metakrylovou (EMA)

Jsou to flexibilní polymery s chemickou odolností a bariérovými vlastnostmi podobnými LDPE. Ve srovnání s ním mají však díky větším intermolekulárním interakcím, umožněným vodíkovými můstky, tvořícími se z karboxylových skupin, vyšší pevnost a houževnatost a také lepší přilnavost za tepla i lepší adhezi k jiným materiálům. Se vzrůstajícím obsahem kyseliny akrylové (metakrylové) v kopolymeru klesá krystalinita a svařovací teplota, vzrůstá naopak průhlednost a síla adheze [11], [12].

3.1.3 Ionomery

Částečnou neutralizací kopolymerů ethylenů s kyselinou akrylovou, nebo metakrylovou či podobnými kationty typu Na^+ , Li^+ , Zn^+ , Mg^+ apod. vznikají materiály s větší transparentností a houževnatostí i větší pevností. V jejich makromolekulách se vyskytují také iontové vazby, které vytvářejí teplotně reverzibilní (vratnou) síťovou strukturu polymerů. Proto se dají zpracovávat podobně jako termoplasty (v teplotním rozmezí od 175 do 290°C).

Používají se hlavně jako teplem svařitelné vrstvy laminátů. Dobře odolávají olejům a tukům. Existuje více než pět desítek komerčně vyráběných ionomerů. Sodné typy mají lepší optické vlastnosti, přilnavost za tepla a odolnost vůči olejům, zinečnaté jsou inertnější k vodě a vykazují větší pevnost adheze (známe ho také pod obchodním názvem SURLYN) [11], [12], [14].

3.1.4 Roubované maleinanhydridy

V poslední době je velmi ceněná TIE vrstva. Vyrábí se roubováním maleinanhydridu na základní řetězec příslušného polyolefinu (je možné jej naroubovat na mnoho dalších polymerů např. na styren). Tenký film z kopolymerů maleinanhydridu je používán jako všestranný materiál pro spojování dvou různých polymerů [15], [16].

3.1.5 EVOH a PA

viz. 3.2 Bariérové materiály.

3.2 Bariérové materiály

Schopnost plastu propouštět plyn závisí na hustotě uspořádání makromolekul a také na jejich ohebnosti. Proto jsou polymery s lineární strukturou bez polárních skupin propustnější než vysokomolekulární látky s trojrozměrnou strukturou nebo polymery, které mají v řetězci polární skupiny [9], [6].

3.2.1 EVOH

Vyrábí se řízenou hydrolýzou polyvinylacetátu (EVOH, EVAL) viz. schéma polymerů ethyleny Obr. 7. V současné době patří k nejdůležitějším materiálům pro balení potravin z hlediska bariérových vlastností. Klíčové pro tyto vlastnosti je dodržení příslušného poměru hydrolyzovaných a nehydrolyzovaných acetátových skupin. Vyšší bariérové vlastnosti mají směsi s nižším obsahem etylenových jednotek až k 27 mol%. Čím je jejich obsah nižší, tím lepší jsou bariérové vlastnosti za sucha, ale současně tím větší je citlivost kopolymeru k vodě. Tento termomateriál lze použít na přímé i nepřímé balení potravin nebo pro balení s ochranou bariérou MAP.

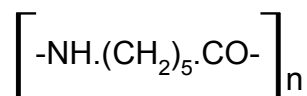
Vlastnosti:

- je charakteristický vysokými bariérovými vlastnostmi vůči plynům, především kyslíku; ochrana před zápachem nebo vůněmi
- odolné vůči olejům a parám organických látek
- určitá citlivost k vodě
- váže přísady a lepidla dobře spojující jednotlivé vrstvy
- vynikají pevností, houževnatostí a průzračností [12], [17].

3.2.2 PA

Jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny. Nejznámější a nejrozšířenější jsou polyamidy alifatické, na trhu však existují i polyamidy aromatické. Zaručují malou propustnost pro kyslík, oxid uhličitý, aromatické látky a zároveň odolnost proti tukům. PA je silně hygroskopický – je schopen absorbovat vlhkost.

PA 6



Obr. 3. PA 6

Vlastnosti:

- jeho použitelnost je -70°C až $+100^\circ\text{C}$ dlouhodobě
- je houževnatý, odolný vůči oděru a UV-záření, neodolává ale anorganickým kyselinám a oxidačním činidlům
- $\rho = 1,13 \text{ g/cm}^3$, $E = 2800 \text{ MPa}$, $\sigma_p = 70 \text{ MPa}$, $\varepsilon_p = 200 \%$, $T_m = 215 - 220^\circ\text{C}$
- má sníženou odolnost vůči povětrnostnímu stárnutí a je také značně navlhavý (1,8 %) [13].

PA 66



Obr. 4. PA 66

Vlastnosti:

- má ve srovnání s PA 6 výhodu ve vyšší teplotě tání, poněkud vyšší pevnosti a nižší navlhavosti (1,3 %)
- není odolný vůči kyselinám a alkáliím
- $\sigma_p = 70 \text{ MPa}$, $\rho = 1,14 \text{ g/cm}^3$, $\varepsilon_p = 50 \%$, $E = 3000 \text{ MPa}$, $T_m = 254^\circ\text{C}$
- je použitelný v rozsahu -80°C až $+120^\circ\text{C}$ [13].

PA 666

Jedná se o kopolymer PA 6 / PA 66 (také pod názvem Ultramid C) [18].

Polyarylamidy a směsné PA

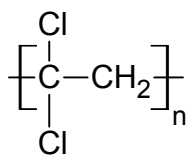
Mají lepší bariérové vlastnosti než oba předešlé PA, jsou ale také značně dražší [19].

BOPA

Tato nová zkratka znamená „biaxiálně orientovaný polyamid“. Je to velmi odolná fólie, v níž jsou molekulové řetězce řazeny vysoce organizovaným způsobem, např. Ultramid B od firmy BASF nebo OPA-SUPERNYL od Mitsubishi Plastic Industry . Tyto materiály jsou vynikající bariérou proti kyslíku [18].

3.2.3 PVDC

Polyvinylidenchlorid – vyrábí se polymerací vinylidenchloridu.



Obr. 5. PVDC

Vlastnosti:

- má velmi dobrou bariéru vůči kyslíku a oxidu uhličitému, která není ovlivněná ani vyšší vlhkostí prostředí
- $E = 500 \text{ MPa}$; $\rho = 1,7 \text{ g/cm}^3$; $\sigma_p = 30 \text{ MPa}$; $\varepsilon_p = 250 \%$
- absorpce vody 0,1 %
- také pronikání inertního plynu, jako je dusík, je velmi pomalé

- je chemicky odolný a nepropouští oleje [13], [14].

3.2.4 Al

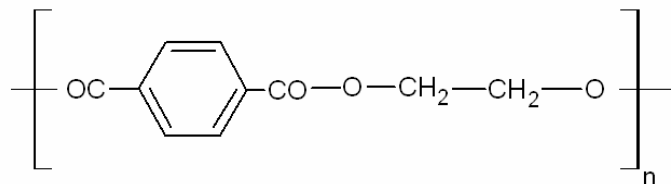
Hliník vyválcovaný do tenké fólie je znám pod názvem alobal. Má dobré bariérové vlastnosti, odolnost vůči vodě a vysokou tvarovou paměť. Hustota $\rho = 2,69 \text{ g/cm}^3$, $t_m = 660,37^\circ\text{C}$, b.v. = 2467°C . Je lehký, měkký, kujný. Chrání potraviny před světlem a propůjčuje obalu líbivější vzhled.

3.3 Nosné materiály

Tyto materiály tvoří jakousi kostru bariérových fólií. Měly by zajišťovat dobré mechanické vlastnosti a bariéru proti vodní páře.

3.3.1 PETP

Polyetylantereftalát se vyrábí polykondenzací - stupňovitou polymerační reakcí esteru kyseliny tereftalové a etylenglykolu. Je to termoplastický polyester [17], [19].



