

Vývoj a výroba tvarové formy pro vakuové tváření

Radek Sedlář

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Radek SEDLÁŘ

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Vývoj a výroba tvarové formy pro vakuové tváření

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte studium literatury z oblasti technologie vakuového tvarování**
- 2. Hodnoťte zařízení a nástroje používané pro tuto technologii**
- 3. Uveďte polymerní materiály vhodné pro vakuové tvarování**
- 4. Hodnoťte náklady a ekonomičnost projektu**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

Hendrych,J.-Weber,A.-Doležel,J.:Standartizace ráků a součástí forem.SNTL Praha.1986

BOBČÍK,L.:Formy pro zpracování plastů.UNIPLAST Brno.1999

Ptáček,L.-kolektiv.:Nauka o materiálu II.CERM Brno.2002

**Maňas,M.-Tomis,F.-Výrobní stroje a zařízení : gumárenské a plastikářské stroje I.Ediční
středisko VUT Brno.1987**

**Maňas,M.-Tomis,F.-Výrobní stroje a zařízení : gumárenské a plastikářské stroje II.Ediční
středisko VUT Brno.1990**

Tomis,F.-Plastikářská výroba.FT VUT Gottwaldov.1982

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

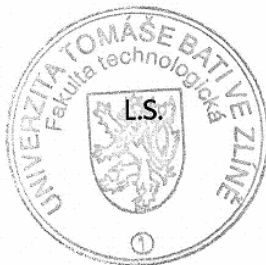
Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2009**

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Cílem této bakalářské práce je stanovit co nejvhodnější technologické podmínky při vakuovém tváření pro danou tloušťku plastové desky, a tvar, který se geometricky tvarem přibližuje zhotovovanému výrobku. Mezi technologické podmínky patří doba ohřevu termoplastické desky a teplota, na kterou desku ohříváme. Samotná technologie vakuového tvarování spočívá v ohřevu termoplastu na tvarovací teplotu a jejím následným vytvarováním pomocí vakua na daný tvar.

Vakuové tvarování patří mezi energeticky úsporné technologie výroby prostorových výrobků s nižšími požadavky na jejich fyzikální vlastnosti, ale s vysokými nároky na funkčnost a estetické vlastnosti. Fyzikální vlastnosti lze ovlivnit vhodnou volbou materiálu a technologickými podmínkami.

Klíčová slova: vakuum, termoplasty, technologická optimalizace

ABSTRACT

The main point of this bachelor's work is to state the most suitable technical conditions during air-assist forming for the thickness of the plastic board and the form which is geometrically similar with the constructed product. Between the technical conditions we can recognize a heating period of thermoplastic board and the temperature on which we are warming the board. The technology of vacuum forming consists in the heating of thermoplast for the sag point and consequently forming for the requested by the help of vacancy.

Vacuum forming belongs to energy saving technologies of spatial products with lower requirements for their physical properties but high requirements for the functionality and aesthetic qualities. Physical properties are possible to influence with suitable choice of material and technological conditions.

Keywords: vacuum, thermoplasts, technological optimization

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat doc.Ing. Imrichu Lokovicsovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za metodické vedení, za drahocenné rady a připomínky, které mi pomohly, jak při řešení teoretické tak i následné praktické části mé práce. Dále doc.Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. za po moc při určování druhu termoplastu.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně 23.5.2009

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÁKUOVÉMU TVÁŘENÍ	10
1.1 ABS(AKRYLONITRILBUTADIENSTYREN)	10
1.2 PS (POLYSTYREN)	11
1.3 PVC (POLYVINYLCHLORID)	11
1.4 PE (POLYETHYLEN).....	12
1.5 PC (POLYCARBONÁT)	13
1.6 PP (POLYPROPYLEN)	14
1.7 TVAROVATELNOST POLOTOVARŮ	15
2 TVAROVÁNÍ ZA TEPLA	19
2.1 MECHANICKÉ TVAROVÁNÍ.....	19
2.2 PNEUMATICKÉ TVAROVÁNÍ	20
2.2.1 Pozitivní tvarování	20
2.2.2 Negativní tvarování	21
2.2.3 Přetlakové tvarování.....	23
2.2.4 Podtlakové tvarování.....	23
2.2.5 Tvarování s předtvarováním.....	23
2.2.5.1 Mechanické předtvarování.....	24
2.2.5.2 Pneumatické předtvarování.....	26
2.2.5.3 Kombinované předtvarování.....	27
3 TECHNOLOGIE TVAROVÁNÍ ZA TEPLA	29
3.1 OHŘEV POLOTOVARU	29
3.1.1 Zdroje tepla	29
3.2 CHLAZENÍ.....	30
3.3 VYJMUTÍ A ZAČIŠTĚNÍ VÝLISKU	30
3.4 TLAK POUŽÍVANÝ PŘI TVÁŘENÍ.....	30
4 EKONOMIČNOST TVÁŘENÍ	31
5 FORMA	32
5.1 MATERIÁLY NA TVAROVACÍ FORMY	33
5.1.1 Sádrové formy	33
5.1.2 Dřevěné formy.....	33
5.1.3 Formy z vrstvené hmoty	34
5.1.4 Formy z pryskyřic.....	34
5.1.5 Kovové formy.....	34

5.2	NÁVRH DUTINY FORMY	34
5.3	ŘEŠENÍ NĚKTERÝCH ČÁSTÍ FOREM	35
5.4	TEMPERACE FOREM	35
5.5	NÁSOBNOST TVAROVACÍ FORMY	36
5.6	PŘÍKLAD PNEUMATICKÉ TVAROVACÍ FORMY	37
5.7	OŘEZÁVACÍ A VYSEKÁVACÍ PŘÍPRAVKY	38
6	TVAROVACÍ STROJE.....	40
7	POČÍTAČOVÁ SIMULACE TVAROVÁNÍ : T-SIM.....	44
7.1	PROČ SIMULOVAT TVAROVACÍ PROCES?	44
7.2	VLASTNOSTI T-SIMU	44
7.3	MATERIÁL	45
7.4	VÝSLEDKY	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
8	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	47
9	POPIS A PRINCIP VAKUOVÉHO STROJE FORMECH 300X.....	48
9.1	TECHNICKÉ SPECIFIKACE:.....	49
9.2	POSTUP PŘI TVÁŘENÍ	50
10	OPTIMALIZAC TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK.....	52
10.1	POSTUP PŘI OPTIMALIZACI	52
10.2	MODEL Y.....	52
10.3	VAKUOVÁNÍ	53
10.3.1	Polystyrénové folie.....	54
10.3.2	Model A	55
10.3.3	Model B.....	56
10.3.4	Model C.....	57
11	PROTAŽENÍ PŘI OPTIMÁLNÍCH PODMÍNKÁCH	58
11.1	PROTAŽENÍ DESKY TLOUŠŤKY 1 MM	58
11.2	PROTAŽENÍ DESKY TLOUŠŤKY 2 MM	59
12	NÁVRH FORMY	60
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK.....	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

ÚVOD

Vakuové tvarování je jednou z technologií pro zpracování plastů. Využívá fyzikálních a mechanických rysů termoplastických hmot, které se při ohřevu mění do plastického stavu. Při následném ochlazení se struktura plastu mění opět do tuhého stavu. Touto metodou výroby je možné z plastů vytvářet od malých dílků až po velké konstrukční komplexy. Mezi výhody vakuového tvarování patří rychlá příprava výroby, vícenásobnost výrobků, volba povrchu, možnost výroby tenkých a přitom plošně velkých výrobků. Výběr materiálu pro tváření závisí na konkrétních požadavcích, nárocích. Technologie vakuového tvarování je schopna uspokojit požadavky na mechanické vlastnosti (pružnost materiálu, jeho obrobitelnost, ...), chemické vlastnosti (odolnost proti olejům, rozpouštědlům, ...), teplotní odolnost, optické vlastnosti (průhledný, průsvitný, vysoce lesklý, lesklý, matný, barevný atd.), s povrchovou úpravou (měkčený na povrchu, dezénovaný atd.), barvu materiálu, speciální vlastnosti (vysoká odolnost proti hoření apod.).

Mezi nejpoužívanější materiály pro vakuové tváření patří ABS, Polystyren a jeho kopolymery; PVC tvrdý, měkčený a kopolymery PVC; Polyetylen, Polycarbonát, Polypropylen, Polyester.

Protože technologie vakuového tváření plastů neumožňuje vyztužení plastu, například vložením zpevňujících žeber, zesílením stěny, je někdy nutné plastovou součást dodatečně vyztužit. Plastový díl se vyztužuje, aby se vytvořil nebo přizpůsobil jeho tvar, zesílila jeho tloušťka, ovlivnila barva vnitřní strany nebo se díl uzpůsobil pro vkládání dalších montážních prvků.

Když budeme navrhovat plastový výrobek musíme brát v potaz všechny aspekty a podle toho volit nejvhodnější technologii. Při porovnání vakuového tvarování s ostatními technologiemi zpracování plastů zjistíme, že má své výhody i nevýhody.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÁKUOVÉMU TVÁŘENÍ

Vakuovým tvarováním je možné tvarovat prakticky všechny termoplastické materiály. Mezi nejčastěji používané patří:

- ABS
- Polystyren a jeho kopolymery
- PVC tvrdý, měkčený a kopolymery PVC
- Polyetylén
- Polycarbonát
- Polypropylen
- Polyester

1.1 ABS(Akrylonitrilbutadienstyren)

Nejdůležitější vlastnosti ABS:

- jeden z nejběžnějších a cenově nejdostupnějších plastů pro vakuové tvarování
- velmi dobrá teplotní odolnost
- velmi dobrá chemická odolnost
- vysoká pevnost
- snadné zpracování
- široká nabídka barevných variant

Použití:

- výroba dílů pro automobilový průmysl, sport, hobby, volný čas, sanitární díly, předměty denní potřeby, elektronika, elektrotechnika, autodoplňky atd. [8]

1.2 PS (Polystyren)

Nárazuvzdorný polystyren (HIPS, PS) je cenově výhodný materiál, který lze velmi dobře tvarovat za tepla. Základní barva je bílá, přírodní nebo černá. Pro reklamní účely je k dispozici i v celé škále barev. Ve standardním provedení je nevhodný pro venkovní aplikace. Pro venkovní aplikace je často nahrazován materiálem ABS. Ten je však náročnější pro vakuové tvarování díky své značně vyšší hydroskopičnosti. Materiál lze snadno lepit lepidly na bázi rozpouštědel

Přednosti:

- dobrá odolnost proti nárazu
- široká nabídka barev
- snadný potisk
- vhodný pro vakuové tvarování
- doporučuje se pouze pro interiérové použití

Příklady použití:

Displeje, výrobky vyrobené vakuovým tvarováním, nápisy používané ve skladech a halách, nejrůznější aplikace (nápisy, tabulky s písmeny v očních ordinacích, podložka pod poznámkové bloky), nosné panely fotografií [9]

1.3 PVC (Polyvinylchlorid)

Polyvinylchlorid je obtížně vznětlivý, chemicky velmi odolný a náchylný pouze k nepatrnému vnitřnímu pnutí. Má vysokou pevnost, stálost a tvrdost. PVC lze používat v rozmezí teplot mezi $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a cca $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lze ho lepit i svářet.

Přednosti:

- vysoká mechanická pevnost
- dobrý elektrický izolant
- vysoká chemická odolnost
- samozhášivost

- nepatrná nasákavost
- dobrá lepitelnost

Nevýhody:

- malá houževnatost
- pouze podmíněná odolnost vůči povětrnostním podmínkám

Příklady použití:

Výroba nádrží, potrubí a svařovaných dílů do chemicky velmi agresivního prostředí, tělesa čerpadel a ventilů, těsnění, součásti ložisek, potrubí, lampiček, kartáčů, součástky v zubním lékařství, lišty laviček, přepážky v pokladnách, kryty lamp ...

PVC-U průhledné

Má zvýšenou rázovou houževnatost a dobrou průhlednost

PVC-C (Corzan)

Má vysokou stálost, pevnost a tvrdost při vyšších teplotách (+85 °C), vynikající chemickou odolnost

PVC-HI (Modifikované rázově houževnaté PVC-U)

Má zvýšenou rázovou houževnatost při nízkých teplotách (-40 °C).

PVC-U elektricky vodivé (ESD)

Varianta PVC-U s vylepšenou elektrickou vodivostí. Vnitřní odpor je přibližně 23 ohmů na centimetr, povrchový odpor přibližně 106 ohmů. [8]

1.4 PE (Polyethylen)

Polyethylen je na základě své dobré chemické stálosti odolný vůči kyselinám, louhům, mnohým organickým rozpouštědlům a teplé vodě. Je dobrý elektrický izolant a dobře svařitelný. PE-HD lze použít v rozmezí teplot od -50 °C do +90 °C a PE-UHMW v rozmezí teplot od -150 °C do +90 °C.

Přednosti:

- nízká hustota
- vysoká houževnatost
- vysoká hodnota protažení při přetržení
- velmi dobré elektrické a dielektrické izolační vlastnosti
- malá nasákavost
- malá propustnost vodních par
- vysoká chemická odolnost
- dobrá odolnost vůči vnitřnímu pnutí
- fyziologická nezávadnost

Nevýhody:

- měkký povrch (nízká stálost)
- nelze vysokofrekvenčně svařovat
- špatná lepitelnost a lakovatelnost

Příklady použití:

Přenosné nádrže, díly k čerpadlům a ventilům, díly pro stavbu nádrží, součástky pro použití v medicíně, těsnění, kluzké profily... [8]

1.5 PC (Polycarbonát)

Polycarbonát má vysokou stálost a extrémně vysokou rázovou houževnatost. Dále se vyznačuje vysokou teplotou tavení a teplotní tvarovou stálostí (cca +130°C). PC lze používat při teplotách od -150°C do cca +120°C.

Přednosti:

- extrémně vysoká rázová houževnatost (až do -150°C)
- vysoká pevnost a stálost

- vysoká tvrdost
- vysoká teplotní tvarová stálost
- vysoká rozměrová stálost (vysoká pevnost lomu)
- dobré elektrické izolační vlastnosti
- vysoká odolnost vůči povětrnostním podmínkám
- vysoká odolnost vůči vysokofrekvenčnímu záření

Nevýhody:

- průměrná odolnost vůči chemikáliím
- náchylnost vůči vnitřnímu pnutí

Příklady použití:

Vedení trubek, bezpečnostní skla, šablony, díly k projektorům, průhledítka, dělicí stěny, výroba vakuově tvarovaných dílců, zastřešení bazénů, pergol, zasklívání lodžii, protihlukové stěny... [8]

1.6 PP (Polypropylen)

Polypropylen má dobrou stálost, tvrdost a pevnost, ale nízkou vrubovou houževnatost. PP není náchylný k vnitřnímu pnutí a je dobře svařitelný. Při teplotách pod nulou křehne. Chemické a elektrické vlastnosti jsou velmi dobré. PP lze používat při teplotách od cca +5 °C do +100 °C

Přednosti:

- nízká hustota
- vysoká teplotní tvarová stálost
- vysoká stálost, vysoká povrchová tvrdost
- velmi dobrá chemická odolnost
- fyziologická nezávadnost

Nevýhody:

- nízká odolnost vůči oxidaci
- nízká otěruvzdornost
- nelze vysokofrekvenčně svařovat
- špatná lepitelnost a lakovatelnost
- nižší odolnost vůči povětrnostním podmínkám

Příklady použití:

Výroba nádrží, jímek, bazénů, svařovaných dílců, vzduchotechnického potrubí, součástí čerpadel a ventilů, těsnění, potahování, distanční držáky v galvanotechnice, součástky hraček ...

PP-30GF (HiPro), s příměsí 30% GF

- vysoká rozměrová stabilita, vysoká stálost, vysoká teplotní tvarová stálost

PP elektricky vodivý

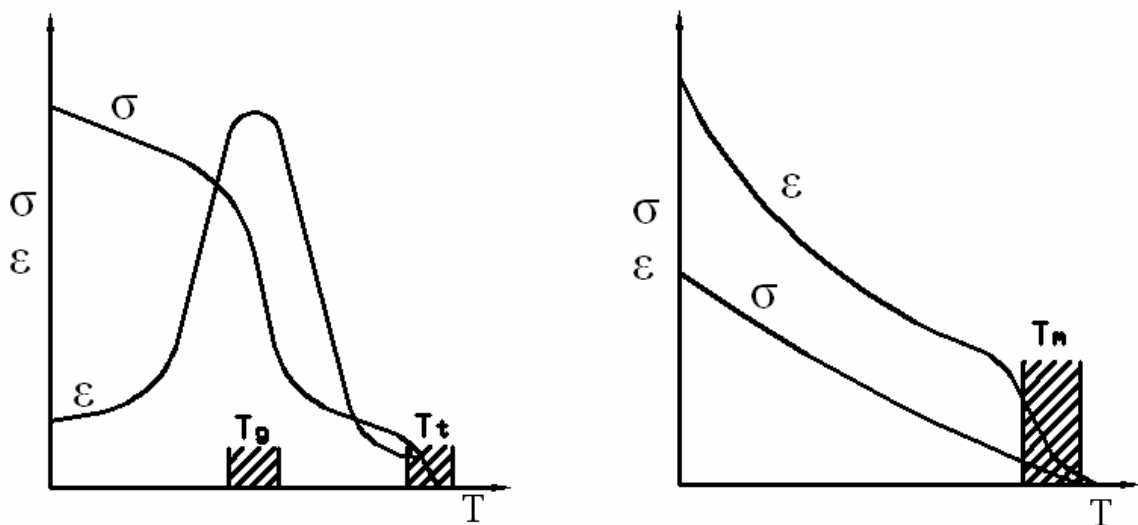
Varianta PP-H s vylepšenou elektrickou vodivostí. Vnitřní odpor je přibližně 50 ohmů x cm, povrchový odpor cca 106 ohmů.

