



In the article there are examined the questions of receiving of the critical details slugs by cast under pressure in heavy conditions, when overchargings run up to 100 g. There is examined heat interaction of casting and mould, allowing to choose the technological parameters, providing high quality of castings.

С. И. ПЕРЕБОРЩИКОВ, ФГУП «ГНПП «Слав», Россия

УДК 621.74

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦОТЛИВОК ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Детали ответственного назначения типа «переходник» работают в тяжелейших условиях, когда перегрузки достигают 100g [1]. Детали имеют сложную форму (рис. 1) в виде полого тонкостенного цилиндра с перекрывающей внутреннее пространство консольной крышкой для крепления точных приборов. Толщины стенок, бобышек, фланцев составляют от 3 до 10 мм. Учитывая массовую потребность в таких деталях при минимальной механической обработке, наиболее рациональный способ их получения — литье под давлением (ЛПД).

Тепловое взаимодействие отливки и формы для ЛПД, при котором между ними находится тончайший слой разделительной смазки ϵ , записывается уравнением [2]:

$$q_0(t) = -\lambda_\epsilon \frac{\partial T_\epsilon(x_0, t)}{\partial x}, \quad (1)$$

где λ_ϵ — коэффициент теплопроводности разделительной смазки; T_ϵ — температура разделительного слоя краски: $T_\epsilon = T_n + T_n$.

Температурное поле в отливке «переходник — форма» показано на рис. 2.

Материал отливки — алюминиево-кремнистый сплав АК12 (Si = 10%). Температура затвердевания отливки — 690°C, температура выбивки — 300°C, продолжительность затвердевания — 37 с.

Снижение температуры отливки можно рассчитать по формулам

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_{\text{зал}} - T_n = 690 - 590 = 100^\circ\text{C}, \\ \Delta T_2 &= T_n - T_c = 590 - 577 = 13^\circ\text{C}, \\ \Delta T_3 &= T_c - T_{\text{уд}} = 577 - 300 = 277^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (2)$$

Соответственно время охлаждения отливки

$$\tau_{\text{охл}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (3)$$

где τ_1 — время от $T_{\text{зал}}$ до T_n , с; τ_2 — время кристаллизации в интервале $(T_n - T_c)$, с; τ_3 — время охлаждения отливки из пресс-формы от T_c до $T_{\text{уд}}$, с.

Длительность периодов охлаждения и тепловой расчет проводили, используя [2, 3]:

$$\tau_1 = -\frac{G_{\text{отл}} c_{\text{ж}}}{\alpha_{\text{отл}} F_{\text{отл}}} \ln \frac{(T_n - T_c)}{(T_{\text{зал}} - T_{\text{ср.к}})}, \quad (4)$$

$$\tau_2 = -\frac{G_{\text{отл}} c_{\text{эф}}}{\alpha_{\text{отл}} F_{\text{отл}}} \ln \frac{(T_c - T_{\text{ср.к}})}{(T_n - T_{\text{ср.к}})}, \quad (5)$$

$$\tau_3 = -\frac{G_{\text{отл}} c_{\text{тв}}}{\alpha_{\text{отл}} F_{\text{отл}}} \ln \frac{(T_{\text{уд}} - T_{\text{ср.к}})}{(T_c - T_{\text{ср.к}})}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{отл}}$ — коэффициент полной теплоотдачи от отливки к форме через слой смазки, Вт/(м²·К); $F_{\text{отл}}$ — площадь поверхности соприкосновения отливки с пресс-формой, м²; $T_{\text{ср.к}}$ — средняя калориметрическая температура контакта (принимается равной температуре отливки), °С.