Obr. 6. PETP

Vlastnosti:

- velmi dobrá pevnost a možnost protažení $\sigma_p = 60\text{MPa}$, $\varepsilon_p = 100 - 300\%$
- $E = 2300 \text{ MPa}$; $\rho = 1,33 - 1,38 \text{ g/cm}^3$; $T_m = 264^\circ\text{C}$; $T_g = 72 - 81^\circ\text{C}$
- použití: -60°C až $+130^\circ\text{C}$; nasákavost vody: 0,2%
- má podobné vlastnosti jako PA, je fyziologicky inertní, chemicky odolný a má dobrou bariéru vůči kyslíku a oxidu uhličitému
- je výjimečně tvarově stálý a oděruvzdorný

PETG

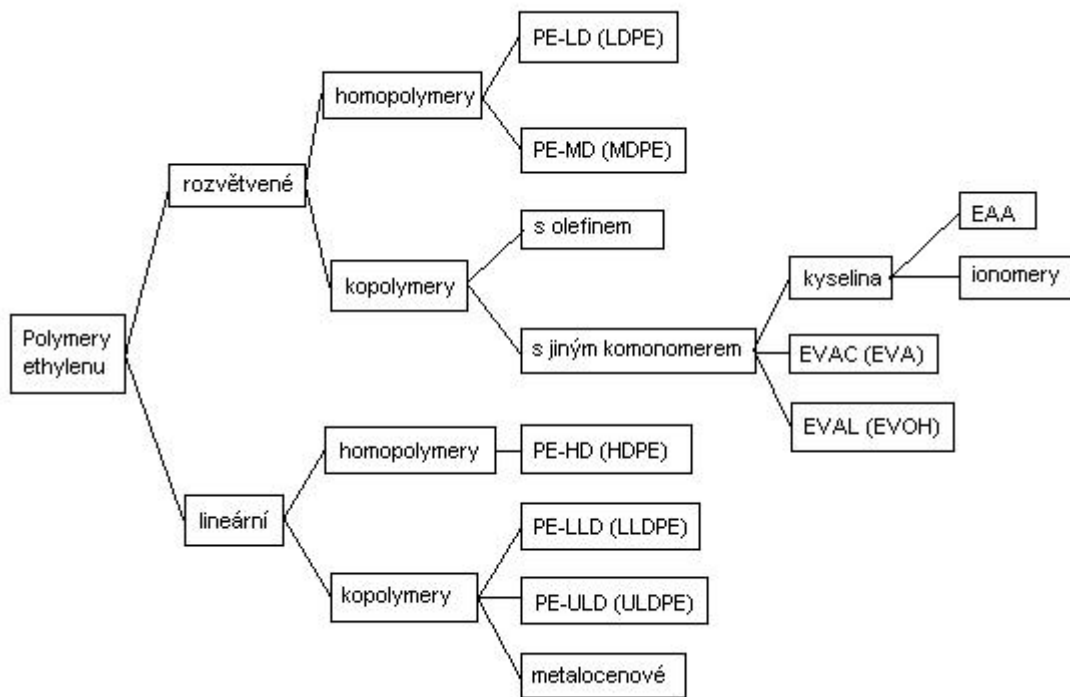
Polyetylenterftalát glykol (A-PET, Sinolux) je amorfní a vyrábí se z něj fólie pro tvarování (0,2 – 0,4 mm).

Vlastnosti:

- výborné optické vlastnosti, vysoká rázová houževnatost i při nízkých teplotách
- tepelný rozsah použití -40°C až $+65^{\circ}\text{C}$
- $E = 2100 \text{ MPa}$; $\rho = 1,27 \text{ g/cm}^3$; $\sigma_p = 30 \text{ MPa}$; $\varepsilon_p = 110 \%$
- absorpce vody 0,13 %, špatná odolnost proti UV-záření
- skvěle se tvaruje za tepla a má dobrou potiskovatelnost i chemickou odolnost [13], [14].

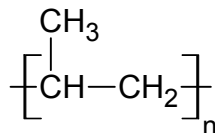
3.3.2 PE

Polyethylen patří k nejrozšířenějším polymerům vůbec. Z hlediska struktury makromolekul mohou být rozvětvené nebo lineární, z hlediska chemického složení homopolymery nebo kopolymery. V případě kopolymerů může být druhým komonomerem alken (olefín) nebo sloučenina mající ve svých molekulách funkční sloučeninu, např. kyselina akrylová. Má-li však kopolymer méně než 10 % komonomeru, může být označován nejen jako kopolymer, ale i jako homopolymer. Schéma rozdělení polyetylenů viz. Obr. 7.



Obr. 7. Rozdělení polyetylénů

[12]



Obr. 8. PE

LDPE

Low Density PolyEthylene - nízkohustotní polyetylén je nejstarší typ polyetylénu. Je vyráběn radikálovou polymerací za použití vysokého tlaku.

Vlastnosti:

- je měkký, pevný, ohebný a má vysokou rázovou houževnatost. V případě deformace se může vrátit do svého původního tvaru
- $T_m = 105 - 120^\circ\text{C}$, $E = 200 - 400 \text{ MPa}$, $\rho = 0,915 - 0,935 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_p = 9 - 25 \text{ MPa}$
- $\varepsilon_p = 500 \%$
- absorpce vody 0,01 %, není odolný vůči UV-záření

- je průzračný a svařitelný teplem
- má výbornou odolnost vůči olejům a chemikáliím a značnou nepropustnost pro vodní páru [5], [12].

HDPE

High Density PolyEthylene – vysokohustotní polyetylén se vyrábí iontovou polymerací. HDPE má v molekule minimum postraních řetězců.

Vlastnosti:

- mezi polyetylény je nejvíce tvrdý a nejméně ohebný
- $T_m = 125 - 136^\circ\text{C}$, $E = 700 - 1400 \text{ MPa}$, $\rho = 0,954 - 0,970 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 20 - 33 \text{ MPa}$
- vyniká odolností k vodnému prostředí, alifatickým uhlovodíkům, alkoholům, ketonům, zředěným roztokům i zásadám [19].

LLDPE

Linear Low Density PolyEthylene – lineární nízkohustotní polyetylén.

Vlastnosti:

- díky pravidelnější struktuře má lepší mechanické vlastnosti (tahové i odolnosti) než LDPE, má ovšem horší svařitelnost a průzračnost
- umožňuje tenší fólie než HDPE
- $T_m = 125^\circ\text{C}$, $\rho = 0,916 - 0,940 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_p = 26 \text{ MPa}$, $\varepsilon_p = 500 \%$, $E = 150 \text{ MPa}$
- absorpce vody 0,01 %, teplotní použití -60 až 100°C
- je rezistentní vůči chemikáliím, ale není proti UV-záření [13].

ULDPE

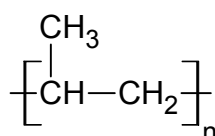
Ultra Low Density PolyEthylene – ultra nízkohustotní polyetylén. Je podobný jako LLDPE, má hustotu $0,916 - 0,940 \text{ g/cm}^3$ [12].

Metalocenové PE

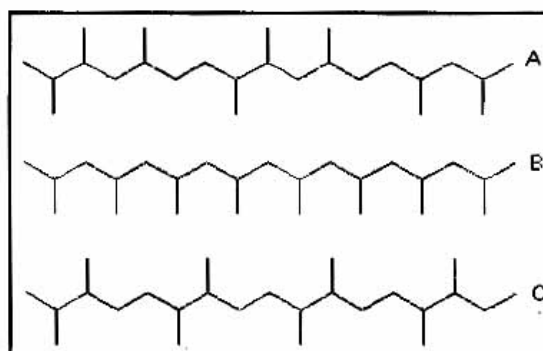
Metalocenové (organokovové) kopolymery představují nejmladší skupinu polymerů polyetylénu. Podobají se LLDPE [12].

3.3.3 PP

Polypropylen je jeden z ekonomicky nejdůležitějších termoplastických materiálů. Charakteristická je methylová skupina. V závislosti na prostorovém uspořádání těchto skupin k hlavnímu řetězci existují různá uspořádání viz. A) ataktický PP, B) izotaktický PP, C) ataktický PP na Obr. 10. Z těchto forem PP se používá směs s převažujícím zastoupením izotaktického PP. Dvousměrně orientované fólie (mikroten) se široce uplatňují v obalové technice při balení potravin viz. Obr. 11. Stále více se dnes používají také kopolymery s různým bodem tání pro vytváření svařovacích vrstev u předem zmiňovaných biaxiálně orientovaných fólií.



Obr. 9. PP



Obr. 10. Molekulární struktura polypropylenu

Vlastnosti:

- PP filmy jsou velmi průhledné, nejsou ovšem odolné bez stabilizace vůči UV záření
- parametry jako stupeň krystalizace, rozmezí tavení, pevnost v napětí a tvrdost rostou se vzrůstajícím izotaktickým uspořádáním
- mají vysokou rozměrovou stabilitu a jsou hydrofóbní
- $T_m \cong 170^\circ\text{C}$, $\rho = 0,905 - 0,912$ (atakt. 0,85-0,87), $E = 1100 - 1500$ MPa
- $\sigma_p = 34 - 38$ MPa, $T_g = -25^\circ\text{C}$

- jsou chemicky odolné vůči kyselinám (s výjimkou oxidujících kyselin), louhům, roztokům solí, rozpouštědlu, alkoholu, vodě, ovocným šťávám, mléku, olejům, mazivům a detergentům
- je možné je potiskovat
- PP není odolný vůči aromatickým a chlorovaným uhlovodíkům, benzenu a silným oxidovadlům [13], [20].



