

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.762:539.4.014

Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е.

РАСЧЕТ ЗАГОТОВКИ ПОРШНЯ ИЗ ОБЪЕМНОГО НАНОСТРУКТУРНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕДИ ДЛЯ МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация. Предложена методика определения геометрических параметров заготовки поршня для машин литья под давлением на основе прочностного расчета поршня при одновременном воздействии на него силовых нагрузок, высокой температуры и сил трения. По полученным выражениям произведен расчет минимально допустимых значений толщины стенки трубчатой части и днища поршня при разных его наружных диаметрах для случая, когда поршень изготовлен из жаропрочного и износостойкого объемного наноструктурного материала системы Cu-Al-C-O.

Ключевые слова: поршень, машины литья под давлением, порошковая металлургия, объемный наноструктурный материал, расчеты, заготовка, стенка поршня, днище поршня.

Поршень (плунжер) является одной из наиболее быстроизнашиваемых и ответственных деталей машин литья под давлением [1-3]. Выталкивая порцию расплава из литниковой втулки в камеру прессования и далее в пресс-форму, он работает при экстремальных условиях, обуславливаемых одновременным воздействием на него больших удельных нагрузок, высокой температуры и значительных сил трения его по камере прессования [2,4-9]. В частности, для получения плотных отливок из алюминиевых сплавов необходимо обеспечить давление прессования 35-85 МПа при температуре расплава, достигающего 720°C [3,8-13]. Давление прессования, потребное для получения отливок из медных сплавов, возрастает до 120 МПа (при температуре расплава, например латуни, 960°C) и в некоторых случаях может достигать 900 МПа [2,5].

В работах [14-16] показано, что наибольшим ресурсом обладают поршни машин литья под давлением и другие детали машин и механизмов, подвергаемые воздействию больших силовых и температурных нагрузок, а также трению, когда они изготавливаются из объемных наноструктурных материалов системы Cu-Al-C-O [14-21] и, в частности, из материала С16.104 ДИСКОМ®, который получают с использованием метода реакционного механического легирования в атриторах и технологий порошковой и гранульной металлургии. Как правило, поршни из такого материала изготавливаются механической обработкой горячепрессованного прутка со значительными отходами этого материала в виде стружки. Поэтому получение поршня из предварительно изготовленной методом объемного деформирования заготовки, по форме и размерам

максимально приближающейся к поршню, является актуальной задачей, решению которой должна способствовать настоящая работа.

Для разработки чертежа требуемой заготовки поршня с заданным наружным диаметром D необходимо, прежде всего, определить толщину его стенки S_c и толщину днища S_d (рис.1,а) при воздействии на него всех указанных выше факторов, силовая составляющая которых представлена на рис. 1,б. Очевидно, что для определения геометрических параметров заготовки такого поршня необходимо полученные при расчете поршня значения D , S_c и S_d увеличить на соответствующие значения припусков и после этого назначить требуемые допуски на механическую обработку.

При проведении расчетов были приняты допущения, что подпор (давление) жидким металлом при его прессовании поршнем p , контактное давление между поршнем и камерой прессования σ_k и напряжение τ , обусловленное силой трения N , возникающего в сопряжении поршня с камерой прессования, распределены по поверхностям, по которым они действуют, равномерно (см. рис. 1,б).

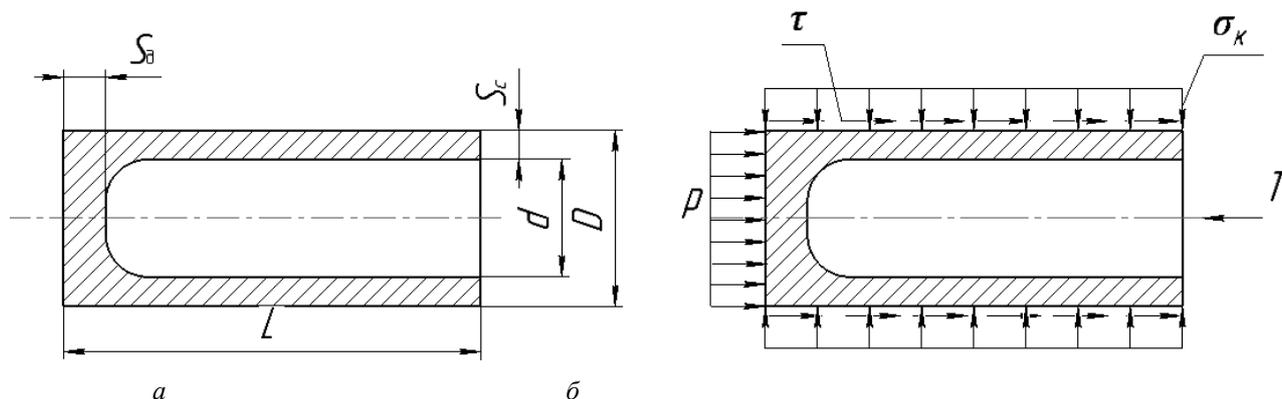


Рис. 1. Эскиз поршня (а) и схема его нагружения (б)

