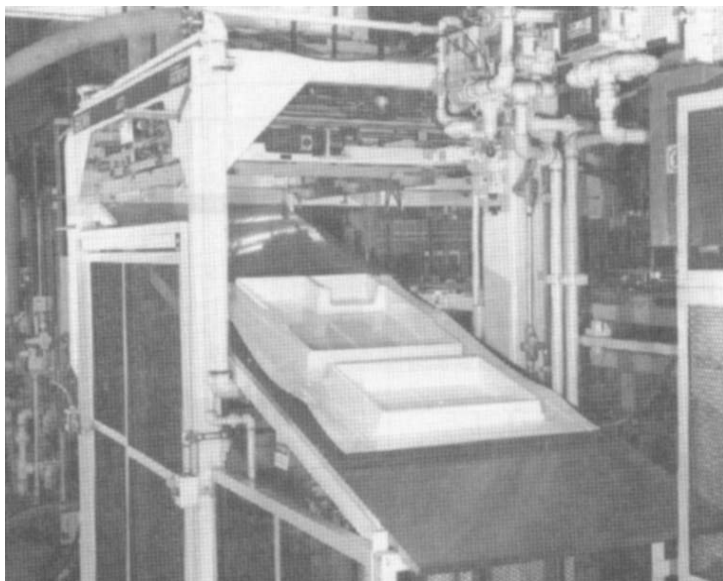


TOPLO OBLIKOVANJE PLASTIKE



Ovim postupkom oblikuju se pre svega termoplasti kao na primer polistiren (PS) (masivan ili penast), termopolimer akril budadijen stiren (ABS), celulozni acetat, polivinil hlorid (PVC), i dr.

Pripremcima za toplo oblikovanje su u obliku traka, filmova i ploča isečenih na odgovarajuću dimenziju. Pripremcima mogu biti oblikovani i presovanjem.

Toplo oblikovanje izvodi se na pripremcima u gumastom stanju, što omogućuje da se obradak brže ohladi nego u slučaju oblikovanja u rastopljenom stanju. Celokupan ciklus obrade zbog toga je kraći nego kod oblikovanja u rastopljenom stanju.

Toplo oblikovanje vrši se uz pomoć:

- a) Pritiska fluida
- b) Vakuuma
- c) Čvrstih elemenata alata
- d) Slobodno
- e) Kombinovano

Druga važna karakteristika toplog oblikovanja je da je opterećenje daleko manje nego kod drugih procesa (npr. kod presovanja). Zbog toga se alati mogu izrađivati od materijala sa nižim mehaničkim svojstvima. Cena ovih alata niža je u odnosu na druge postupke.

Nedostaci toplog oblikovanja:

1. Velika količina otpadnog materijala – koji nastaje zbog potrebnog opsecanja obratka. Ostaci materijala se po pravilu recikliraju.
2. Visoka cena polaznog materijala (filmovi, trake, folije)
3. Limitirani oblici obratka – koji se svodi uglavnom na otvorene oblike. Izrada delova sa oštrim ivicama i promenljivim debljinama materijala je dosta otežano a nekada i nemoguće. Tako dolazi i do nekontrolisane promene debljine materijala.
4. U nekim slučajevima toplo oblikovanje izvodi se pomoću unutrašnjih napona u materijalu, što može biti limitirajući faktor.



Photo 14.3 Continuous thermoforming machine (Courtesy: Brown Machine)

Prednosti toplog oblikovanja:

1. niski troškovi mašine
2. niski temperaturni zahtevi
3. niski troškovi alata
4. nizak pritisak (opterećenje) oblikovanja
5. mogućnost oblikovanja velikih delova
6. kratak (brz) radni ciklus

METODE TOPLOG OBLIKOVANJA

Postoji veliki broj metoda toplog oblikovanja zavisno od vrste primenjenog uređaja i načina stvaranja opterećenja pri oblikovanju.

VAKUUMSKO OBLIKOVANJE

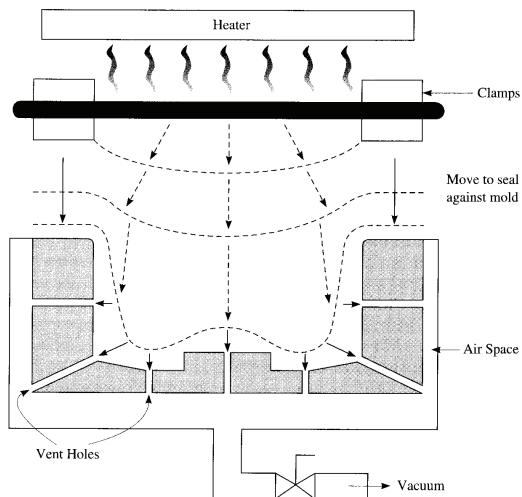


Figure 14.1 Fundamental, or straight, vacuum forming technique.

FIG 14.1 – vakuumsko oblikovanje

Pripremak u obliku isečene ploče postavlja se na ram koji drži materijal. Materijal se zagreva sve dok se ne pojavi ulegnuće, nakon čega se ram sa obratkom postavlja na kalup za oblikovanje na čijoj čeonj površini se nalazi zaptivač. Dejstvom vakuuma priljubljuje se materijal uz zidove kalupa. Ovaj način oblikovanja koristi se u slučaju kada je potrebno na obratku postići fine detalje sa strane kalupa.

OBLIKOVANJE PRITISKOM

Slično kao u prethodnom slučaju materijal se postavlja u kalup, zagrejava, a dejstvom vazduha pod pritiskom formira se oblik obratka priljublivanjem omekšanog materijala uz zidove kalupa. Otvori na zidovima kalupa omogućuju prolaz vazduha ispod oblika da bi se izbegao kontra pritisak i olakšalo oblikovanje. Pritisak oblikovanja je 1 do 2 bara, a treba da deluje brzo kako se obradak ne bi ohladio. Ovaj postupak je brži od vakuumskog.

