

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ РЕАКТОПЛАСТОВ

Литье под давлением реактопластов – более прогрессивный метод по сравнению с компрессионным и литьевым прессованием, но **требует наличия материалов с меньшей вязкостью и более длительным временем вязкотекучего состояния.**

Специфика переработки реактопластов - не только процессы массопереноса и теплообмена, но и **химических взаимодействий**, ведущих к образованию трехмерной сетчатой структуры.

Более **жесткие** требования к **выполнению технологических условий** литья, прежде всего, температурно-временных параметров процесса, а также **исключению возможности образования застойных зон** в материальном цилиндре литьевой машины

Оборудование: плунжерные и червячные литьевые машины

Режимы - инъекционный и интрузионный

ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ:

Размер гранул: от 0,25 до 1,0 мм. **Меньше 0,16 мм** - попадание частиц материала в зазор между гребнем шнека и цилиндром. **Более 1 мм** – увеличение анизотропии свойств изделий.

Содержание влаги и летучих: от 2 до 4 %. **Меньше 2%** - ухудшается текучесть материала. **Более 4 %** - снижаются диэлектрические, физико-механические показатели, возрастает пористость изделий, усадка, коробление.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА литьевых реактопластов (пластометр Канавца):

- время вязкопластичного состояния (при 120°C для всех типов сырья) ;
- время отверждения (при 170°C для фенопластов и 150°C для аминопластов);
- вязкость материала на стадии вязкопластичного состояния (при 120°C для всех типов сырья).

Три группы материалов по технологическим свойствам:

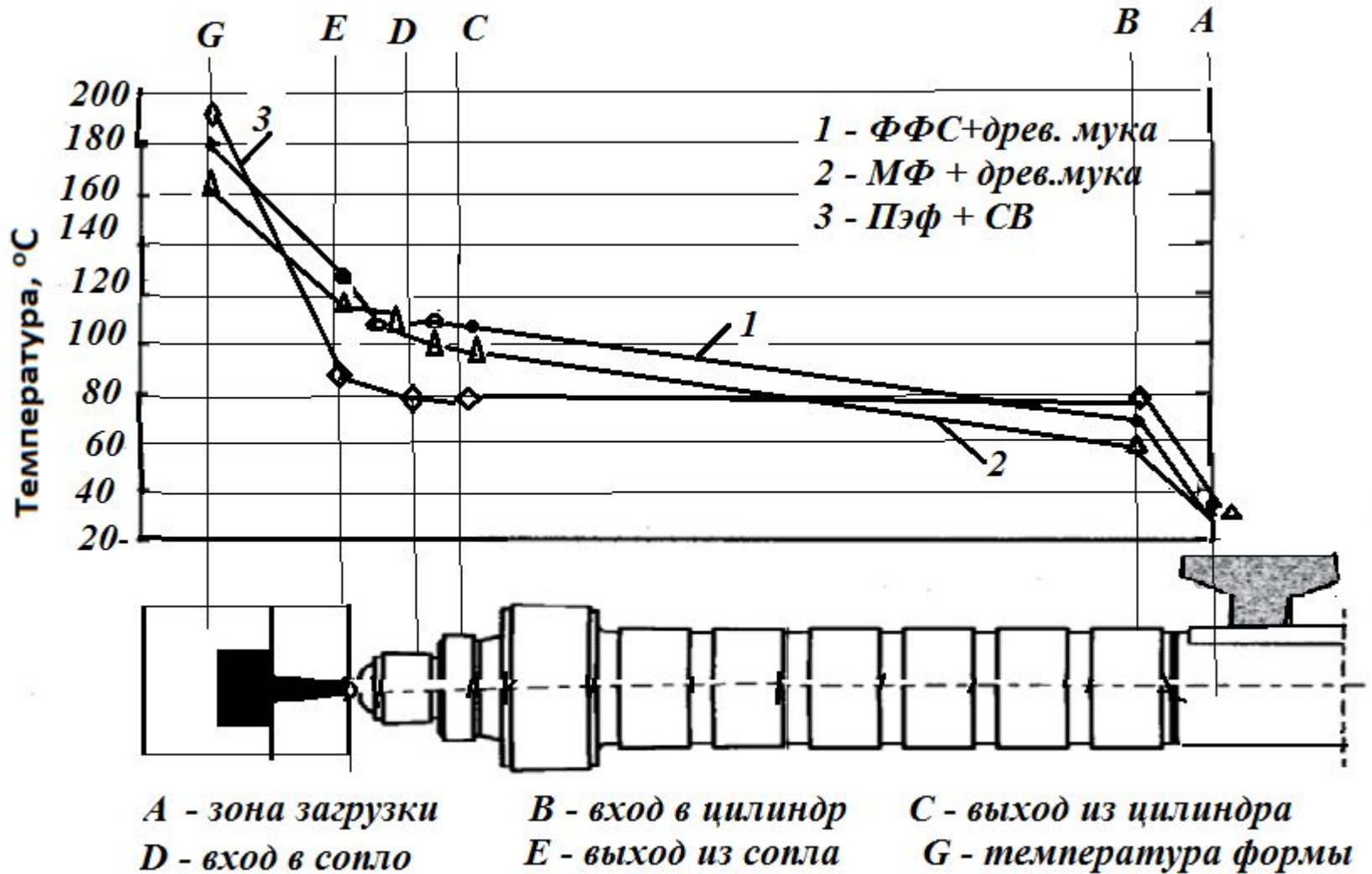
Группа	Вязкость в вязкопластичном состоянии, Па*с	Время вязкопластичного состояния, с
I	$(2 \div 6)10^4$	20 - 140
II	$2*10^3 \div 2*10^4$	40 - 140
III	$2*10^3 \div 10^4$	60 - 140