При движении поршня он преодолевает сопротивление не только подпора прессуемого металла P , но и сопротивление силы трения N , направленной так же, как и сила подпора, встречно силе прессования T (см. рис. 1,б). Для обеспечения движения поршня, т.е. для обеспечения прессования им металла в жидком состоянии необходимо, чтобы выполнялось условие

$$P + N < T. \quad (1)$$

Здесь сила трения может быть определена по формуле

$$N = \tau \cdot F_{\text{тр}} = \tau \cdot \pi \cdot D \cdot L, \quad (2)$$

но она может быть выражена также через контактное давление σ_k

$$N = f \cdot \sigma_k \cdot \pi \cdot D \cdot L, \quad (3)$$

где L - общая длина поршня;

f - коэффициент трения пары «поршень – камера прессования».

Из источника [8] известно, что расчетное контактное давление σ_k в сопряжении «поршень-камера прессования» при отсутствии холодного зазора между камерой прессования и плитой машины литья под давлением составляет 255 МПа, а при холодном зазоре, равном 0,16 мм, контактное давление будет снижаться до 104 МПа. При таком контактном давлении, согласно [8], сила трения в сопряжении «поршень-камера прессования» при нормальном холодном зазоре между камерой прессования и плитой машины, равном 0,16 мм, диаметре поршня 110 мм длиной 135 мм составляет $N = 1,914$ МН. Подставив эти данные в (3), получим, что коэффициент трения указанного трибосопряжения составляет 0,39. Столь высокое значение коэффициента трения свидетельствует о чрезвычайно тяжелом взаимодействии указанных элементов трибосопряжения друг с другом, граничащим с ситуацией возможного «заедания».

Для решения задачи был применен метод суперпозиции, согласно которому результат воздействия на тело системы сил равен сумме результатов воздействия отдельных составляющих этой системы, прикладываемых к телу последовательно и в любом порядке [22]. В соответствии с этим поршень был разбит на два простейших элемента: на днище в виде диска и стенку поршня в виде трубы, схемы нагружения которых приведены на рис. 2.

При нагружении диска (рис.2,а) контактным давлением σ_k , равномерно распределенным по его наружной поверхности на длине S_d диаметром D , элементарный объем, выделенный из диска поперечными, цилиндрическими и осевыми сечениями, будет находиться в объемном напряженном состоянии; при этом радиальные σ_r и тангенциальные σ_θ напряжения равны между собою и одинаковы во всех точках диска:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = -\sigma_k. \quad (4)$$

Для определения действующих в диске осевых нормальных напряжений σ_z было составлено уравнение его равновесия при действии на него давления подпора металла p , поверхностных касательных напряжений трения τ (выраженных через контактное давление σ_k) и внутренних напряжений $p_{д-с}$, являющихся реакцией на отчленение от диска трубчатой части поршня, откуда было получено

$$p_{д-с} = \frac{l}{(1-k^2)} P + \frac{4f \cdot \sigma_k \cdot S_\theta}{(1-k^2) D}. \quad (5)$$

