

Брехаря Г. П., Бондарь Н. П., Гуляева Т. В., Демеников В. И. Исследование влияния вакуумной термообработки на процесс восстановления гематита

Приведены результаты исследований влияния вакуумной термообработки на фазовый состав порошков чистого для анализов гематита (ЧДА) и гематитовой руды. Рентгеновским фазовым анализом показано, что отжиг в вакууме ($T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{випр.}} = 1\text{ ч}$) гематита (ЧДА) способствует его восстановлению до магнетита в верхнем слое порошка. Гематитовая руда, основными фазовыми составляющими которой являются оксиды SiO_2 и Fe_2O_3 , предварительно измельчалась в вибрационной мельнице (30 ч на воздухе, 10 ч в воде и 30 ч в воде с добавлением карбонильного железа). Установлено, что вакуумная термообработка механоактивированных рудных порошков при вышеприведенных режимах отжига приводит к частичному превращению гематита в магнетит. Благоприятными факторами для восстановления гематита в магнетит являются механоактивация рудного порошка и наличие карбонильного железа в качестве катализатора реакций и источника углерода, приводящих к превращениям гематит \rightarrow магнетит.

Ключевые слова: гематитовая руда, гематит, магнетит, фазовый состав, механоактивация.

Brekharia G., Bondar N., Gulyaeva T., Demenikov V. Reserch of the influence of vacuum heat treatment on the process of reduction of hematite

The research results of vacuum heat treatment influence on the composition of powders pure for analysis (PFA) hematite and hematite ore were given. X-ray diffraction analysis show that the annealing in vacuum ($T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{exp.}} = 1\text{ h.}$) of the PFA hematite leads to a reduction to magnetite in the upper layer of powder. Hematite ore with the main phase components of the oxides SiO_2 and Fe_2O_3 , previously grind up in the vibration mill (30 h. in an air atmosphere, 10 h. in a water and 30 h. in a water with added carbonyl iron). It is determined that the vacuum heat treatment of grinding ore powders in the above modes leads to the partial transformation of hematite to magnetite. Also it is shown, that the favorable factors for the restoration of hematite to the magnetite is a mechanical activation of ore powder and the presence of carbonyl iron as catalyst of reactions and source of carbon that contribute to the transformation of hematite \rightarrow magnetite.

Key words: hematite ore, hematite, magnetite, phase composition, mechanical activation.

УДК 621.762.4

Канд. техн. наук М. І. Носенко, д-р техн. наук В. О. Павлов
Національний технічний університет, м. Запоріжжя

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРОШКОВИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ОТРИМАННІ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розроблено схеми та способи отримання порошкових виробів у процесі гарячої деформації.

Ключові слова: гаряча деформація, порошкова заготовка, щільність, очаг деформації, деформований об'єм.

Методи порошкової металургії є одним із перспективних напрямів у галузі виробництва конструктивних матеріалів та виробів із заданим рівнем механічних та експлуатаційних властивостей. Прогнозування параметрів технологічних процесів, вибір відповідних схеми та способу формування для отримання порошкових деталей із заданим рівнем щільності та механічних властивостей є важливою науковою та практичною проблемою.

Метою роботи є дослідження та розробка способів гарячого штампування порошкових заготовок при виготовленні деталей конструкційного призначення.

Використання компенсаційних щілин при штампуванні з елементами витікання дозволяє створити додаткові очагами деформації, що збільшує деформований об'єм металу у виробі та суттєво впливає на рівномірність розподілу щільності. Визначення коефіцієнта витікання $K_{\text{вип.}}$, форми і розмірів додаткових очагів деформації, відносного деформованого об'єму металу при різних схемах штампування проводилось відповідно [1].

У результаті проведених досліджень розроблено спосіб отримання виробів із порошкових заготовок (а. с. № 1451984), який включає розміщення заготовки в

матриці та подальше гаряче штампування. Спосіб дозволяє забезпечити заданий розподіл щільності і механічних властивостей за об'ємом деталі. Для цього перед розміщенням заготовки в матриці розраховується форма, місцерозташування та об'єм додаткових очагів деформації за формулою (рис. 1):

$$V^* = \sum \sqrt{\frac{F}{\pi} \cdot \sqrt{K_{\text{вум}} - 2}} + \sum \left(\frac{3}{K_{\text{вум}}} + \frac{8\pi \cdot H^2}{3F \cdot K_{\text{вум}}^3} \right) - \sum V_i^* \quad (1)$$

де V^* – об'єм додаткових очагів деформації (рис. 2); n, m – число додаткових очагів деформації, які створюють у приторцевих зонах або за висотою перерізу заготовки відповідно; $K_{\text{вум}1} \dots K_{\text{вум}i}$ – коефіцієнти витікання матеріалу заготовки; F – площа перерізу матриці; H – висота виробу; V_i^* – одиничний відносний об'єм перекриття додаткових очагів деформації.