PP-30PET-F

PP vyztužený 30%PET vlákny [8]

1.7 Tvarovatelnost polotovarů

Tvarovatelnost polotovaru je jeho schopnost dosáhnout v daných podmínkách žádaného tvaru a podržet si ji při použití. Tvarovatelnost lze odvozovat od mechanických vlastností, zejména pak od jejich závislosti na teplotě. U termoplastů je pevnost a tažnost funkcí teploty. Jejich průběh pro materiály krystalické a amorfní ukazuje obr. 1.



a) amorfní polymer

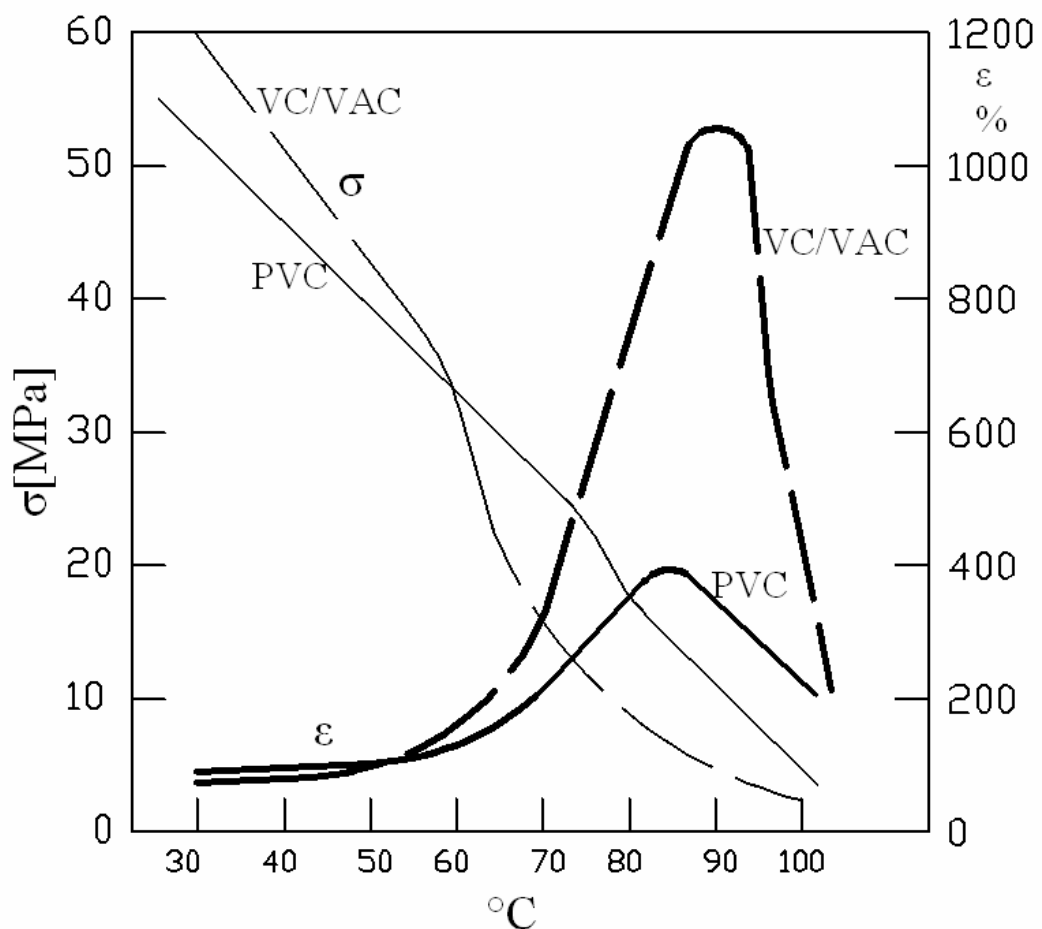
b) krystalický polymer

Obr. 1. Závislost pevnosti a tažnosti na teplotě [vlastní zpracování]

Amorfní materiály mají pod teplotou zesklenní T_g poměrně vysokou pevnost a malou tažnost. V intervalu teploty zesklenní pevnost výrazně klesá a tažnost vzrůstá. Tažnost prochází maximem, při dalším zvyšování teploty klesá, až v intervalu teploty toku T_f se blíží nule. Amorfní materiály lze tvarovat jak pod teplotou T_g , tak také nad ní. Při teplotách nízkých je však tvarovací rozsah malý a tvarovací síly velké. V materiálu přitom zůstává vysoké zbytkové napětí, které se v některých případech projevuje bílým zbarvením v místech koncentrace napětí. Bílé zbarvení je způsobeno mikrotrhlinami v materiálu. Při novém ohřevu nad teplotu tvarování se materiál samovolně vrací do původního tvaru, a to tím více, čím blíže je nová teplota k teplotě T_f . Tento úkaz nazýváme tvarovou pamětí. Také bílé zbarvení v místech koncentrace napětí novým ohřevem lze odstranit. Příčinou tvarové paměti je zbytkové napětí v materiálu, které souvisí s nerovnoměrným stavem struktury. Teplotu tvarování je nutno volit tak, aby tvarovací rozsah i tvarová stálost byly v souladu s podmínkami použití. [6]

U materiálů krystalických má pevnost i tažnost v oblasti využitelných teplot monotónní průběh. Teplota tvarování leží blízko intervalu teploty tání T_m . Rozmezí teplot tvarování je zpravidla poměrně úzké.

Tvarovatelnost mohou kromě teploty ovlivňovat i další faktory, jako je rychlost tvarování, teplota formy, typ tvarovaného materiálu, některé přísady v něm apod. Vyšší rychlost tvarování a vyšší teploty formy zpravidla umožňují větší tvarovací rozsah. Vliv složení materiálu můžeme sledovat na obr. 2.



Obr. 2. Pevnost a tažnost PVC VC/VAC [vlastní zpracování]

Přítomnost kopolymerační složky zvyšuje zejména tažnost materiálu. Proto se kopolymery zpravidla lépe tvarují než homopolymery. Přídavkem změkčovadel k PVC se teplota zesklennění snižuje. Přibližně 1% změkčovadla snižuje tuto teplotu asi o 4 °C. Současně se interval T_g rozšiřuje, až při vyšším obsahu změkčovadel zcela zmizí (při normálních teplotách). Takový materiál nelze tvarovat, protože ochlazením na pokojovou teplotu již nelze fixovat. Materiál se bezprostředně vrací do původního tvaru; má tedy typický kaučukovitý

charakter. Materiály s malým obsahem změkčovadel mají nižší tvarovou stálost než materiály, které změkčovadla neobsahují. [6]

Z uvedeného tedy vyplývá, že výběr podmínek tvarování je omezen na jedné straně tvarovacím rozsahem, na druhé straně rozměrovou stálostí hotového výrobku. Zpravidla je druhý požadavek rozhodující. Pro porovnání jsou uvedeny orientační hodnoty teplot tvarování pro některé materiály (Tab. 1, Tab. 2). [6]

Tab. 1. Amorfní polymery [vlastní zpracování]

	T_g [°C]	T_f [°C]	Teplota tvarování [°C]	Teplota formy [°C]
PVC	85 – 95	170 – 180	120 – 140	20 – 40
VC/VAC	65 – 75	130 – 160	90 – 120	20 – 40
PS	80 – 85	160 – 170	90 – 130	30 – 60
hPS	80 – 90	140 – 170	90 – 130	30 – 60
ABS	100 – 120	160 – 190	130 – 150	50 – 70
PMMA	95 – 115	170 – 190	96 – 150	50 – 70
CA, CAB	60- 90	160 – 180	120 – 150	60 – 80
PC	150	220	160 – 210	110 – 130

Tab. 2. Krystalické polymery [vlastní zpracování]

	T_m [°C]	Teplota tvarování [°C]	Teplota formy [°C]
rPE	110 – 115	100 – 115	40 – 80
lPe	125 – 135	110 – 120	50 – 90
PP	165 – 175	140 – 160	60 – 110
POM	165 – 175	150 – 160	100 – 140

2 TVAROVÁNÍ ZA TEPLA

Účinkem tepla se folie nebo deska z termoplastické hmoty, sevřená upínacím rámem, vyhřeje na vhodnou tvarovací teplotu a účinkem tlaku zaujme tvar formy, ze které se po rychlém ochlazení vyjme. [4]

Tvarování zahrnuje pracovní postupy, při nichž se tvar polotovaru mění bez většího přemísťování částic při teplotách zpravidla nižších, než je teplota T_m , případně T_f . Rozsah tvarové změny je tedy omezen stavem materiálu, na rozdíl od tváření, kdy se toto omezení neuplatňuje. U amorfních polymerů probíhá tvarování nejčastěji v teplotním intervalu nad T_g , kdy je uvolněn pohyb segmentů makromolekul.

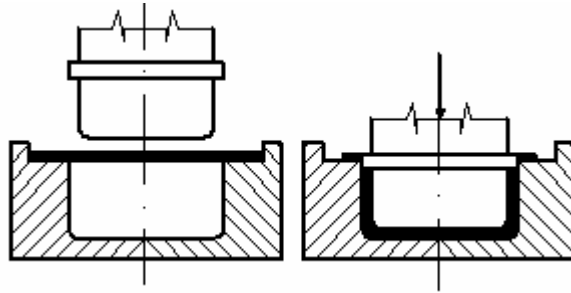
Podle použitých tvarovacích prostředků lze rozlišit tvarování mechanické, přetlakové a podtlakové.

Volba tvarovacího postupu se řídí typem zpracovávaného materiálu a požadovaném dosažení rovnoměrné tloušťky stěny hotového výrobku. [6]

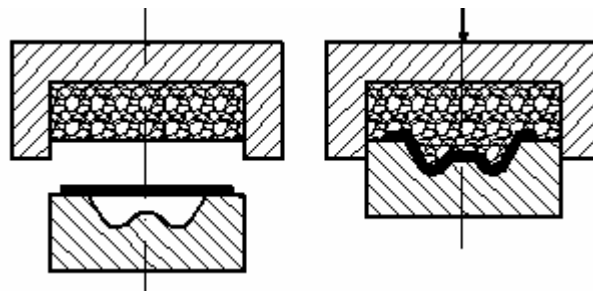
Tvarování za tepla se provádí různými způsoby. V zásadě rozeznáváme pozitivní tvarování a negativní tvarování. Častěji používané negativní tvarování umožňuje širší variabilitu procesu tvarování uplatněním vakua, tlakového vzduchu, předtažení tvárníkem či stlačeným vzduchem atd. [2]

2.1 Mechanické tvarování

U mechanického tvarování se změny tvaru příslušného polotovaru dosáhne přímým působením jednotlivých částí formy na tvarovaný materiál. Dva základní způsoby ukazuje obr. 3 a obr. 4



Obr. 3. Mechanické tvarování – pevný tvárník[vlastní zpracování]



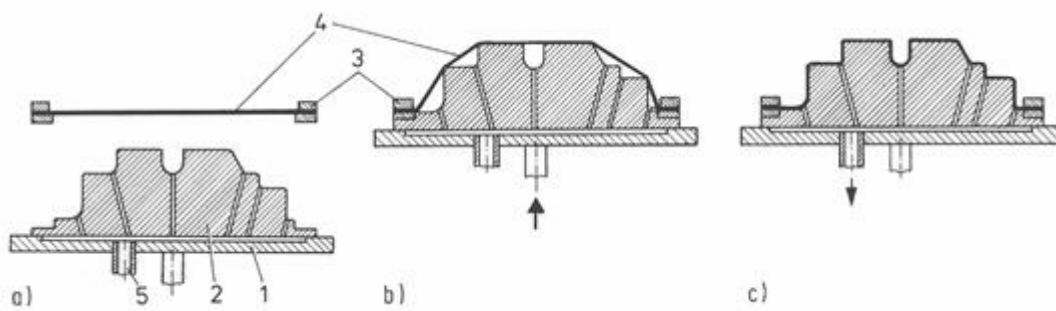
Obr. 4. Mechanické tvarování – pružný tvárník[vlastní zpracování]

Mechanické tvarování umožňuje použitím vyšších tvarovacích tlaků, případně kombinací tvarování s oddělováním výrobků od zbytku polotovaru. [6]

2.2 Pneumatické tvarování

2.2.1 Pozitivní tvarování

Jednoduchý pozitivní způsob tvarování umožňuje dosáhnout rovnoměrnou tloušťku stěny i při hloubce tažení dané poměrem $H / D = 1$. Základem je pozitivní tvarovací forma – tvárník, odpovídající svým tvarem výrobku. Deska se upne do rámu a ohřeje se na tvarovací teplotu (a). Po odsunutí ohřívacího zařízení se forma pohybem vzhůru vtlačí do desky (b) nebo se rám s deskou přetáhne přes nepohyblivou formu. V této fázi vlastně dochází k mechanickému předtvarování desky. [11]



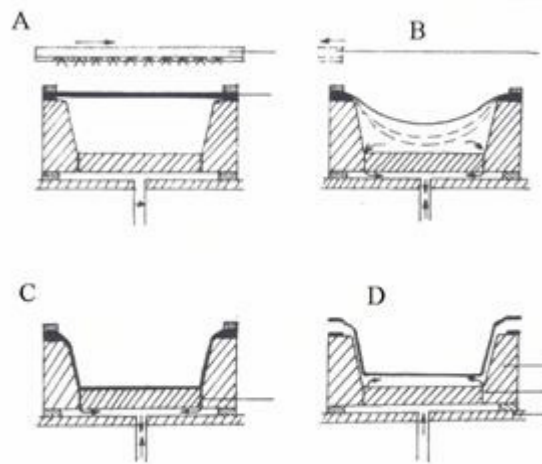
Obr. 5. Princip pozitivního podtlakového tvarování [11]

1 – stůl stroje, 2 – tvárník, 3 - rám stroje, 4 - deska

Deska se ztenčuje jen v místě budoucích bočních stěn výtažku, a to rovnoměrně, zatímco ve dně nikoliv, neboť se tam dotýká formy. Konečný tvar dostane výtažek až po vytvoření vakua v prostoru mezi deskou a formou (c). U tohoto způsobu tvarování má výtažek nejtlustší dno, což může být výhodné pro zvýšení stability výtažků ve tvaru nádob. Nevýhody spočívají v tom, že krabicové výlisky, zvláště jsou-li úkopy bočních stěn malé, se z formy obtížně stahují a že vzniká nebezpečí tvorby záhybů v rozích (překládání desky). [11]

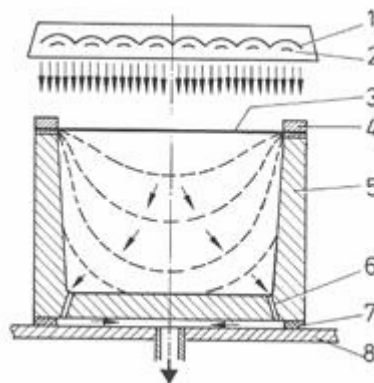
2.2.2 Negativní tvarování

Základem je tvarovací forma s dutinou, která svým tvarem odpovídá žádanému výrobku. Rozměry dutiny musí ovšem být zvětšeny o smrštění hmoty, podobně jako tomu je u jiných technologií. Deska určená k tvarování se upne do rámu a neprodyšně se spojí s formou. Potom se nad desku přisune ohřívací zařízení (A) a po dosažení tvarovací teploty, což se kontroluje dobou ohřevu, se topení odsune (B) a bezprostředně se rychle z dutiny formy odsaje vzduch. Vytvořeným vakuem se plast přitiskne na vnitřní stěnu dutiny formy a přesně přijme její tvar (C). Po ochlazení výtažku se vakuum zruší a výrobek se z formy vyjme (D) buď ručně nebo se uvolní stlačeným vzduchem, který se přivádí do formy odsávacími kanálky.