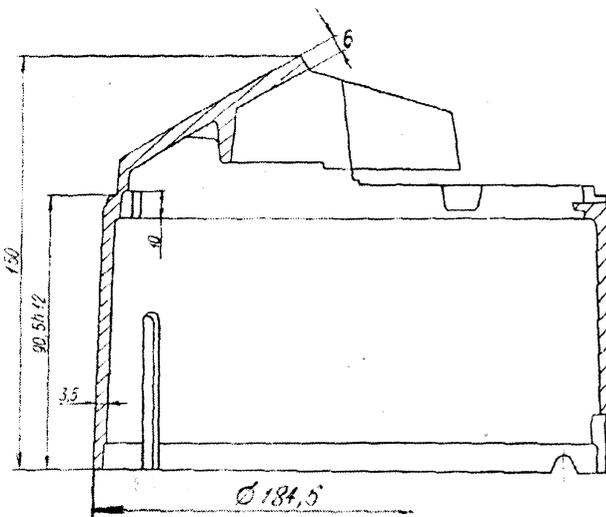


Рис. 1. Схема детали «переходник»

При литье под давлением основным режимом заполнения полости формы жидким металлом служит дисперсионный, характеристикой которого является скорость течения металла в питателях. Наибольшая плотность отливки достигается, когда поток металла заполняет рабочую полость от места удара струи в дальней точке, а затем последовательно вытесняет газозаполненную смесь вплоть до литникового хода. При этом затвердевание отливки идет также направленно от дальней точки к литниковому ходу. Важно, чтобы для получения сплошности металл в литниковом ходу затвердевал в последнюю очередь.

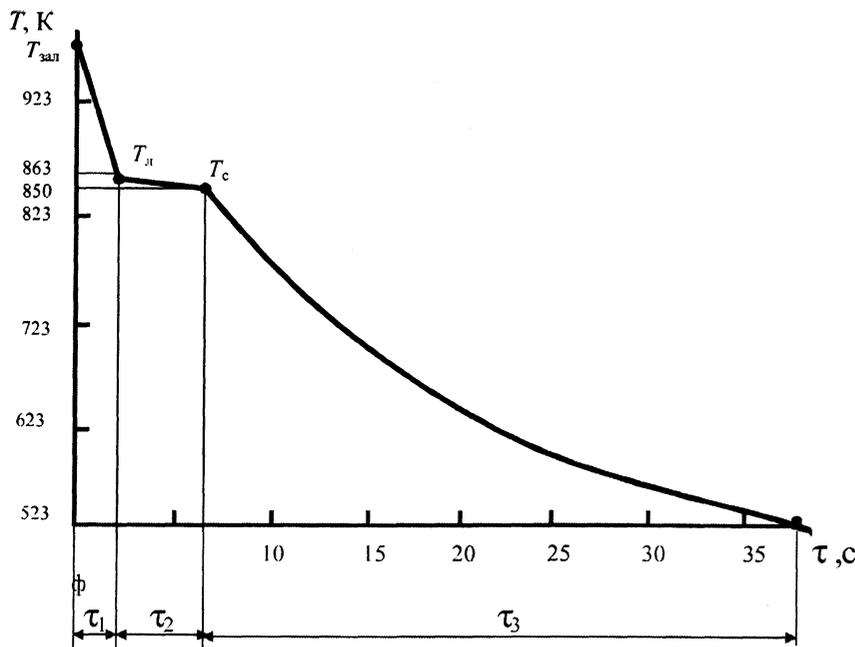


Рис. 2. Схема температурного поля в отливке «переходник» и литейной форме

Коэффициент теплоотдачи от отливки к форме через слой смазки рассчитывали по формуле:

$$\alpha_{отл} = \frac{\lambda_{см} (T_{зал} - T_{пр})}{\varepsilon (T_{зал} - T_{ср.к})}, \quad (7)$$

где $\lambda_{см}$ — коэффициент теплопроводности смазки, Вт/(м·К); ε — толщина слоя смазки, м.