Материалы I группы - переработка **на плунжерных** литьевых машинах;

Материалы II группы переработка **на червячных** машинах с незапирающимся соплом и объемом пластикационного цилиндра до 250 см^3 ;

Материалы III группы реактопласгавтоматы с объемом пластикации $> 250 \text{ см}^3$, снабженные запорными устройствами, предотвращающими утечку материала при впрыске.

ПРОФИЛЬ ТЕМПЕРАТУР ПО ЗОНАМ ЦИЛИНДРА И В ФОРМЕ



ФОРМОВАНИЕ

Завершение времени вязкопластичного состояния интенсифицирует процессы химического взаимодействия, быстро нарастает вязкость материала и теряется текучесть, т. е. формуемость .

Транспортировка к формирующей полости и **заполнение** формирующей полости материалом **должна** происходить **в течение времени** вязкопластичного состояния перерабатываемого реактопласта.

Пластикация материала :

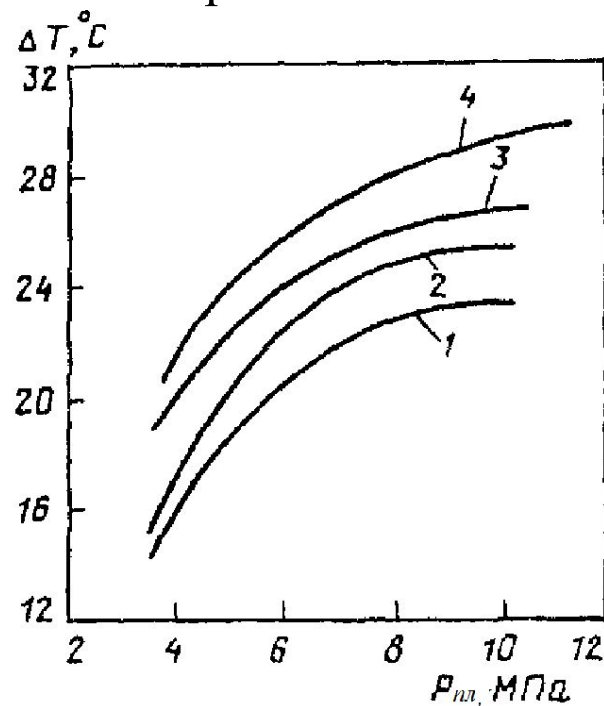
Зависимость прироста температуры реактопласта ΔT от давления пластикации

