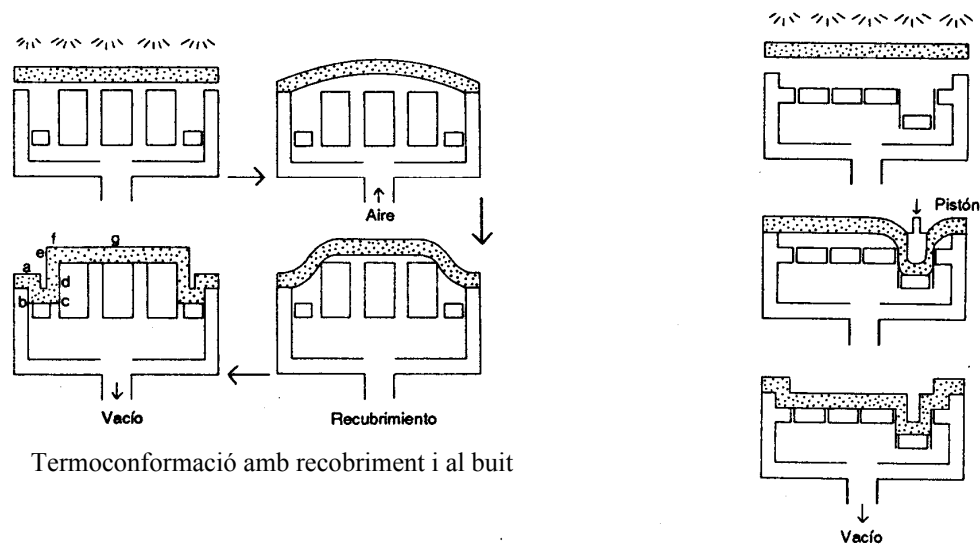


14. TERMOCONFORMACIÓ

Descripció de la tècnica

En la termoconformació s'obliga una làmina calenta de polímer a adoptar la forma d'un motlle obert. El procediment més corrent consisteix a fer el buit entre la làmina i el motlle. En les figures adjuntes podem fer-nos una idea de les variants de la tècnica. El procediment recorda la tècnica del bufatge i, de fet, una gran part de l'anàlisi que segueix es pot aplicar perfectament a ambdues tècniques.

Un cop conformat, s'ha de refredar mentre mantenim la depressió, ja que, si no, la làmina tornaria a la forma inicial. A la temperatura de la conformació la deformació és elàstica.



Termoconformació amb recobriment i al buit

Termoconformació al buit amb ajut de pistó

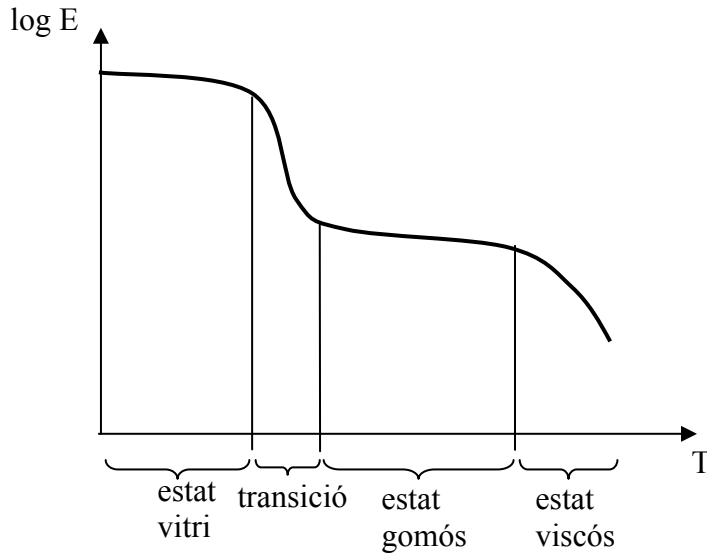
Comportament gomós

Les dues tècniques principals de conformació, la *injecció* i l'*extrusió*, deformen el polímer en l'*estat viscos*. Aquest estat permet la fluència del polímer per cavitats de formes molt complicades. Tanmateix, subsisteix una petita resposta elàstica que es manifesta, per exemple, en l'inflament a la sortida del dau d'extrusió.