Среднюю калориметрическую температуру контакта определяли из выражения:

$$T_{ср.к} = \frac{T_{зал} + \frac{L}{c_ж} + nT_{пр}}{1 + n}, \quad (8)$$

где L — удельная теплота кристаллизации, Дж/(кг·К); n — безразмерный коэффициент, определяемый по формуле:

$$n = \frac{G_{ф} c_{ф}}{G_{отл} c_{ж}}, \quad (9)$$

где $G_{ф}$ — масса формообразующих элементов пресс-формы, кг; $c_{ф}$ — удельная теплоемкость материала формообразующих элементов, Дж/(кг·К); $c_{ж}$ — удельная теплоемкость расплава, Дж/(кг·К); $G_{отл}$ — масса отливки, кг.

Количество теплоты, получаемой пресс-формой от отливки за время одного цикла:

$$\sum Q_{под} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (10)$$

где Q_1 — теплота перегрева металла в интервале температура заливки — температура ликвидуса, Дж; Q_2 — теплота кристаллизации в интервале температура ликвидуса — температура солидуса, Дж; Q_3 — теплота при охлаждении отливки в интервале температура солидуса — температура выбивки отливки, Дж.

Количество теплоты, отдаваемой пресс-формой:

$$\sum Q_{отд} = Q_4 + Q_5, \quad (11)$$

где Q_4 — количество теплоты, отдаваемой наружными поверхностями пресс-формы, Дж; Q_5 — количество теплоты, отдаваемой с поверхностей разъема пресс-формы в момент раскрытия, Дж.

Составляющие теплового баланса могут быть определены по формулам:

$$Q_1 = G_{отл} c_{ж} (T_{зал} - T_{ликв}), \quad (12)$$

$$Q_2 = G_{отл} c_{эф} (T_{ликв} - T_{сол}), \quad (13)$$

$$Q_3 = G_{отл} c_{тв} (T_{сол} - T_{уд}), \quad (14)$$

где $c_{эф}$ — эффективная теплоемкость, Дж/(кг·К); $c_{тв}$ — теплоемкость твердого сплава, Дж/(кг·К); $T_{зал}$, $T_{ликв}$, $T_{сол}$, $T_{уд}$ — температура заливки, ликвидуса, солидуса сплава и температура извлечения

(удаления) отливки из пресс-формы, °С.

Эффективную теплоемкость находили по выражению:

$$c_{эф} = \frac{c_{тв} + c_{ж}}{2} + \frac{L'}{T_{ликв} - T_{сол}}, \quad (15)$$

где L' — скрытая теплота кристаллизации, Дж/(кг·К).

Для расчета Q_4 и Q_5 используем выражения:

$$Q_4 = F_{с} \alpha_1 \tau_{ц} (T_{пр} - T_{ср}), \quad (16)$$

$$Q_5 = K_{Г} F_{р} \alpha_2 \tau_{р} (T_{раб} - T_{ср}), \quad (17)$$

где $F_{с}$ — площадь наружной поверхности пресс-формы, м²; α_1 — коэффициент теплоотдачи с поверхности пресс-формы, Вт/(м²·К); $T_{пр}$ — температура наружной поверхности пресс-формы, °С, которую при стабильном технологическом процессе можно принять равной начальной температуре нагрева пресс-формы: $T_{пр} = T_{н} \sim 250$ °С; $T_{ср}$ — температура окружающей среды: $T_{ср} = 15-35$ °С; $K_{Г}$ — коэффициент, учитывающий характер и поверхности отливки: $K_{Г} = 1,5$ — для сложных деталей типа «переходник», «стойка» и др; $\tau_{ц}$ — время цикла, с; $F_{р}$ — площадь поверхности разъема, м²; α_2 — коэффициент теплоотдачи с поверхности разъема, Вт/(м²·К); $\tau_{р}$ — время раскрытия пресс-формы, с; $T_{раб}$ — температура рабочей (формообразующей) поверхности пресс-формы в момент раскрытия, °С.