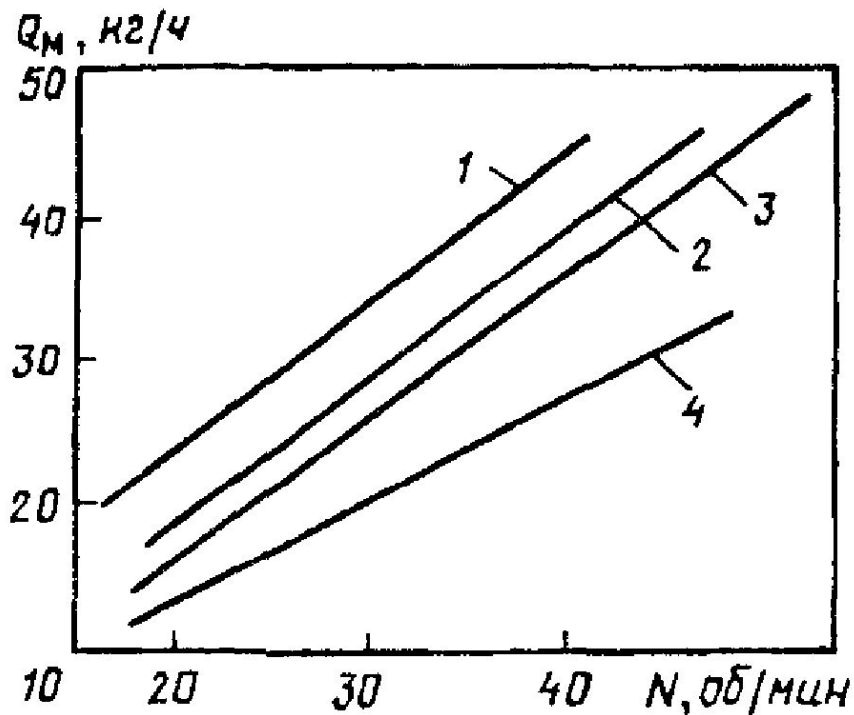
$P_{пл}$.

Частота вращения шнека (об/мин):

1 - 15; 2 - 25; 3 - 35; 4 - 45.

С ростом $P_{пл}$ и N увеличивается ΔT





Зависимость пластикационной производительности литьевой машины $Q_{пл}$ от частоты вращения шнека N ;

$P_{пл}$ (МПа): 1- 3,5; 2 - 5,4; 3 - 8,6; 4-12

Рост N ведет к росту $Q_{пл}$

Рост $P_{пл}$ ведет к снижению $Q_{пл}$

Технологические параметры на стадии пластикации устанавливаются таким образом, чтобы на выходе из цилиндра температура материала не превышала **80—100 °С**.

Дозирование материала :

Доза материала должна **соответствовать объему впрыска**, для исключения отверждения материала в цилиндре .

Ход шнека не более двух-трех $D_{шн.}$

Впрыск подготовленной дозы в форму :

ΔP «сопло-форма» \gg , чем для термопластов из-за высокой вязкости, поэтому T_m при поступлении в форму $>$, чем T_r перед соплом на 15 - 20 °С. *Чем $> T_{m \text{ впр}}$, тем $< \Delta V$ при T_m до T_f*