Obr. 6. Princip negativního podtlakového tvarování [11]

Jednoduché negativní tvarování se hodí jen pro tažení mělkých výtažků, u nichž hloubka H nepřekročí asi 0,4 horního průměru D . Je to proto, že se při tažení deska ztenčuje velmi nerovnoměrně a v tloušťce stěny výtažku jsou velké rozdíly. Stejnou tloušťku stěny na výlisku nelze dosáhnout. Ztenčení je tím větší, čím je vyšší poměr H / D . Nejtenčí je stěna v rozích u dna. Pro mechanismus ztenčování desky platí pravidlo, že tažení se vždy zúčastňuje jen volná část desky, tj. ta, která se nedotýká povrchu formy, neboť jakmile se deska dotkne formy, ihned se ochladí natolik, že se na dalším tažení již nemůže podílet. Kvalitnější je vnější povrch, který se dotýká formy. [11]

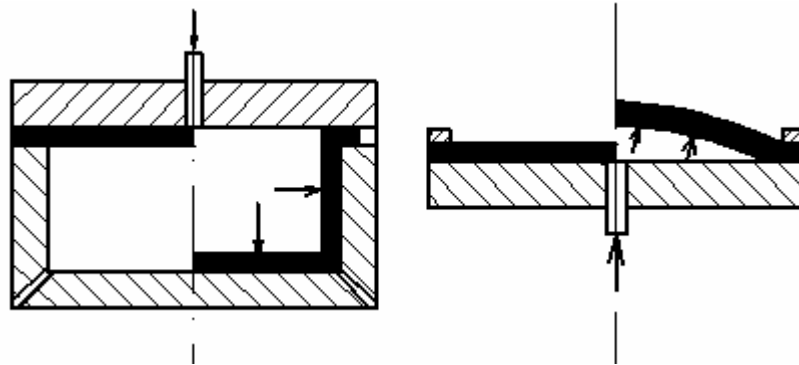


Obr. 7. Proces tvarování [11]

1 – ohřev, 2 – topná spirála, 3 – deska, 4 – rám stroje, 5 - tvárnice, 6 – odsávací otvory, 7- rozpěrka, 8 – stůl stroje

2.2.3 Přetlakové tvarování

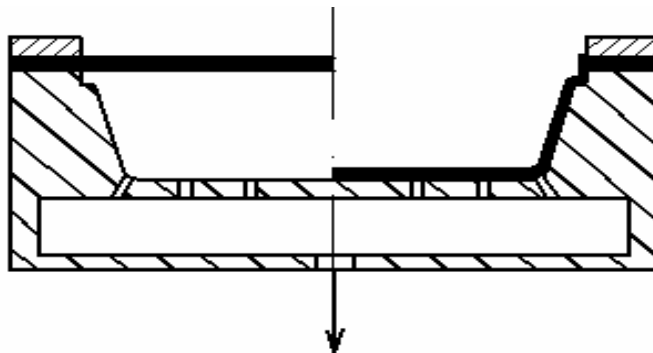
U tvarování přetlakového se změny tvarů polotovarů dosahuje přímým působením tlakového media. Jako tlakové medium se nejčastěji používá vzduch. Přetlakové tvarování do formy a do volného prostoru ukazuje obr. 8. [6]



Obr. 8. Přetlakové tvarování [vlastní zpracování]

2.2.4 Podtlakové tvarování

U tvarování podtlakového je situace obdobná jako v předcházejícím případě, pouze změny tvaru se dosáhne účinkem podtlaku místo přetlaku. [6]



Obr. 9. Podtlakové tvarování [vlastní zpracování]

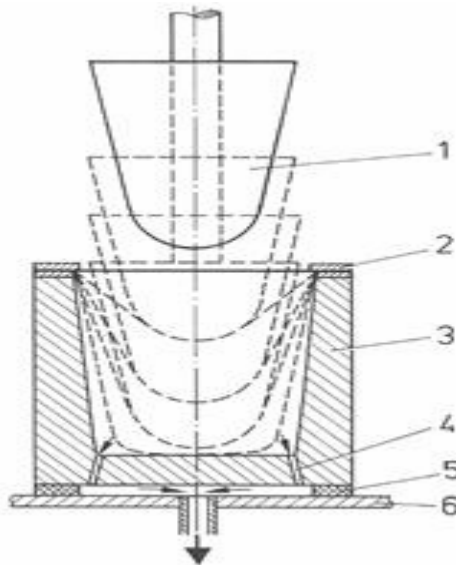
2.2.5 Tvarování s předtvarováním

Běžné tvarování, kdy se k přitisknutí předehřáté desky k tvárnici používá snížený tlak, většinou nevyhovuje, neboť v rozích bývá výlisek zeslaben. Proto se deska nejdříve předtáhne mechanickým tvárníkem nebo pomocí stlačeného vzduchu do tvaru bubliny, a ta je potom negativně nebo pozitivně tvarována. Tímto uspořádáním se dosahuje daleko větší

rovnoměrnosti tloušťky stěn. Existuje cca 12 různých způsobů tvarování za tepla. Značně se rozšířila kombinace negativního tvarování s předtažením vzduchem a tvárníkem. Při prostém tvarování se dosahuje stupně tvarování cca 40 % průměru dutiny formy, zatímco při použití předtažení se dosahuje 100 až 250 % v extrémních případech 400 až 500 %. [2]

2.2.5.1 Mechanické předtvarování

Snaha dosáhnout co nejrovnoměrnější tloušťky stěny výtažků vedla k vývoji celé řady kombinovaných způsobů tvarování. Modifikací jednoduchého negativního tvarování je negativní tvarování s mechanickým předtvarováním. Ve své podstatě se jedná o kombinaci způsobu negativního a pozitivního. Z postupu je zřejmé, že od jednoduchého tvarování se liší tím, že se deska po skončení ohřevu nejprve předtvaruje pomocným tvárníkem, který desku vtlačuje směrem do dutiny formy.

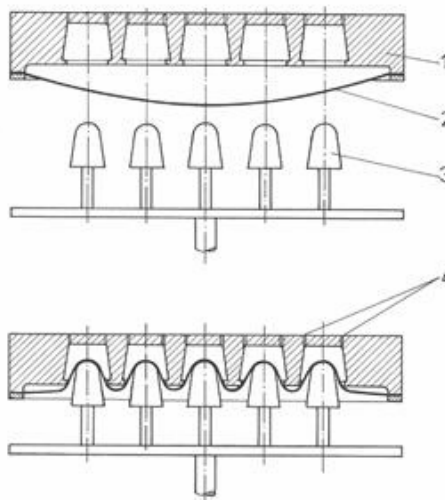


Obr. 10. Princip negativního podtlakového tvarování s mechanickým předtvarováním [11]

1 – tvárník, 2 – rám stroje, 3 – tvárnice, 4 – odsávací otvory, 5 - rozpěrka, 6 – stůl

Když tvárník dosáhne stanovené hloubky, zapojí se odsávání vzduchu. Vytvořeným podtlakem deska zaujme konečný tvar a výtažek se ve formě ochladí. Plocha pomocného tvárníku má činit maximálně 70 % celkové tvarované plochy desky a hloubka předtvarování se volí cca 70 % konečné hloubky tahu. Tvárník nesmí plast příliš ochlazovat a proto se vyrábí z materiálu se špatnou tepelnou vodivostí, např. z tvrdého dřeva, vrstvené tkaniny nebo z PA. Musí to být materiál, který snáší tvarovací teplotu. Osvědčují se také duté tvárníky, do nichž se vhání teplý vzduch, který mezi deskou a tvárníkem vytváří vzduchový polštář zabráňující přímému dotyku desky a tvárníku. [11]

Při zasouvání tvárníku do negativní formy, což musí proběhnout velmi rychle, se ve formě zvyšuje tlak vzduchu. To způsobuje vydouvání volné části desky vzhůru a její nežádoucí ztenčování. Tento způsob tvarování je vhodný i pro desky s větší tloušťkou, a to až 10 mm a umožňuje výrobu výlisků s poměrem H / D až 1,5. Výhodou je velmi rovnoměrná tloušťka stěny výrobku a možnost použití vícenásobných forem v hromadné výrobě. Nevýhodou je složitější a dražší zařízení, které vyžaduje přesné dodržení nejen sledu, ale i doby trvání jednotlivých operací. [11]



Obr. 11. Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním a pohled na tvárníky

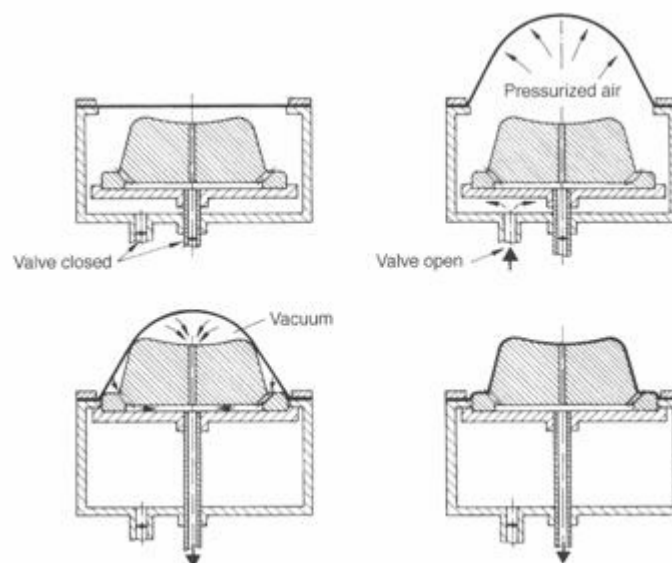
[6]

1 – tvárnice, 2 – deska, 3 – tvárník, 4 – odsávací otvory [11]

2.2.5.2 Pneumatické předtvarování

U pozitivního způsobu s pneumatickým předtvarováním je první operací po zahřátí desky její předtvarování pomocí stlačeného vzduchu. Deska se po zahřátí na tvarovací teplotu nejprve vyfoukne do tvaru „bubliny“ a protože je tvarována na vzduchu, ztenčuje se velmi rovnoměrně. Stupeň předtvarování se řídí množstvím, tlakem a teplotou vzduchu. Ta může dosahovat teploty zahřátého plastu. Do vytvořené bubliny se zespoda vtlačí pozitivní forma a přesný tvar získá výtahem po aplikaci vakua. Při tvarování je možné postupovat třemi způsoby: Ohřátá deska je nejprve předtvarována stlačeným vzduchem a teprve potom je zdvižena forma. Rychlost zvedání formy musí být co největší, aby se předtvarovaná deska neochlazovala. Jakmile forma dosáhne horní koncové polohy, ihned je zapnuto vakuum a vylisek je dotvarován. Nebo forma je zdvižena ještě dříve, než je předtvarování vzduchem zcela skončeno. Tím se dosáhne toho, že na vrchní ploše formy se vytvoří malé vzduchové polštáře, které jednak zabraňují dotyku desky s formou a jednak ještě napomáhají dalšímu předtvarování. To vede k ještě rovnoměrnějšímu rozdělení tloušťky stěny na vylisku. A nebo předtvarování vzduchem i pohyb formy se dějí současně.

Tímto způsobem se vyrábějí výtahy s poměrem H / D větším, než 2. Přitom tloušťka stěny je velmi rovnoměrná, a to i v rozích. Nevýhodou je dražší zařízení, které musí pracovat automaticky, aby jednotlivé operace na sebe navazovaly podle předem ověřeného programu. [11]

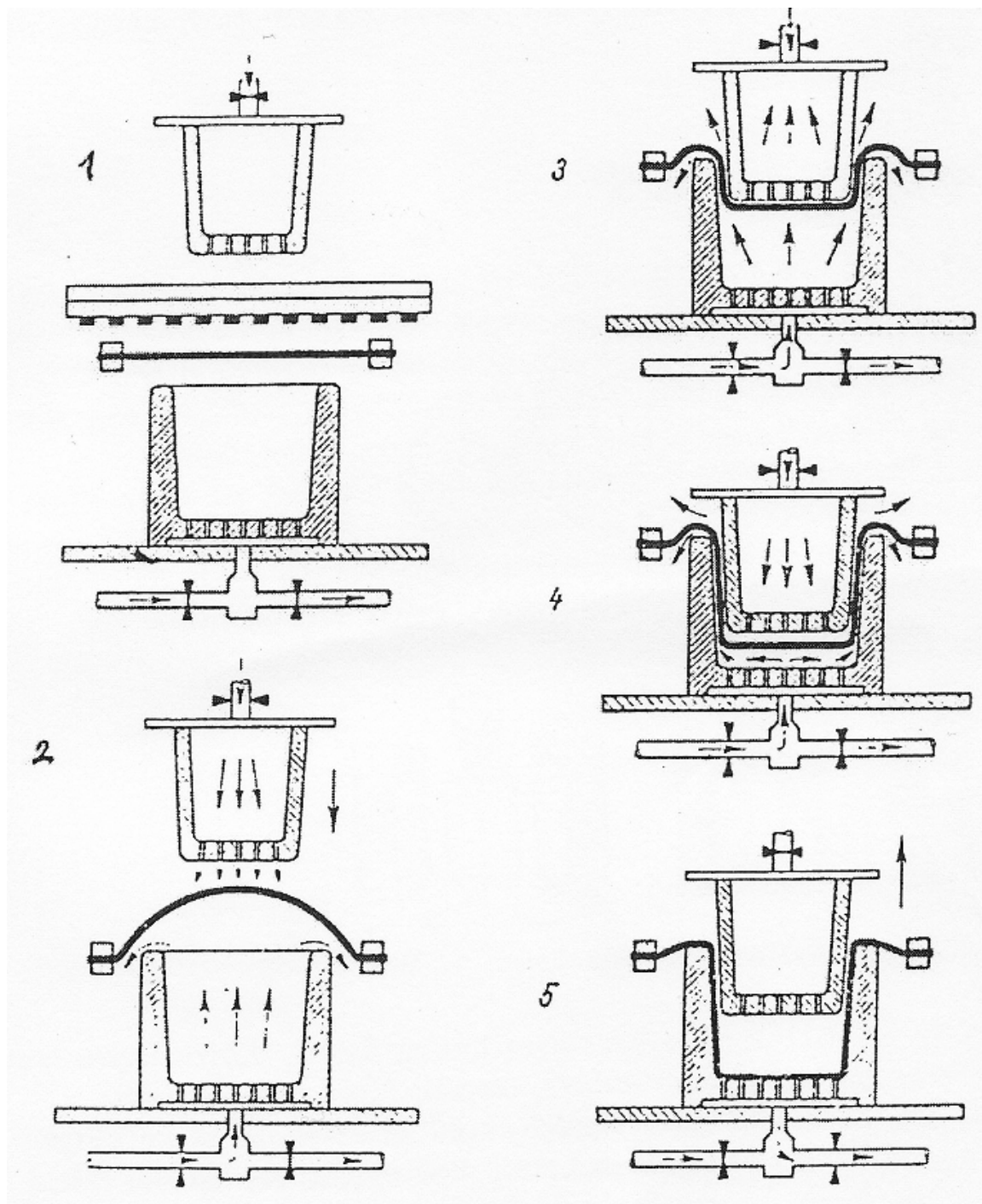


Obr. 12. Princip pozitivního podtlakového tvarování s pneumatickým předtvarováním [11]

Ke zvláštnostem tohoto způsobu patří, že záměrným nerovnoměrným ohřevem desky je možné dosáhnout nestejněho stupně ztenčení v různých místech předtvarované desky, a tím různě tlusté stěny na výlisku. [11]

2.2.5.3 *Kombinované předtvarování*

Z dalších možných způsobů tvarování je třeba uvést tvarování s pneumatickým a mechanickým předtvarováním. Používá se u zvlášť hlubokých výtažků s poměrem H / D větším, než 2. Následuje buď vtlačení formy do předtvarované desky a potom je uveden do pohybu tvárník a pak je zapnuto vakuum, nebo je forma uvedena do pohybu ještě před skončením pneumatického předtvarování a po dosažení konečné pozice formy jsou současně uvedeny v činnost tvárník i vakuum a nebo jsou současně uvedeny do pohybu forma i tvárník, a když dosáhnou konečné pozice je zapnuto vakuum. Konečný tvar získá výtažek zapojením vakua. Tento způsob se používá i pro výrobu výtažků se zdvojenými stěnami. Ty se tvarují v pozitivně-negativní formě, jejímiž funkčními částmi je jak vnější povrch tvárníku, tak vnitřní povrch dutiny. Forma se nejdříve pohybem vzhůru vtlačí do vyfouknuté desky, nato se střední část bubliny přetlačí předtvárníkem do negativní části formy. Tvarování se opět dokončí využitím vakua. Celý proces musí být automatizován, teplota nejen plastu, ale i vzduchu, formy a předtvárníku musí být přesně regulovány. Podle tvaru výtažku totiž činí konečná tloušťka stěny vzhledem k původní desce jen 20 %. Použitý plast proto musí vykazovat obzvláště vysokou tažnost. Doba potřebná na předtvarování ohřáté desky stlačeným vzduchem je asi 0,5 až 1 s. Na přetažení desky do negativní formy je třeba také asi 1 s a na dotvarování pomocí vakua rovněž asi 1 s. Vlastní tvarovací proces tedy proběhne asi během 3s. [2]



Obr. 13. Princip negativního podtlakového tvarování s pneumatickým a mechanickým předtvarováním [2]

3 TECHNOLOGIE TVAROVÁNÍ ZA TEPLA

Při tvarování za tepla probíhají tyto operace: ohřev, tvarování, ochlazení, vyjmutí a začištění vylisku. [2]

3.1 Ohřev polotovaru

Na ohřev jsou při tvarování kladeny poměrně velké požadavky. Musí zajistit rovnoměrné ohřátí desek co největší rychlostí, ale bez jejich poškození nadměrným tepelným namáháním. Rychlost ohřevu je závislá na fyzikálních vlastnostech polymeru, jako je tepelná konduktivita, specifická tepelná kapacita, teplo tání, a při ohřevu infračerveným zářením i jeho absorpční spektrum. Deska plastu je uchyceny do upínacího rámu a její ohřev probíhá v cirkulačních sušárnách nebo častěji keramickými zdroji infračerveného záření. Desky do tloušťky 2,5 mm jsou ohřívány jednostranně, zatímco tlustší desky jsou ohřívány oboustranně. Moderní tvarovací stroje mají vytápění plošně regulovatelné, což umožňuje různé předeřtí jednotlivých míst desky, a tím i jejich rozdílné protažení. [2]

Ohřev se uskutečňuje konvekcí v teplovzdušných komorách nebo tunelech, kondukcí na vytápěných deskách nebo válcích či sáláním. Oboustranný ohřev urychluje dosažení tvarovací teploty a snižuje nebezpečí vzniku nepříznivých pnutí v důsledku nerovnoměrného ohřevu.