Obr. 11. Zařízení k výrobě biaxiálně orientovaného polypropylenu

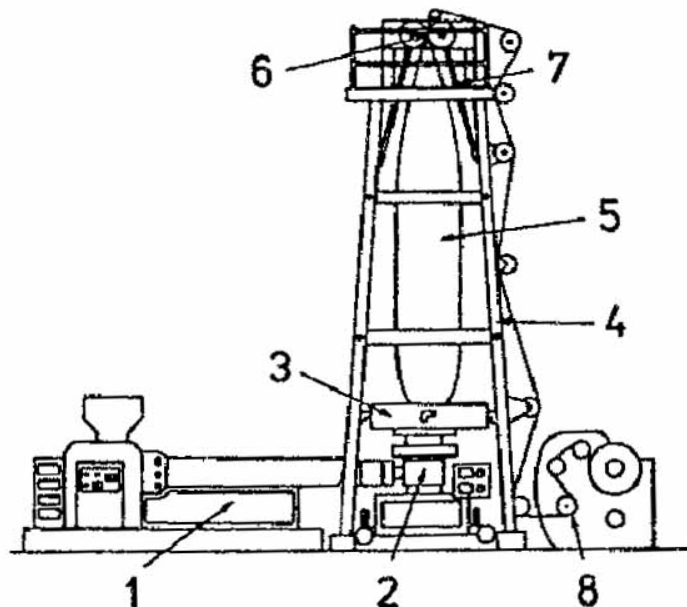
4 VÝROBA BARIÉROVÝCH FÓLIÍ

4.1 Výroba koextruzním vyfukováním

Princip výroby fólií vyfukovaných spočívá na tomto postupu: trubka vytlačená na šnekových vytlačovacích strojích je ještě za tepla, v plastickém stavu, rozfouknuta stlačeným vzduchem a zároveň podélně protažena odtahovacím zařízením. Poté je vyfouknutá fólie ochlazena a navinuta. Tento způsob výroby byl masivně zaveden v sedmdesátých letech [10].

4.1.1 Linka na výrobu fólií vyfukováním

Linka se skládá z jednoho či více vytlačovacích strojů, které mají společnou vytlačovací hlavu. Používají se převážně jednošnekové stroje s drážkovou vstupní částí. Nejrozšířenější způsob vyfukování fólií je s tzv. horním odtahem, viz. (Obr. 12).



Obr. 12. Linka na výrobu fólií vyfukováním s horním odtahem

1 - šnekový vytlačovací stroj, 2 - vytlačovací hlava, 3 - chladicí prstenec, 4 – stojan odtahovacího zařízení, 5 – vyfouknutý rukáv fólie, 6 – odtahovací zařízení, 7 – zplošťovací desky, 8 – navíjecí zařízení.

Zde je trubka, která byla předtím vytlačena šnekem, nafukována přes otvor v trnu hlavy přetlakem cca 0,15 – 1 kPa. Touto operací se zvětší na požadovaný průměr 2 až 4x. Dalším odtahováním pomocí válečků je protahována 5 až 6x.

Zařízení s horním odtahem má výhodu v tom, že významné části jsou umístěny v jedné rovině na podlaží, takže je dobrý přístup k šnekovému vytlačovacímu stroji a k navíjecímu zařízení. Nevýhodou ovšem jsou značné nároky na výšku haly (až 20 m), obtížnější zavádění fólie a horší chlazení způsobené teplem stoupajícím z hlavy. Pro ilustraci je extruder zobrazen na Obr. 13.



Obr. 13 Extruder s horním odtahem – pohled ze strany od šnekového vytlačovacího stroje a od navíjecího zařízení

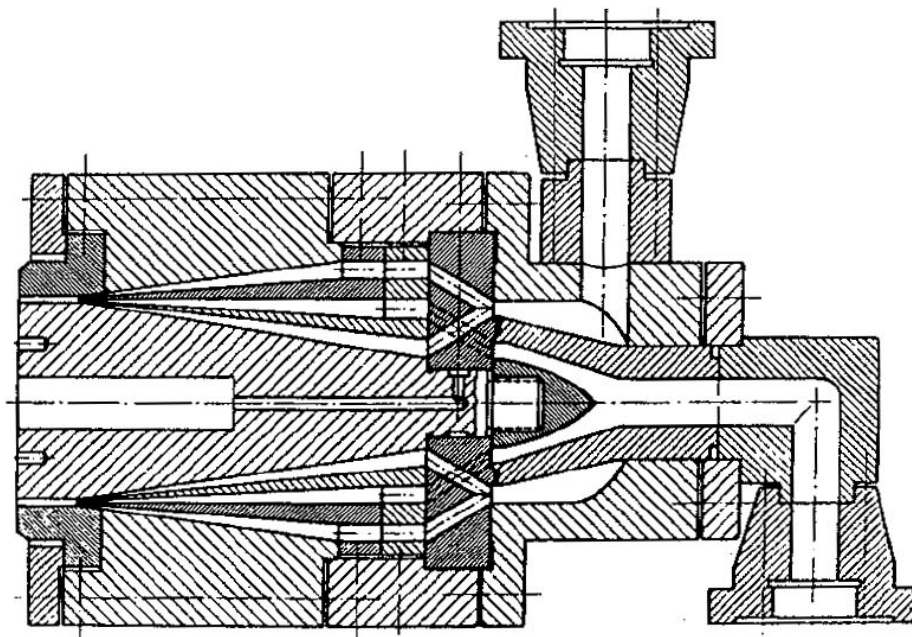
Podobným zařízením je vyfukovací stroj s dolním odtahem, kde zůstává základní princip procesu zachován. Zařízení bývá upraveno tak, že šnekový vytlačovací stroj stojí na zvýšené podestě a vyfouknutý rukáv je spuštěn k odtahovacímu a navíjecímu zařízení umístěnému na podlaze. Výhodné pro tuto variantu je dokonalejší chlazení podélně proudícím vzduchem, případně můžeme ještě chladit bezprostředně vodou. Oproti tomu je

nevýhodné samovolné protahování vyfukovaného rukávu vlastní vahou. Tato varianta je vhodná pouze pro výrobu malých rukávů při vysokých rychlostech.

Další modifikací předešlých dvou typů je vyfukování fólií s vodorovným odtahem. Toto zařízení se dá použít pouze pro dostatečně tuhé fólie do průměru rukávu 600 mm. Pozitivní je, že v této poloze se vyfouknutý rukáv intenzivně chladí, a umožňuje tak velké odtahovací rychlosti. Také nemusí být chladicí zařízení příliš dlouhé. Podepírání vyfouknuté fólie vodícími válečky už je méně výhodné a navíc se vzhledem k nerovnoměrnému chlazení zachovává obtížně konstantní tloušťka [10], [21].

4.1.2 Vyfukovací hlava

Nejčastěji používané vytlačovací hlavy pro vícevrstvé fólie jsou navrženy s axiálním vtokem se spirálovým trnem. Pro taveniny jednotlivých vrstev je k dispozici více spirálových kanálů, které jsou kontinuálně zásobovány z centrální osy vytlačovací hlavy viz. Obr. 14. Tento typ se dá považovat za jakýsi základní typ.



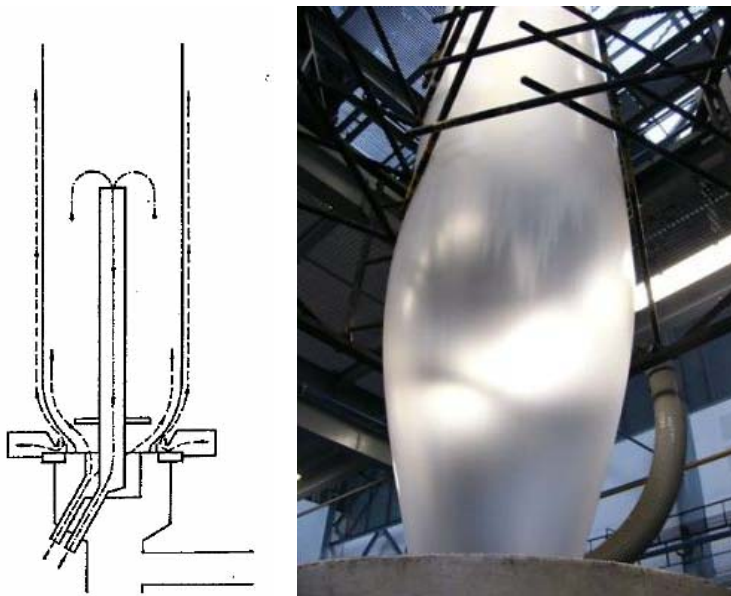
Obr. 14. Hlava pro vyfukování třívrstvé fólie

V osmdesátých letech byla předvedena a uvedena do provozu první vytlačovací hlava pro vyfukování pětivrstevných fólií. Touto technologií se dá vyrábět velký počet různých výrobků. V současné době se pomocí jednoho nebo více vytlačovacích strojů s rotační hlavou mohou vyrábět různé průměry hadic pro 1, 2, 3, 5, 7 až 12 vrstev. Této technologii

velice napomohlo nalezení adhezního činidla pro materiály bez chemické afinity – schopnosti látek spolu reagovat. Tím pádem bylo možné vyrábět vícevrstvé fólie za obdobných finančních nákladů jako klasické monofólie [10], [21].