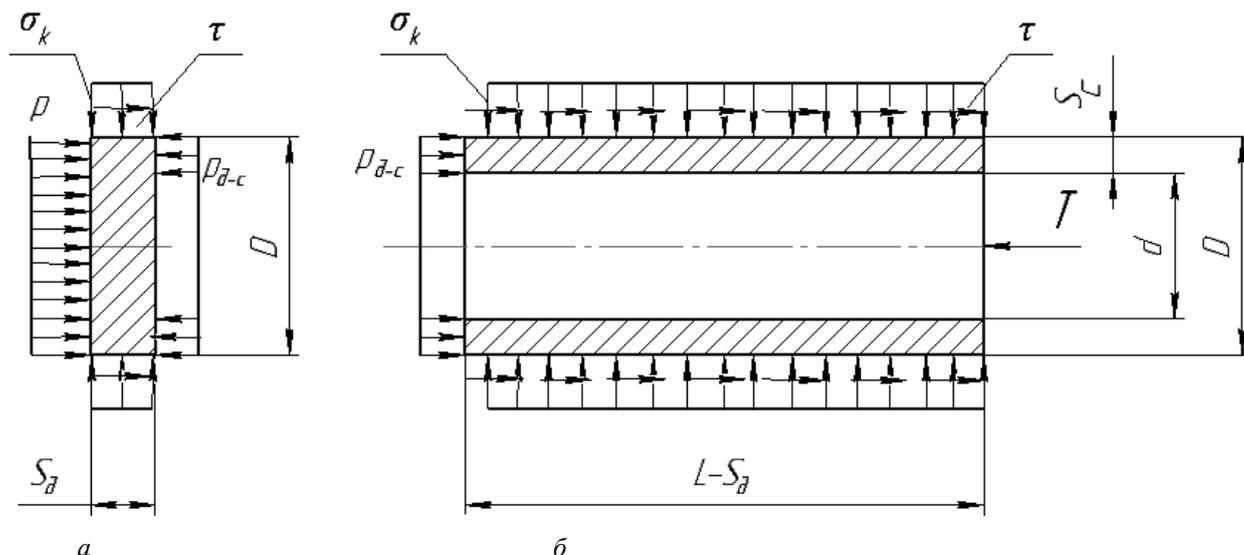


Рис. 2. Схемы нагружения дна (а) и стенки (б) поршня

Осевые напряжения σ_z , действующие в объеме диска, ограниченном наружным и внутренним диаметрами поршня, равны:

$$\sigma_z = -p_{д-с} \cdot \quad (6)$$

В предположении, что температура нагрева дна поршня (диска) постоянна в радиальном направлении в каждом его поперечном сечении и изменится линейно по толщине диска от t_1 до t_2 , для температурного нормального напряжения σ'_z можно записать:

$$\sigma'_z = -E \cdot \alpha \cdot \Delta t_{д}, \quad (7)$$

где $\Delta t_{д} = t_1 - t_2$ – разница температур на наружной и внутренней торцевых поверхностях дна поршня;

E – модуль продольной упругости материала поршня;

μ – коэффициент Пуассона материала поршня;

α – коэффициент линейного температурного расширения материала поршня.

Суммарное осевое напряжение будет равно

$$\Sigma \sigma_z = \sigma_z + \sigma_{tz} = -\frac{1}{(1-k^2)} * \left[p + \frac{4f \cdot \sigma_k \cdot S_{д}}{D} + E \cdot \alpha \cdot \Delta t_{д} \cdot (1-k^2) \right] \quad (8)$$

Поскольку объемный наноструктурный материал С16.104 ДИСКОМ® обладает разным сопротивлением растяжению и сжатию и является относительно хрупким материалом, то для описания условия прочности диска (дна поршня) наиболее обоснованным будет выбор гипотезы прочности Кулона-Мора, называемой также пятой гипотезой прочности [22,23]. Она так же, как и третья гипотеза прочности, не учитывает действия второго главного напряжения σ_2 , но учитывает разницу в свойствах материала поршня при растяжении и сжатии, и условие прочности согласно этой гипотезе будет иметь вид

$$\sigma_{\text{экв}}^{(5)} = \sigma_1 - \eta \cdot \sigma_3 \leq [\sigma], \quad (9)$$

где $\sigma_{\text{экв}}^{(5)}$ – эквивалентное напряжение в наиболее опасной точке диска;

σ_1, σ_3 – главные напряжения в наиболее опасной точке;

η – коэффициент, равный отношению предела прочности при растяжении к пределу прочности материала поршня при сжатии;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, которое определяется как $[\sigma] = \sigma_B / n$,

(здесь σ_B – предел прочности материала поршня при растяжении; n – коэффициент запаса прочности при растяжении).