Z hlediska technologického procesu, ale i z hlediska konstrukce zařízení je nutné znát dobu, za kterou dosáhne při zvoleném způsobu ohřevu deska nebo folie tvarovací teploty. Doba ohřevu jednoznačně určuje dobu cyklu u diskontinuálně pracujících strojů nebo délku ohřívacího tunelu u kontinuálních procesů. Přitom je nutné, aby bylo tvarovací teploty dosaženo po celé tloušťce. [2]

3.1.1 Zdroje tepla

Tvarovací stroje jsou v současné době vybaveny zdroji tepla, založených na různých principech. Pro obalové účely se posledních letech nejvíce používají infračervené kovové zářiče, odporové drátové zdroje a infračervené lampy. Křemenové zdroje a zdroje s keramickými elementy nejsou tak rozšířené. To proto, že infračervené zářiče jsou podstatně výkonnější a dávají rovnoměrnější tepelný tok. Doba ohřevu závisí na vlastnostech

polymeru a geometrii výrobku. Většina tepelných zdrojů produkuje teplotu od 900 °C do 1100 °C. [4]

3.2 Chlazení

Nejdelší operací tvarovacího cyklu v dnešní době, kdy je používán předehřev s velkým měrným příkonem, je chlazení. Dobrých výsledků lze dosáhnout při použití kovových forem s chladícími kanálky. Účinnost chlazení se dále zvyšuje ofukováním povrchu povrchu výlisku stlačeným vzduchem (o 20 %), popř. vodní mlhou (o 70 %). [2]

3.3 Vyjmutí a začištění výlisku

Ochlazený výrobek se může z formy vyjmout. Předčasné vyjímání je příčinou velkého a nestejně smrštění. Při chlazení ve formě proběhne asi 1/2 celkového smrštění; po vyjmutí z formy do jedné hodiny proběhne asi 1/4 celkového smrštění a zbytek do ustálení rozměrů asi za 8 – 24 hodin. Smrštění při chlazení ve tvárnici je větší než při chlazení na tvárníku nebo chladícím přípravku. [6]

Výrobky získané tvarováním za tepla je nutno vyjmout z formy a zbavit okrajů, za které byly upnuty k rámu. Děje se tak okružními nebo pásovými pilami, padajícími nůžkami, popř. při velkosériové výrobě i tvarovými sekacími noži. Nože bývají ohřívány, čímž se vysekávání usnadňuje. [2]

3.4 Tlak používaný při tváření

Některé materiály se při tvarovací teplotě stávají natolik poddajné, že stačí minimální tlak anebo podtlak, aby okopírovali každou podrobnost tvárnice. Jiné jsou silně rezistentní a vyžadují těžší zařízení a nástrojů, neboť možnosti použití tlaku i podtlaku jsou omezené a často nestačí k tomu, aby zaručili okopírování složitějších podrobností na tvarovaný výrobek. Tato vlastnost se nazývá pevnost za tepla, může být někde v relaci se schopností materiálu být za zvýšené teploty protahován (tažnost za tepla), ale nemusí s ní jít paralelně. Používané tlaky dosahují hodnoty cca 1 MPa, podtlaky hodnot cca 120 Pa. Tlakovým tvarováním se zpracovávají desky tloušťky 6 mm – 10 mm na výrobky s tvarovací hloubkou až 500 mm. Rychlost tažení dosahuje hodnot až 0,5 m.s⁻¹. Při tvarování atmosférickým tlakem je nutno odsát vzduch mezi deskou a formou během 0,5 s. [4]

4 EKONOMIČNOST TVÁŘENÍ

Mnohé výrobky lze vyrábět tvarováním i vstřikováním. Při rozhodování, které technologii dát přednost, musíme problematiku zhodnotit s ohledem na velikost a složitost výrobku, tloušťku stěn, cenu stroje a nástroje, požadovanou přesnost a sériovost. Tvarování umožňuje výrobu předmětů o ploše až 10 m², zatímco hranice pro vstřikování leží pod 1 m².

Tloušťka stěny při tvarování je v podstatě libovolná (rozmezí 0,1 až 10 mm), kdežto u vstřikování je dána tokovými vlastnostmi použitého polymeru.

Vstřikované výrobky mohou být tvarově velmi složité, s různou tloušťkou stěn, s nálitky apod., což tvarování neumožňuje. Přesnost výstřiku je obvykle vysoká. Vstřikovací stroj zpracovává granulát, zatímco tvarovací stroj desky nebo folie, které jsou podstatně dražší. Při tvarování je též větší odpad.

Cena vstřikovacího stroje i cena nástroje je 10 krát vyšší než tvarovacího, přičemž vstřikování je až 4 krát energeticky náročnější. Tvarování je často jediná použitelná technologie při výrobě velkoplošných výrobků. Výrazně se prosazuje při hromadné výrobě tenkostěnných výrobků (kelímků, obalů aj.). Avšak i v této oblasti se začíná prosazovat vstřikování, zvláště při výrobě některých obalů pro potravinářské účely. [3]

5 FORMA

Nízké tlaky při tvarování za tepla umožňují použít pro výrobu tvarových forem řadu různých materiálů, jako je dřevo, sádra, cement, licí pryskyřice, lehké kovy, atd. O jejich použití rozhoduje také velikost vyráběné série. Tak např.

- pro výrobu prototypů v množství několika desítek lze použít sádry,
- pro malé série, do několika set výrobků dřeva,
- pro střední série, pod 10 000 výrobků, slitiny zinku s hliníkem,
- pro velké série, přesahující 10 000 výrobků, polyesterových nebo epoxidových skelných laminátů

Formy musí mít zaručeny minimální úkosy (2°) a zaoblení hran (min. 1,5 mm). Pro desky tlustší než 3 mm musí být zaoblení hran formy a rovno tloušťce desky, nebo ji přesahovat. Lze použít i vícenásobné formy, např. s 12 i více otisky. Takové formy umožňují výrobu až 8 000 kusů za hodinu.

Rozmístění a velikost kanálků pro evakuaci prostoru mezi termoplastickou folií a povrchem tvárnice jsou velmi důležité jak pro hladký průběh tvarovací operace, tak zejména pro její výsledek – funkčně i esteticky správně vyrobený obal. Průměr evakuačních kanálků nesmí být větší než 0,8 mm, aby na povrchu obalu nevznikaly “značky“. Obvykle se používají tvárnice s kanálky o průměru 0,3 mm až 0,4 mm. Jejich rozmístění musí být vždy zvoleno tak, aby zaručovalo co nejrovnoměrnější rozmístění hmoty termoplastické folie na povrch tvárnice a současně a současně co nejvěrnější okopírování se všemi podrobnostmi (vzoru, písma, atd.).

Z hlediska průběhu tvarovacího procesu, se používají diskontinuální, kontinuální procesy. Diskontinuální zařízení je zásobováno listy, nařezanými na rozměry upínacího rámu. Pro zvýšení kadence se používá otočného uspořádání s cyklem: upnutí do rámu – vyhřívání – tvarování – vyjmutí. Diskontinuální proces se používá zvláště pro velkoplošné výrobky (např. kryty a dveře k chladničkám) a malé série.

Při kontinuálním procesu lze využít sterility povrchu folie, způsobené jejím vyhříváním na vysokou teplotu a napojit do procesu i plnění obalu. Tohoto způsobu se s výhodou využívá pro výrobu kelímků. Pro tyto účely lze použít i kombinace s jinou pracovní technikou,

např. vytlačování folie nebo desky, která se ihned po vytlačení temperuje a na vhodnou tvarovací teplotu. [4]

5.1 Materiály na tvarovací formy

Při volbě vhodného materiálu tvarovacích forem se musí vycházet z mnoha technologických předpokladů, jako je požadovaná přesnost a složitost formy, její životnost, požadavky na produktivitu výroby, náklady na výrobu apod. K dispozici je velké množství materiálů, které jsou za určitých podmínek vhodné k výrobě forem. Nejdůležitější z nich jsou sádra, dřevo, vrstvené hmoty, licí pryskyřice, různé kovy a jejich slitiny. [1]

5.1.1 Sádrové formy

Nejvhodnější je alabastrová modelářská sádra. Výhodou sádrových forem je, že jsou-li po odlití dobře vysušeny (alespoň po dobu jednoho týdne), nemusí mít vždy odsávací kanálky, protože materiál je porézni, že jsou velmi levné a jejich výroba je velmi snadná. Jsou vhodné pro kusovou výrobu výtažků (přibližně do 50 kusů), popř. pro výrobu prototypů. Protože mají malou pevnost, musí být na stole tvarovacího stroje podloženy tuhým sítem, které zabrání namáhání formy na ohyb. Pevnost v tlaku je dostačující (150 až 200 kp/cm²). Nehodí se k výrobě členitých výtažků, které musí mít ve formě tenké výstupky, žebra apod. [1]

5.1.2 Dřevěné formy

Vhodná jsou prakticky všechna dřeva, používaná k výrobě slévárenských modelů (smrkové, jedlové, olšové, borové, lípové apod.). Formy jsou vhodné pro malé série (přibližně do 500 výtažků). Dřevo musí být dobře vysušeno a lepeno z několika vrstev, aby při práci nepopraskalo. Proti nasákavosti se doporučuje povrch formy impregnovat vhodným lakem, který odolává tvarovacím teplotám. Formy musí být uskladněny v suchu a pokud možno ve vytápěných místnostech.

Výhodou dřevěné formy je, že jsou poměrně levné, snadno se vyrábějí a jsou dostatečně pevné. [1]

5.1.3 Formy z vrstvené hmoty

Používá se vrstveného dřeva, tvrzeného papíru nebo tkaniny. Počet výtažků není prakticky omezen. Formy jsou velmi pevné, přesné a činné plochy je možné dobře leštit.

Nevýhodou je, že výchozí polotovary (desky, bloky) pro výrobu forem jsou poměrně drahé. [1]

5.1.4 Formy z pryskyřic

Z pryskyřic čs. výroby lze použít epoxidových licích pryskyřic popřípadě s kovovými plniivy, odlévaných na dřevěný nebo sádrový model. Formy jsou poměrně levné, nehodí se pro výrobu většího počtu výtažků. Špatně odvádějí teplo, a proto se hodí na méně přesné výtažky. [1]

5.1.5 Kovové formy

Mohou být hliníkové, ze zinkových slitin nebo ocelové, odlévané nebo obráběné. Hodí se pro neomezený počet výtažků. Formy mohou být i složité i členité, jsou dostatečně pevné. Výhodou je, že výroba kovových forem je velmi pracná, zdlouhavá, a proto nákladná. U odlévaných forem je nebezpečí, že se na čistém povrchu mohou po obrobení objevit vtaženiny nebo póry. Při použití hliníku je třeba použít slitin, které neznečišťují povrch výtažku. K výrobě ocelových forem postačí konstrukční oceli obvyklých jakostí, např. 11523, 11600 v přírodním stavu. Do této skupiny patří i formy vyrobené galvanoplasticky a metalicky. [1]

5.2 Návrh dutiny formy

Návrh tvaru dutiny formy vychází zpravidla z požadavku maximálního využití tvarovaného materiálu. Poměr hloubky a průměru závisí na druhu formy. Aby tloušťka stěny výrobku zůstala v přípustných mezích, volí se u forem pro tvarování do dutiny poměr hloubky a průměru až 1:1, zatímco u forem pro tvarování na tvárník lze hloubka zvětšit až na 1,5 násobek průměru.

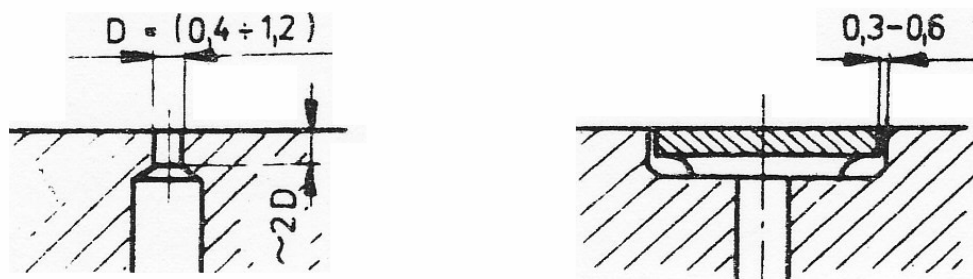
Rozměry se určují obvykle s ohledem na smrštění 0,3 – 0,7 %. Smrštění však může být i větší. Smrštění závisí při správné teplotě vyjímání z formy značně na době ochlazování ve formě.

Úkosy na tvárníku bývají $2 - 3^\circ$. Ve tvárnici zpravidla dostačuje $30'$. Líc formy má být matný, aby se mohl vzduch dobře odsávat. [5]

5.3 Řešení některých částí forem

Základní části forem se řeší především s ohledem na dostatečnou tuhost, aby se nedeformovaly působením přetlaku nebo podtlaku

U přetlakových forem se počítá s tlakem do 0,6 Mpa. Jednotlivé části forem mohou být z lehkých kovů, tvrzeného papíru apod. Vodící čepy, vyhazovače apod. se aplikují stejně jako u jiných forem. Pro odsávání se umísťují odsávací otvory. Pro odsávání většího množství vzduchu se uplatňují místo kruhových otvorů štěrbin. Řešení odsávacích otvorů a štěrbin ukazuje obr. 14. Celkový průměr všech odsávacích otvorů má být větší než průřez odsávacího potrubí. Odsávací otvory se umísťují tak aby odvod vzduchu byl dokonalý ve všech částech formy. Podobně jako odsávací otvory se umísťují otvory pro přívod tlakového vzduchu. [5]



Obr. 14. Odsávací otvory u tvarovací formy [5]

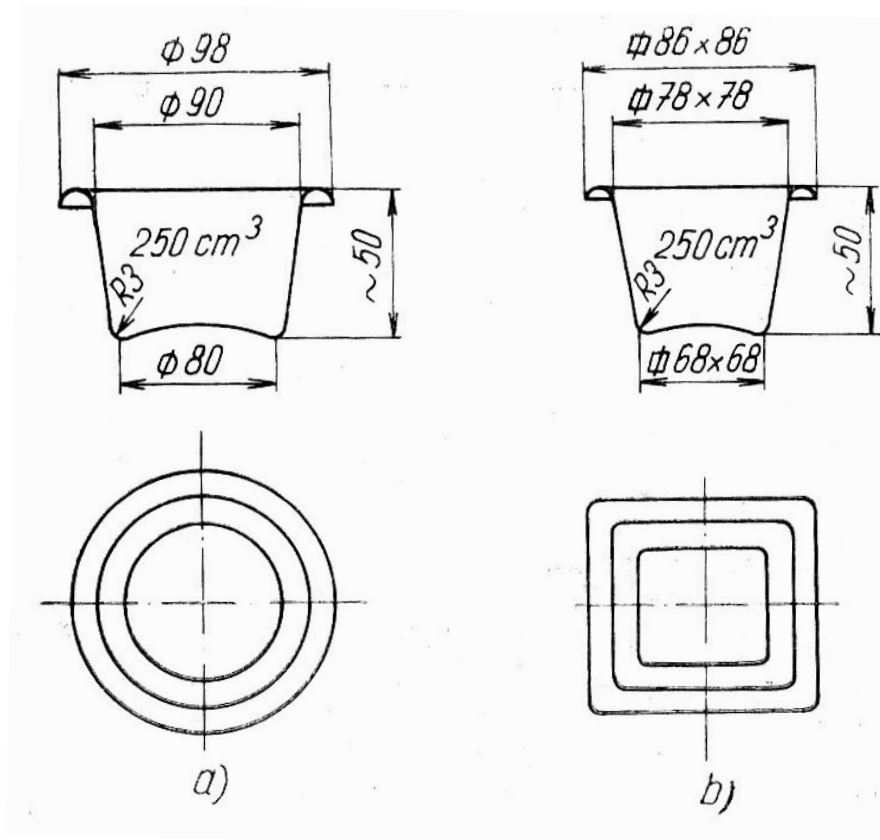
5.4 Temperace forem

Formy se opatřují kanálky pro temperaci vodou nebo olejem. Teplota formy se udržuje v rozmezí $55 - 90^\circ\text{C}$. U složitějších výrobků se forma v jednotlivých částech temperuje rozdílně. Umístění kanálků bývá ve formě bývá analogické jako u vyfukovacích forem.