Коэффициенты теплоотдачи конвекцией α_1 , α_2 рассчитывали по формуле:

$$\alpha = C(\text{PrGr})^m \frac{\lambda_{в}}{H}, \quad (18)$$

где C , m — постоянные, величины которых зависят от характера движения охлаждающего потока

воздуха (ламинарный или турбулентный), принимаем $C=0,4$, $m=0,3$; λ_b – коэффициент теплопроводности воздуха при 20°C , Вт/(м·К); H – высота охлаждаемой поверхности пресс-формы, м; Gr , Pr – соответственно критерии Грасгофа и Прандтля.

Критерии Pr и Gr определяли по выражениям:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}, \quad (19)$$

$$Gr = \frac{gH^3}{\nu} \beta(T_n - T_{cp}), \quad (20)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха при $T=20^\circ\text{C}$, м²/с; α – коэффициент теплопроводности воздуха при $T=20^\circ\text{C}$, Вт/м²·К; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; β – коэффициент объемного расширения воздуха, 1/°C; T_n – температура охлаждаемой поверхности, °C.

На основании приведенной схемы выполнен расчет охлаждения отливок в пресс-форме и с учетом особенности выбора литниковых систем разработаны и внедрены технологии литья под давлением из алюминиевых сплавов АК12, АК8М сложных по конфигурации спецотливок: «переходник» (рис. 3, а), «обойма» (рис. 3, б), «толкатель», «стойка» (рис. 3, в) и др. массой от 0,1 до 2,1 кг на машинах с холодной горизонтальной камерой прессования с давлением прессования 40–60 МПа. Отливки подвергаются механической обработке только по посадочным поверхностям, припуск на обработку составляет 0,5–0,8 мм.

Таким образом, отработаны и внедрены на заводах более 14 технологий литья под давлением спецотливок.

Литература

1. Переборщиков С. И. Разработка научных основ и технологий промышленного производства специальных за-

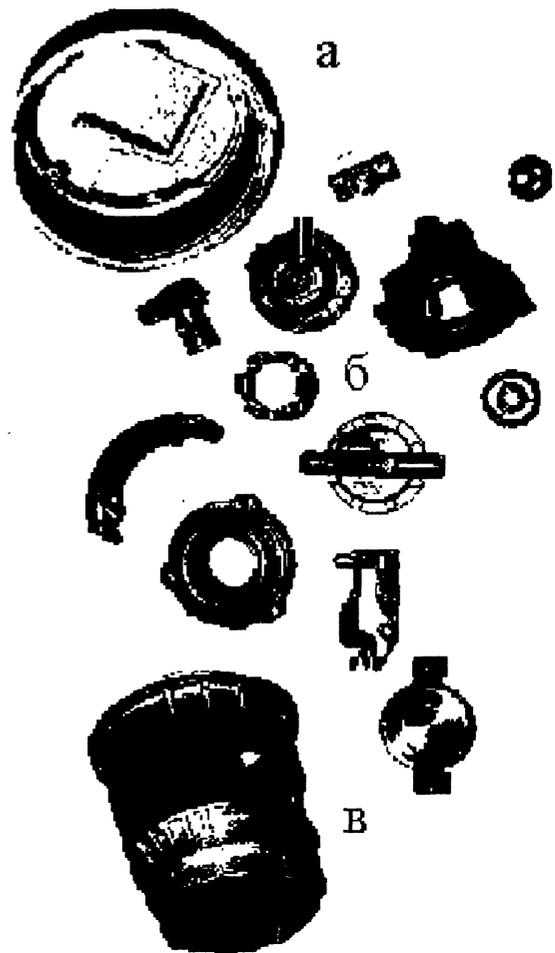


Рис. 3. Спецотливки, получаемые литьем под давлением: а – переходник; б – обойма; в – стойка

готовок // Тр. пятого съезда литейщиков России. М., 2001. С. 373–374.

2. Баландин Г. Ф. Теория формирования отливки. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1998.

3. Жуков А. А., Березин Д. Т. Расчет теплового баланса пресс-форм литья под давлением // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. № 1. С. 9–13.