В связи с полярной симметрией диска и действующих на него нагрузок напряжения $\sigma_r, \sigma_{\theta}$ и σ_z являются главными напряжениями, а в площадках, по которым они действуют, касательные напряжения равны нулю [22,23]. С учетом этого и полученных выражений для напряжений можно указать, что опасной точкой будет любая точка объема диска, находящегося между наружным и внутренним диаметрами поршня, а условие прочности запишется в виде

$$\sigma_{\text{экв}}^{(5)} = \sigma_1 - \eta \cdot \sigma_3 - \sigma_k + \frac{\eta}{(1-k^2)} \times \left[p + \frac{4f \cdot \sigma_k \cdot S_{д}}{D} + E \cdot \alpha \cdot \Delta t_{д} \cdot (1-k^2) \right] \leq [\sigma]. \quad (10)$$

Однако в том случае, когда диск (дно поршня) будет слишком тонким, может возникнуть опасная ситуация, при которой под действием подпора (давления) прессуемого металла p , приложенного в зоне A поверхности дна диска с диаметром этой зоны d (рис.3), может произойти сначала деформирование дна, а затем и его срез.

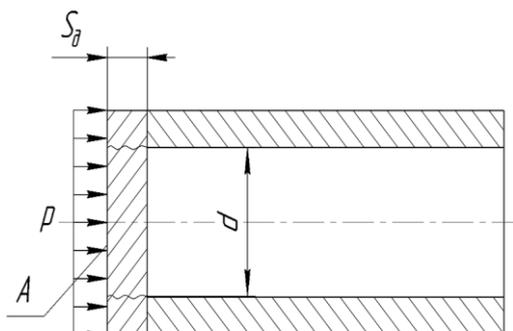


Рис. 3. Схема нагружения диска (днища поршня), работающего на срез

Результирующая сила подпора пресуемого металла P_A , действующая на указанную зону поверхности днища поршня, определяется по формуле

$$P_A = \frac{\pi d^2}{4} p, \quad (11)$$

Условие прочности зоны A днища поршня записывается в виде

$$\tau = \frac{P_A}{F_{cp}} \leq [\tau_{cp}], \quad (12)$$

где $[\tau_{cp}]$ – допускаемое напряжение на срез материала поршня при 400°C;

F_{cp} – площадь, по которой может произойти разрушение (срез) днища поршня, вычисляемая по формуле:

$$F_{cp} = \pi \cdot d \cdot S_d. \quad (13)$$

Допустимое напряжение на срез определяется по формуле

$$[\tau_{cp}] = \frac{\tau_{cp}}{n_{cp}}, \quad (14)$$

где τ_{cp} – предел прочности материала поршня на срез;

n_{cp} – коэффициент запаса прочности при срезе.

После подстановки (11), (13) и (14) в (12) и проведения преобразования с учетом $n_{cp} = 1,5$ и $d = k \cdot D$ получим

$$S_d \geq 0,375 k \cdot D \cdot \frac{P}{\tau_{cp}}. \quad (15)$$

Таким образом, прочностной расчет днища поршня следует вести, определив сначала по (15) значение S_d , а затем провести проверку выполнения условия прочности с использованием выражения (10).

При расчете трубы под действием контактного давления σ_k , равномерно приложенного к ее наружной поверхности диаметром D , могут быть использованы известные формулы Ламе (при отсутствующем внутреннем и осевом давлении) [22], которые позволяют определить радиальные σ_r и тангенциальные σ_θ напряжения в ее стенке.

В частности, на наружной поверхности трубы (при $r = D/2$) эти напряжения будут равны:

$$\sigma_r = -\sigma_k, \quad (16)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{1+k^2}{1-k^2} \sigma_k, \quad (17)$$

где $k = d/D$.

Очевидно, что оба указанные напряжения в этом случае сжимающие, причем $|\sigma_\theta| > |\sigma_r|$.

На внутренней поверхности трубы (при $r = d/2$) напряжения будут равны:

$$\sigma_r = 0, \quad (18)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{2}{1-k^2} \sigma_k. \quad (19)$$

В этом случае радиальное напряжение отсутствует, а сжимающее тангенциальное напряжение стало больше, чем на наружной поверхности трубы.

Сила трения на трубчатой части поршня N_c определяется из выражения

$$N_c = \tau \cdot \pi \cdot D \cdot (L - S_d) = f \cdot \sigma_k \cdot \pi \cdot D \cdot (L - S_d). \quad (20)$$

Уравнение равновесия для трубчатой части поршня, нагруженной равнодействующей силой $P_{д-с}$ внутренних напряжений $p_{д-с}$, силой трения по поверхности стенки поршня N_c и усилием пресования T (рис.4), может быть представлено в виде

$$p_{д-с} \cdot \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} + f \cdot \sigma_k \cdot \pi \cdot D \cdot (L - S_d) = T, \quad (21)$$