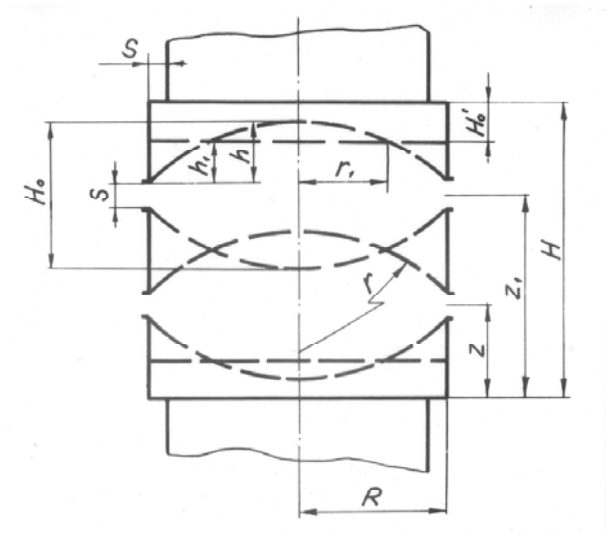
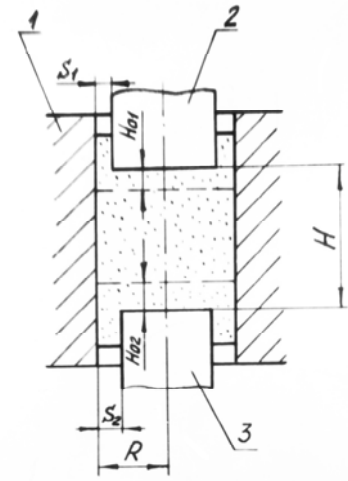


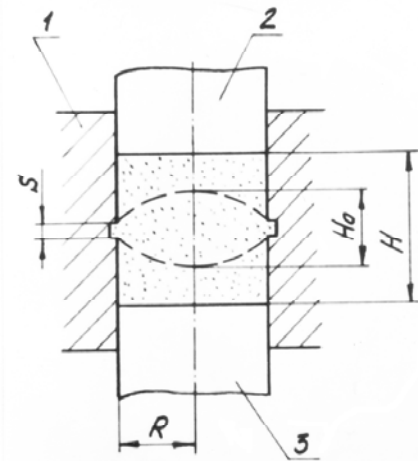
Рис. 1. Розрахункова схема для визначення деформованого об'єму металу

Число додаткових очагів деформації визначають за вказаною залежністю 1. При цьому перша складова визначає вибір додаткових очагів деформації в приторцевих зонах заготовки, які контактують з пуансонами. При необхідності отримання виробів із підвищеними механічними властивостями в приторцевих зонах компенсатори розташовують між матрицею 1 та пуансонами 2 і 3 (рис. 2, а). При необхідності підвищення властивостей тільки з одного торця компенсатори виконують тільки між матрицею 1 та одним з пуансонів, наприклад 2. Між матрицею та пуансоном 3 компенсатори в цьому випадку відсутні.

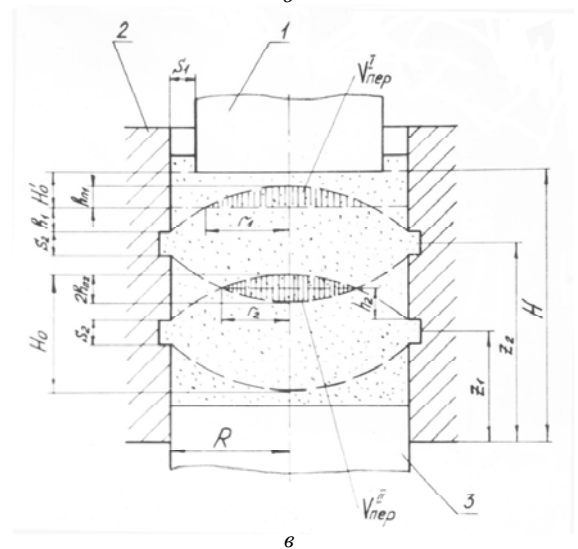
Друга складова виразу 1 визначає вибір додаткових очагів деформації за висотою заготовки. Компенсатори виконують в матриці на заданому за висотою рівні, де у виробі необхідно отримати підвищені механічні властивості (рис. 2, б).



