

Расчет конструкций из композитных материалов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ-ПРЕССОВАНИЯ ПОЛОГО ПРОФИЛЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Л.С. КОХАН, *д-р техн. наук, проф.*, А.В. ШУЛЬГИН, *канд. техн. наук, доц.**
 Ю.А. МОРОЗОВ, *канд. техн. наук, доц.*,
 Б.Ф. БЕЛЕЛЮБСКИЙ, *канд. техн. наук*, Е.В. МОРОЗОВА, *аспирантка*
 Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)
 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38., тел.: 8(495)361-14-80,
 8(906)032-76-09*, shulgin00@mail.ru*

В работе приводятся исследования осадки-прессования полого профиля из композиционного материала на основе металлических порошков «железо-медь» и улучшения их качества за счет повышения однородности свойств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: металлические порошки, композиционные материалы, осадка, сопротивление пластической деформации, относительная плотность.

Для производства изделий с заданными физико-механическими свойствами широко используются композиционные материалы, которые в отличие от классических сплавов позволяют создавать сочетания металлических порошков практически в любой пропорции. Процессы изготовления изделий из композиционных материалов на основе металлических порошков отличаются сниженными энергозатратами и высоким коэффициентом использования металла. При использовании скомпактированных и спеченных заготовок металлических порошков, важнейшим требованием является получение равномерной плотности и, соответственно, физико-механических свойств по всему объему изделия.

В работе рассматривается процесс осадки-прессования полого профиля из композиционного материала на основе металлических порошков «железо-медь». Рассмотрим процесс горячей осадки-прессования полого изделия диаметром $D = 60$ мм до высоты $H = 30$ мм с коэффициентом контактного трения

$f = 0,35$, при одновременном заполнении материалом полости штампа диаметром $d = 40$ мм и диаметром прошивающей иглы $d_{игл} = 20$ мм (рис. 1).

Соответствующая вытяжка:

$$\mu = \frac{D^2 - d_{игл}^2}{d^2 - d_{игл}^2} = \frac{60^2 - 20^2}{40^2 - 20^2} = 2,67.$$

Материалом принимается композит «железо-медь» с концентрациями $K_{Fe} = 0,6$ и $K_{Cu} = 0,4$ при плотности скомпактированной и спеченной заготовки $\rho_0 \approx 0,6$. Константа пористости:

$$a_1 = a_{1Fe} K_{Fe} + a_{1Cu} K_{Cu} = 0,588 \cdot 0,6 + 0,708 \cdot 0,4 = 0,636.$$

При заданной плотности изделия $\rho_1 = 0,75$, деформация уплотнения Композита:

$$\varepsilon = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1} = \frac{0,75 - 0,6}{0,75} = 0,2.$$

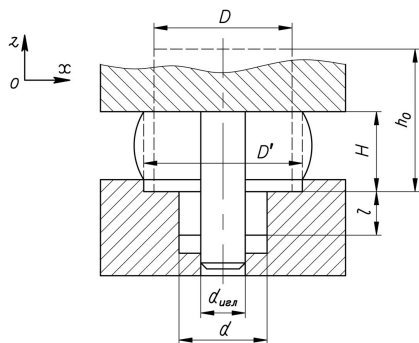


Рис. 1. Схема осадки-прессования полого профиля

Согласно эмпирическим исследованиям, длина прессуемого отрезка:

$$\frac{l}{d} = (0,6 \dots 0,65) \left(1,0 + \frac{f}{a_1} \frac{D}{H} \frac{D}{2} - \rho_1 \varepsilon \mu \right) / (2 \mu f_T) =$$

$$= 0,62 \cdot 40 \frac{1,0 + \frac{0,35}{0,636 \cdot 30} \frac{60}{2} - 0,75 \cdot 0,2 \cdot 2,67}{2 \cdot 2,67 \cdot 0,5} = 10,68 \text{ мм.}$$