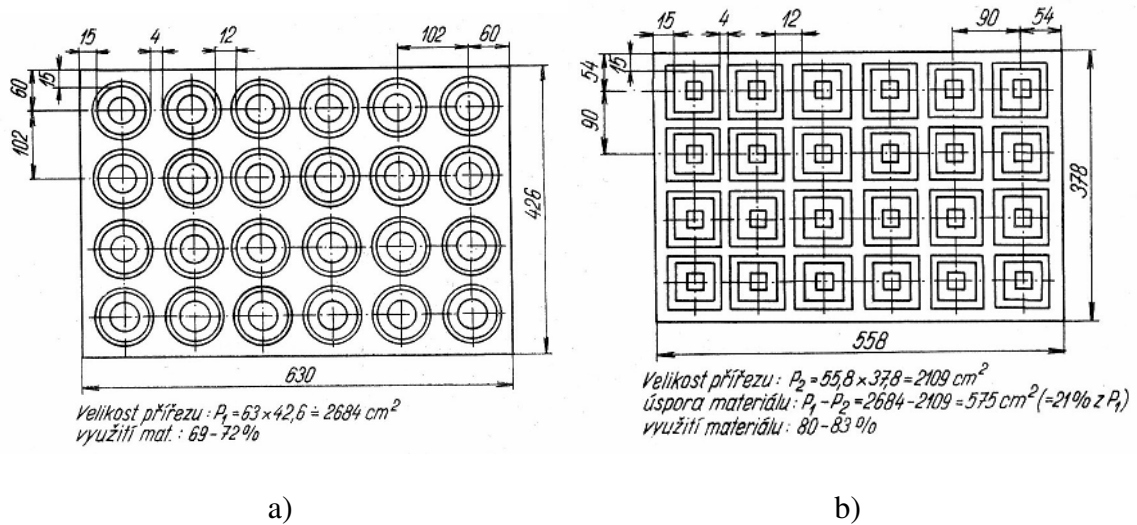
Lehké formy nemívají temperanční obvody. Mohou se např. ohřát na počátku provozu od cizího zdroje a za provozu pak si udržovat stálou teplotu od zpracovávaného materiálu. Kolísání teploty však nemá být větší než 10°C . [5]

5.5 Násobnost tvarovací formy

Násobnost formy závidí na rozsahu výroby, na velikosti výtažku, na použitém typu pracovního stroje a na zvolené metodě tvarování. Důležitým úkolem konstruktéry je výtažek i tvarovací formu tak, aby byla co nejmenší spotřeba materiálu. Na příkladu kelímku o objemu 250 cm^3 je možno ukázat, kolik materiálu lze ušetřit vhodnou úpravou výtažku. Původní kelímek měl válcový tvar a rozměry podle obr. 15a. Při 24 násobné formě, obr. 16a, musel mít přířez fólie rozměry $630 \times 426 \text{ mm}$, tj. 2684 cm^2 . Upravený výtažek má hranolovitý tvar a rozměry dle obr. 15b. Při 24 násobné formě jsou nutné rozměry přířezu podle obr. 16b $558 \times 378 \text{ mm}$, tj. 2109 cm^2 , tedy méně než v předchozím případě. Při stejné výchozí tloušťce folie je úspora materiálu 21 %. [1]



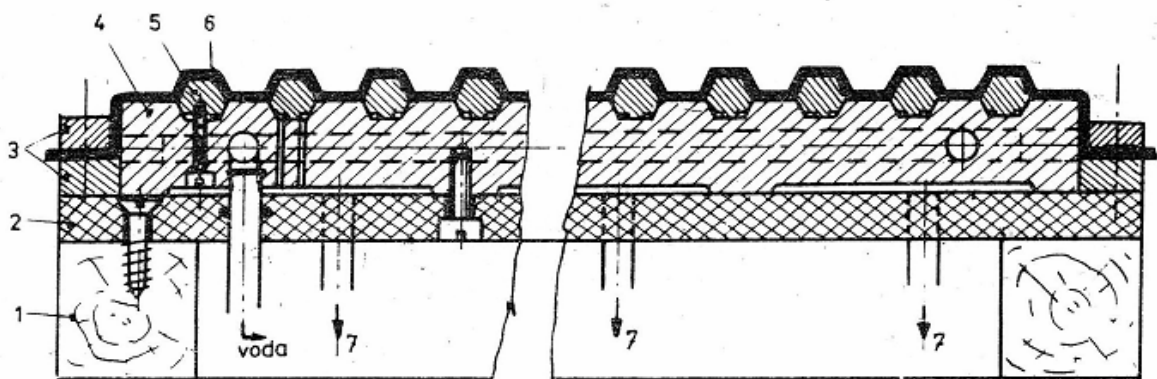
Obr. 15. Příklad rekonstrukce výtažku se zřetelem na úsporu materiálu (kelímek o obsahu 250 cm^3) [1]



Obr. 16. Velikost průřezu pro tvarování kelímku dle obr. 15 [1]

5.6 Příklad pneumatické tvarovací formy

Jednoduchou formu pro vakuové tvarování ukazuje obr. 17. Na dřevěném rámu 1 je upevněna deska 2 z tvrzeného textilu. K desce je přišroubován hliníkový tvárník 4. Jeho spodní část je odlehčena a napojena na vakuum. V horní části tvárníku jsou upevněny hliníkové lišty 5. Odsávací otvory jsou vytvořeny na lištách 5. Chladicí okruhy jsou dva souměrně uspořádané k podélné ose tvárníku. Vytvarovaná folie se ořezává v přípravku mimo formu. [5]



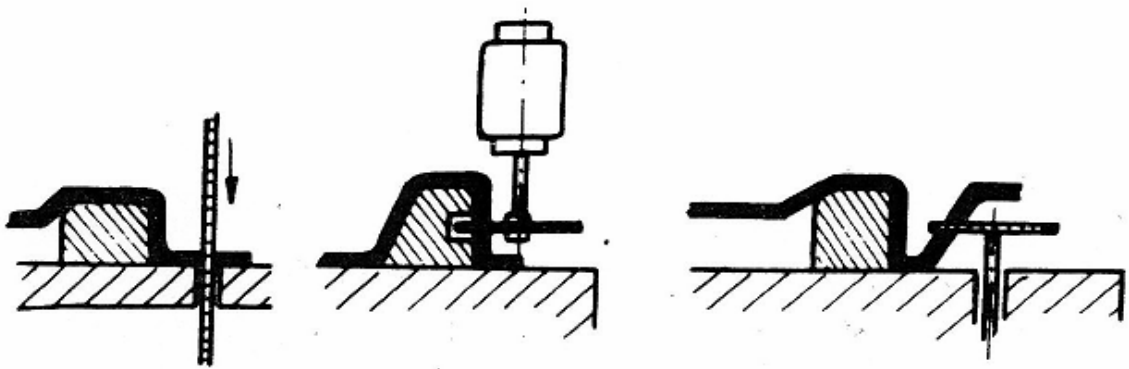
Obr. 17. Jednoduchá forma pro vakuové tvarování [5]

1 – rám formy, 2 – deska (tvrzený textil), 3 – upínací rám, 4 – tvárník, 5 – lišta, 6 – folie, 7 – přípojka podtlaku

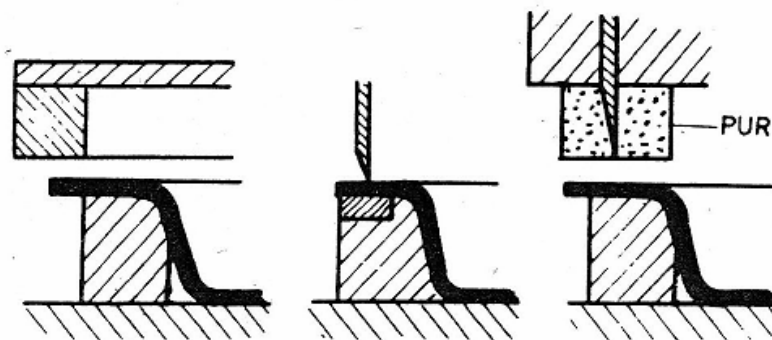
5.7 Ořezávací a vysekávací přípravky

Pokud nejsou formy přímo upraveny pro ostříhování, musí se tvarované výrobky opracovat až po vyjmutí z tvarovací formy. K tomuto účelu lze použít několika způsobů. Větší výrobky se mohou ořezávat na pásových nebo kotoučových pilách. Zde se však obtížně řeší protiúrazové zábrany. Polohu řezu ukazuje obr. 18. Menší výrobky se mohou osekávat v sekacích přípravných (obr. 19). Zvláštním případem je sekání pod hranou (obr. 20). Výrobek je třeba vyrobít větší než při sekání na hraně. Tento způsob je však vhodný především pro kruhové výrobky.

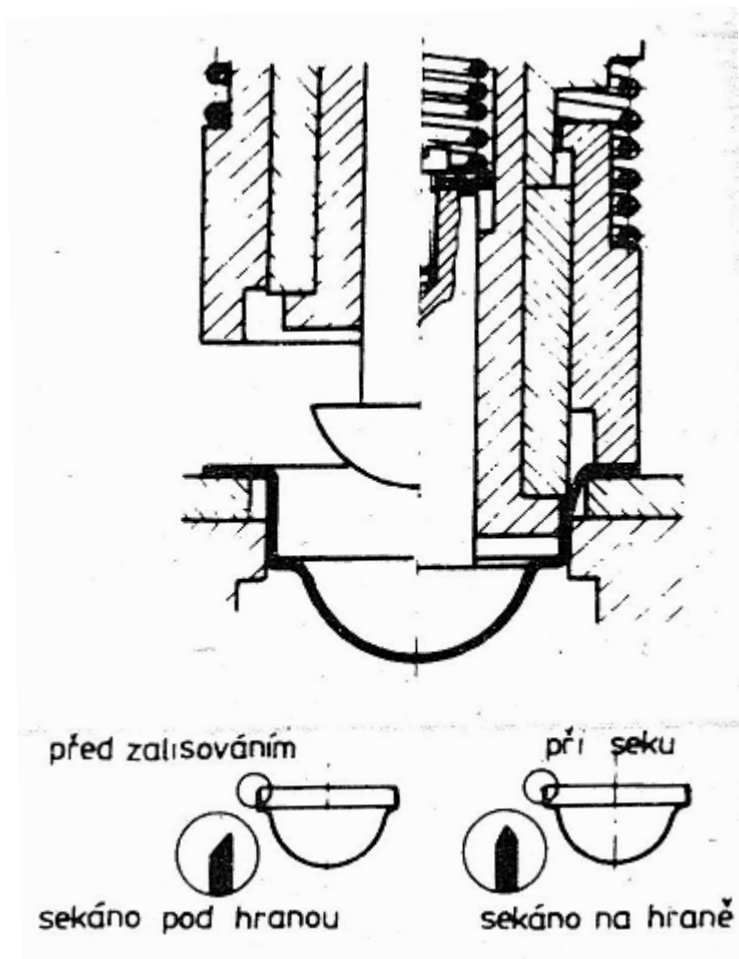
Pro tvarově složitější výrobky lze také využít planetové ostříhování. V případě prostorových řezů používá se k opracování tvarových výrobků tříboký jehlan, který se otáčí vysokou rychlostí (7 – 10 000 ot/min) [5]



Obr. 18. Ořezávání tvarovaných výrobků [5]



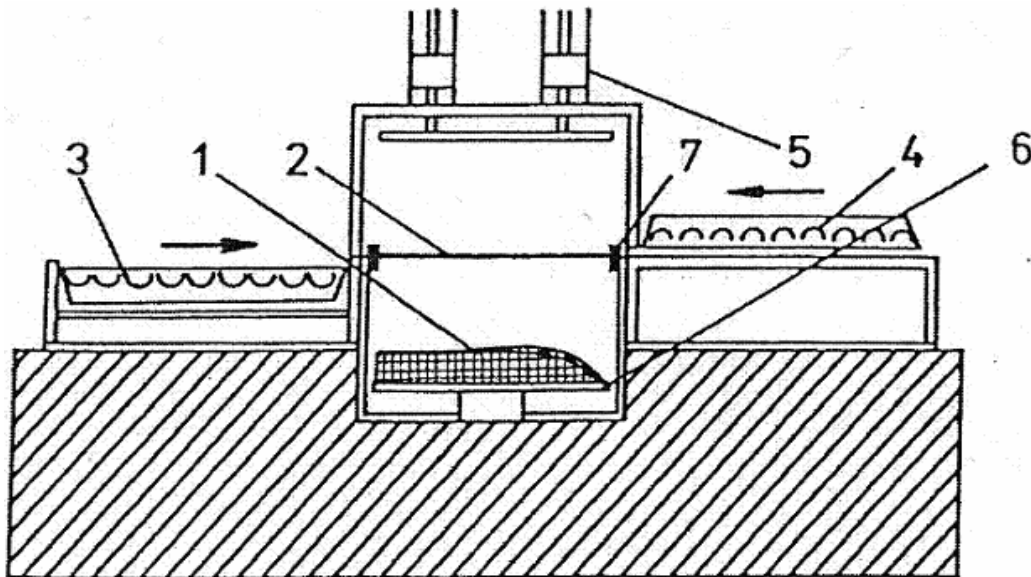
Obr. 19. Osekávací přípravky [5]



Obr. 20. Sekání pod hranou [5]

6 TVAROVACÍ STROJE

Velkoplošné tvarovací stroje pro výrobky se silnými stěnami mívají stolovou konstrukci (obr. 21). Ve stojanu je umístěna deska stolu, jejíž vertikální pohyb je ovládán hydraulicky nebo pneumaticky. Na desce stolu je umístěna forma. V desce stolu jsou otvory, které, slouží k připojení formy na vývěvu. Deska plastu, která má být tvarována, je vložena do rámu. Rám je dvoudílný a uzavření desky do něho je mechanické nebo pneumatické. Plastové folie a desky jsou ohřáty na tvarovací teplotu většinou infrazářiči. Pro tvarovací proces je často nezbytný ještě horní tvárník, který umožňuje mechanické předtažení folie či desky. Bývá většinou ovládán pneumaticky, řídčeji kloubovým mechanismem.



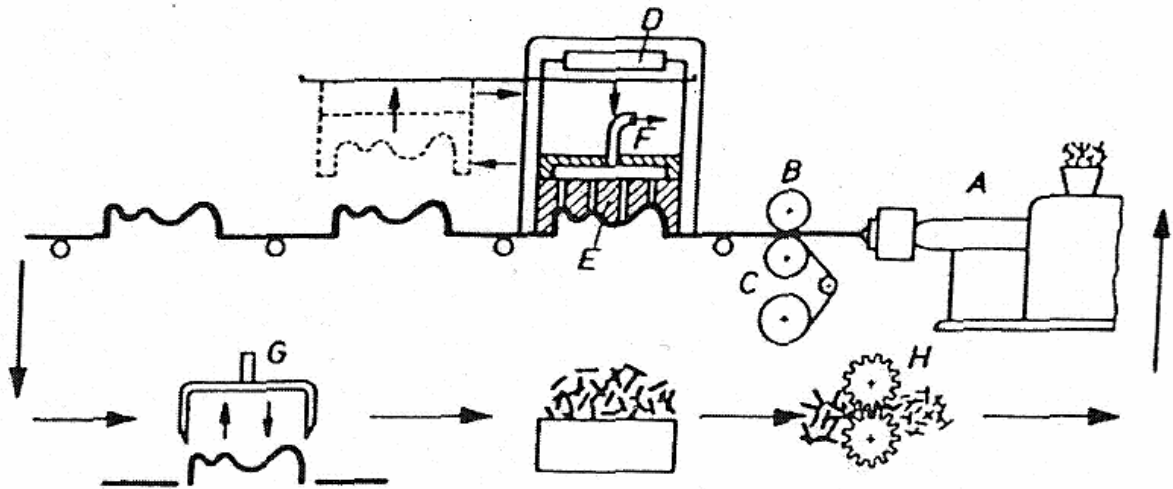
Obr. 21. Velkoplošný tvarovací stroj s horním a dolním ohřevem [2]

1 - forma, 2 - deska plastu, 3 - spodní ohřev, 4 - horní ohřev, 5 – stůl horního tvárníku, 6 – stůl formy, 7 – upínací rám

Velkoplošné tvarovací stroje jsou stavěny pro rozměry desek od 250 mm x 300 mm do 3000 mm x 9000 mm, přičemž dosažitelná délka tažení je až 2000 mm.

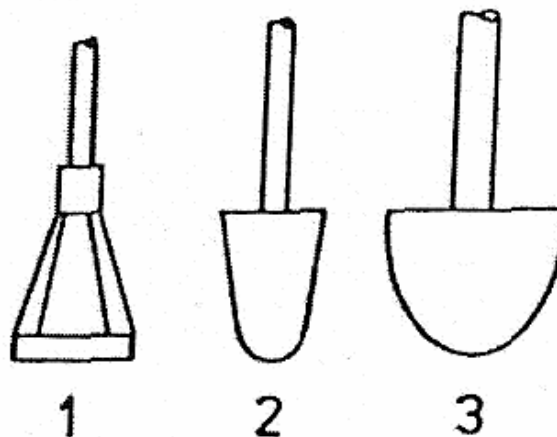
Lepšího využití tvarovacího stroje se dosáhne tím, že stroj má dvě tvarovací jednotky, ale jedno společné zahřívací těleso, které se střídavě přesouvá nad jednotlivá tvarovací místa. Zatímco na jedné tvarovací jednotce probíhá ohřev desky, na druhé jednotce probíhá postupně tvarování, vyjímání výrobku a vkládání desky. V jiné variantě obsluha na svém stanovišti upíná desky do rámu, ty postupně na otočném stole procházejí ohřevem, tvarováním, až se konečně vrací k obsluze, která vyjme výlisek. Tímto způsobem se podstatně lépe

využívá především ohřívací zařízení. Ještě vyšších výkonů dosahují tvarovací linky. Příklad řešení je uveden na obr. 22.