а



б



в

Рис. 2. Схеми штампування порошкових заготовок: а – матриця; б, в – пуансони

Третя складова визначає відносний об'єм перекриття додаткових очагів деформації, наявність яких дозволяє додатково підвищити механічні властивості виробів в заданих місцях. Додаткові очагами деформації створюють при виконанні компенсаторів у технологічному оснащенні.

Відносний об'єм очага деформації визначається як:

$$V^* = \frac{V_{o.d.}}{V_{вир}},$$

де $V_{o.d.}$, $V_{вир}$ – відповідно об'єм очага деформації та об'єм виробу.

Очаг деформації при схемі деформації на рис. 1, а має циліндричну форму, а його висота визначається як:

$$H'_o = \frac{\sqrt{\frac{F}{\pi}} \cdot \sqrt{K_{вум} - 2}}{K_{вум}}, \quad (3)$$

При схемі деформації на рис. 1, б очаг деформації має сферичну форму, а його висота визначається як:

$$H_o = \frac{5H}{K_{вум}}, \quad (4)$$

де F – площа перерізу матриці; H – висота виробу; $K_{вум} = \frac{B}{S}$ – коефіцієнт витікання; B – характерний розмір виробу (при схемі деформації на рис. 2, а, $B = 2R$; при схемі деформації на рис. 2, б, $B = H$); R – радіус матриці; S – висота компенсаційної щілини.

Відносний об'єм очага деформації для схеми на рис. 2, а визначається як:

$$V^* = \frac{\pi R^2 \cdot H'_o}{\pi R^2 \cdot H} = \frac{\sqrt{\frac{F}{\pi}} \cdot \sqrt{K_{вум} - 2}}{H \cdot K_{вум}}. \quad (5)$$

Звідки при наявності двох очагів деформації (рис. 2, а) їх сумарний відносний об'єм визначається як:

$$V^* = \sum_i^n \frac{\sqrt{\frac{F}{\pi}} \cdot \sqrt{K_{вум} - 2}}{H \cdot K_{вум}}. \quad (6)$$

Об'єм очага деформації для схеми на рис. 2, б визначається як:

$$V_{o.d.} = 2V_c + V_\kappa, \quad (7)$$

де V_c – об'єм сегмента кулі; V_κ – об'єм циліндра висотою S .

При визначенні об'єму частин кулі використовуються відомі співвідношення [2]:

$$V_\kappa = \pi R^2 S = \pi R^2 \cdot \frac{H}{K_{вум}}; \quad (8)$$

$$2V_c = \frac{1}{3} \pi h (3R^2 + h^2), \quad (9)$$

$$\text{де } h = \frac{H_o - S}{2} = \frac{2H}{K_{вум}};$$

$$V_{o.d.} = \frac{\pi H (8H^2 + 9K_{вум}^2 \cdot R^2)}{3K_{вум}^3}; \quad (10)$$

$$V^* = \frac{\pi H (8H^2 + 9K_{вум}^2 \cdot R^2)}{3K_{вум}^3 \cdot \pi R^2 H} = \frac{3}{K_{вум}} + \frac{8H^2 \cdot \pi}{3F \cdot K_{вум}^3}. \quad (11)$$

При схемі деформації на рис. 2, в, для визначення V^* необхідно враховувати сумарний відносний об'єм перекриття

$$\sum V_i^* = \frac{V_{nep}^I + V_{nep}^{II}}{\pi \cdot R^2 \cdot H}. \quad (12)$$

V_{nep}^I визначається, як об'єм сегменту кулі

$$V_{nep}^I = \frac{1}{6} \pi h_{n1} \cdot (3r_1^2 + h_{n1}^2); \quad (13)$$

$$r_1^2 = R^2 - h_1^2 - 2h_1 \cdot \sqrt{r^2 - R^2}; \quad (14)$$

$$r = \frac{R^2 + h^2}{2h} = \left(h = \frac{2H}{K_{вум}} \right) = \frac{R^2 \cdot K_{вум}^2 + 4H^2}{4HK_{вум}}, \quad (15)$$

де r – радіус сферичної поверхні,

$$r_1^2 = R^2 - h_1^2 - 2h_1 \cdot \frac{R^2 \cdot K_{вум2}^2 - 4H^2}{4H \cdot K_{вум2}}. \quad (16)$$

V_{nep}^{II} визначається аналогічно V_{nep}^I , як здвоєний об'єм сегмента кулі

$$V_{nep}^{II} = \frac{1}{3} \pi \cdot h_{n2} \cdot (3r_2^2 + h_{n2}^2). \quad (17)$$

Приклад 1.