4.1.3 Chladicí a odtahovací zařízení

Chlazení nám zajišťuje chladicí prstenec viz. bod 3 na Obr. 12 a také chlazený vzduch z chladicího zařízení, který je koaxiálně vyfukován nad vytlačovací hlavu je znázorněn na dvojici obrázků (Obr. 15).



Obr. 15. Vnitřní chlazení vzduchem

Chladicí prstenec má v sobě ukrytý důmyslný labyrint pro rovnoměrné proudění vzduchu a může být proveden jako rotující prstenec, čímž zajistíme menší rozdíly v tloušťce. Samozřejmě, že vyfouknutý rukáv je také chlazený okolním vzduchem. Další technologický prvek pro zajištění rovnoměrnosti fólie je tzv. klec (koš) – vyrobená ze zakřivených ramen opatřených otočnými kroužky. Tímto je také zároveň zajištěna dobrá stabilita bubliny hadice.

Odtahovací zařízení se stává ze dvou oprýžovaných válců, jejichž úkolem je nejen protahovat vyfukovanou fólii v podélném směru, ale i uzavřít v rukávě vyfukovací vzduch. Přítlačná síla válců i jejich otáčky jsou regulovatelné. Nafouknutý rukáv se musí zploštit, aby mohl procházet odtahovacími válci. Pro menší průměry k tomu stačí zplošťovací desky, pro velké průměry a tenké nízkomodulové fólie se používají desky s válečky,

zajišťující zploštění bez záhybů. Pro ilustraci je na Obr. 16 vidět celá soustava odtahovacích válců.



Obr. 16. Odtahovací zařízení

Ochlazená zploštěná fólie se na navíjecím zařízení navíjí na trubku. V některých případech je rukáv na okraji oříznut, čímž se získávají dvě fólie, které se navíjí samostatně. Při vyfukování je obtížnější dodržet rovnoměrnou tloušťku fólie v příčném směru než ji udržet při vytlačování na chladicí válec [10], [21].

4.1.4 Možnosti dalších úprav a přídatných zařízení

Je možné přestavit výšku odtahu, libovolně připojit navíjení, automatický nasavač granulí, přístroje pro narušování povrchů, podélný svár, potiskování atd. Samozřejmostí jsou přídatné mikroprocesorové přístroje pro automatickou kontrolu a udržování konstantních rozměrů fólie. Funguje to následovně: radioizotopový měřič (fotobuňka) vyšle paprsek na odvíjecí se materiál, ten jím projde, nebo se odrazí (záleží na systému), a přijme jej snímač. Vyhodnocení údajů probíhá v počítači a poté je hodnota využita např. k nastavení přetlaku vnitřního chlazení nebo k regulaci odtahové rychlosti. Současný trend si žádá špičkovou technologii i v oblasti obalové techniky. Přechází se ze zastaralých kolenopákových mechanismů s množstvím elektromagnetů na pneumatickou soustavu (od fy. SMC). Systém je založen na použití moderních elektronicky řízených servopohonů (motory

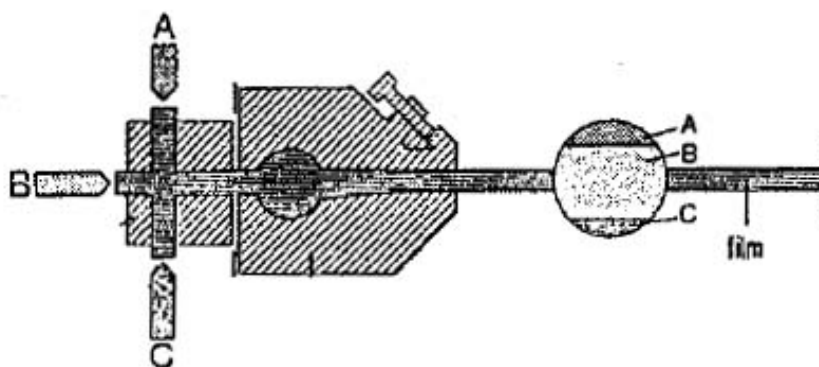
Valeo) nahrazujících ručně ovládané prvky. Celé zařízení je ovládáno centrálním počítačem, který nám zajišťuje ukládání nastavených parametrů do paměti a jejich opětovné vyvolání. Tyto a další automatizační prvky jsou důležité k zvyšování kvality a produktivity práce [1].

4.2 Výroba vytlačováním přes plochou štěrbínovou hlavu

Přestože výroba extrudovaných fólií vyfukováním v poslední době doznala velkého rozmachu, má i metoda vytlačování širokoštěrbínovou hlavou své uplatnění pro určité typy sortimentu. Jedná se především o výrobky větší tloušťky ke specifickým účelům, jako jsou např. tvarovatelné a pevné obaly, nebo dílce pro tvarování. Větší tloušťku fólie umožňuje kontaktní chlazení chladícími válci, které se dají přizpůsobit požadavkům určitých surovin pomocí regulace teploty a opásáním válců. Princip vytlačování vícevrstvé fólie přes širokoštěrbínovou hlavu odpovídá v podstatě zařízení pro jednovrstvé vytlačování. Odlišuje se jen počtem vytlačovacích strojů a adaptérem (sružovačem proudů), popř. plochou vytlačovací hlavou. U dřívější technologie se vícevrstvá fólie, zásobená více vytlačovacími stroji, sváděla dohromady až před vytlačovacími čelistmi. Dnes se více využívá zapojení vyjímatelného sružujícího adaptéru, který jednotlivé proudy taveniny spojuje v jeden vrstevnatý proud a ten pak vstupuje do hlavy [5], [10].

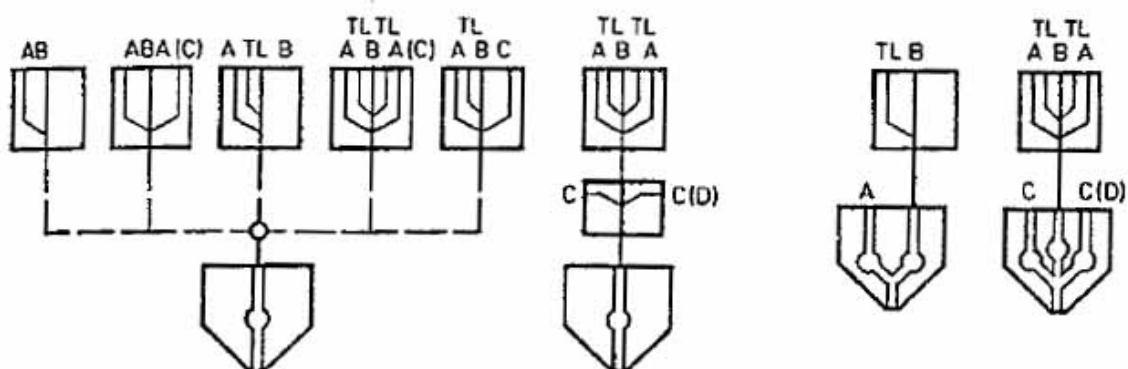
4.2.1 Sružovač proudů

Sružovač proudů na Obr. 17 využívá u tavenin polymerů jejich laminárního toku. Taveniny přicházející odděleně ze směrů A, B, C se sruží do společného kanálu, kde poté tečou vedle sebe, aniž by se smísily. To znamená, že jejich struktura se uchovává stejná až do výstupu z hubice.



Obr. 17. Kombinace jednovrstvé širokoštěrbinové hlavy se sružovačem toků

K těmto výměnným modulům můžeme použít jak klasické širokoštěrbinové hlavy pro vytlačování jednovrstvých struktur, tak i vícevrstvé hlavy. Na Obr. 18 jsou ukázky některých kombinací spojování bariérových, adhezních a konstrukčních vrstev [10].



Obr. 18. Schematické znázornění příkladů kombinací jednovrstvé i vícevrstvé širokoštěrbinové hlavy se sružovačem proudů

4.2.2 Vytlačovací štěrbinová hubice

Při vysokých výkonech mohou vznikat během vytlačování polymerní taveniny topografické změny na vytlačovaném výrobku. Povrchové, opticky poškozující defekty se často svým vzhledem podobají žraločí kůži, a jsou proto nazývány „Sharkskin“. Obvykle se vyskytují při vytlačování nebo vyfukování fólií. Možnosti se nabízejí, jak vyřešit tento problém např. změnou materiálu hubice. Při použití polymerního materiálu na hubici (PTFE, PEEK) se setkáváme s výraznějším klouzáním po stěně. Ovšem ani toto není trvalé

řešení, poněvadž se tento povlak časem opotřebí a je nutné jej opatřit přidavným nánosem na výstupních hranách hubice [22].