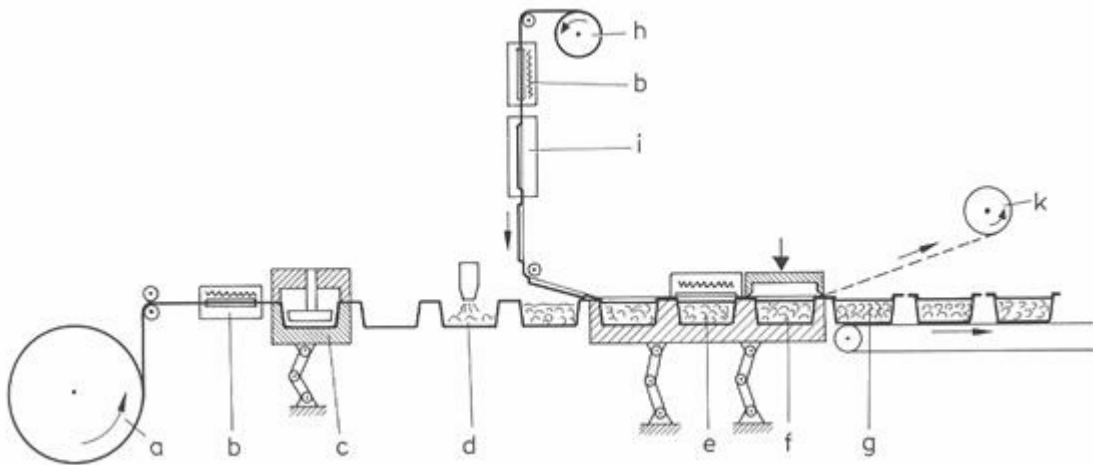
Obr. 22. Linka na vakuové tvarování [2]

Stroje pro tvarování malých výlisků s plochou tvarovacího stolu až do rozměrů 800 mm x 500 mm a hloubky tažení 150 mm pracují automaticky. Jsou zásobovány z role folie a produkují 4 000 až 20 000 výlisků (např. pohárků) za hodinu. Folie je uchyceny svěrkami transportních řetězů a je vedena po krocích postupně předehřívacím zařízením a tvarovací jednotkou. Ploché výrobky se tvarují prostým negativním tvarováním. Hlubší výrobky (např. pohárky) vyžadují předtažení folie pomocí tvárníků, které ji mechanicky vtlačí do dutiny formy. Vhodné tvary tvárníků znázorňuje obr. 23. Hotové výrobky se většinou oddělují od folie plastu v samostatném vysekávacím zařízení.



Obr. 23. Vhodné typy tvárníků pro předtažení folie [2]

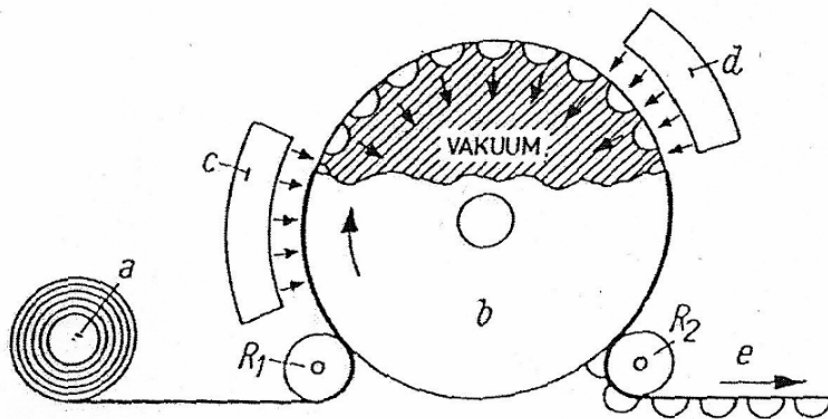
Na tvarovací stroj může navazovat plnění vyrobených pohárků, vaniček a podobných jednoduchých nádobek různými produkty (většinou potravinářského charakteru), jejich uzavření a vyseknutí. V další části linky jsou naplněné a uzavřené pohárky vkládány do kartónů (obr. 24). Linky tohoto typu se používají k automatickému balení (např. v mlékárnách, čokoládovnách)



Obr. 24. Tvarovací, plnící a uzavírací linka [6]

a - plastová fólie, b – ohřev, c – tvarování, d – plnění, e – uzavírání, f – vysekávání, g – hotový výrobek, h – hliníkové fólie, i – předtvarování s potiskem, k – navíjení zbytku

Na rotačním tvarovacím stroji (obr. 25) bývají vyráběny např. vložky na přepravu ovoce, vložky do bonboniér, ale i balící „bublinková“ fólie, je-li k vytvarované folii přivařena (např. válcem R_2) plochá fólie.



a - role fólie, *b* - vakuový buben s tvárnici, *c* - infračervený ohřev, *d* - chlazení, *e* - odtah vytvarovaného pásu; R_1 , R_2 - vodící válečky

Obr. 25. Schéma znázornění rotačního tvarovacího stroje [2]

Formy pro tvarování za tepla jsou vystaveny menšímu namáhání než vstřikovací, popř. lisovací formy. Pro výrobu malých ověřovacích sérií (cca 50ks) dostačují formy ze sádry nebo dřeva. V běžném provozu se používají formy z epoxidových pryskyřic (plněné hliníkovým práškem), z vrstveného dřeva a hliníkových slitin. Do forem jsou již při výrobě zalévány měděné trubky, kterými prochází chladící kapalina. V případě použití sníženého tlaku při tvarování se ve formě musí vytvořit otvory o průměru 0,4 až 0,5 mm, vzájemná vzdálenost otvorů bývá 20 mm na hranách a 75 až 150 mm na plochách. Vcelku jsou tvarovací formy pro srovnatelný výlisek cca 5 až 10krát levnější než vstřikovací formy. [2]

7 POČÍTAČOVÁ SIMULACE TVAROVÁNÍ : T-SIM

T-SIM je software pro simulaci a optimalizaci procesu tvarování plastů.

T-SIM předpovídá konečné rozložení tloušťky na základě parametrů tvarovacího procesu (hodnota / průběh tlaku či vakua, časově závislé pozice nástrojů / forem / tvárníku, rozložení teploty na desce / fólii atp.).

T-SIM také může předpovídat deformaci grafiky (image distortion / predistortion) pro účely například IMD procesu (In Mold Decoration). [7]

7.1 Proč simulovat tvarovací proces?

- Zkrácení času nutného pro návrh / design vašich výrobků
- Vyloučení nákladných procedur pokusů a omylů
- Možnost volby optimálního designu z mnoha možných alternativ
- Získání optimální distribuce tloušťky na základě optimalizovaného teplotního profilu na plastové desce / fólii
- Design grafiky pro tisk na fólie pro proces IMD (In-Mold Decoration) [7]

7.2 Vlastnosti T-SIMu

- Simulace pozitivního / negativního tvarování s i bez použití tvárníků, vakuové i přetlakové tvarování
- Časově závislá deformace materiálu je popsána viskoelastickým materiálovým modelem (K-BKZ), WLF teplotní závislost
- Materiálová databáze (kolem dvaceti základních materiálů)
- Import obecných 3D forem / nástrojů (STL, DXF, Patran, VRML, HyperMesh)
- Až 10 nezávisle se pohybujících nástrojů v jednom simulačním projektu
- Časově závislé prověšování plastové desky (gravitace)
- Tření mezi deformovaným materiálem (plastem) a nástroji
- Přestup tepla mezi materiálem (plastem) a nástroji / obklopujícím médiem [7]

7.3 Materiál

- T-SIM používá časově závislý, viskoelastický materiálový model (typu K-BKZ)
- Data často používaných polymerů jsou k dispozici v materiálové databázi
- Jakýkoli materiál může být testován (ve spolupráci s IKP Stuttgart, Německo, nebo DatapointLabs, USA) a jeho data importována do T-SIMu [7]

7.4 Výsledky

- 3D barevná mapa tloušťky, teploty, napětí, protažení atd.
- 3D řezy
- Zobrazení kontaktních bodů (deska / nástroj)
- Refinement (zjemňování) konečněprvkové mřížky v potřebných oblastech vybíraných přímo v postprocesoru
- Export výsledků pro strukturální analýzu a výpočet chlazení, distorze a změny rozměrů po vyjmutí z formy (Ansys, IGES, DXF, Cosmos/M, Patran, LS-Dyna)
- Interaktivní informace o tloušťce, teplotě, souřadnicích atd. na pozici kurzoru
- Export animace procesu do AVI formátu
- Výpočet chlazení [7]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je stanovit co nejvhodnější technologické podmínky při vakuovém tváření pro danou tloušťku plastové desky, a tvar, který se geometricky tvarem přibližuje zhotovovanému výrobku.

K technologickým experimentům byl využit vakuovací stroj FORMECH 300X, který se nachází v laboratoři ÚVI v budově U5 UTB.

9 POPIS A PRINCIP VAKUOVÉHO STROJE FORMECH 300X

Jedná se malý vakuovací stroj, který se dá využít především v laboratořích nebo malosériové výrobě.

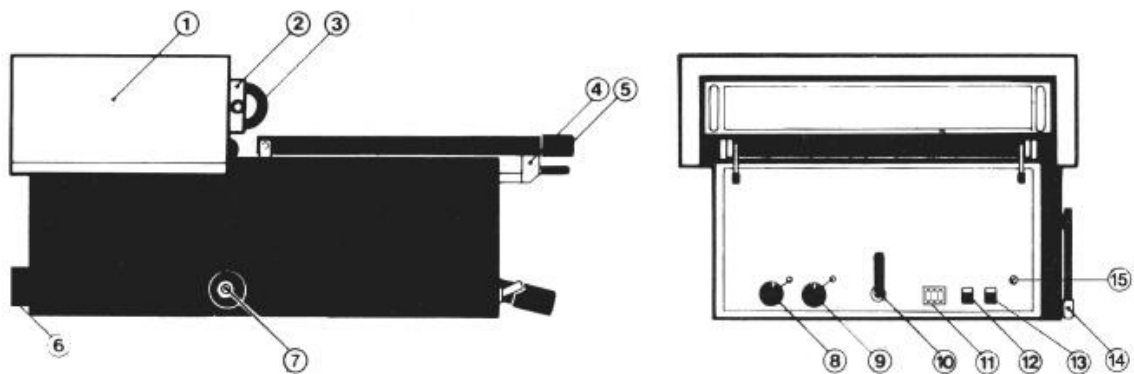


Obr. 26. Vakuový stroj FORMECH 300X

Tento stroj je vybaven dvěma samostatně regulovatelnými ohřivacími pásmy, a to vnějším a vnitřním. Vnitřní pásmo ohřívá střed vakuovacího prostoru o rozměrech 150 x 150 mm. Vnější pásmo ohřívá zbylou část vakuovacího prostoru. Na každém z těchto pásem lze nastavit regulační stupeň 1 – 6, čím vyšší stupeň tím vyšší teplota ohřevu. Dalším vybavením stroje je časovač, na kterém můžeme nastavit dobu ohřevu v sekundách. Při zavření horní části se časovač zapne a začne odpočet nastaveného času. Po uplynutí nastavené doby zazní signál. Když odsuneme ohřev můžeme zatáhnout za páku, která zvedne připravenou formu a z části nám předtvaruje rozehřátou folii (při ohřevu najetém nad folii je páka blokována aby nedošlo k poničení ohřevu). Po zvednutí tvarovací desky zapneme pumpu, která pomocí podtlaku folii dotvaruje. Podtlak necháme nějakou dobu působit dokud je materiál tvárný. Poté můžeme tvarovací desku i s formou spustit dolů, čímž se nám forma oddělí od vytvarované folie. Následně otevřeme rám, který držel folii při ohřevu a tvarování, a vyjmeme výrobek.

9.1 Technické specifikace:

- Velikost materiálu 450 mm x 300 mm
- Formovací oblast 430 mm x 280 mm
- Max hloubka tažení 180 mm
- Max tloušťka materiálu 6 mm
- Vnější šířka 610 mm
- Vnější výška 430 mm



Obr. 27. Schéma vakuového stroje FORMECH 300X

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 Kryt | 9 Vnější zóna – teplota |
| 2 Topné těleso | 10 Přepínač podtlaku - přetlaku |
| 3 Madlo | 11 Časomíra ukazatel |
| 4 Svorky | 12 Vypínač časomíry |
| 5 Zajišťovací páka | 13 Vypínač vzduchového čerpadla |
| 6 Napájení | 14 Páka |
| 7 Napájení topného tělesa | 15 Indikátor zap./vyp. přístroje |
| 8 Vnitřní zóna – teplota | |

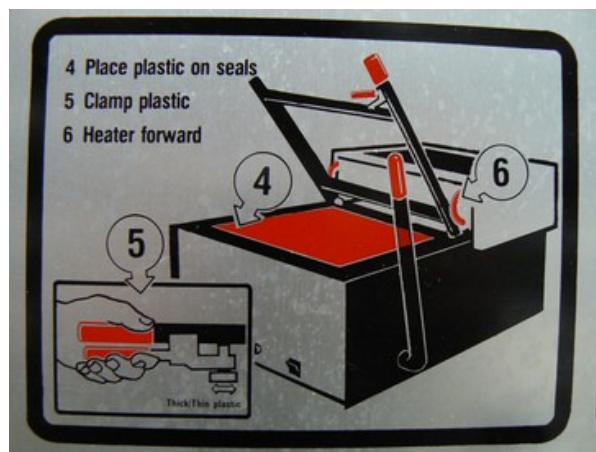
9.2 Postup při tváření

Prvním krokem, který provedeme, je zapnutí samotného stroje. Po zapojení do sítě se nám rozsvítí kontrolní dioda (15). V tento okamžik do přístroje proudí elektrický proud a můžeme nastavit stupeň ohřevu jednotlivých pásem. Nastavením stupně ohřevu se nám rozsvítí dioda, která při dosažení teploty zhasne. Mezitím než se nám stroj nahřeje si připravíme formu a polotovary. Při zatažení za páku (14) se zvedne tvarovací deska, na kterou umístíme model(formu) do požadované polohy (obr. 28). Když páku vrátíme do původní polohy tvarovací deska i s modelem nám sjede dolů.



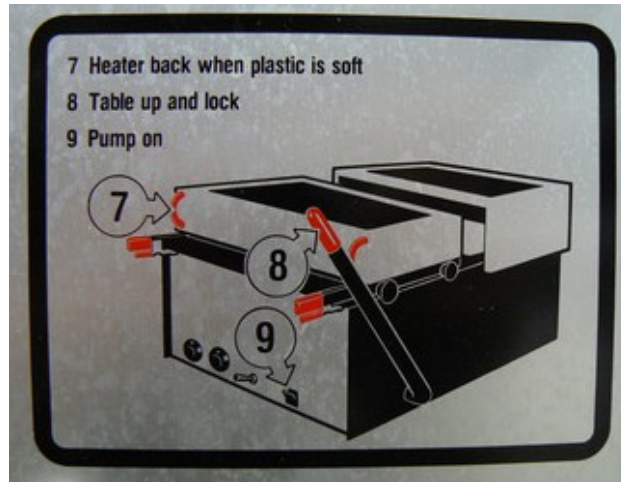
Obr. 28. Umístění modelu na tvarovací desku

Nyní můžeme umístit polotovary na místo, kde dojde k jeho tváření. Polotovary by měl svými rozměry přesahovat těsnění, které nám zaručuje těsnost při dovření stroje a odsávání vzduchu. Po zavření tvářecí části ji zajistíme svorkami (4). Nyní máme upnutý materiál připravený k ohřevu (obr. 29).



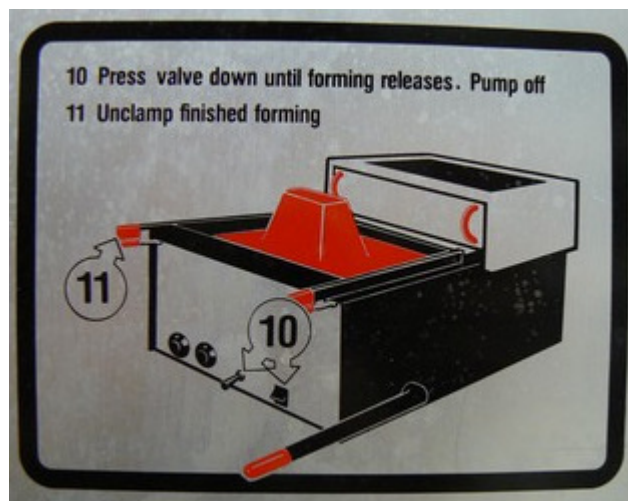
Obr. 29. Upnutí polotovaru

Po zhasnutí signalizační diody jsme dosáhli určené teploty. Nastavíme dobu ohřevu a zapneme časovač (12) a převedeme topnými tělesy (2) nad polotovary. Tím se nám započne odpočet nastaveného času (obr. 30).



Obr. 30. Ohřev polotovaru

Po zaznění tonu uběhla požadovaná doba. Odjedeme topnými tělesy nazpět a zatáhneme na páku (14). Tím se zvedne tvarovací deska a dojde k předtvarování polotovaru modelem. Zapnutím čerpadla (13) se začne odsávat vzduch, nacházející se mezi tvarovací deskou a tvářeným polotovarem. Vzduch odchází otvorem ve tvarovací desce a díky podtlaku tvárný polotovary kopíruje tvar modelu. Čerpadlo je zapnuté do doby dokud je materiál tvárný (obr. 31).



Obr. 31. Tvarování výrobku

Hotový výrobek necháme chvíli zchladit. Poté vrátíme páku (14) do výchozí polohy, odjistíme svorky, otevřeme tvarovací část a vyjmeme hotový výrobek.