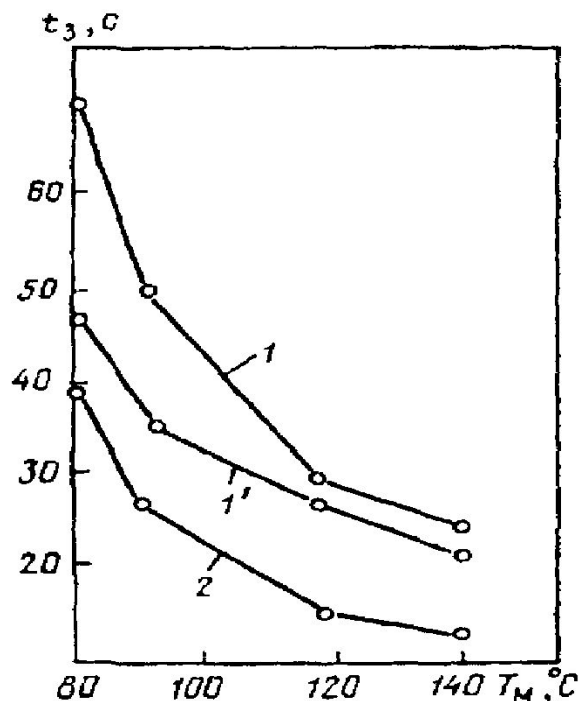
Время заполнения формы : $f(V_{\text{впр ср.}})$

$V_{\text{впр ср.}} = f(P_l, \eta, \text{сопротивл. ходу шнека})$

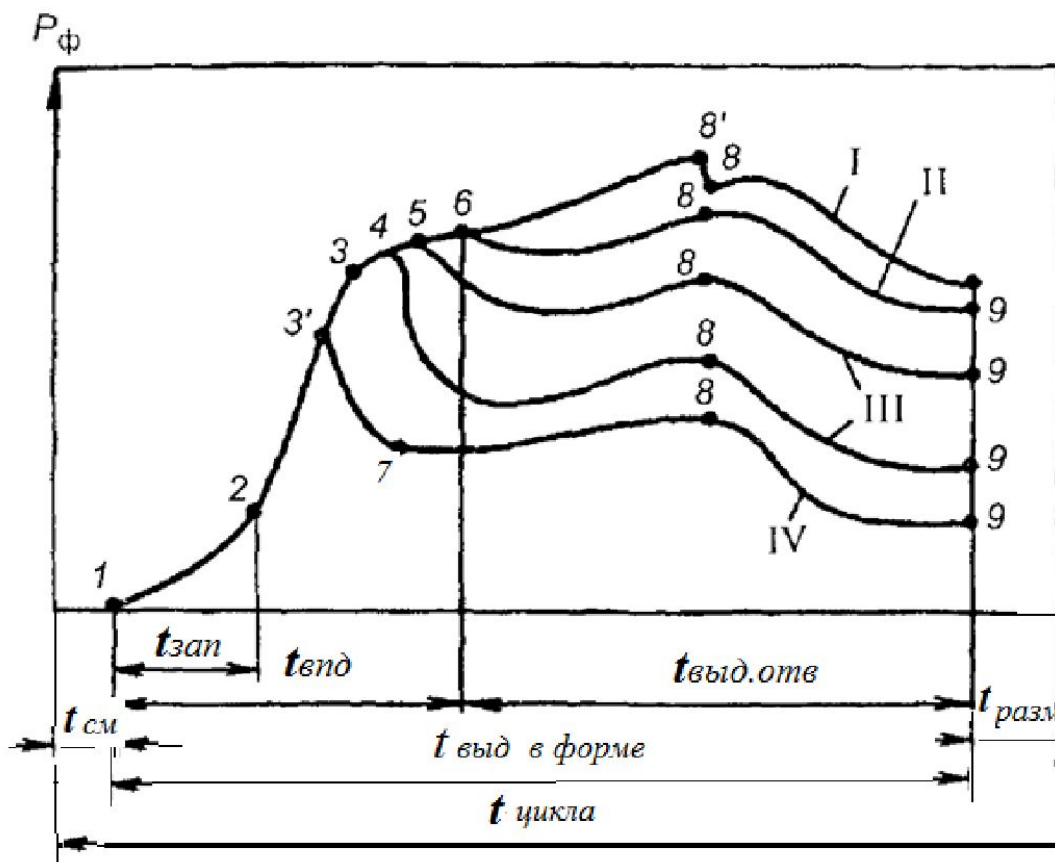
Зависимость времени заполнения формы $t_{\text{зап}}$ от температуры расплава на входе в форму T_m при температуре формы T_f : 145 (1 и 2) и 165 °С (1'), и давлении литья P_l , равном 43 (1и1') и 56 МПа (2).