4.3 Výroba bariérových fólií laminací

Laminování (kašírování) je způsob nanášení polymeru na nosič z polymerního nebo jiného materiálu. K zabezpečení dobré soudržnosti navrstvených materiálů se ve většině případů používají adheziva. Tato adheziva jsou vysokomolekulární látky obvykle polárního charakteru, které nanášíme pro většinu aplikací o síle setiny milimetru, což odpovídá množství lepidla 4 – 8 g/m². Za zmínku stojí dodat, že například polyethyleny jako LDPE, HDPE, LLDPE atd. se mohou vzájemně koextrudovat bez adheziva právě proto, že jsou nepolární. V našem případě jde o spojování polárního materiálu s nepolárním za pomoci adhezního činidla.

4.3.1 Suché kašírování

Při postupu suchého kašírování (kašírování lepidly) nanášíme vrstvu adheziva ve formě roztoku nebo disperze na fólii různým způsobem. Například nožovým nebo válcovým zařízením, popřípadě stříkáním atd. Po prosušení rozpouštědla nebo vody (například v sušicím tunelu) se ovrstvený podklad spojuje s další fólií [10], [22].

4.3.2 Kašírování pomocí vosků

V tomto technologickém postupu se používají tavná lepidla s nízkou teplotou tání na bázi různých vosků, parafinů nebo níže molekulárních polymerů, například EVA. Tento způsob proti předchozímu nevyžaduje rozměrný sušící tunel nebo válec, takže celé zařízení je méně náročné na prostor [10], [22].

4.3.3 Kašírování za tepla

Při termokašírování se neuplatňují adheziva, ale využívá se termoplastičnosti alespoň jednoho kašírovaného materiálu. Při spojování dvou termoplastických fólií jsou fólie vedeny na vyhřívaný klín, kde se jejich povrchy, které budou spojeny, předejhřejí teplým vzduchem nebo sálavým teplem. Potom jsou fólie kašírovacími válci spojeny a před navinutím do rolí ochlazeny na chladicích válcích [10], [22].

4.4 Vstřikování nánosů na obaly

Jedná se o převratnou technologii zvýšení bariérových a jiných vlastností nanášením vrstvičky oxidů kovů sloučenin křemíku a jiných na obaly [1].

4.4.1 Nános organických sloučenin křemíku

Při tomto postupu se vytváří sklu podobná vrstva z organo-křemičitých sloučenin na materiály PETP pomocí mikrovlnného zařízení při tlaku 1-10 Pa. Nános se vstříkuje v plynném stavu do vyfukovaného obalu a SiO_2 se v tloušťce 100-200 nm nataví na její stěnu [2].

4.4.2 Nános hydrogenovaného amorfního uhlíku

Na podobném principu funguje také další metoda, kdy se na vnitřní stěnu obalů nanáší vrstva vysoce hydrogenovaného amorfního uhlíku, který vytváří bariéru o tloušťce 0,1 μm . Ochranná vrstva se aplikuje pomocí zařízení umístěného za vyfukovacím strojem [1].

4.4.3 Metalizování fólií a papíru

Zcela nové užité vlastnosti i luxusní vzhled nabízejí oproti klasickým obalovým médiím metalizované papíry a fólie. Jsou to materiály opatřené na svém povrchu asi 10 – 100 nm silnou vrstvou hliníku, mědi, niklu nebo jejich slitin, v ojedinělých případech i vrstvou zlata či stříbra. Metalizační technologie je dnes schopna nejen nanést tenké vrstvy o plošné hmotnosti 0,5 – 2,5 g/m^2 , ale především vrstvy rovnoměrné, se zabezpečenými optickými, magnetickými a bariérovými vlastnostmi pro vlhkost, plyny a aromatické látky. Při metalizaci ve vakuu se na fólii nebo papír, které se odvíjejí ve vzduchotěsné komoře v podtlaku 10^{-3} – 10^{-5} MPa, nanášejí páry kovu při teplotě asi 1400°C. Prostor, ve kterém proces metalizace probíhá, musí být evakuován do té míry, aby molekuly povlakového materiálu doletěly ze zdroje odpařování k ploše, na níž kondenzují přímočaře bez jakýchkoliv srážek s molekulami zbylého plynu [1].

5 RŮZNÉ TYPY VÝROBKŮ A JEJICH VYUŽITÍ

Nejpodstatnějším prvkem bariérových fólií je jejich chemické složení, pořadí vrstev a tloušťka jednotlivých komponentů. Při sestavování symetrických či asymetrických vrstev by jsme se měli držet určitých zásad:

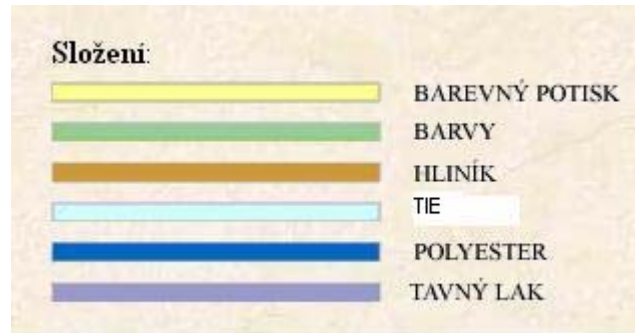
- každá fólie by měla mít přesně vymezený účel, pro který je vyrobena
- vrstva, která je v přímém kontaktu s potravinami nesmí být ze zdravotně závadného materiálu (PVC, PC atd.). Hliníkový povrch je nutné ovrstvit lakem.
- také použití recyklátu není většinou vhodné kvůli kontaminaci a v mnohých případech i z důvodu navýšení ceny s dalšími technologickými postupy
- cena bariérových polymerů je mnohdy nejdůležitějším kritériem pro konstrukci fólie (např. běžné polyamidy stojí 4-6 EUR/kg oproti PVDC 8-10 EUR/kg)
- vnější vrstva, která je vystavena vlivu okolí musí splňovat specifické požadavky jako je ochrana proti UV-záření, oděru, kyselinám, zásadám, rozpouštědlům, olejům, vodě atd.
- krajní svařitelná vrstva se navrhuje pro konkrétní typ svařování a také pro konkrétní teplotu tání. Také se musíme vyhnout orientovaným materiálům
- dále je nutné zohlednit technologický postup výroby, při němž by mohlo například docházet k nežádoucí adhezi ke kovovému povrchu stroje (EVA se pro tento účel nepoužívá). U výroby vyfukováním dodržet maximální tloušťku fólie (běžně se vyfukují fólie o síle 25 – 150 μm)
- adhezivní materiály tzv. TIE-vrstvy jako jsou kopolymery maleinanhydridů, EAA, EMA, ionomery atd. se aplikují pouze v malé vrstvičce cca 4 g/m^2

Celou problematiku a variabilitu ohledně navrhování vícevrstvých fólií zde není možné popsat. Je nutné dodat, že vytvářením nových vícevrstvých struktur se zabývají především výzkumná pracoviště a laboratoře. Každá fólie poté prochází praktickým přezkoušením přímo v místě výroby. Pro ukázkou uvádím pár typů fólií:

[1], [2], [17].

Al / PET

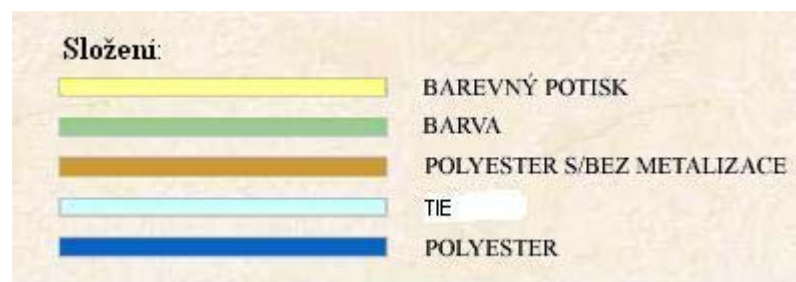
Hlubotiskem potiskovatelný, svažitelný laminát pro přímý styk s potravinami. Má vynikající nepropustnost pro plyny, vodní páru a UV-záření. Je odolný vůči tukům, olejům a korozi. Má dobrou mechanickou a tepelnou odolnost, široké rozmezí teplot svařování - od 170°C. Je vhodný pro peroxidovou lázeň a plnění s ochranou atmosférou (viz. Obr. 19).