Для отримання порошкової титанової втулки (рис. 3) з розмірами $2R = 32$ мм, $2R_1 = 23$ мм, $H = 20$ мм, $h = 5$ мм з ударною в'язкістю не нижчою від 1100 кДж/м² заготовка із ПТЕС-1 з відносною щільністю 90 % нагрівається до 900 °С в середовищі аргону і розміщується в матриці 1. До заготовки прикладається двосторонній тиск пуансонами 2 і 3. Коефіцієнт витікання визначається за формулою:

$$K_{\text{вум}} = \frac{2R}{S} = 7,1,$$

де R , S – відповідно радіус та товщина стінки втулки.
Висота очага деформації (див. формулу 3)

$$H_o = 5,09 \text{ мм.}$$

Відносний об'єм очага деформації (див. формули 2 і 5)

$$V^* = \frac{R^3 \cdot \sqrt{K_{\text{вум}} - 2}}{(R^2 \cdot H - R_1^2 \cdot h) \cdot K_{\text{вум}}} = 0,415.$$

В результаті процесу штампування з витіканням матеріалу отримано виріб (втулку) з відносною щільністю $\theta \geq 99,5\%$ із заданим рівнем ударної в'язкості.

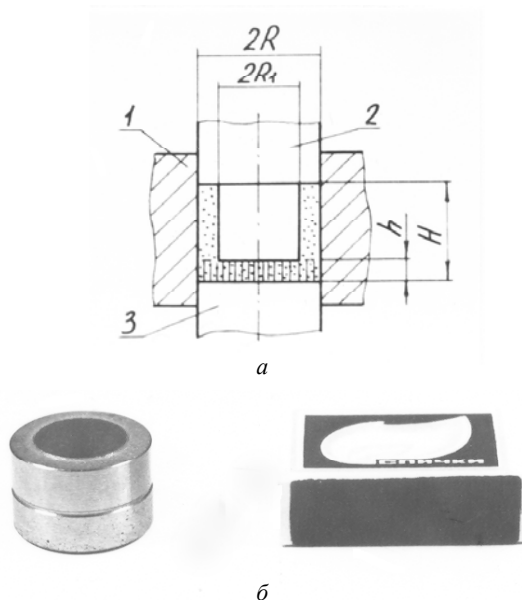


Рис. 3. Схема штампування втулки (а) та готовий виріб (б)

Приклад 2.

Для отримання порошкового титанового ролика (рис. 4) діаметром $2R = 61$ мм, висотою $H = 10$ мм з двома кільцевими впадинами розмірами $h = 2,5$ мм; $2R_1 = 40$ мм; $2R_2 = 28$ мм з ударною в'язкістю не нижчою від 1200 кДж/м^2 заготовка із ПТЕС-1 з відносною щільністю 90% нагрівається до 900°C в середовищі аргону і розміщується в матриці 1. До заготовки прикладається тиск пуансоном 2. Коефіцієнт витікання визначається за формулою:

$$K_{\text{вум}} = \frac{H}{S} = 10,$$

де H , S – відповідно висота ролика та висота компенсаційної щілини.

Висота очага деформації (див. формулу 4)

$$H_o = 5 \text{ мм.}$$

Відносний об'єм очага деформації (див. формули 2 і 11)

$$V^* = \frac{H \cdot (8H^2 + 9K_{\text{вум}}^2 \cdot R^2)}{3K_{\text{вум}}^3 \cdot [R^2 H - 2h \cdot (R_1^2 - R_2^2)]} = 0,395.$$

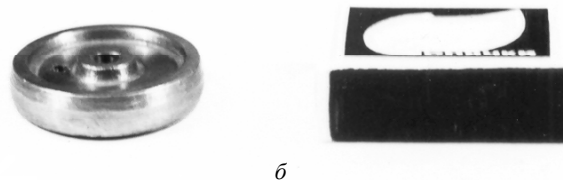
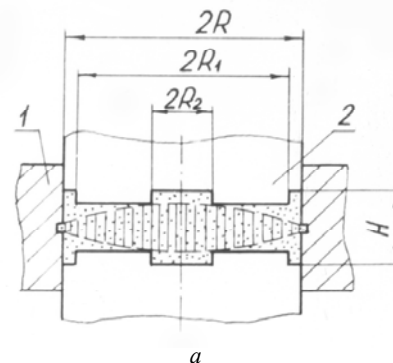


Рис. 4. Схема штампування ролика (а) та готовий виріб (б)

У результаті процесу штампування з витіканням матеріалу отримано виріб (ролик) з відносною щільністю $\theta \geq 99,8\%$ із заданим рівнем ударної в'язкості.