Figure 14.2 Pressure forming.

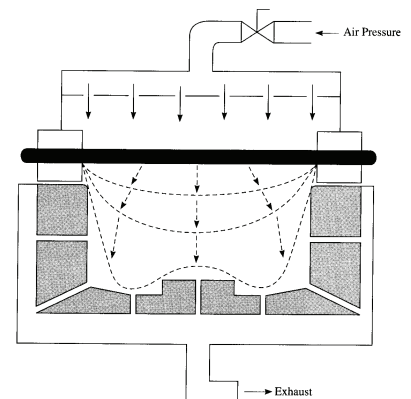
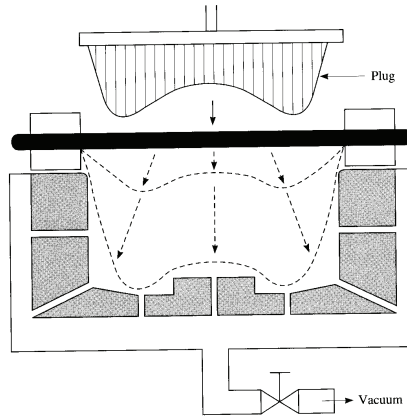


FIG (14.2) – oblikovanje pritiskom

OBLIKOVANJE POMOĆU OBLIKAČA

U nekim slučajevima, kod složenih oblika obratka, dobar oblik obratka ne može se postići dejstvom vakuuma i pritiska, već se mora primeniti oblikovanje pomoću čvrstog oblikača i matrice.

Figure 14.3 Plug-assist forming.

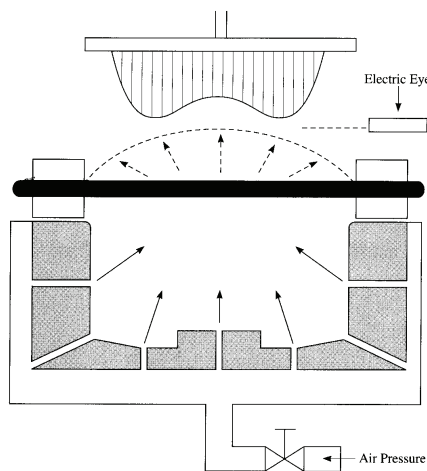


(FIG 14.3) – oblikovanje pomoću oblikača

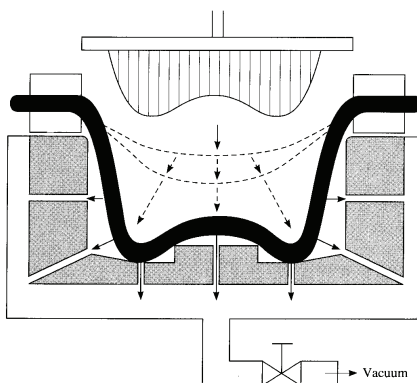
Glavna prednost ovog postupka je uniformnost debljine zida obratka, koja kod vakuuma i pritiskog oblikovanja nije prisutna. Čvrst oblikač omogućuje da se materijal prebaci u zonu otežanog tečenja, te na taj način obezbedi potrebnu debljinu obratka. Žig nema ulogu potpunog definisanja oblika obratka već samo pomaže pravilnom tečenju materijala. Oblik obratka određen je vakuumom i kalupom. Oblikač se izrađuje od metala, drveta, termoplastike.

REVERZIBILNO RAZVLAČENJE

Figure 14.4 Reverse draw forming or billow forming.



(a) Reverse draw (billowing) step to pre-stretch the material



(b) Plug-assist and vacuum forming step

Ovaj postupak primenjuje se u slučaju veće dubine izvlačenja. U prvoj fazi oblikovanja zagrejanog materijala vrši se naduvavanje mehurca i stvaranje početne debljine zida koja se elektronski kontroliše. Potom deluje oblikač koji u trenutku kontakta sa materijalom zaustavlja dalje stanjenje materijala u centralnom delu obratka, dok se preostali deo materijala normalno stanjuje. Delovanjem vakuuma formira se finalni oblik obratka.

Prednost ovog postupka u odnosu na prethodni je bolja kontrola debljine zida obratka. Nedostatak ovog procesa je duži radni ciklus.

Fino podešavanje debljine obratka vrši se:

- variranjem temperature obrade
- variranjem dimenzija obratka u prvoj fazi
- dimenzijama oblikača (čepa)
- oblikom oblikača (čepa)
- brzinom kretanja oblikača

(FIG 14.4) a - prva faza oblikovanja

SLOBODNO OBLIKOVANJE

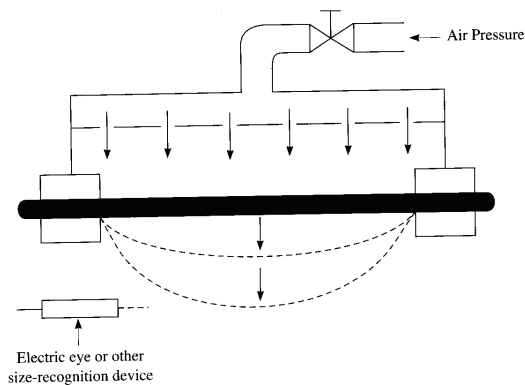


Figure 14.5 Free forming or free blowing.

(FIG 14.5) – slobodno oblikovanje

aerodinamičan, npr. vetrobran trkačkog automobila koji mora da ima dobra optička svojstva.

Kod nekih obradaka zahtevaju se visoka optička svojstva, pa je nemoguća primena čvrstih elemenata alata za oblikovanje. U tom slučaju primenjuje se ovaj postupak.