10 OPTIMALIZAC TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK

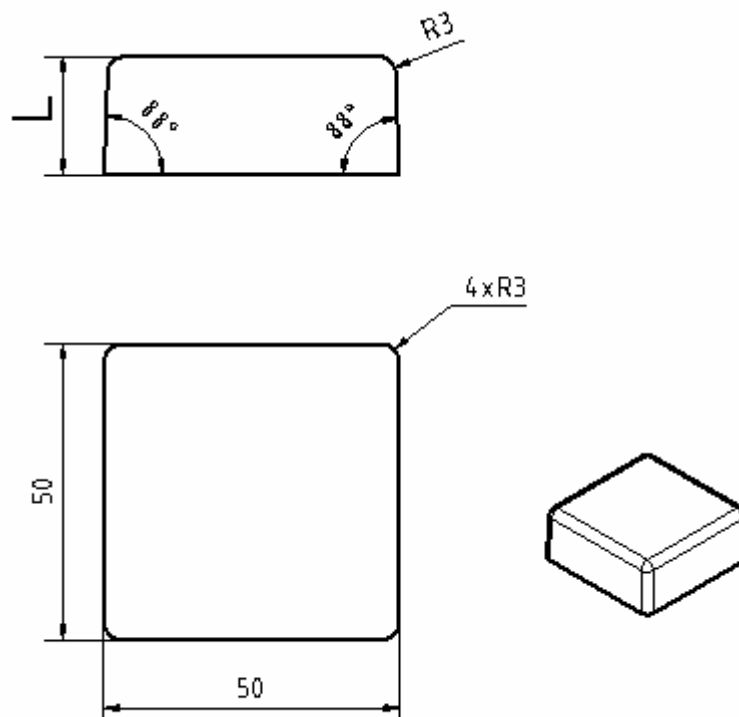
První částí praktické práce je zvolení vhodných technologických podmínek pro tváření polystyrénové desky o tloušťce 1 a 2 mm. Vakuování bylo zkoušeno na třech modelech, které se lišily výškou, tudíž následnou hloubkou protažení výrobku.

10.1 Postup při optimalizaci

Při navoleném stupni ohřevu začneme zkoušet správné vytvarování modelu. Jako počáteční dobu působení ohřevu na folii zvolíme $t = „x“$ s. Dobu ohřevu zvyšujeme po určitém časovém úseku dokud vizuálně nevyhodnotíme, že materiál optimálně vytvaroval požadovaný tvar.

10.2 Modely

Modely měly tvar kvádrů se čtvercovou základnou o délce strany 50 mm. Byly opatřeny technologickými úkosi velikosti 2° a zaoblenými hranami o rádiu 3 mm.



Obr. 32. Náčrt modelu

Výšky jednotlivých modelů:

- Model A : L = 50 mm
- Model B : L = 20 mm
- Model C : L = 10 mm

Modely byly vyrobeny z umělého dřeva, které se jevilo jako nejvhodnější a nejdostupnější materiál. K výrobě byly využity stroje ze strojového parku laboratoře. Nejprve byl uřezán vhodný polotovár, který byl pomocí stolní talířové brusky nahrubo opracován. Následovalo jemnější dokončení pilníkem a smirkovým papírem o malé zrnitosti.

10.3 Vakuování

Pro seznámení se strojem jsme nejprve zkoušeli materiál, který se později jevil jako nevhodný pro naše účely. Jako model sloužilo malé plastové ozubené kolo. Materiál se, i při nastavení ohřevu na stupeň 6 a při době ohřevu 300 sekund, nedostatečně tvaroval. Docházelo spíše k poničení zařízení (lepidlo, kterým bylo přilepeno těsnění se začalo natavovat a těsnění odlepovat). Od dalších pokusů s tímto materiálem jsme proto raději upustili.

Protože jsme nevěděli o jaký materiál se jednalo, podstoupili jsme základní metody pro identifikaci plastu. Zapálili jsme kahan a vložili jsme vzorek materiálu do plamene. Materiál po vyjmutí z plamene zhášel, tvořily se na něm puchýřky a táhl vlákno. Podle toho jsem došli k závěru že se jedná o krystalický polyethyléntereftalát(PET).

Folie z PET jsou nejprve vytlačovány a posléze dluženy. Tím si získají velkou mechanickou pevnost. Jedná se o nejpevnější folie z termoplastů. Užívají se čiré, potiskovatelné, metalizované (90% výroby MG pásků). Teplota tání PET je až 264 °C a proto nedocházelo ani při nastavení ohřevu na maximum k dostatečnému prohřátí folie.



Obr. 33. Špatná tvarovatelnost zkušebního materiálu

K dalším pokusům jsme použili polystyrénové desky o tloušťce 1 a 2 mm. Pro tento materiál jsme zvolili stupeň ohřevu 5 a zkoušeli jsem různé doby ohřevu, tak aby došlo k co nejlepšímu vytvarování modelu. Polotovary byly čtverce o rozměrech 170 x 170 mm.

10.3.1 Polystyrénové folie

Použité polystyrénové desky nesou obchodní označení MEZOPLAST SB/HK. Jedná se o extrudovanou desku z houževnatého polystyrenu. Desky jsou ideálním materiálem pro použití v reklamě při výrobě dekorací, stojánků, displejů především pro použití v interiéru. Materiál se vyznačuje velmi nízkou specifickou hmotností, bezproblémovým opracováním a povrchem vhodným pro tisk.

Materiál je možné velmi dobře tepelně tvarovat. Optimální teplota tváření je mezi 130 a 150°C, v krajním případě do 200°C. Tloušťky od 2 mm by měly být ohřívány oboustranně.

Desky MEZOPLAST SB/HK lze bez problémů potisknout sítotiskem nebo ofsetem, popřípadě je možné desky i lakovat.[10]

Tab. 3. Vlastnosti materiálu MEZOPLAST SB/HK[10]

Mechanické vlastnosti	Jednotky	Hodnota
Pevnost v tahu	N/mm ²	17,5
Průtažnost při dosažení pevnosti v tahu	%	2
Pevnost v trhu	N/mm ²	17
Průtažnost při roztržení	%	>30
Modul pružnosti(4-bodová zkouška ohybu)	N/mm ²	1850
Mezní napětí v ohybu		39
Rázová houževnatost při 23°C	kJ/mm ²	>30
Vrubová houževnatost při 23°C	kJ/mm ²	6
Tvrдость podle Brinla(H 358/30)	N/mm ²	80
Ostatní vlastnosti		
Smrštění při zpracování	%	0,4 - 0,7
Navlhavost	%	>0,1
Hustota	g/cm ²	1,05

10.3.2 Model A

Nejprve jsem začali s optimalizací u modelu A a tloušťkou desky 1mm. Při navoleném stupni ohřevu 5 jsme započali zkoušet správné vytvarování modelu. Jako počáteční dobu působení ohřevu na desku jsme zvolili $t = 30$ s. Dobu ohřevu jsme zvyšovali po 10 s. Optimálního vytvarování jsme dosáhli při době působení 60 s.



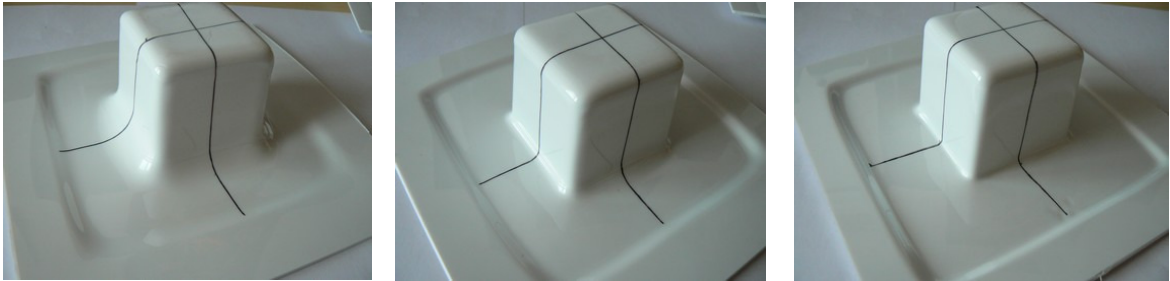
$t = 30$ s

$t = 40$ s

$t = 60$ s

Obr. 34. Ukázky vytvarování modelu A při různých časech pro tloušťku desky 1mm

Deska dostatečně vytvarovala daný tvar a proto jsme mohli přistoupit k měření pro tloušťku desky 2 mm. Stupeň ohřevu byl opět 5 a počáteční dobu ohřevu jsme zvolili 60 s se zvyšováním po 15 s. Optimálního vytvarování jsme dosáhli při době působení 120 s.



t = 60 s

t = 90 s

t = 120

Obr. 35. Ukázky vytvarování modelu A při různých časech pro tloušťku desky 2 mm

10.3.3 Model B

Po předchozí zkušenosti u modelu A jsme zvolili pro desku tloušťky 1 mm dobu ohřevu 50 s při nastaveném teplotním stupni 5. a časový gradient 10s. Optimálního vytvarování jsme dosáhli při době působení 70 s.



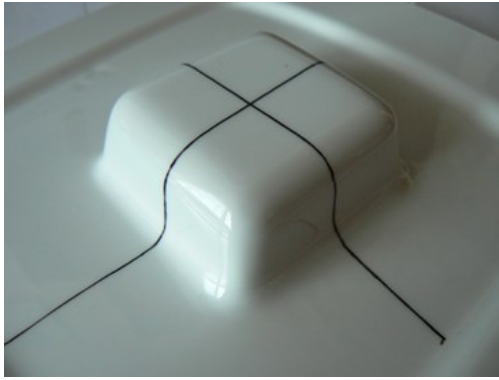
t = 50s

t = 60s

t = 70s

Obr. 36. Ukázky vytvarování modelu B při různých časech pro tloušťku desky 1mm

Při vakuování modelu B z desky o tloušťce 2 mm jsme poprvé nechali působit ohřev 110 s. První výlisek se jevil jako nedostatečný, proto jsme přidali na časovači dalších 20 s. Deska se po ohřevu 130 s vytvarovala dostatečně.



$t = 110\text{s}$

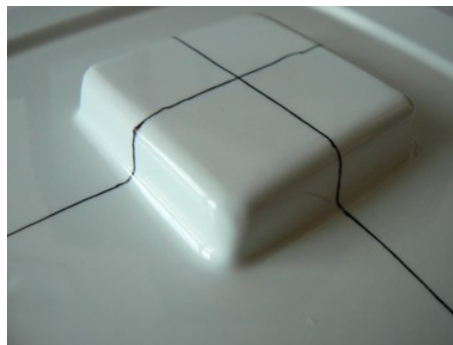


$t = 130\text{ s}$

Obr. 37. Ukázky vytvarování modelu B při různých časech pro tloušťku desky 2mm

10.3.4 Model C

U tohoto modelu jsme rovnou nastavili delší dobu ohřevu, a to 70 s pro tloušťku desky 1 mm a 130 s pro desku tloušťky 2 mm. Při těchto délkách ohřevu se desky dobře vytvarovaly.



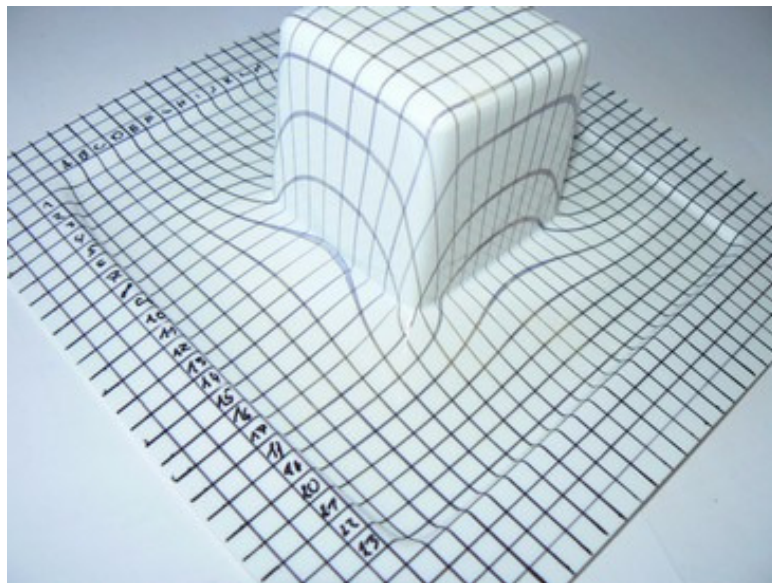
*Obr. 38. Vytvarování modelu C při času 70 s pro
tloušťku desky 1mm*



*Obr. 39. Vytvarování modelu C při času 130 s pro
tloušťku desky 2 mm*

11 PROTAŽENÍ PŘI OPTIMÁLNÍCH PODMÍNKÁCH

Na polotovar desky jsme si narýsovali mřížku o rozměrech 5 x 5 mm a sledovali jsme změnu šířky sloupců při tváření u modelu A pro obě tloušťky desky. Předpokládali jsme, že bude stačit měřit vždy jen polovinu rastru v důsledku symetrie modelu a tudíž i symetrie změny rastru. Docházelo by také k menší přehlednosti vyhotovených grafů. Změnu rastru jsme měřili vždy jako vzdálenost protilehlých stran jedné buňky. Měřené buňky byly označena formou tabulky. Velkými písmeny abecedy pro sloupec a čísly pro řádek.

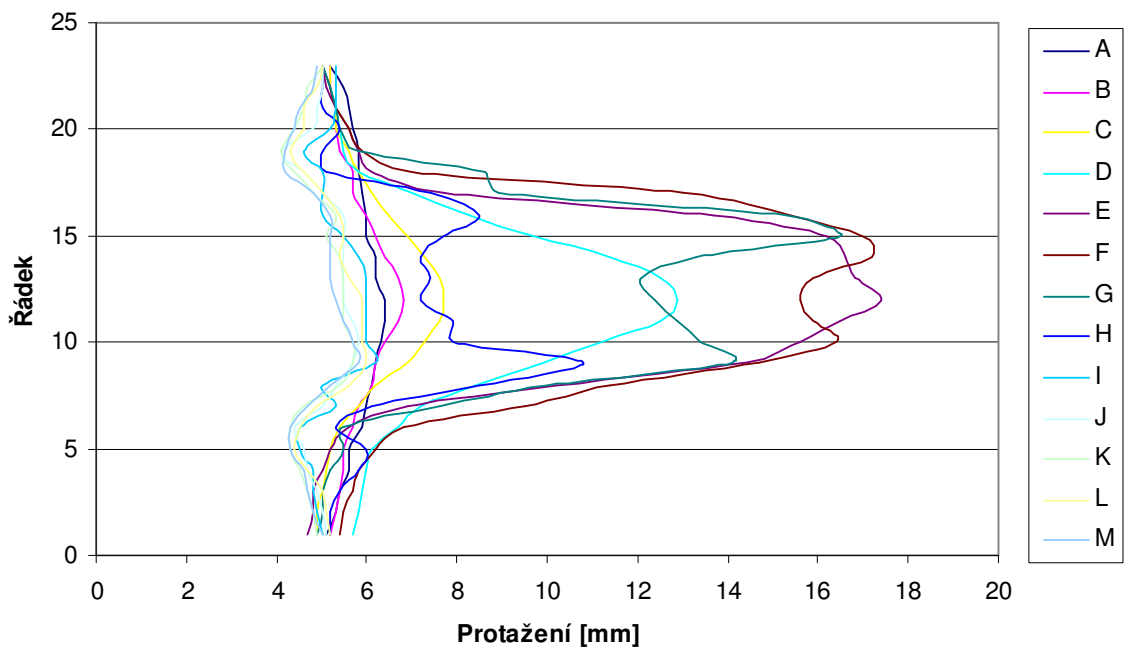


Obr. 40. Označení jednotlivých buněk mřížky

11.1 Protážení desky tloušťky 1 mm

Změny rozměrů jsme zapsali do tabulky (viz. příloha P I) a vynesly do grafu (Graf. 1)

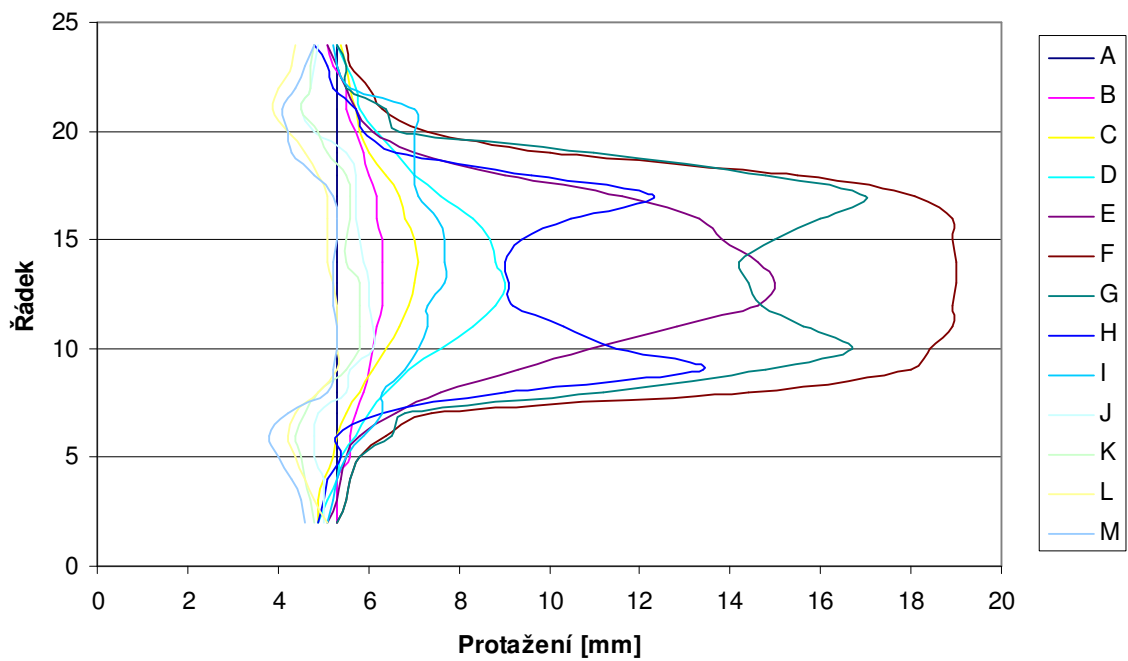
Graf. 1. Změna rastru pro tloušťku desky 1 mm