Чем выше T_f , тем меньше $t_{\text{зап}}$.

Чем выше P_l , тем меньше $t_{\text{зап}}$.



ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ФОРМЕ В ТЕЧЕНИЕ ЦИКЛА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ РЕАКТОПЛАСТА



1—3 - заполнение формы и уплотнение расплава

3'-7 -частичное размыкание

полужою, облой
4, 5 - мало $t'_{впд}$ - истечение материала из полости формы

Т. 6, кривые I и II - конец выдержки под давлением

6-8 -расширение из-за прогрева

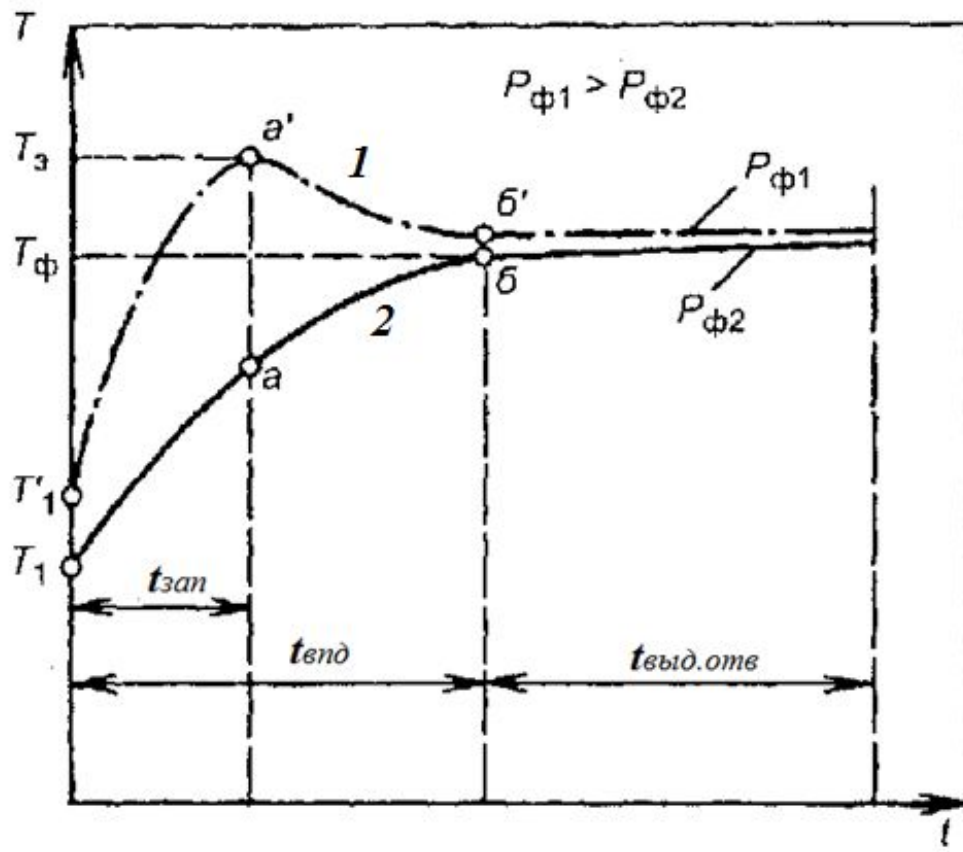
8-9 - усадка в рез. отверждения

8-8' - $F_φ > F_{см}$, раскр. формы

Т.9 - $P_φ =$

I - ход кривой при недостаточном усилии смыкания на стадии выдержки на отверждение; II - при нормальном проведении процесса литья; III - при малой длительности выдержки под давлением; IV - при недостаточном усилии смыкания на стадии уплотнения расплава в форме при выдержке под давлением.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕАКТОПЛАСТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ФОРМЕ, В ТЕЧЕНИЕ ЦИКЛА



Нагрев материала за счет:

- 1) теплопроводности от стенок горячей формы,
- 2) диссипативных потерь в результате вязкого течения и
- 3) теплового эффекта реакции отверждения.