Postupak oblikovanja je sličan prvoj fazi oblikovanja kod prethodnog postupka. Veličina mehura kontroliše se elektronski.

Dijapazon oblika obradaka dobijenih slobodnim oblikovanjem je veoma sužen u odnosu na oblikovanje pomoću kalupa.

Međutim, određene promene oblika mogu se ostvariti variranjem oblika držača obratka. Ako je držač kružni prsten obradak je sferičan a ako je držač u obliku suze obradak će biti izdužen i

VAKUUMSKO OBLIKOVANJE S PREDRAZVLAČENJEM (Drape Forming)

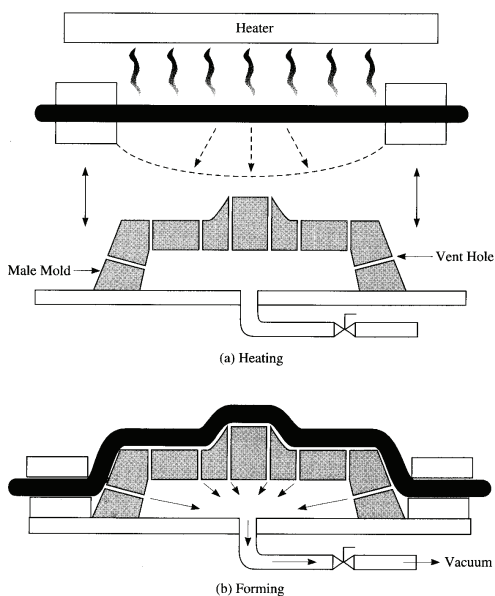


Figure 14.6 Drape forming on a male (plug) mold.

(FIG 14.6) – Drape Forming

Nedostatak ovog postupka je veliki otpad materijala i potreban veliki radni prostor.

Kod ovakvog postupka oblikovanja zagrejani pripremak stvara viseći oblik mehura, a zatim se formiranje završnog oblika obratka ostvaruje pomoću oblikača (muškog) i vakuuma.

Ovaj postupak može da se kombinuje sa postupkom biaksijalne orijentacije materijala, a u tom slučaju se razvlačenje materijala vrši van držača neposredno pre prevlačenja preko oblikača. Na taj način se postižu bolja mehanička svojstva obratka.

Upotreba oblikača umesto kalupa je obavezna onda kada se želi postići dobar kvalitet unutrašnje površine obratka.

Glavna prednost ovog postupka je veći odnos izvlačenja u odnosu na oblikovanje pomoću kalupa.

Druga prednost je manja cena oblikača na cenu kalupa.

Pošto se predoblikovanje kod ovog postupka vrši pritiskom to je ukupni radni ciklus kraći.

TOPLO OBLIKOVANJE U KALUPU SA VAKUUMSKIM PREDOBLIKOVANJEM (Snap – Back Forming)

Ovo oblikovanje je varijanta prethodne obrade s tim što se razvlačenje ostvaruje vakuumski. Stanjenje materijala najintenzivnije je u centru obratka, a prostire se od $\frac{1}{2}$ do $\frac{2}{3}$ dubine obratka.

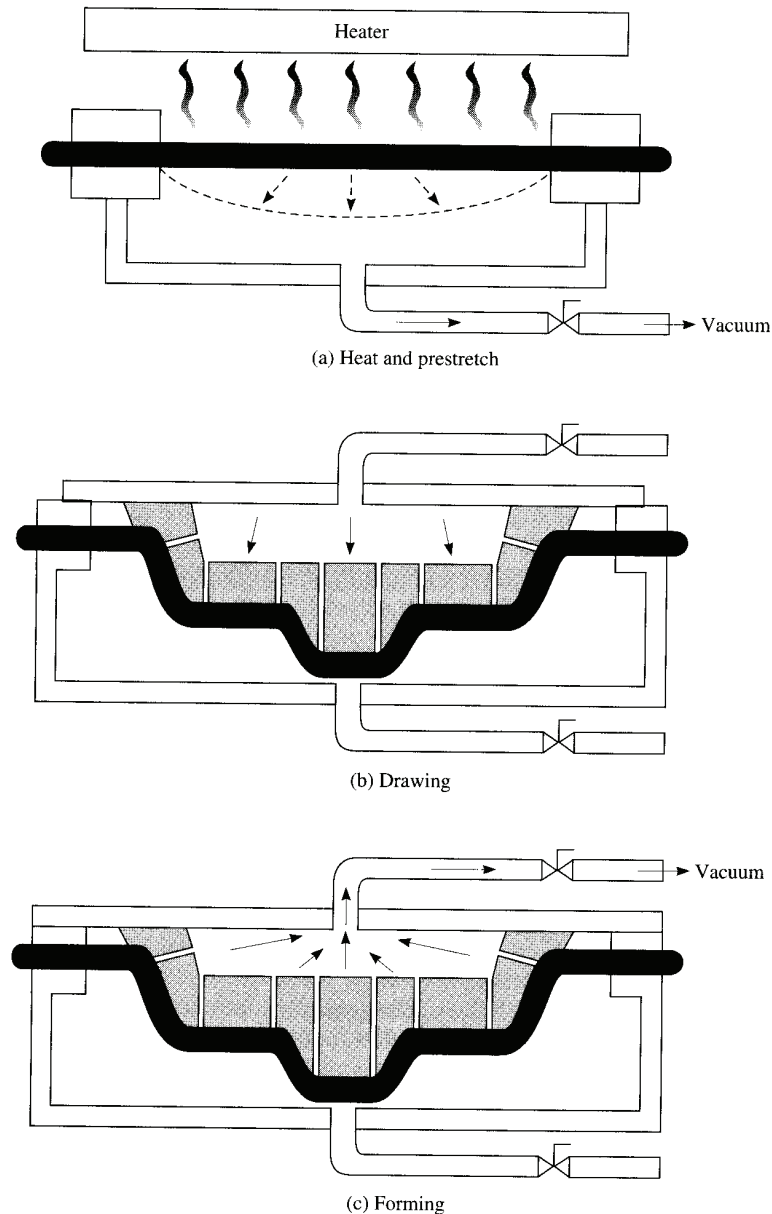


Figure 14.7 Snap-back forming showing prestretching, drawing, and forming steps.