Obr. 19. Hliník / polyester

PET / PE

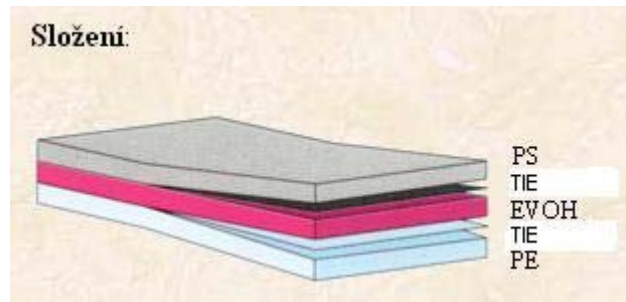
Hlubotiskem potiskovatelný, svažitelný laminát pro přímý styk s potravinami. Používá se na víčka pro tvarované obaly. Má dobrou mechanickou, chemickou a tepelnou odolnost a dobré bariérové vlastnosti pro plyny a vodní páru. Je vhodný pro široké rozmezí teplot svařování - od 170°C (viz. Obr. 20).



Obr. 20. Polyester / polyetylen

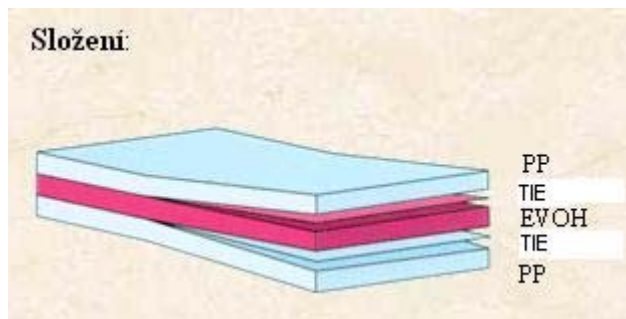
PS / EVOH / PE

Bariérová fólie proti vodní páře, kyslíku a tukům. Používá se na tvarování nádobek pro masné výrobky, kompoty atd. Umožňuje výrobu obalů s ochranou atmosférou (viz. Obr. 21).



Obr. 21. Vysoce bariérová fólie

PP / EVOH / PP



Obr. 22. Vysoce bariérová fólie

[23].

6 SVAŘOVÁNÍ FÓLIÍ

Svařováním se rozumí pochod, při kterém vzniká nerozebíratelný spoj dvou nebo více dílů za úplného nebo částečného zaniknutí povrchového rozhraní. Pro vytvoření pevného spoje je rozhodující těsný kontakt povrchů, kdy se makromolekuly musí přiblížit na takovou vzdálenost, aby se mohly projevit mezimolekulární síly. Pro rychlý nárůst pevnosti sváru je důležité vzájemné mísení mikroobjemů povrchových vrstev. Proto je svařování podmíněno schopností materiálu přejít do tekutého stavu. Tato tavitelnost společně s reologickými vlastnostmi vzniklé taveniny je označovaná jako svařitelnost a určuje snadnost vzniku a kvalitu sváru. Při svařování dvou různých druhů plastů je předpokladem vzniku kvalitního spoje přibližně stejný bod tání a chemická slučitelnost materiálů. Svařitelnost materiálů se v podstatě řídí podle toku tavenin příslušných materiálů. Neméně důležité je také ověřování svařitelnosti obalových materiálů, včetně zkoušek svarových spojů.

Techniky svařování:

- kontaktní svařování (kondukční, odporové)
- extruzní svařování (horkým plynem či roztaveným přídatným materiálem)
- svařování třením
- vysokofrekvenční svařování
- ultrazvukové svařování
- svařování pomocí infračerveného záření
- svařování laserem
- indukční svařování

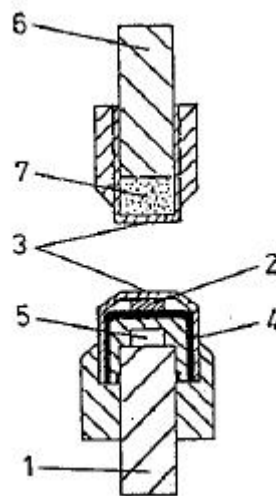
Každá z těchto metod má své opodstatnění pro speciální užití.

6.1 Kontaktní svařování

Jedná se o konveční způsob svařování, který je díky své jednoduchosti a přijatelné ceně v obalové technice nejvíce zastoupen. Kontaktním (kondukčním) svařováním se rozumí spojování povrchů fólie pomocí vyhřívaného nástroje, který je s materiálem v přímém kontaktu. Podle režimu ohřevu se rozlišuje svařování v ustáleném (statickém) režimu, kdy

svařovací nástroj je vyhříván na konstantní teplotu, a svařování tepelným impulsem, kdy nástroj během kontaktu se svařovaným povrchem se rychle ohřeje a vzápětí ochladí. Svařovací tělesa by měla být potažena PTFE svařovací fólií, aby se zabránilo přilnutí roztavených částec.

Při svařování tepelným impulsem (tzv. impulzním) se přivede do odporového pásku ve svařovací čelisti elektrický proudový impuls na dobu 0,1 – 1 s. Schéma svařovací čelisti je znázorněno na Obr. 23. Jedná se o jednostranný svařovací systém s jednostranným ohřevem a vodním chlazením.



Obr. 23. Svařovací a přitlačná čelist

1 – svařovací čelist, 2 – odporový pásek, 3, 4 – izolační vrstvy, 5 – kanálek pro chlazení vodou, 6 – přitlačná čelist, 7 – pružná vložka pro rovnoměrné rozložení tlaku.

Vzniklým tepelným impulsem jsou fólie zahřáté na svařovací teploty a tlakem svařovací čelisti spojeny.

Výkonnější svařovací zařízení používají vodní chlazení a elektronicky řízené pneumatické čelisti s programovatelným automatem. Regulovaná teplota, doba impulsu a další funkce pak jsou uloženy do paměti pro opětovné využití na stejný typ fólie.

Svařování tenkých fólií provádíme tzv. „tlakovým impulsem“, kde tlakový a tepelný impuls je dáván trvale vyhříváním nožem, který se na krátkou dobu přitiskne na svařovaný rukáv. Fólie je dále nesena otáčejícím se bubnem s pružným povrchem, svařovací nůž se během impulsu posouvá shodně s povrchem bubnu.

Fólie s větší tloušťkou se při kontaktním svařování ohřívají nástrojem, vyhřívaným na konstantní teplotu a spojí se většinou překrytím. Pro tyto silnější fólie jsou vhodné čelisti s dvoustranným ohřevem (do tloušťky 0,12 mm) [10], [24].

Podélné svařování fólií připojené na vyfukovací stroj

Zařízení slouží k podélnému dělení a svařování fólie při kontinuální výrobě vyfukováním viz. Obr. 24

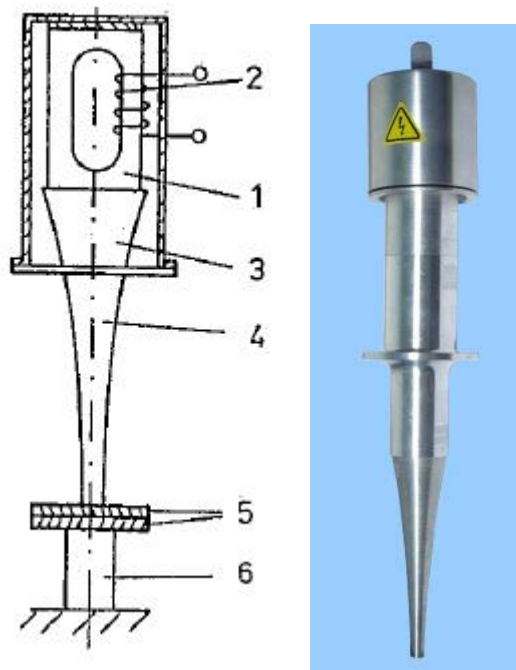


Obr. 24. Podélné svařování fólií

Umožňuje tak z fóliové hadice vyrábět několik hadic menší šířky (podle počtu svařovacích jednotek) současně. Zařízení se skládá z rámu s naváděcími rámci fólie a s vodícími tyčemi, na kterých jsou přesuvně uloženy v potřebném počtu a v požadovaných vzdálenostech svařovací segmenty. Fólie je tažena přes hřebeny segmentů, kde dojde ke svaření okrajů a oddělení jednotlivých hadic menší šířky. Svařovací segmenty jsou vyhřívány odporovými topnými články. Teplota každého segmentu je měřena termoelektrickým snímačem a udržována na požadované hodnotě externím regulátorem. Teplotu je třeba nastavit podle tloušťky zpracované fólie, typu materiálu a rychlosti linky [24].

6.2 Svařování ultrazvukem

Při ultrazvukovém svařování se pomocí generátoru přenášejí mechanické kmity o frekvenci 20 – 50 kHz pod tlakem na fólii. Vzniká teplo, materiál začne místně měknout a dochází ke spojení. Po ukončení přívodu ultrazvuku je nutná krátká ochlazovací fáze, při ještě existujícím spojovacím tlaku, aby se předtím zplastikovaný materiál mohl zpevnit. Nákres a fotografie ultrazvukové soustavy je na Obr. 25.