1 – литье при повышенных $P_{л}$ и $T_{р}$
2 - литье при низких $P_{л}$ и $T_{р}$

Выдержка под давлением

После $t_{\text{зап}}$ формы расплавом $t_{\text{впд}}$. Материал нагнетается в форму и $P_{\text{ф}}$. ↑

$$t_{\text{впд}} = f(t_{\text{отв в литнике}}).$$

При большой $\delta_{\text{изд}}$ $t_{\text{отв литника}} < t_{\text{отв изделия}}$, а $t_{\text{впд}} = f(\text{времени текучести материала в литнике})$

При малой $\delta_{\text{изд}}$ $t_{\text{отв литника}} > t_{\text{отв изделия}}$, а $t_{\text{впд}} = f(\text{времени текучести материала в форме})$

После отверждения материала в литниковой системе и прекращения течения сопло отводится от формы.

Выдержка на отверждение в форме ($t_{\text{выд.отв}}$)

Масса изделия постоянна. На этой стадии обеспечивается необходимая и одинаковая по всему объему изделия степень отверждения.

($t_{\text{выд.отв}}$) завершается при достижении материалом определенной степени отверждения.

Изделия общетехнического назначения из фенопластов до $\sigma_{\text{сдв}} = 6$ МПа, из аминопластов до $\sigma_{\text{сдв}} = 4$ МПа. Изделия электротехнического назначения требуют $< t_{\text{выд.отв}}$.

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ РЕАКТОПЛАСТОВ

Температура материала на выходе из шнека T :

$$T_1 = T_{\text{ц}} + aN + bP, \quad \text{где } T_{\text{ц}} - \text{температура цилиндра, } ^\circ\text{C}; N - \text{частота вращения шнека, об/мин; } P_{\text{пл}} - \text{давление пластикации, МПа; } a, b - \text{константы}$$

Давление в гидроцилиндре литьевой машины на стадии впрыска

$$(P_{\text{впр}}): \quad P_{\text{впр}} = \Sigma\Delta P_{\text{с}} + \Sigma\Delta P_{\text{л}} + P_{\text{ф}} \quad (P_{\text{ф}} \sim 50 \text{ МПа):}$$

Температура материала после заполнения формы T_3 :

$$T_3 = T_1 + \frac{\Sigma\Delta P_{\text{с}} + \Sigma\Delta P_{\text{л}}}{c_p \rho},$$

где T_1 — температура материала в зоне дозирования цилиндра, К; $\Delta P_{\text{с}}$ и $\Delta P_{\text{л}}$ - потери давления в каналах сопла и в литниках, МПа; c_p и ρ — удельная теплоемкость и плотность материала при T_1

Длительность выдержки под давлением ($t_{впд}$):

$$t_{впд} = K_B (t_{отв. пл} - t_{нагр. пл}) e^{\beta(T_{пл} - T_3)},$$

где $t_{отв. пл}$ – по пластометру Канавца, с; $t_{пл}$ - время нагревания материала в пластометре Канавца до температуры отверждения $T_{отв}$, с;

β - температурный коэффициент для перерабатываемого материала, учитывающий влияние температуры на длительность отверждения,

$T_{пл}$ - температура измерительной камеры пластометра, °С;

$K_B = 0,5- 0,6$, учет степени отверждения материала в литнике.

Длительность выдержки на отверждение ($t_{выд. отв.}$):

Если $T_m \approx T_f$:

$$t_{выд отв} = K_B (t_{отв. пл} - t_{нагр. пл}) e^{\beta(T_{пл} - T_f)} - t_{впд},$$

Если $T_m < T_f$:

$$t_{\text{выд отв}} = \frac{1}{K_2} \frac{\delta^2}{4a} \ln \left(K_1 \frac{T_f - T_0}{T_f - T_u} \right) + \\ + (t_{\text{отв. пл}} - t_{\text{нагр. пл}}) e^{\beta(T_{\text{пл}} - T_f)}$$

где K_1 и K_2 - учет формы изделия; δ - толщина стенки формуемого изделия, м;
 a -- коэффициент температуропроводности материала при $T = (T_0 + T_f)/2$, м²/с;
 T_f , T_0 , $T_{\text{пл}}$, T_u -- температуры формы, материала на входе в форму, камеры
пластометра при стандартных испытаниях и в центре изделия к моменту начала
отверждения соответственно, °С;

Рекомендуется $T_u = T_f - 20$.