El *bufatge* i la *termoconformació* es fan en l'*estat gomós*, en què predomina la resposta elàstica. Això és així perquè la durada del procés de deformació, Δt , és molt menor que el temps de relaxació:

$$\Delta t \ll \tau_{relax}$$

Ho podem analitzar des d'un altre punt de vista, a partir del diagrama E(T) d'un plàstic amorf:



Tornem a analitzar el comportament mecànic del polímer en termes de cabdellament i descabdellament de les cadenes. Ho farem considerant temperatures progressivament inferiors.

T_{alta} – estat viscos:

Sota els esforços aplicats, les cadenes es desplacen relativament les unes sobre les altres. A conseqüència de la fluència tendeixen a orientar-se. Quan desapareix l'esforç, es cabdellen, però sense recuperar la posició inicial. La deformació és permanent.

$T_{intermèdia} > T_g$ – estat gomós:

És el comportament típic de les gomes. Són possibles deformacions importants amb retorn ràpid quan es deixa d'aplicar l'esforç. La deformació és elàstica. Les cadenes només es cabdellen i descabdellen sense desplaçar-se. El retorn a l'estat cabdellat és ràpid perquè la viscositat és baixa.

$T > T_g$ – regió de transició (*leathery behaviour*):

És el comportament típic del PE o PP a temperatura ambient. Les deformacions són recuperables. Tanmateix, quan es deixa d'aplicar l'esforç, el retorn és molt lent. Això s'explica pel fet que la viscositat és elevada, cosa que dificulta el cabdellament de les cadenes.

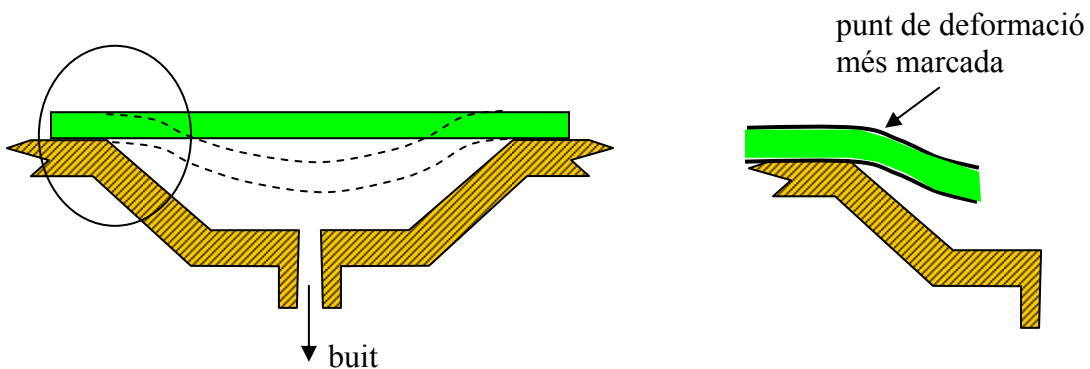
$T < T_g$ – estat vítri:

És el comportament típic del PS a temperatura ambient. Només són possibles petites deformacions elàstiques. La fractura és fràgil. La viscositat és tan elevada que impedeix el descabdellament de les cadenes. Les deformacions impliquen només petits moviments dels àtoms al voltant de la seva posició d'equilibri.

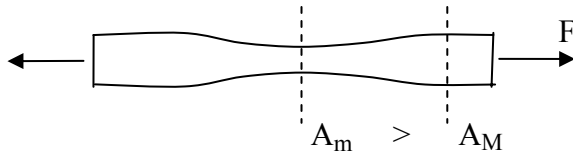
El que hem dit fins aquí és només aproximat. Per exemple, en el comportament gomós es dona una petita deformació irrecuperable. És a dir que, a part de descabdellar-se, les cadenes poden lliscar entre elles (deformació viscosa). Com que la deformació viscosa depèn del temps, com més duris l'esforç aplicat més gran serà la deformació irrecuperable. Dit d'una altra manera, com més lenta sigui la deformació, més important serà la component viscosa. Això no és res més que un altre exemple de la *relació temperatura-temps* en els polímers.

Control de la deformació

La termoconformació dona millors resultats quan la velocitat de deformació és elevada, ja que així es minimitza la deformació viscosa. Veurem ara com, en l'estat viscos, la transformació seria impracticable.