Obr. 25. Ultrazvuková soustava 20 kHz, 2000 W

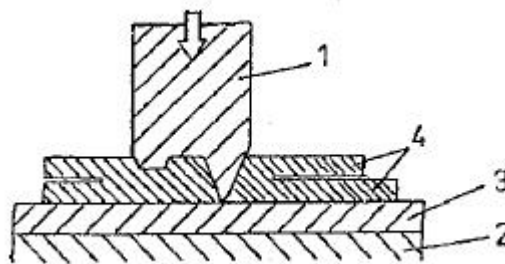
1 – magnetostrikční měnič, 2 – cívka měniče, 3 – transformátor (booster), 4 – svařovací nástroj (sonotroda), 5 – svařované díly, 6 – podpěra

Ohřev materiálu při svařování ultrazvukem je podmíněn pohlcováním energie mechanických vibrací. K nejintenzivnějšímu pohlcování energie dochází v nehomogenitách materiálu, jež jsou nejvíce akumulovány na rozhraní spojovaných dílů. Působením ultrazvukových vln se mění i reologické vlastnosti vzniklé taveniny, což vše dohromady urychluje vytvoření svarového spoje a umožňuje ultrazvukem kvalitně svařovat při nižších teplotách než dovolují ostatní svařovací metody. Fólie z částečně krystalických materiálů jako jsou PA, PE atd. mají vysoký tlumicí faktor, který zavedené kmity silně tlumí. Tyto materiály jsou svařitelné jen v bezprostřední blízkosti sonotrody, kde vzdálenost mezi ní a materiálem musí být menší než 6 mm.

Výhody: vysoká pevnost a čistý vzhled svařovaného spoje, ohřev trvá řádově sekundy až zlomky sekund a lze zajistit přednostně ohřev v místech spojovacích povrchů bez nutnosti roztavení celého objemu [10], [13], [25].

6.3 Vysokofrekvenční svařování

Princip spočívá ve vznikajícím teple závislém na intenzitě elektrického pole a na jeho frekvenci (6 – 200 MHz). Toto teplo je poté využito ke sváru tenkých dílů viz. Obr. 26.



Obr. 26. Vysokofrekvenční svařovací elektrody

1 – pohyblivá tvarová elektroda (s břitem – pro oddělování materiálu), 2 – spodní rovinná elektroda (tlaková elektroda), 3 – izolační podložka (brání možnému zkratu mezi elektrodami), 4 – svařované fólie

Pracovní postup: umístíme dvě fólie mezi desky kondenzátoru (elektrody), z níž jedna nebo dvě vytvářejí svarový šev. Po přivedení elektrického napětí je materiál rychle zahřátý na svařovací teplotu a tlakem elektrod je spojen. Poněvadž se teplo vytváří přímo ve hmotě, je nejvyšší teplota v místech styku svařovaných fólií a nejnižší na jejich povrchu ve styku s chladnými elektrodami. To je výhodné pro tvorbu spoje a navíc se materiál nelepí na elektrody. Vysokofrekvenčně se svařují tenké fólie z polárních materiálů (PA, PVC atd.). Naproti tomu, nepolární polymery (LDPE, HDPE, PS atd.) nejsou vhodné ke svařování touto metodou [10].

6.4 Svařování laserem

Princip této metody spočívá ve vyzářování koncentrovaných světelných paprsků na fólii (v místě zaostření dosahuje tloušťky 0,1 mm, kde se přeměňuje zářivá energie na teplo). Dnes se používají dva druhy laserů: jeden je plynový na bázi CO₂, jehož záření je absorbováno jen na povrchu dílů, a druhý je tzv. diodový s paprskem absorbovaným po

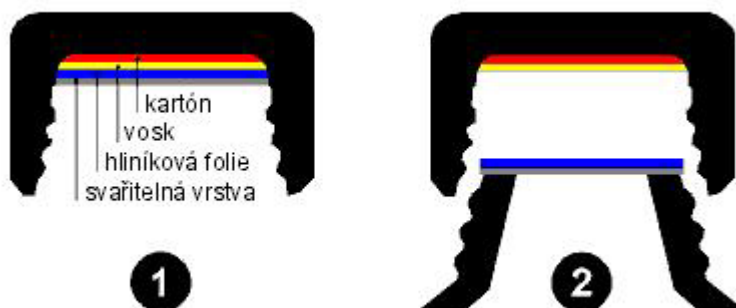
celé tloušťce plastu. U laserového svařování můžeme využít transparentnosti materiálu, kterým paprsek projde a zastaví se až na spodní absorbující vrstvě, na kterou je přesně zaostřen. Spodní natavená vrstva přeneše teplo na vrchní transparentní vrstvu a za určitého tlaku jsou pak obě fólie spojeny [26].

6.5 Indukční svařování

Indukční svařování je bezkontaktní tepelný proces, který zajišťuje hermetické uzavření obalu pomocí tepelně svařitelné hliníkové fólie. Uvnitř uzávěru obalu se ještě před jeho uzavřením nachází vícevrstvá vložka, která obsahuje následující vrstvy:

- podložka z kartónu
- vosková vrstva
- hliníková vrstva
- tepelně svařitelná vrstva polymeru, umožňující přivaření k hrdlu uzávěru

Stav uzávěru před uzavřením obalu je znázorněn na Obr. 27, poloha 1.



Obr. 27. Indukční svařovací systém

Po uzavření prochází obal pod indukční svařovací hlavou a vlivem indukce dochází k ohřátí hliníkové vrstvy vložky. Působením tepla se roztaví vosková vrstva a hliníková fólie se oddělí od kartónové podložky. Zároveň začne tavit svařitelná vrstva, čímž se hliníková fólie přivaří k hrdlu obalu. Po otevření obalu zůstává kartónová podložka s absorbovaným voskem v uzávěru, zatímco hliníková fólie je hermeticky přivařena k hrdlu uzávěru (poloha 2). Kromě uvedeného je též používáno řešení bez kartónové podložky, kdy žádná část nezůstává v uzávěru [1].

6.6 Problémy spojené se svařováním fólií

Určitým problémem jsou biaxiálně orientované fólie, které se při aplikaci tepla smrští do přirozeného neorientovaného stavu. V praxi tomu můžeme zamezit například u biaxiálně orientovaného PP s teplotou tání 140°C, nanesením vrstvičky PP s teplotou tání 120°C. Tímto manévrem získáme dokonalý svár neorientovaného PP, naproti tomu hlavní vrstva orientovaného PP zůstane neporušena. Platí zde pravidlo, že čím větší rozdíl T_m mezi těmito materiály, tím je proces svařování lepší.

Dobrou svařitelností víceméně oplývá většina obalů používaná v potravinářství. U bariérových obalů tuto vlastnost zajišťuje krajní vrstva složená z materiálů PP, LDPE, HDPE, EVA, LLDPE apod. Zvláště LDPE je vyhledávaný materiál pro jeho snadnou svařovatelnost za nižší teploty, což v důsledku urychluje technologický proces a snižuje energetické nároky. Také materiál EVAC se často nanáší na jiné materiály, například na PETP, celofán nebo PP jako vrstva snadno svařovatelná teplem.

Uspokojivou odpověď však můžou poskytnout jen předběžné zkoušky svařitelnosti, kde se zjišťuje jaká síla (N) je zapotřebí k odtržení dvou částí. Pevnost sváru je nejen důležitá pro ochranu výrobků, ale v dnešní době zaznívá stále častěji požadavek na snadnou otvíratelnost [1].

ZÁVĚR

Výroba bariérových fólií je v současné době na velkém vzestupu, své uplatnění nachází nejvíce v potravinářství, ve farmaceutickém průmyslu, ve stavebnictví a především v obalovém průmyslu jako takovém.

Nejpodstatnějším prvkem bariérových fólií je jejich chemické složení, pořadí vrstev a tloušťka jednotlivých komponentů. Tato konstrukční stavba pak nejvíce ovlivňuje vlastnosti dané fólie. Jako bariérové materiály, které musí být nepropustné především pro kyslík, jsou dnes nejvíce rozšířeny EVOH, PVDC a samozřejmě pro příznivou cenu také polyamidy. Mezi adhezními materiály mající na starosti soudržnost celé fólie jsou na vzestupu kopolymery maleinanhydridů naroubované na základní polymerní řetězec polyolefinů.

Z hlediska technologie výroby bariérových fólií se jeví výroba vyfukováním jako výkonnější a efektivnější, ovšem na druhou stranu musíme uvést, že každá technika má své specifické využití. Výroba vytlačováním přes plochou šterbinovou hlavu má lepší výsledky při orientaci fólií, má definovanější chlazení, a tím i vyšší přesnost. V současné době jsou běžně používané linky až dvanáctivrstvé.

U fólií také hodnotíme jejich snadnou manipulovatelnost, dobrou kluznost v technologických procesech a především jejich svařitelnost. V oblasti svařování se zdají být perspektivnější polymery mající nižší teplotu tání, jako je například LDPE, LLDPE a nesmíme zapomenout ani na kopolymery propylenu s různou teplotou tání řešící problém orientovaných fólií.