14.7 Snap Back Forming

Sledeća faza obrade je izvlačenje u kalupu, gde se fiksira debljina obratka u centralnom delu a promena debljine materijala moguća je u perifernim zonama, tj. na ivicama obratka.

Finalna faza oblikovanja je oblikovanje vakuumom. Hladjenje obratka je poslednja faza obrade a izvodi se u kalupu.

Ovaj postupak omogućuje proizvodnju obratka složenih oblika i dobru kontrolu debljine obratka.

OBLIKOVANJE POMOĆU DVODELNOG ALATA (Matched die forming)

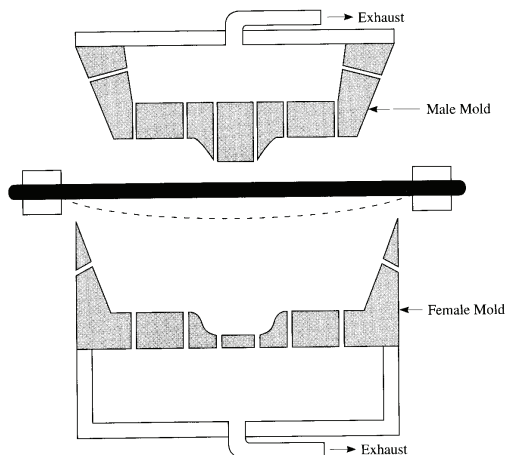


Figure 14.8 Matched die forming.

(FIG. 14.8) – Oblikovanje pomoću dvodelnog alata

Ovaj postupak primenjuje se kod složenih konfiguracija obratka, kad se traži visoka tačnost. U tom slučaju oblik obratka određuje i kalup i žig, odnosno prostor između ta dva dela alata. Zagrevanjem priprema vrši se slobodno predoblikovanje, a potom sledi završno oblikovanje u kalupu pomoću žiga. Otvori u kalupu i žigu omogućuju odvođenje zarobljenog vazduha.

Pritisak oblikovanja koji je u ovom slučaju posledica delovanja mehaničke sile je znatno viša u odnosu na druge postupke toplog oblikovanja, ali je znatno niža u odnosu na injekciono presovanje.

Oblikovanje dvodelnim alatom primenjuje se za delove sa manjom dubinom izvlačenja. Delovi velikih dimenzija proizvode se ovom metodom. Takođe se ova tehnologija primenjuje za delove sa visokom tačnošću dimenzija.

MEHANIČKO TOPLO OBLIKOVANJE

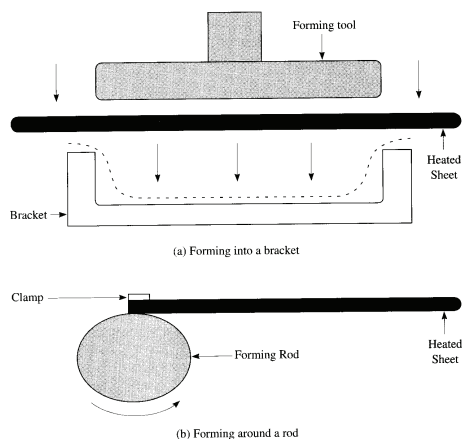


Figure 14.9 Mechanical forming for a bracket and a rod.

(FIG 14.9) – mehaničko toplo oblikovanje

To su jednostavni postupci oblikovanja uz upotrebu odgovarajućih alata (ne kalupa i oblikača), koji omogućuju lako oblikovanje prethodno zagrejanog materijala. Alati u ovom slučaju su jednostavne konstrukcije.

Na slici 14.9a prikazano je oblikovanje pomoću jednostavnog kutijastog kontejnera i pritiskivača u koji se ubacuje ugrejani pripremak. Umesto pritiskivača može se koristiti valjčić kojim se materijal priljubljuje uz zid kontejnera.

Na slici 14.9b prikazano je toplo oblikovanje savijanjem trake oko odgovarajućeg metalnog jezgra.

I u jednom i u drugom slučaju komad ostaje u alatu ili trnu dok se potpuno ne ohladi.

PAKOVANJE U MEHURE I FOLIJU (Blister Pack and Sein Pack)

Blister pakovanje koristi se u medicini i **maloprodaji** za pakovanje malih stvari (proizvoda). U oba slučaja pakovanja (blister ili skin) proizvod se nalazi između dve folije od kojih je jedna obična providna.

Blister pakovanje vrši se toplim oblikovanjem a pokrivni film je obično prozirna plastika. Alat za izradu blister pakovanja je kalup sa više gnezda. Formirani oblik folije u kalupu naziva se »blister«. Oblikovanje blistera obično se vrši vakuumom kod manjih dubina. Posle toga sledi punjenje blistera proizvodima koje pakujemo, zatim se stavlja pokrivna folija koja se lepi na blister. Na kraju se vrši odsecanje na željenu dimenziju. Upakovani proizvodi u blisteru imaju mogućnost određenog pomeranja.

Kod »skin« pakovanja proizvod se zadržava između tanke folije i čvrste kartice. Nema formiranih ćelijastih mehura. Ovaj postupak je jeftiniji.

OPREMA ZA TOPLO OBLIKOVANJE PLASTIKE

Termoforming tehnologija je jednostavnija od drugih postupaka (npr. ekstruzije ili injekcionog presovanja), a oprema je jednostavnija i jeftinija.