Al punt indicat, la secció disminueix. Si la deformació és 100% viscosa, la làmina s'anirà aprimant en aquest punt amb perill de trencar-se. Vegem-ho:

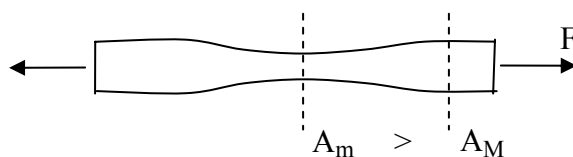


L'esforç és proporcional a la velocitat de deformació, $\sigma = \eta \dot{\epsilon}$, o bé $\frac{F}{A} = \eta \dot{\epsilon}$. Com que la càrrega aplicada, F, es transmet inalterada sobre qualsevol secció, resulta que podem relacionar la velocitat de deformació amb el valor de l'àrea de la secció:

$$\dot{\epsilon}_i = \frac{F}{A_i \eta} \quad (i = M \text{ o } m)$$

En el punt on A és menor, $\dot{\epsilon}$ és més gran i, per tant, s'anirà aprimant fins a la fractura.

La situació és radicalment diferent si la deformació és elàstica.



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{\Delta L_0}$$

Si abans de deformar el perfil era uniforme, una disminució de la secció indica una deformació més gran. Relacionem ΔA amb ε . Com que el volum és $A \cdot L$ i aquest es conserva, resulta que $\Delta(A \cdot L) = \Delta A \cdot L + A \cdot \Delta L$, que ens porta a:

$$L \Delta A = -A \Delta L \quad \text{o bé} \quad \frac{L}{L_0} \Delta A = -A \frac{\Delta L}{L_0}$$

que és aproximadament equivalent a:

$$-\frac{\Delta A}{A} \approx \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon$$

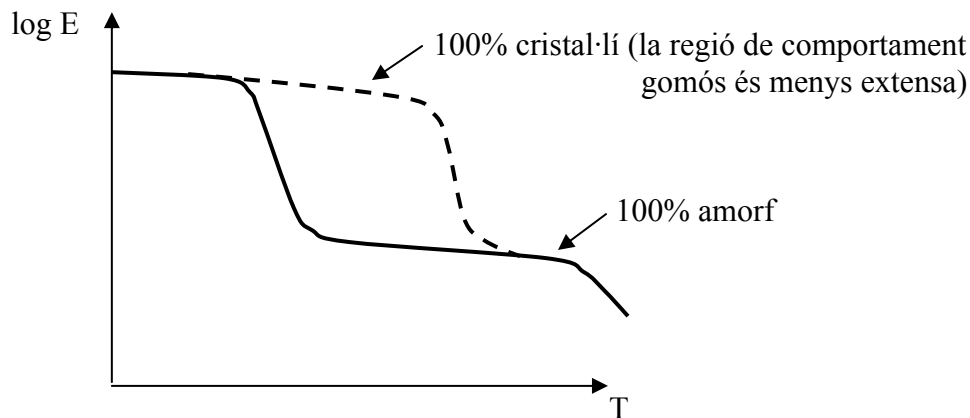
Com que $\Delta A_m > \Delta A_M$, resulta que $\varepsilon_m > \varepsilon_M$ i, atès que la deformació és elàstica, arribem a una relació entre els esforços locals:

$$\sigma_m (= E \varepsilon_m) > \sigma_M$$

Aquesta relació ens diu que al punt de secció menor la tensió més gran obliga el material del costat a deformar-se, i s'igualen així les deformacions i els gruixos.

Materials per a la termoconformació

Els materials ideals per a la termoconformació són els amorfs, la qual cosa es pot veure en el diagrama E(T):



És una tècnica ideal, per tant, per al PVC, el PS, el PMMA, l'ABS, etc. Tanmateix, també s'aplica amb èxit a plàstics semicristal·lins com el PP.

Orientació i condicions del processament

Les peces presenten una orientació de les cadenes en la direcció de deformació. *Durant la deformació*, aquesta orientació serà més marcada quan:

- a) la velocitat de deformació sigui més elevada
 - b) la temperatura sigui més baixa
- } component elàstica
} més elevada

Aquesta orientació es mantindrà a la peça acabada si refredem ràpidament.