Závěrem této práce bych chtěl podotknout, že toto téma je velice obsáhlé a daná problematika náročná, nelze tedy dopodrobna obsáhnout všechna témata. Cílem práce je pouze náhled a průřez na dané téma, neslouží však k tomu, abychom na jejím základě činili nějaké zásadní závěry.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Packagiging* [online]. Praha : Richtr & Co., spol. s.r.o., 2002 . Dostupný z WWW: <www.packaging-cz.cz>.
- [2] *PACKAGING WORLD Magazine* [online]. Chicago : Summit Publishing Company, 1994 [cit. 2007-02-05]. Dostupný z WWW: <packworld.com>.
- [3] *Agro navigátor : Potravinářské obaly* [online]. Praha : Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2002 [cit. 2007-03-20]. Dostupný z WWW: <www.agronavigator.cz>.
- [4] Novel Biodegradable Polyethylene Glycol-Lactic Acid Block Polymers. *PolyFacts*. 2006, vol. 1, no. 1, s. 1-5. Dostupný z WWW: <polysciences.com>.
- [5] Ducháček Vratislav: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [6] MEISSNER, Bohumil, ZILVAR, Václav. *Fyzika polymerů : Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury Alfa, vydavatelství technické a ekonomické literatury, Bratislava, 1987. 306 s.
- [7] HENDRICH, Ladislav, HYNEK, Vladimír, ŠÍPEK, Milan. Diferenciální permeometr určený k měření propustnosti plynů a par organických látek skrze ploché polymerní membrány. In *Chemické Listy 99*. Praha : Česká společnost chemická, 2005. s. 345-350. ISSN 1213-7103.
- [8] SOLOVYOV, Stanislav E., GOLDMAN, Anatolij Ya. Theory of Transient Permeation through Reactive Barrier Films I. Steady State Theory for Homogeneous Passive and Reactive Media. In *International Journal of Polymeric Materials*. Buffalo : Taylor & Francis Inc., 2005. s. 71-91. ISSN 0091-4037.
- [9] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie I.* Zlín : [s.n.], 2005. 105 s.
- [10] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Praha : Vydavatelství VŠCHT, 1999. 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [11] *FreePatentsOnline* [online]. 2004 [cit. 2007-03-13]. Dostupný z WWW: <www.freepatentsonline.com>.

- [12] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery a kopolymery ethylenu v obalové technice. *Packaging : Odborný časopis pro obaly, logistiku a transport*. 2006, roč. 10, č. 1, s. 10-12.
- [13] *Indian Plastic Portal* [online]. 2000 [cit. 2007-03-20]. Dostupný z WWW: <www.indianplasticportal.com>.
- [14] *Plasticsusa : Serving the Plastics Industry* [online]. OHIO : EastPoint-Oltean, 1997 [cit. 2007-05-05]. Dostupný z WWW: <plasticsusa.com>.
- [15] GALIOGLU ATICI, Oya, AKAR, Ahmet, RAHIMIAN, Roshan. *Modification of Poly(maleic anhydride-co-styrene) with Hydroxyl Containing Compounds*. Istanbul : Tubitag, 2001. 8 s.
- [16] *Science24 : The Conference Engine* [online]. 2000 [cit. 2007-03-04]. Dostupný z WWW: <www.science24.com>.
- [17] *Global Spec : The Engineering search Engine* [online]. 1999 [cit. 2007-02-21]. Dostupný z WWW: <www.globalspec.com>.
- [18] Vícevrstvé fólie od společnosti BASF chrání citlivé potraviny. *Packaging : Odborný časopis pro obaly, logistiku a transport*. 2006, č. 5, s. 16-17.
- [19] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie II. : Polymerní materiály*. Zlín : [s.n.], 2005. 87 s.
- [20] *Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC) : Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů*. EKONOX s.r.o.. Sevilla : Světové obchodní centrum, 2005. 282 s.
- [21] LENFELD, Petr. *Zpracování plastů*. Liberec : [s.n.], [2005?]. 200 s. Dostupný z WWW: <ksp.vslib.cz>.
- [22] *GAPIS - Gumárenský a plastikářský informační server* [online]. SPUR a.s., 1999 [cit. 2007-02-12]. Dostupný z WWW: <www.gapis.cz>.
- [23] *S & Trade CZ : Obaly pro 3. tisíciletí* [online]. 2004 [cit. 2007-05-02]. Dostupný z WWW: <sachtrade.cz>.

- [24] *Sekon plast s.r.o.* [online]. 1997 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z WWW: <www.sekon.cz>.
- [25] LUKÁŠEK, Jaromír. *Svařování ultrazvukem*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 9 s.
- [26] Svařování termoplastů od klasiky po laser. *Technický týdeník*. 2006, č. 1

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV	Ultrafialové záření
MAP	Balení v ochranné atmosféře
VCI	Vypařovací inhibitory koroze
TIE	Adhezní vrstva
PLA	Biopolymer na bázi polymléčné kyseliny – polylactic acid
v	Průtok vodíku detektorem (m^3s^{-1})
c	Molární koncentrace látky (mol m^{-3})
A	Aktivní plocha membrány (m^2)
J	Hustota difúzního toku ($\text{mol m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$)
p	Parciální tlak (Pa)
x	Prostorová souřadnice (m)
P	Koeficient propustnosti látky prošlé membránou ($\text{mol m}^{-1} \text{Pa}^{-1} \text{s}^{-1}$)
p_1, p_2	Tlaky měřené látky na horní a dolní straně membrány (Pa)
L	Tloušťka membrány (m)
PVAL	Polyvinylalkohol
PETP	Polyetylentereftalát
EVA	Kopolymer etylénu s vinylacetátem
EVAC	viz. EVA
EVOH	Kopolymer etylénu s hydrolyzovaným vinylacetátem
EAA	Kopolymer etylénu s kyselinou akrylovou
EMA	Kopolymer etylénu s kyselinou metakrylovou
PA	Polyamid
BOPA	Biaxiálně orientovaný polyamid
PVDC	Polyvinylidenchlorid

PETG	Polyetylenterftalát glykol
A-PET	viz. PETG
PE	Polyetylén
MDPE	Středněhustotní polyetylén
HDPE	Vysokohustotní polyetylén
LDPE	Nízkohustotní polyetylén
LLDPE	Llineární nízkohustotní polyetylén
ULDPE	Ultra nízkohustotní polyetylén
PP	Polypropylen
σ_p	Pevnosti v tahu (Pa)
\overline{M}	Průměrná molární hmotnost
σ_{MAX}	Maximální dovolené napětí (Pa)
ε_p	Poměrné protažení (Pa)
E	Modul pružnosti (Pa)
ρ	Hustota (kg m^{-3})
T_m	Teplota tání ($^{\circ}\text{C}$)
b.v.	Bod varu ($^{\circ}\text{C}$)
T_g	Teplota zesklnění ($^{\circ}\text{C}$)
PTFE	Polytetrafluoretylen
PEEK	Polyéteréterketon
PVC	Polyvinylchlorid
PC	Polykarbonát

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Podíl materiálů na spotřebě obalů v ČR	9
Obr. 2. Struktury vícevrstvých fólií	13
Obr. 3. PA 6	17
Obr. 4. PA 66	17
Obr. 5. PVDC	18
Obr. 6. PETP	19
Obr. 7. Rozdělení polyetylénů	21
Obr. 8. PE	21
Obr. 9. PP	23
Obr. 10. Molekulární struktura polypropylenu	23
Obr. 11. Zařízení k výrobě biaxiálně orientovaného polypropylenu	24
Obr. 12. Linka na výrobu fólií vyfukováním s horním odtahem	25
Obr. 13 Extruder s horním odtahem – pohled ze strany od šnekového vytlačovacího stroje a od navíjecího zařízení	26
Obr. 14. Hlava pro vyfukování třívrstvé fólie	27
Obr. 15. Vnitřní chlazení vzduchem	28
Obr. 16. Odtahovací zařízení	29
Obr. 17. Kombinace jednovrstvé širokošterbinové hlavy se sdružovačem toků	31
Obr. 18. Schematické znázornění příkladů kombinací jednovrstvé i vícevrstvé širokošterbinové hlavy se sdružovačem proudů	31
Obr. 19. Hliník / polyester	35
Obr. 20. Polyester / polyethylen	35
Obr. 21. Vysoce bariérová fólie	36
Obr. 22. Vysoce bariérová fólie	36
Obr. 23. Svařovací a přítlačná čelist	38
Obr. 24. Podélné svařování fólií	39
Obr. 25. Ultrazvuková soustava 20 kHz, 2000 W	40
Obr. 26. Vysokofrekvenční svařovací elektrody	41
Obr. 27. Indukční svařovací systém	42