MAŠINE

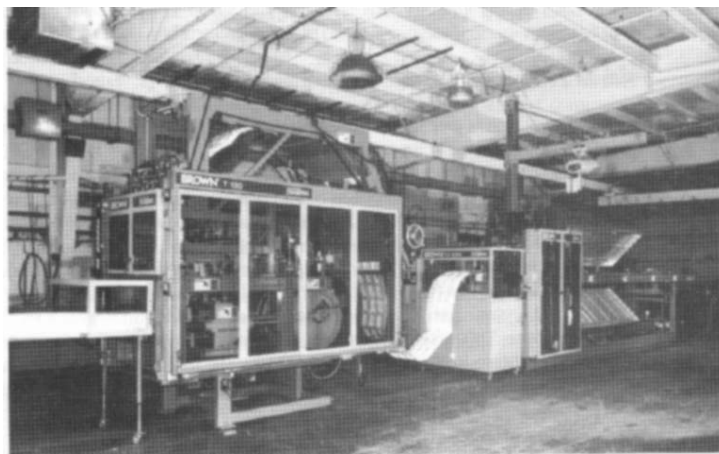


Photo 14.3 Continuous thermoforming machine (Courtesy: Brown Machine)

photo 14.3

Mašine za toplo oblikovanje plastike su manje uniformne nego kod drugih postupaka obrade. Međutim sve mašine te vrste moraju da imaju sledeće funkcije:

- zagrevanje folije
- držanje folije
- transport (pomeranje) folije
- oblikovanje u odgovarajućem kalupu

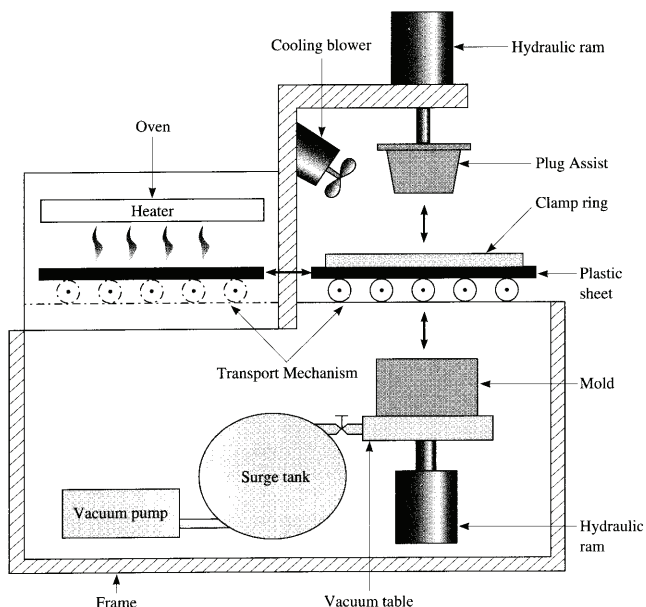


Figure 14.10 Single-station thermoforming machine.

(FIG. 14.10) – mašina za toplo oblikovanje sa jednom radnom pozicijom

se kontinualno vakuumira tokom rada, tj. tokom celog radnog ciklusa.

Na slici 14.10 prikazana je jedna mašina za toplo oblikovanje sa jednom radnom pozicijom a njen izgled dat je na slici 14.2. Transportni mehanizam omogućuje kretanje materijala u peć i iz peći do jedinice za oblikovanje. Uređaj za držanje obratka sastoji se od prstena za držanje i mehanizma za otvaranje i zatvaranje sa polugama.

Grejač ima mogućnost pokrivanja velike površine što obezbeđuje ravnomerno omekšavanje materijala. Grejač je obično infracrveni (IR) a može biti postavljen sa obe strane priprema. Grejači su obično postavljeni u jedan zatvoren prostor i čine furunu.

Kalup je postavljen na noseću ploču i priključen na uređaj za vakuumiranje. Brzo vakuumiranje omogućuje vakuum-tank (rezervoar) koji

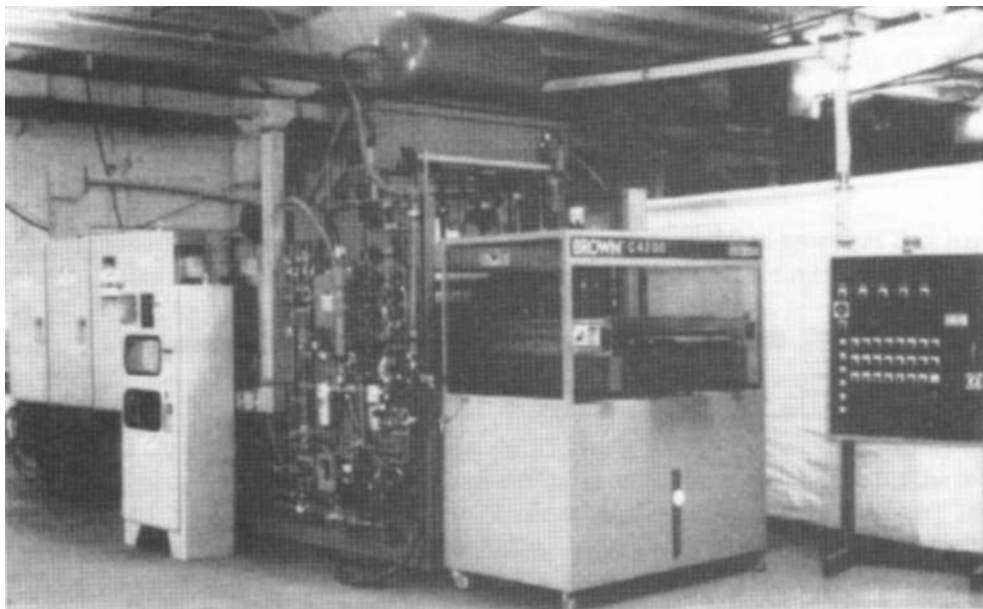


Photo 14.2 Single-station thermoforming machine (Courtesy: Brown Machine)

Photo 14.2

Podizanje alata sa vakuum pločom vrši se hidrauličnim sistemom.