11.2 Protažení desky tloušťky 2 mm

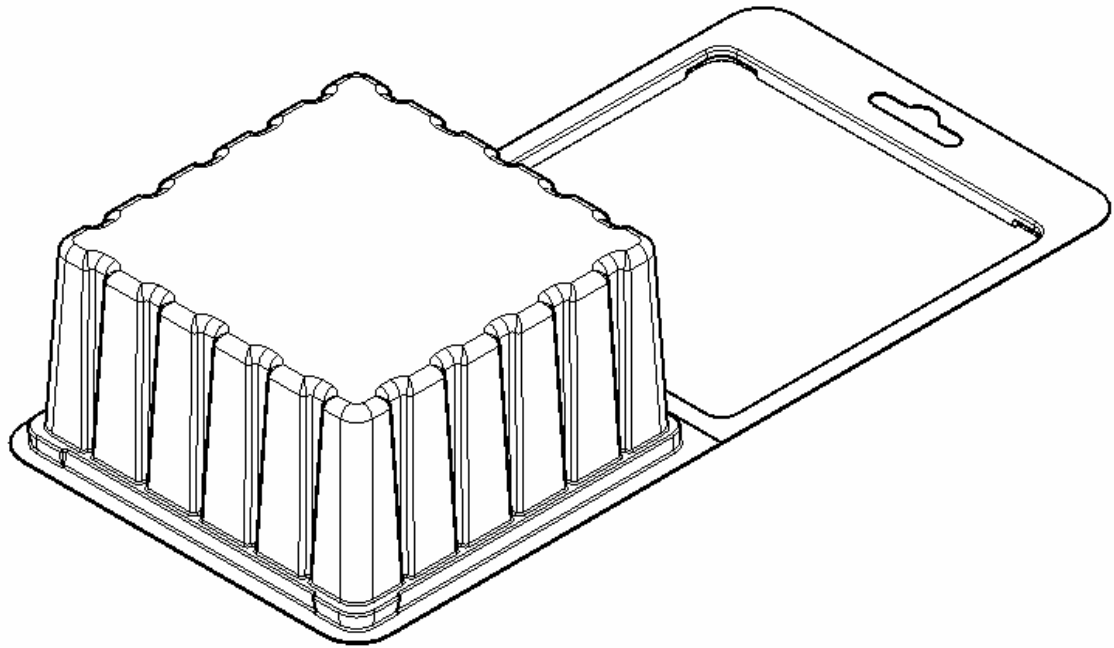
Změny rozměrů jsme zapsali do tabulky (viz. příloha P II) a vynesly do grafu (Graf. 2)

Graf. 2. Změna rastru pro tloušťku desky 2 mm



12 NÁVRH FORMY

Dle technologických aspektů byl zhotoven návrh krabičky na šrouby. Výkresová dokumentace je přiložena.



Obr. 41. Krabice na šrouby

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo stanovit co nejvhodnější technologické podmínky při vakuovém tváření pro danou tloušťku plastové desky, a tvar, který se geometricky tvarem přibližuje zhotovovanému výrobku.

Měření jsme prováděli na stroji FORMECH 300X za použití tří modelů. Modely byly vyrobeny z umělého dřeva. Lišily se svojí výškou a byly označeny písmeny A,B a C. Pro tloušťku desky 1 mm bylo dosaženo optimalizace u modelu A při 60 s a u modelů B,C při 70 s. Desku tloušťky 2 mm bylo nutné podstatně déle nahřívat a to u modelu A 120 s a u modelů B,C 130 s. Nutnost zvýšit dobu ohřevu pro nižší modely můžeme odůvodnit tím, že v důsledku menšího protažení nedocházelo k tak velkému zúžení stěny a tudíž k horší tvarovatelnosti. Zvýšením doby ohřevu se materiál lépe prohřál a byl lépe tvárný i při větší tloušťce stěny.

Dalším krokem práce bylo zjištění změny rastru u modelu A při optimálních podmínkách. Na polotovar polystyrénové desky jsme narýsovali mřížku o rozměrech buňky 5 x 5 mm. Tato mřížka se v důsledku natvarování desky na model deformovala. Její deformaci jsme změřili posuvným měřidlem a posléze zanesli do grafu. U desky tloušťky 1 mm je z grafu patrné, že k největšímu protažení docházelo v oblasti 10 až 15 řádku což odpovídá oblasti boční stěny kvádrů. Oproti tomu největší zúžení bylo naměřeno v oblasti 5 a 19 řádku, kde byla hrana přechodu mezi tvarovací deskou a modelem. K nejmenší deformaci docházelo na hnu výlisku a v oblasti, kde byl polotovar upnut do rámu stroje. Podobné výsledky můžeme vyhodnotit i u desky tloušťky 2 mm.

V našem případě jsme používali mechanické předtvarování a to samotným modelem. V důsledku toho nedocházelo k rovnoměrnému rozložení deformací rastru, a tloušťka se proto v různých místech měnila. V praxi se častěji používá předtvarování pneumatické, které nám zaručí rovnoměrné rozložení deformací rastru a tudíž i tloušťky stěny výrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] KULHÁNEK, Jan, et al. Formy pro tváření plastických hmot. Praha : SNTL, 1966. 224 s.
- [2] KUTA, Antonín. Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů. Praha : Vydavatelství VŠCHT, 2007. 203 s.
- [3] MAŇAS, Miroslav, HELFŠTÝN , Josef. Výrobní stroje a zařízení : Gumárenská a plastikářské stroje II. 1990. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1990. 199 s.
- [4] ŠTĚPEK, Jiří. Zpracování plastů. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 220 s.
- [5] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef, KAŇKOVSKÝ, Jiří. Formy a přípravky. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1979. 278 s.
- [6] TOMIS, František , RULÍK, František . Gumárenské a plastikářské stroje. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1981. 216 s.

Internetové zdroje:

- [7] Accuform : Softwary pro simulaci a optimalizaci procesů tvarování [online]. 2000 [cit. 2009-09-01]. Dostupný z WWW: <http://www.tsim.com/www_cz/TSIM.html>.
- [8] AK Plast s.r.o [online]. [cit. 2009-02-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.akplast.cz/index.php?action=news>>.
- [9] ARKIN [online]. [cit. 2009-09-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.arkin.cz/vsepla.php?submenu=vsepla>>.
- [10] FERONA THYSSEN PLASTICS [online]. [cit. 2009-05-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.feronathyssen.cz/>>.
- [11] LENFELD, Petr. Tvarování termoplastů [online]. - [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/08.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_m	Teplota tání
T_f	Teplota přechodu do viskosně tekutého stavu
T_g	Teplota skelného přechodu
PVC	Polyvinylchlorid
VC/VAC	Vinylchlorid-vinylacetát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PS	Polystyren
PVC	Polyvinilchlorid
PE	Polyetylen
PC	Polycarbonát
PP	Polypropylen
PES	Polyester
t	Čas

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Závislost pevnosti a tažnosti na teplotě [vlastní zpracování]	16
Obr. 2. Pevnost a tažnost PVC VC/VAC [vlastní zpracování].....	17
Obr. 3. Mechanické tvarování – pevný tvárník[vlastní zpracování].....	20
Obr. 4. Mechanické tvarování – pružný tvárník[vlastní zpracování]	20
Obr. 5. Princip pozitivního podtlakového tvarování [11].....	21
Obr. 6. Princip negativního podtlakového tvarování [11]	22
Obr. 7. Proces tvarování [11].....	22
Obr. 8. Přetlakové tvarování [vlastní zpracování]	23
Obr. 9. Podtlakové tvarování [vlastní zpracování]	23
Obr. 10. Princip negativního podtlakového tvarování s mechanickým přetvarováním [11]	24
Obr. 11. Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním a pohled na tvárníky [6].....	25
Obr. 12. Princip pozitivního podtlakového tvarování s pneumatickým předtvarováním [11]	26
Obr. 13. Princip negativního podtlakového tvarování s pneumatickým a mechanickým předtvarováním [2].....	28
Obr. 14. Odsávací otvory u tvarovací formy [5].....	35
Obr. 15. Příklad rekonstrukce výtažku se zřetelem na úsporu materiálu (kelímek o obsahu 250 cm ³) [1]	36
Obr. 16. Velikost průřezu pro tvarování kelímku dle obr. 15 [1]	37
Obr. 17. Jednoduchá forma pro vakuové tvarování [5]	37
Obr. 18. Ořezávání tvarovaných výrobků [5]	38
Obr. 19. Osekávací přípravky [5].....	38
Obr. 20. Sekání pod hranou [5].....	39
Obr. 21. Velkoplošný tvarovací stroj s horním a dolním ohřevem [2]	40
Obr. 22. Linka na vakuové tvarování [2]	41
Obr. 23. Vhodné typy tvárníků pro předtažení folie [2]	41
Obr. 24. Tvarovací, plnicí a uzavírací linka [6].....	42
Obr. 25. Schéma znázornění rotačního tvarovacího stroje [2].....	43
Obr. 26. Vakuový stroj FORMECH 300X	48

Obr. 27. Schéma vakuového stroje FORMECH 300X.....	49
Obr. 28. Umístění modelu na tvarovací desku.....	50
Obr. 29. Upnutí polotovaru.....	50
Obr. 30. Ohřev polotovaru.....	51
Obr. 31. Tvarování výrobku.....	51
Obr. 32. Náčrt modelu.....	52
Obr. 33. Špatná tvarovatelnost zkušebního materiálu.....	54
Obr. 34. Ukázky vytvarování modelu A při různých časech pro tloušťku desky 1mm.....	55
Obr. 35. Ukázky vytvarování modelu A při různých časech pro tloušťku desky 2 mm.....	56
Obr. 36. Ukázky vytvarování modelu B při různých časech pro tloušťku desky 1mm.....	56
Obr. 37. Ukázky vytvarování modelu B při různých časech pro tloušťku desky 2mm.....	57
Obr. 38. Vytvarování modelu C při času 70 s pro tloušťku desky 1mm.....	57
Obr. 39. Vytvarování modelu C při času 130 s pro tloušťku desky 2 mm.....	57
Obr. 40. Označení jednotlivých buněk mřížky.....	58
Obr. 41. Krabice na šrouby.....	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Amorfnní polymery [vlastní zpracování]	18
Tab. 2. Krystalické polymery [vlastní zpracování]	18
Tab. 3. Vlastnosti materiálu MEZOPLAST SB/HK[10]	55

SEZNAM PŘÍLOH

P I Tabulka změny rastru pro tloušťku folie 1 mm

P II Tabulka změny rastru pro tloušťku folie 2 mm

PŘÍLOHA P I: TABULKA ZMĚNY RASTRU PRO TLOUŠŤKU FOLIE 1 MM

Řádek	Sloupec												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	5,1	5,2	4,9	5,7	4,7	5,4	4,9	5,2	5	5,1	4,9	5,2	5
2	5,3	5,3	4,9	5,8	4,8	5,5	5	5,2	4,9	5	4,8	5,1	4,8
3	5,4	5,4	5	5,9	4,8	5,7	5	5,4	4,8	4,9	4,7	5	4,7
4	5,6	5,5	5,1	6	5	5,8	5,2	5,8	4,8	4,7	4,5	4,7	4,6
5	5,6	5,5	5,2	6,1	5,2	6,2	5,5	6	4,5	4,6	4,3	4,4	4,3
6	5,9	5,7	5,4	6,7	5,6	6,8	5,5	5,3	4,5	4,4	4,3	4,5	4,3
7	6	5,8	5,8	7,2	6,9	9,5	7,6	6,1	5,3	5	4,6	4,9	4,7
8	6,1	6,1	6,2	8,4	10,2	11,4	10	8,5	5	5,3	5,4	5,6	5,2
9	6,2	6,2	6,9	9,9	14,4	14,7	14,1	10,8	6,2	5,7	5,7	6	5,8
10	6,3	6,4	7,3	11,2	15,6	16,4	13,4	7,9	6	5,8	5,7	5,9	5,7
11	6,4	6,7	7,6	12,5	16,5	15,9	12,9	7,9	6	5,7	5,5	5,9	5,5
12	6,4	6,8	7,7	12,9	17,4	15,6	12,4	7,2	6	5,5	5,5	5,9	5,3
13	6,2	6,7	7,6	12,5	16,8	15,9	12,1	7,4	6	5,5	5,5	5,6	5,2
14	6,2	6,4	7,3	11,4	16,6	17,2	13,3	7,2	5,8	5,5	5,4	5,4	5,2
15	6	6,2	6,9	9,7	16,2	17	16,5	7,7	5,5	5,5	5,1	5,5	5,2
16	6	6	6,5	8,3	13,7	15,4	15,3	8,5	5	5,5	5,3	5,4	5,2
17	5,9	5,7	6,1	7	7,7	13	8,9	7,4	5	5	4,8	5	4,8
18	5,8	5,7	5,8	5,8	6,1	7	8,6	5,1	5	4,6	4,4	4,6	4,2
19	5,8	5,4	5,6	5,5	5,8	5,9	5,8	5	4,6	4,1	4,1	4,3	4,2
20	5,7	5,3	5,3	5,4	5,6	5,6	5,4	5,4	5,2	4,8	4,4	4,6	4,4
21	5,6	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5	5,3	4,9	4,6	4,6	4,5
22	5,5	5,2	5,2	5,2	5,1	5,2	5,2	5	5,3	5	4,7	4,9	4,8
23	5,2	5,2	5,2	5	5	5	5	5	5,3	5	5	5	4,9

PŘÍLOHA P II: TABULKA ZMĚNY RASTRU PRO TLOUŠŤKU FOLIE 2 MM

Řádek	Sloupec												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	5,3	5,3	4,9	4,9	5,1	5,3	5,3	4,9	5,1	5	4,8	5,1	4,6
2	5,3	5,3	4,9	5,1	5,3	5,5	5,5	5	5,2	5	4,7	4,8	4,5
3	5,3	5,3	5	5,3	5,4	5,6	5,6	5,1	5,3	5	4,6	4,6	4,3
4	5,3	5,6	5,2	5,4	5,5	5,8	5,8	5,4	5,5	4,8	4,5	4,4	4
5	5,3	5,6	5,3	5,7	5,8	6,4	6,5	5,3	5,9	4,8	4,4	4,2	3,8
6	5,3	5,7	5,5	6	6,6	7,4	6,8	6,3	6,3	4,9	4,6	4,4	4,2
7	5,3	5,9	5,8	6,4	7,6	14,4	11,2	9	6,3	5,5	4,9	4,9	5,1
8	5,3	6	6,1	6,9	9,3	18	14,8	13,4	6,8	5,6	5,5	5,3	5,2
9	5,3	6,1	6,4	7,6	10,9	18,4	16,7	11,5	7,1	6,1	5,8	5,3	5,3
10	5,3	6,2	6,7	8,3	12,8	18,9	15,6	10,3	7,3	6,1	5,8	5,3	5,3
11	5,3	6,3	6,9	8,8	14,6	18,9	14,7	9,2	7,3	6	5,8	5,3	5,2
12	5,3	6,3	7	9	15	19	14,4	9,1	7,7	6	5,8	5,2	5,2
13	5,3	6,3	7,1	8,8	14,6	19	14,2	9	7,7	5,9	5,5	5,1	5,2
14	5,3	6,3	7	8,7	13,8	18,9	15	9,4	7,7	5,8	5,5	5,1	5,3
15	5,3	6,2	6,8	8,3	13,3	18,9	16	10,5	7,5	5,7	5,6	5,1	5,3
16	5,3	6,2	6,7	7,6	11,6	18,1	17	12,3	7,1	5,7	5,6	5,1	5,2
17	5,3	6	6,4	7	9	15,5	14,8	9,6	7	5,7	5,5	4,9	4,8
18	5,3	5,9	6	6,6	7	10	11	6,6	7	5,5	5,1	4,6	4,3
19	5,3	5,7	5,8	6,2	6,1	7,3	6,7	5,9	7	4,8	4,9	4,2	4,2
20	5,3	5,5	5,7	5,8	5,7	6,3	6,4	5,7	7	4,5	4,5	3,9	4,1
21	5,3	5,5	5,6	5,7	5,5	6	5,5	5,2	5,6	4,7	4,7	4	4,4
22	5,3	5,2	5,5	5,5	5,3	5,6	5,5	5,1	5,3	4,8	4,7	4,3	4,6
23	5,3	5,1	5,4	5,3	5,1	5,5	5,3	4,8	5,2	4,9	4,8	4,4	4,8
24	5,3	4,9	5,2	5,1	5	5,4	5,3	4,8	5,2	4,9	4,9	4,6	5