откуда получим

$$p_{д-с} = \frac{4 \cdot T}{\pi(D^2 - d^2)} - \frac{4 \cdot \sigma_k \cdot D \cdot f \cdot (L - S_d)}{D^2 - d^2}. \quad (22)$$

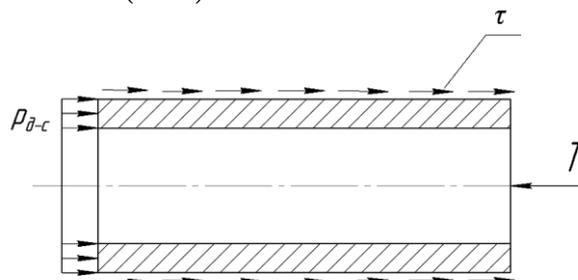


Рис. 4. Цилиндр, нагруженный осевыми нагрузками

Выразив в выражении (1) силу T через давление p и напряжение σ_k и далее подставив полученный результат в (22), получим:

$$p_{д-с} = \frac{1}{(1-k^2)} p + \frac{4f \cdot \sigma_k \cdot S_d}{(1-k^2)D}. \quad (23)$$

Как и следовало ожидать, выражение (23) идентично выражению (5) и описывает реакцию трубчатой части поршня на отклонение от нее его днища.

Решение Ламе [22,23] для случая, когда

радиальные σ_r и тангенциальные σ_θ напряжения в стенке трубы отсутствуют, отсутствует также нагрев, а касательное напряжение τ_{rz} не зависит от $\xi = \frac{z}{R}$, дает возможность записать для осевого нормального напряжение σ_z , не зависящего от k и длины трубчатой части поршня:

$$\sigma_z = -p_{d-c} = - \left[\frac{I}{(1-k^2)} p + \frac{4f \cdot \sigma_K \cdot S_\theta}{(1-k^2)D} \right]. \quad (24)$$

При воздействии на стенку поршня нагрева в ней развиваются температурные напряжения. При этом будем считать, что температура в стенке поршня изменяется в радиальном и осевом направлениях по линейному закону. Используя известные решения для расчета нагреваемых толстостенных цилиндров при распространении тепла в радиальном направлении [22], получим применительно для рассматриваемого случая температурные напряжения на наружной поверхности трубы (при $r=D/2$):

$$\begin{aligned} \sigma_r^t &= 0, \\ \sigma_\theta^t = \sigma_z^t &= \frac{E\alpha\Delta t_c}{1,5(1-\mu)(D-d)} \left[\frac{3D}{2} - \frac{D^3-d^3}{D^2-d^2} \right] = \\ &= \frac{E\alpha\Delta t_c(0,5k+0,5k^2-1)}{1,5(1-\mu)(1-k^2)}, \end{aligned} \quad (25)$$

где $\Delta t_c = t_1 - t_2$ – разность температур на наружной и внутренней поверхностях стенки поршня.

Эти напряжения на внутренней поверхности трубы (при $r=d/2$):

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 0, \\ \sigma_\theta^t = \sigma_z^t &= \frac{E\alpha\Delta t_c}{1,5(1-\mu)(D-d)} \left[\frac{3d}{2} - \frac{D^3-d^3}{D^2-d^2} \right] = \\ &= \frac{E\alpha\Delta t_c(0,5k+0,5k^2-1)}{1,5(1-\mu)(1-k^2)}, \end{aligned} \quad (26)$$

В предположении, что температура нагрева стенки поршня изменяется линейно и по ее длине от t_1 до t_2 можно записать для температурного нормального напряжения σ_z^t :

$$\sigma_z^t = -E \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (27)$$

где $\Delta T = t_1 - t_2$ – разность температур на торцевой поверхности трубы, примыкающей к днищу поршня, и на ее свободной торцевой поверхности.

Таким образом, для трубчатой части поршня определены все напряжения, возникающие от наличия контактного давления, нагрева и трения.

Расчет эквивалентного напряжения в наиболее опасной точке стенки поршня будем вести, используя гипотезу прочности Кулона – Мора, а в качестве условия прочности этой части поршня будем использовать выражение (9).