U mašinu takođe može biti ugrađen posebna duvaljka. Pomerane oblikača takođe je hidraulično.

Visoka produktivnost postiže se kod višepozicionih mašina za toplo oblikovanje kod kojih se svaka od faza obrade izvodi na odgovarajućoj poziciji.

Sledeća mašina sa velikom produktivnošću je mašina za kontinualnu toplu obradu (Photo 14.3).

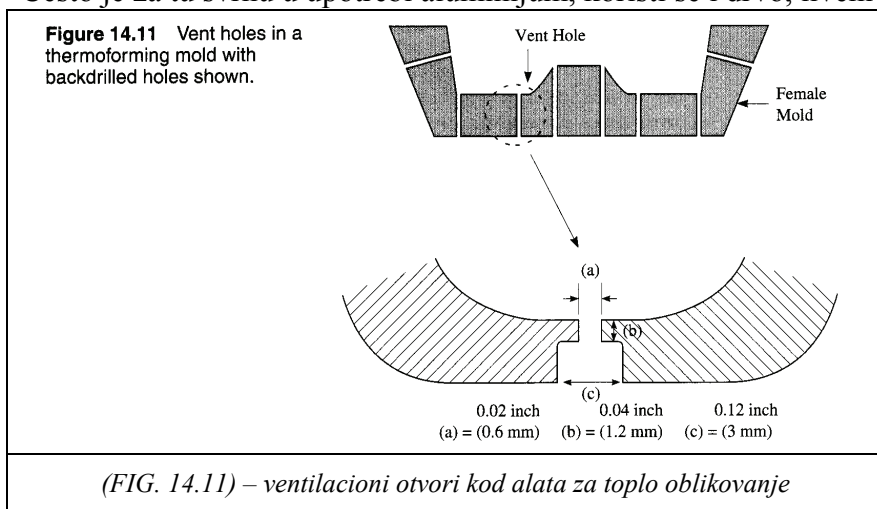
ALATI ZA TOPLO OBLIKOVANJE

Zbog niskih pritisaka kod tople obrade dolazi u obzir primena različitih materijala za alate. Često je za tu svrhu u upotrebi aluminijum, koristi se i drvo, liveni epoksid i drugi termoplasti, a takođe

i razni čelici i drugi konstrukcioni materijali.

Kalupi za toplo oblikovanje imaju nagib na vertikalnim površinama od $2^{\circ} \div 7^{\circ}$ radi lakšeg vađenja obratka.

Važnu ulogu kod ovih kalupa imaju ventilacioni otvori koji omogućuju izlaz zarobljenog vazduha. Njihova veličina i oblik zavisi od vrste termoplasta i dimenzije obratka (FIG. 14.11).



(FIG. 14.11) – ventilacioni otvori kod alata za toplo oblikovanje

Za tanje i mekše termoplaste preporučuju se manji ventilacioni otvori. Razmak između ventilacionih otvora obično nije kritičan.

TEHNOLOŠKA PITANJA TOPLOG OBLIKOVANJA

- **MATERIJAL**

Termoforming je značajan tehnološki postupak koji se primenjuje na veliki broj folija dobijenih ekstruzijom i kalandriranjem od termoplasta. Većina termoplasta je pogodna za ovu tehnologiju, ali se uobičajeno najviše koriste: ABS, PMMA, Poiolefini, HIPS, PVC. Materijali koji se ne koriste za toplu preradu su plastike koje se brzo tope (acetati i najloni) jer je kod njih teško držati proces pod kontrolom.

Za toplu obradu najpovoljniji su ekstruzione termoplastične folije, ali se koriste i kalandrirane, livene, laminarne, duvane, filmovi itd.

- **KONSTRUKCIJA OBRATKA (FIG 14.12, 14.13, 14.14, 14.15)**

Termoforming omogućuje izradu relativno jednostavnih delova sa širokim ulaznim otvorima. Međutim kod ove tehnologije mogu se dobiti i delovi sa raznim urezima (under cut), a na FIG. 14.12 prikazana je jedna ploča sa malim urezima.

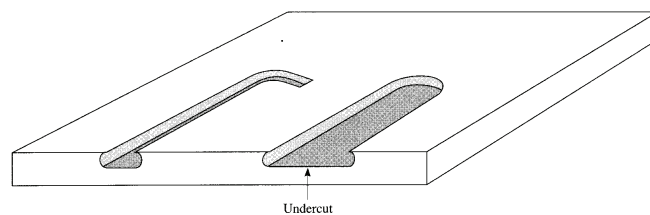


Figure 14.12 Undercut design for a shipping tray that can be made with a single-piece thermoforming mold.

(FIG. 14.12)

Kod oblikovanja većih ureza primenjuju se kalupi sa umecima (FIG 14.13), koji omogućuje lako vađenje obratka.