Переходим к определению диаметра раздачи заготовки в процессе ее осаживания. Начальная высота заготовки [1]:

$$h_0 = \left(H + \frac{l}{\mu} \right) \frac{\rho_1}{\rho_0} = \left(30 + \frac{10,68}{2,67} \right) \frac{0,75}{0,6} = 42,5 \text{ мм.} \quad (1)$$

В результате деформация осадки заготовки по высоте:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - H}{h_0} = \frac{42,5 - 30}{42,5} = 0,294.$$

Радиальная деформация ε_r и диаметр заготовки при свободной осадке D [2]:

$$\varepsilon_r = \frac{1,0}{\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0} (1,0 - \varepsilon)}} - 1,0 = \frac{1,0}{\sqrt{\frac{0,75}{0,6} (1,0 - 0,294)}} - 1,0 = 0,0645; \quad (2)$$

$$D' = D(1,0 + \varepsilon_r) = 60(1,0 + 0,0645) = 63,87 \text{ мм.}$$

С полученными результатами установим напряжение осаживания заготовки по методу баланса работ, согласно которому работа деформирования и трения при осаживании равны:

$$\bar{A}_d = \frac{\pi (D'^2 - d_{\text{изл}}^2)}{4} H \rho_1 \varepsilon = \frac{\pi (63,87^2 - 20^2)}{4} 30 \cdot 0,75 \cdot 0,294 = 19115,9 \text{ мм}^3;$$

$$\bar{A}_{\text{тр}} = f \left[\frac{\pi (D'^2 - d_{\text{игл}}^2) (D' - d_{\text{игл}})}{12} + \frac{\pi (D'^2 - d^2) (D' - d^2)}{12} + a_1 d_{\text{игл}} H^2 \right] =$$

$$= 0,35 \left[\frac{\pi (63,87^2 - 20^2) (63,87 - 20)}{12} + \frac{\pi (63,87^2 - 40^2) (63,87 - 40)}{12} + \right.$$

$$\left. + 0,636 \cdot 20 \cdot 30^2 \right] = 31757,3 \text{ мм}^3.$$

Внешняя работа прессования:

$$\bar{A}_{\text{п}} = \frac{\pi (D'^2 - d_{\text{игл}}^2)}{4} (h_0 - H) = \frac{\pi (63,87^2 - 20^2)}{4} (42,5 - 30) = 36122,2 \text{ мм}^3.$$

С полученными результатами определяем напряжение осаживания и равное ему напряжение прессования

$$\bar{\sigma}_o = \bar{\sigma}_{\text{п}} = \frac{\bar{A}_d + \bar{A}_{\text{тр}}}{\bar{A}_{\text{п}}} = \frac{19115,9 + 31757,3}{36122,2} = 1,408. \quad (3)$$

Отметим, что при осаживании сплошного профиля [3]:

$$\bar{\sigma}_o = \bar{\sigma}_{\text{п}} = 1,0 + \frac{f}{a_1} \frac{D}{H} \frac{D}{2} = 1,0 + \frac{0,35}{0,636 \cdot 30} \frac{60}{2} = 1,55 \text{ (отличие 10\%).}$$

Далее рассмотрим напряжение прессования отрезка.

Работа деформирования, трения и прессования соответственно равны:

$$\bar{A}_d = \frac{\pi (d^2 - d_{\text{игл}}^2)}{4} l \rho_1 \varepsilon; \quad \bar{A}_{\text{тр}} = \pi \frac{d_{\text{игл}}}{2} l^2 f + \pi \frac{d}{2} l^2 f_T; \quad \bar{A}_{\text{п}} = \frac{\pi (d^2 - d_{\text{игл}}^2)}{4} \frac{l}{\mu},$$

где ε – деформация уплотнения композита, оцениваемая изменением плотноты засыпки ρ_0 и изделия ρ_1 ($\rho_1 = 0,75 \dots 0,82$):

$$\varepsilon = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1} = 1,0 - \frac{\rho_0}{\rho_1}.$$