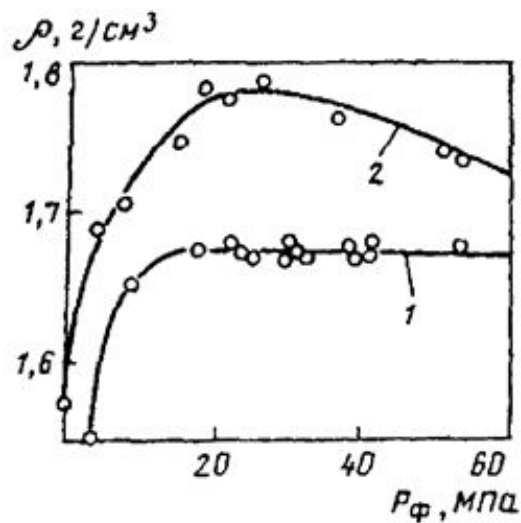
Время цикла литья под давлением:

$$t_{\text{цикла}} = t_{\text{выд}} + t_{\text{маш}} + t_{\text{паузы}}$$

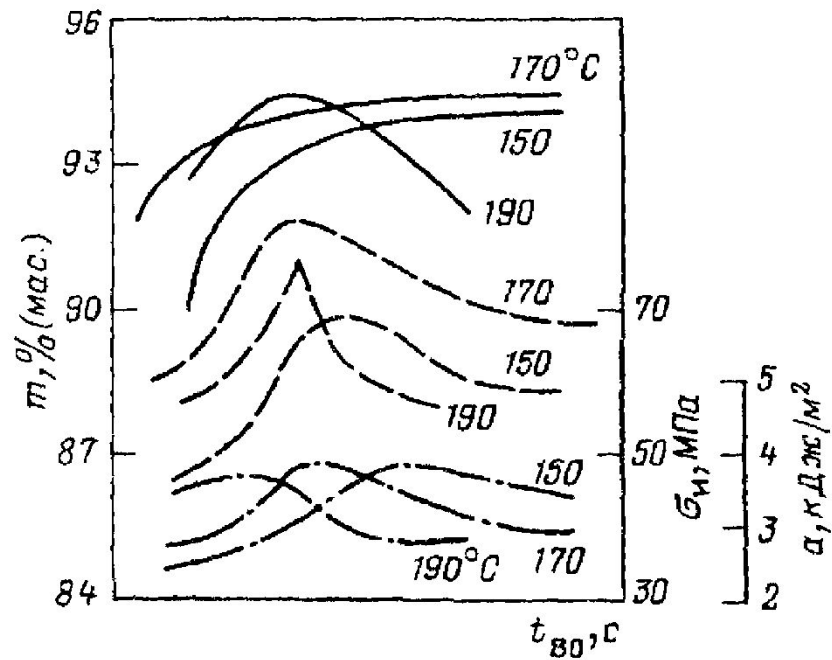
Усилие смыкания формы $F_{\text{см}}$: $F_{\text{см}} = P_{\text{ф}}(S_{\text{изд}}^n + S_{\text{л}})$,

где $P_{\text{ф}}$ — давление в форме, МПа; n — число гнезд в форме;

$S_{\text{изд}}$ и $S_{\text{л}}$ — площади проекции изделия и литников, м^2 .



Зависимость плотности материала в изделии ρ от давления в форме $P_{\text{ф}}$:
1 — для ФКПМ-15Т; 2 — для АГ-4В



Зависимость содержания нерастворимых продуктов m (—), разрушающего напряжения при изгибе $\sigma_{\text{н}}$ (---), ударной вязкости a (—·—) для материала 03-010-02 от продолжительности отверждения