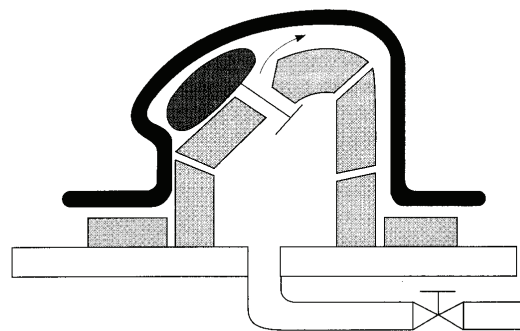
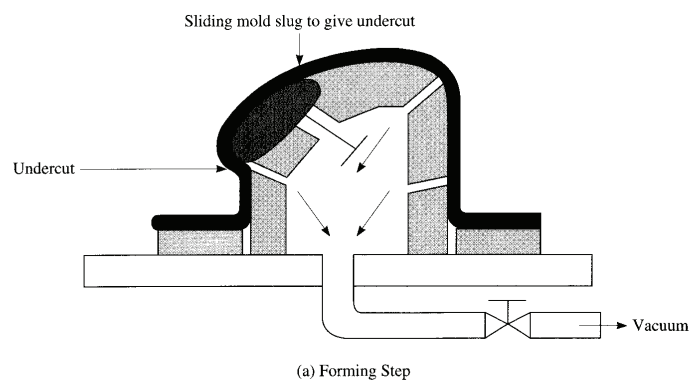


Figure 14.13 Undercut part made by a sliding mold system.

Slika 14.13 – kalupi sa umecima

Rebro, ispupčenja i zone različite debljine nisu predviđene za obradu termoformingom. Određena ojačanja mogu se dobiti kao na FIG. 14.14.

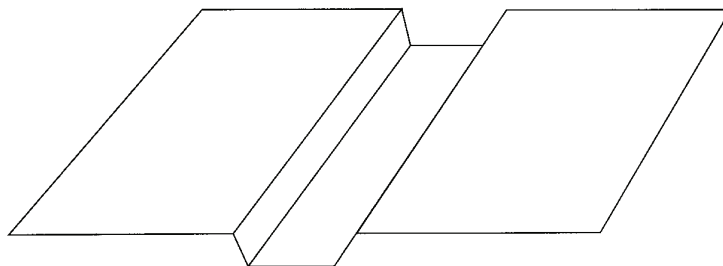


Figure 14.14 Forming a hat section to give structural reinforcement to a thermoformed part.

Slika 14.14 – ojačanja koja se mogu dobiti termoformingom

Kod toplog oblikovanja mogu se određeni složeni segmenti obratka dobiti pomoću umetaka (FIG. 14.15).

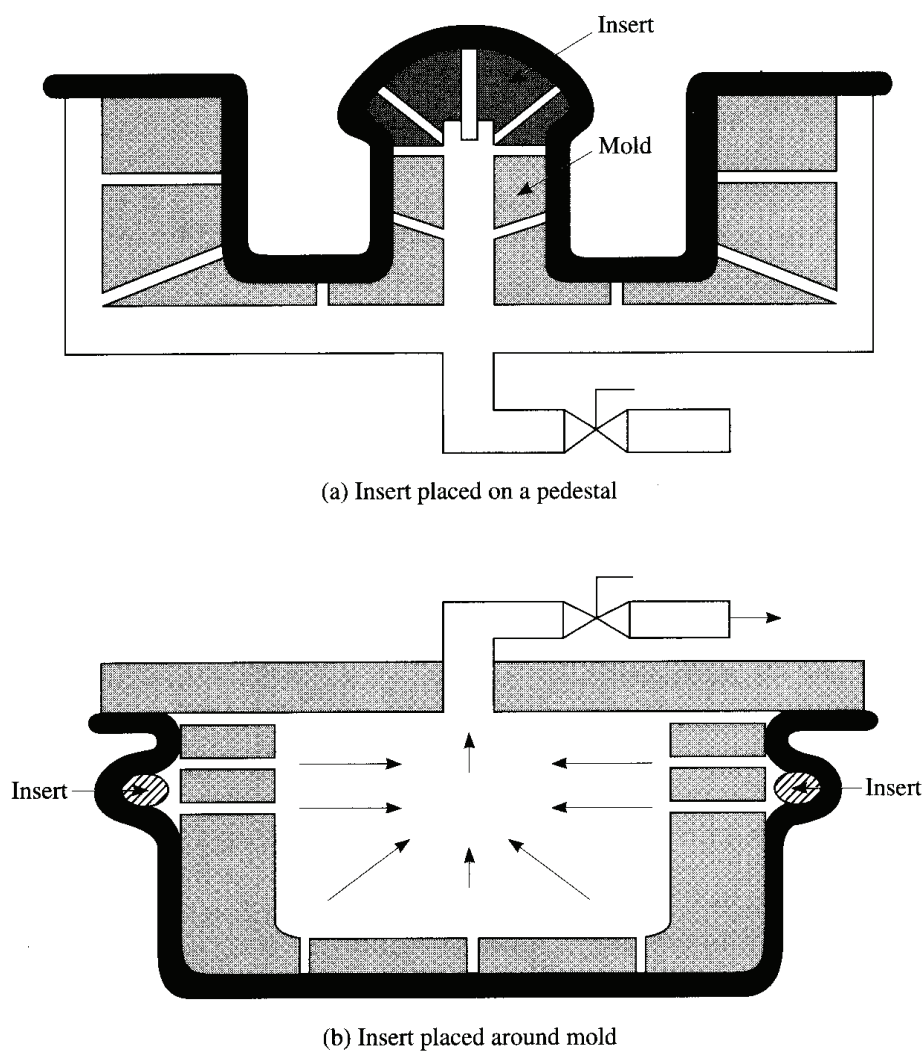


Figure 14.15 Capturing an insert in a thermoformed part.

Slika 14.15 – primer složenijeg dela dobijenog pomoću umetaka

Odnos izvlačenja – definiše se kod obradaka dobijenih u kalupu

$$\text{odnos izvlačenja} = \frac{\text{dubina obratka}}{\text{širina obratka}} = 2 \div 7$$

Drugi parametar je:

$$\text{odnos površina} = \frac{\text{površina priprema}}{\text{površina obratka}}$$

Ovaj postupak pokazuje koliko je stanjenje materijala za verme obrade i koristi se za određivanje dimenzija priprema.