Суммарные напряжения у внутренней поверхности трубчатой части поршня (при $r=d/2$), где находится опасная точка, будут равны:

$$\Sigma\sigma_z = - \left[\frac{I}{(1-k^2)} p + \frac{4f \cdot \sigma_K \cdot S_\theta}{(1-k^2)D} \right] +$$

$$+ \frac{E\alpha\Delta t_c(0,5k+0,5k^2-1)}{1,5(1-\mu)(1-k^2)} - E \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (28)$$

$$\Sigma\sigma_\theta = - \frac{2}{(1-k^2)} + \frac{E\alpha\Delta t_c(0,5k+0,5k^2-1)}{1,5(1-\mu)(1-k^2)}, \quad (29)$$

$$\Sigma\sigma_r = 0. \quad (30)$$

Учитывая, что $\sigma_1 = \Sigma\sigma_r = 0$ и $\sigma_3 = \Sigma\sigma_z$, условие прочности стенки поршня в ее наиболее опасной точке (на внутренней поверхности поршня) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{экр}}^{(5)} &= -\eta \sigma_3 = \\ &= \eta \left[\frac{I}{(1-k^2)} p + \frac{4f \cdot \sigma_K \cdot S_\theta}{(1-k^2)D} + \frac{E\alpha\Delta t_c(0,5k+0,5k^2-1)}{1,5(1-\mu)(1-k^2)} - E \cdot \alpha \cdot \Delta T \right] \leq [\sigma]. \end{aligned} \quad (31)$$

Расчет поршня проводится в следующем порядке. Сначала по формуле условия прочности (15) определяется толщина днища поршня S_d при значении коэффициента k , которое задается, исходя из стремления его разумной минимизации (т.е. минимизации толщины стенки поршня S_c). Затем производится проверка выполнения другого условия прочности, приведенного в (10), при этих значениях толщины днища и стенки поршня. Если прочность днища поршня обеспечивается, то далее проводится расчет по условию прочности (31) при данных значениях S_d , S_c и k . Если эквивалентное напряжение

$\sigma_{\text{экр}}^{(5)}$ получается равным допускаемому напряжению $[\sigma]$ или не более чем на 5% меньше его, то расчет заканчивается. Если условие прочности (10) не выполняется, то, используя метод простой итерации, по (10) определяется при $\sigma_{\text{экр}}^{(5)} = [\sigma]$ для данного значения D искомый коэффициент k , а затем с его учетом – уточненная толщина днища S_d . Таким же способом находят уточненные значения коэффициента k и толщины стенки поршня S_c , если условие прочности (31) не было обеспечено.

На рис. 5 приведена номограмма для определения минимально допустимых значений толщины стенки S_c и днища S_d поршня из объемного наноструктурного материала системы Cu-Al-C-O марки С16.104 ДИСКОМ® при разном его наружном диаметре D , построенная на основании результатов численного расчета поршня на языке программирования MATLAB [24] при следующих значениях силовых, температурных параметров, физико-механических и триботехнических свойств материала поршня: $p = 140$ МПа; $\sigma_K = 104$ МПа; $\eta = 0,75$; $f = 0,39$; $\mu = 0,32$; $E = 72000$ МПа (при температуре днища неохлаждаемого поршня 400°C); $\Delta t_d = 60$ °C; $\Delta t_c = 40$ °C; $\Delta T = 50$ °C; $\alpha = 23,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C (при диапазоне температур 350 - 450°C); $\tau_{cp} = 340$ МПа при температуре 400°C и $[\sigma] = 280$ МПа (рассчитанного с учетом коэффициента запаса прочности при растяжении $n = 1,5$ и температуры нагрева неохлаждаемого поршня 400°C).



Рис. 5. Номограмма для определения минимально допустимой толщины стенки S_c и днища S_d поршня при заданном его наружном диаметре D

Используя приведенную выше номограмму, получаем для поршня с наружным диаметром, например, 90 мм, что толщина его стенки S_c должна быть не менее 19,3 мм, а толщина днища этого поршня S_d должна составлять не менее 8 мм. Общий вид заготовки поршня типа с учетом припусков и допусков приведен на рис. 6.

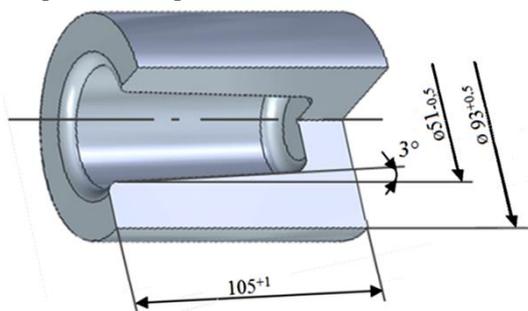


Рис. 6. 3D-модель заготовки поршня из объемного наноструктурного материала системы Cu-Al-C-O марки С16.104 ДИСКОМ®

Такая заготовка поршня может быть изготовлена путем холодного прессования заранее полученных в атриторе гранул объемного наноструктурного материала марки С16.104 ДИСКОМ® в гранульный брикет, нагрева этого брикета и горячего выдавливания из него требуемой заготовки [17,18,20], которая затем доводилась точением до требуемых формы и размеров.