С полученными результатами, напряжение прессования:

$$\bar{\sigma}_\Pi = \frac{\bar{A}_д + \bar{A}_{тр}}{\bar{A}_\Pi} = \rho_1 \varepsilon \mu + \frac{2l\mu}{d^2 - d_{игл}^2} (d f_T + a_1 d_{игл} f). \quad (4)$$

Приравнивая напряжение осаживания (3) и прессования (4), находим длину прессуемого отрезка:

$$l = (\bar{\sigma}_0 - \rho_1 \varepsilon \mu) \frac{d^2 - d_{игл}^2}{2\mu(d f_T + a_1 d_{игл} f)} = \\ = (1,408 - 0,75 \cdot 0,2 \cdot 2,67) \frac{40^2 - 20^2}{2 \cdot 2,67(40 \cdot 0,5 + 0,636 \cdot 20 \cdot 0,35)} = 9,52 \text{ мм.}$$

Полученные результаты позволяют выбрать режимы процесса осадки-прессования для повышения распределения однородности свойств по объему полого профиля из композиционного материала на основе металлических порошков.

Л и т е р а т у р а

1. *Кохан Л.С., Шульгин А.В., Новожилова И.С.* Расчетная модель для определения физико-механических свойств композиционных материалов на основе металлических порошков // *Технология металлов.* – 2012. – № 9. – С. 26-28.
2. *Кохан Л.С., Алдунин А.В., Шульгин А.В., Белелюбский Б.Ф., Морозов Ю.А.* Прессование слоистых кольцевых изделий из композиционного материала на основе порошков железо-медь-хром // *Технология металлов.* – 2013. – № 11. – С. 21-25.
3. *Кохан Л.С., Пунин В.И., Шульгин А.В., Морозов Ю.А.* Производство гнутых слоистых коррозионно-стойких профилей // *Заготовительные производства в машиностроении.* – 2014. – № 2. – С. 35-40.
4. *Kokhan L.S., Shul'gin A.V., Semenova L.M.* Physic-mechanical properties of an iron-copper-zinc composite // *Metallurgist.* – 2010. – Vol. 54. – №7-8. – P. 468-471.

R e f e r e n c e s

1. *Kokhan, L.S., Shulgin, A.V., Novozhilova, I.S.* (2012). The computational model to determine the physical and mechanical properties of composite materials based on metal powders. *Tehnologiya metallov.* № 9, p. 26-28.
2. *Kokhan, L.S., Aldunin, A.V., Shul'gin, A.V., Beleyubskiy, B.F., Morozov, Yu.A.* (2013). Baling layered composite products of ring-based material powder of iron-copper-chromium. *Tehnologiya metallov.* № 11, p. 21-25.
3. *Kokhan, L.S., Punin, V.I., Shulgin, A.V., Morozov, Yu.A.* (2014). Production of bent laminated corrosion resistant profiles. *Zagotovitel'nyye Proizvodstva v Mashinostroyeni.* № 2, p. 35-40.
4. *Kokhan, L.S., Shul'gin, A.V., Semenova, L.M.* (2010). Physic-mechanical properties of an iron-copper-zinc composite. *Metallurgist.* Vol. 54, № 7-8, p. 468-471.

RESEARCHING THE PROCESS OF HOLLOW PROFILE SETTING-PRESSING OF A COMPOSITE MATERIAL BASED ON METALLIC POWDERS

L.S. Kokhan, A.V. Shul'gin, Yu.A. Morozov, B.F. Beleyubskiy, E.V. Morozova
MAMI, Moscow

The paper presents the researching processes of hollow profile setting-pressing of a composite material based on "iron-copper" metallic powders and the improving of the quality by increasing the homogeneity of properties.

KEY WORDS: metal powders, composites, setting, precipitate resistance to plastic deformation, relative density.