Primer 1:

Ako je površina priprema $A_0 = 200\text{cm}^2$ a površina obratka $A = 400\text{cm}^2$ onda je $\frac{A}{A_0} = 2$, a to znači da je došlo do stanjenja zida za 50%.

Primer sl. 14.16

$$A_0 = 3000\text{cm}^2, A = 4100\text{cm}^2$$

$$\frac{A}{A_0} = \frac{3000}{4100} = 0,7317 \text{ ako je } s = 2\text{mm} \text{ (posle obrade) onda je } s_0 = \frac{s}{0,7317} = 2,73\text{mm}$$

s_0 - debljina priprema

KONTINUALNO TOPLO OBLIKOVANJE

Jedna od varijanti kontinualnog toplog oblikovanja prikazana je na slici 14.17, a odnosi se na liniju za pakovanje koja sadrži određene elemente:

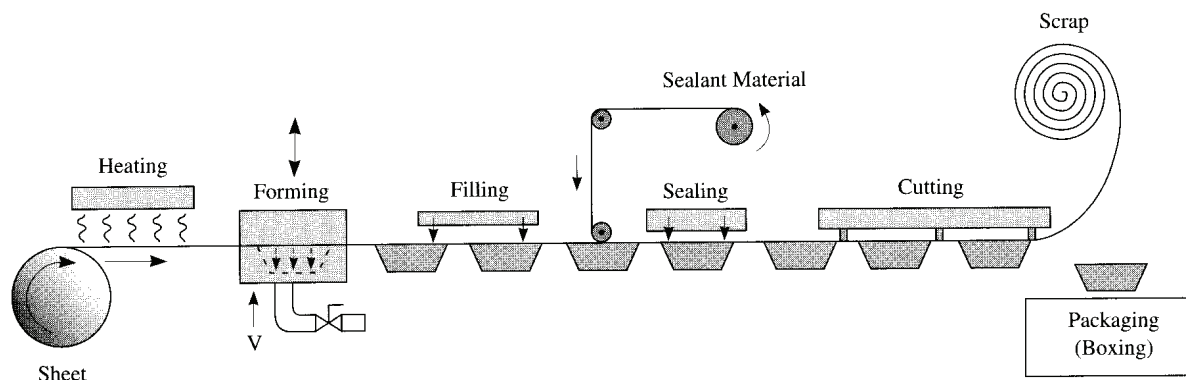


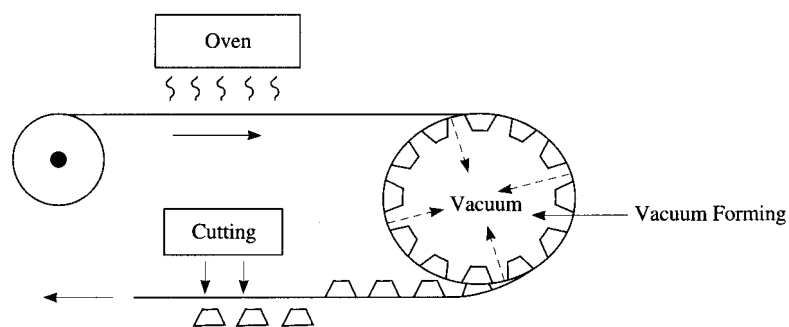
Figure 14.17 Form, fill, and seal automated thermoforming and packaging.

Slika 14.17 – primer kontinualnog toplog oblikovanja

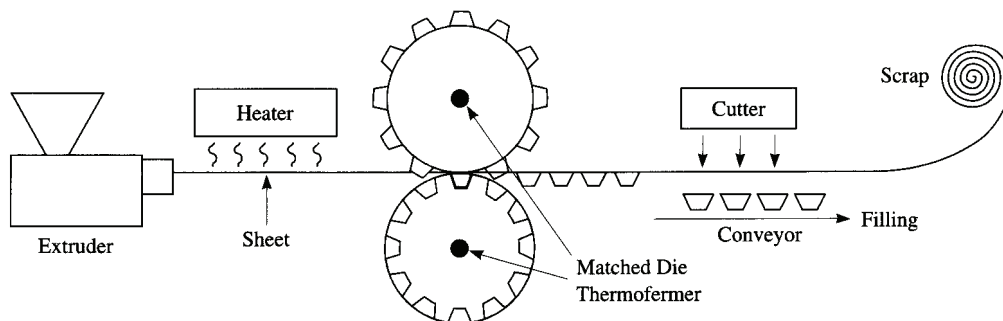
1. bunt sa odgovarajućom folijom (sheet)
2. uređaj za zagrevanje (heating)
3. jedinica za toplo oblikovanje (forming)
4. uređaj za punjenje (filling)
5. uređaj za dodavanje pokrivnog materijala (sealant materijal)
6. uređaj za spajanje tj. lepljenje (sealing)
7. uređaj za sečenje (cutting)
8. uređaj za pakovanje u kutije (packing - boxing)
9. uređaj za odnošenje otpada (scrap)

Jedinice za oblikovanje mora biti takva da omogući oblikovanje jedne ili dve polovine ambalaže ako je to potrebno.

Na slici 14.18a prikazana je rotaciona vakuumska jedinica za toplo oblikovanje folije koja se zagreva grejačem.



(a) Roll feed with continuous thermoforming



(b) Extruder feed with matched die thermoforming

Figure 14.18 Continuous thermoforming.

*Slika 14.18 a) rotaciona vakuumska jedinica za toplo oblikovanje
b) automatska linija za toplo oblikovanje*

Na slici 14.18b prikazana je automatska linija za toplo oblikovanje pomoću dvodelnog alata koji se sastoji od dva točka. Polazni materijal dobija se ekstruzijom. Ova linija koristi se za proizvodnju ambalaže za margarin. Radni ciklus je 2 sekunde tj. kapacitet je 75000 komada na čas.