С помощью приведенные выше формулы были рассчитаны используемые в машине литья под давлением Buhler Z-250D поршни диаметром 40, 50 и 60 мм, составлены чертежи на них и их заготовки, по которым были изготовлены поршни из указанного материала. При этом коэффициент использования металла повысился в 1,18–1,26 раза (в зависимости от диаметра поршня), а облегченная конструкция поршней не снизила их ресурс, который при литье под давлением различных отливок из силуминов составил от 19 до 23 тыс. запрессовок.

Список литературы

1. Литье под давлением / М. Б. Беккер, М. Л. Заславский, Ю.Ф. Игнатенко [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.
2. Йоханнабер Ф. Литьевые машины. Справочное руководство: пер. с англ.: 4-е изд./под ред. Э.Л.Калинчева. Санкт-Петербург: ЦОП «Профессия», 2009. 400с.
3. ГОРДОН М. ДЖ. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ: ПЕР. С АНГЛ.: 2-Е ИЗД., ПЕРЕРАБ. И ДОП. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: НОТ, 2012. 824 с.
4. Белоухов А.К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
5. Analysis of die casting tool material / M. Muhič, J. Tušek, F. Kosel, D. Klobčar // *Strojniški vestnik – J. Mechan. Eng.* 2010. No. 56 (6), pp. 351-356.
6. Колесников М.С., Мухаметзянова Г.Ф. Детали пресс-узлов горячеканерных машины литья под давлением Zn-сплавов из ЧШГ // *Литейное производство*. 2014. № 8. С.21-22.
7. Тимофеев Г.И., Рождественский В.Г., Чувагин Н.Ф. Условия надежности прессовой пары машины литья под давлением // *Изв. вузов. Машиностроение*. 1986. №8. С.120-124.
8. Чеберяк О.И., Чувагин Н.Ф. Особенности прессовой пары на машинах ЛПД с горизонтальной камерой прессования // *Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы III Междунар. науч.- практ. конф.* Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2017. С. 98-104.
9. DAŃKO R., KOWALCZYK W. NEW TRENDS IN COLD-CHAMBER DIE CASTING MACHINE DESIGN // *CHINA FOUNDRY*. 2015, NO. 12 (4), PP. 305-309.
10. PODPROCKÁ R., MALIK J., BOLIBRUCHOVÁ D. DEFECTS IN HIGH PRESSURE DIE CASTING PROCESS // *MANUFACTURING TECHNOLOGY*. 2016, VOL. 15, NO. 4, PP. 674-678.
11. Murugarajan A., Raghunayagan P. The impact of pressure die casting process parameters on mechanical properties and its defects of A413 aluminium alloy // *Metalurgija*. 2019, no.58 (1-2), pp. 55-58.

Теория и технология металлургического производства

12. PASTUCHOVA Ž.P., RACHŠTADT A.G. FEDERLEGIERUNGEN AUS NE-METALLEN. ÜBERSETZUNG AUS DEM RUSSISCHEN UND BEARBEITUNG DER DEUTSCH-SPRACHIGEN AUSGABE. BERLIN: SPRINGER-VERLAG, 1985. 336 S.
13. BONOLLO F., GRAMEGNA N., TIMELLI G. HIGH-PRESSURE DIE-CASTING: CONTRADICTIONS AND CHALLENGES // *JOM*. 2015, VOL. 67, NO. 5, PP. 901-908.
14. Разработка жаро- и износостойких порошковых нанокomпозиционных материалов для поршней машин литья под давлением / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, Н.В. Мулюхин, И.Е. Илларионов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы I-ой Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2015. С. 153-160.
15. Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П. Разработка жаро- и износостойкого нано-композиционного материала на основе порошковой меди и технологии его изготовления для поршней машин литья под давлением // Новые материалы и перспективные технологии: сб. материалов 4-го междисциплинар. науч. форума. М.: РАН, ООО «Буки Веди». 2018. Т. 1. С. 106-110.
16. Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е. Разработка жаропрочных и износостойких наноструктурных материалов на основе порошковой меди для поршней литейного оборудования // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы (ИМТОМ-2018): сб. тр. 9-й Междунар. науч.-техн. конф. Казань: КНИАТ, 2018. С. 23-27.
17. Dovydenkov V.A., Shalunov E.P Experience of production and use of precipitation strengthened copper based materials made by mechanical alloying // *Powder Metallurgy*. 1998, no. 1, p. 372.
18. Shalunov E., Matrosov A, Chen L. Development, production and application of DISCOM® copper nanocomposites as highly resource electrode and electric contact materials: *Proceedings of the Euro International Powder Metallurgy Congress and Exhibition (Euro PM 2008)*. Mannheim: EPMA, 2008, pp. 33-38.
19. Шалунов Е.П., Илларионов И.Е. Создание теплопрочных композиционных материалов матрично-наполненного типа для тяжело нагруженных элементов узлов трения // *Литейщик России*. 2018. № 5. С. 25-29.
20. Шалунов Е.П., Данилов Н.В., Липатов Я.М. Разработка научных основ, технологии и оборудования для получения и обработки полуфабрикатов из дисперсно-упрочненных композиционных материалов // *Охрана труда и прогрессивные технологические процессы в литейном производстве, порошковой металлургии и машиностроении*: тез. межреспубл. науч.-практ. конф. Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 1990. С. 287-289.
21. Шалунов Е.П., Смирнов В.М. О механизмах формирования структуры и свойств композиционных материалов системы Cu-Al-C-O, получаемых на основе метода реакционного механического легирования // *Вестник Чувашского университета*. 2013. № 3. С. 314-322.
22. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. *Справочник по сопротивлению материалов*. Киев: Наукова думка, 1988. 736 с.
23. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник: в 3 т. Т. 2 / А.Я. Александров [и др.]; под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. М.: Машиностроение, 1968. 463 с.
24. Применение пакета matlab в лабораторном и компьютерном практикуме / Ю.П. Лисовец, А.М. Ревякин, М.Н. Рычагов, С.А. Терещенко. М.: МИЭТ. 1998. 96 С.

Сведения об авторах

Владимирова Юлия Олеговна – ассистент кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары, Россия. E-mail: yulivladimirova@mail.ru

Шалунов Евгений Петрович – канд. техн. наук, профессор кафедры технологии машиностроения, научный руководитель Объединенной научно-исследовательской лаборатории качества, обрабатываемости и композиционных материалов, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары, Россия. E-mail: shalunov2000@mail.ru

Илларионов Илья Егорович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и металлургических процессов, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары, Россия. E-mail: tmilp@rambler.ru

CALCULATION OF PLUNGER BLANK MADE OF COPPER BASED VOLUMETRIC NANOSTRUCTURED MATERIAL FOR THE DIE CASTING MACHINES

Vladimirova Yuliya Olegovna. – Assistant of Mechanical Engineering Technology Department, I. N. Ulyanov Chuvash State University, Russia, Cheboksary. E-mail: yulivladimirova@mail.ru

Shalunov Eugeny Petrovich. – Ph.D. (Eng.), Professor of Mechanical Engineering Technology Department; Scientific leader of the Joint research and development laboratories of mechanically alloyed nanocomposite materials, their technology and quality, I. N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia. E-mail: shalunov2000@mail.ru

Illarionov Ilya Egorovich - D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Materials Science and Metallurgical Processes Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary. E-mail: tmilp@rambler.ru

Abstracts. A method for determining the dimensions of plunger blank for die casting machines based on the strength calculation of the plunger simultaneously affected by force loads, high temperature and friction forces is proposed. The calculation of the minimum permissible wall and bottom thickness of the plungers having different external diameters is made on the bases of the obtained results in case when the plunger is made of a heat and wear – resistant volumetric nanostructured material of Cu-Al-C-O system.

Keywords: plunger, die casting machines, powder metallurgy, volumetric nanostructured material, calculations, blank, plunger wall, plunger bottom.

Ссылка на статью:

Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е. Расчет заготовки поршня из объемного наноструктурного материала на основе меди для машин литья под давлением // Теория и технология металлургического производства. 2019. №2(29). С. 29-36.

Vladimirova Yu. O., Shalunov E. P., Illarionov I. E. Calculation of plunger blank made of copper based volumetric nanostructured material for the die casting machines *Teoriia i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 29, no. 2, pp.29-36.