Приклад 3.

Для отримання порошкової титанової кришки (рис. 5) діаметром $2R = 114$ мм, висотою $H = 27$ мм з кільцевою впадиною розмірами $h = 6$ мм; $R_1 = 98$ мм; $R_2 = 38$ мм з ударною в'язкістю не нижчою за 1300 кДж/м^2 заготовка із ПТЕС-1 з відносною щільністю 90% нагрівається до 900°C в середовищі аргону і розміщується в матриці 1. До заготовки прикладається тиск пуансоном 2. Коефіцієнт витікання матеріалу в компенсаційну щілину між пуансоном і матрицею визначається за формулою:

$$K_{\text{вум}} = \frac{2R}{S_1} = 14,25,$$

де R , S – відповідно радіус і товщина стінки кришки.

Висота очага деформації (див. формулу 3)

$$H'_o = 14 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витікання матеріалу в компенсаційну щілину за висотою порожнини матриці ($z = 5$) мм визначається як:

$$K_{\text{вум}2} = \frac{H}{S_2} = 13,5 \text{ мм},$$

де H , S_2 – відповідно висота кришки і компенсаційної щілини.

Висота очага деформації (див. формулу 4)

$$H_o = 10 \text{ мм.}$$

Відносний об'єм очага деформації (див. формулу 1)

$$V^* = \frac{R^3 \cdot \sqrt{K_{\text{вум}1} - 2}}{\left[R^2 H - h \cdot (R_1^2 - R_2^2) \right] \cdot K_{\text{вум}1}} + \frac{H \cdot (8H^2 + 9K_{\text{вум}2}^2 \cdot R^2)}{3R_{\text{вум}2}^3 \cdot \left[R^2 H - h \cdot (R_1^2 - R_2^2) \right]} - V_i^* = 0,603 + 0,259 - V_i^*,$$

де V_i^* – відносний об'єм перекриття додаткових очагів деформації

$$V_i^* = \frac{V_{\text{пер}}}{V_{\text{вир}}},$$

де $V_{\text{пер}}$, $V_{\text{вир}}$ – відповідно об'єм перекриття додаткових очагів деформації та об'єм виробу.

Відповідно формули 14

$$V_{\text{пер}} = \frac{1}{6} \pi \cdot h_n \cdot (3r_1^2 + h_n^2).$$

Звідки

$$V_i^* = \frac{h_n \cdot (3r_1^2 + h_n^2)}{6 \cdot \left[R^2 H - h \cdot (R_1^2 - R_2^2) \right]} = 0,049.$$

Висота перекриття очагів деформації визначається, як:

$$h_n = H_o - (H - h - H_o) = 3 \text{ мм.}$$

Відповідно до формули 17

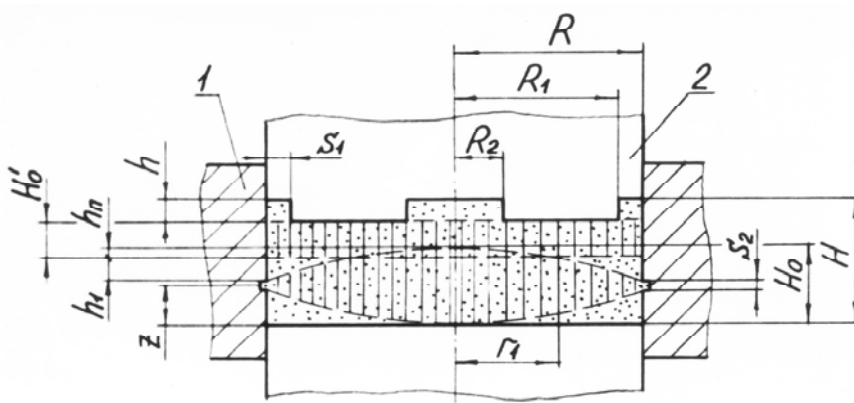
$$r_1^2 = R^2 - h_1^2 - 2h_1 \cdot \frac{R^2 \cdot K_{\text{вум}2}^2 - 4H}{4H \cdot K_{\text{вум}2}},$$

де $h_1 = H_o - h_n - z - \frac{S}{2} = 1 \text{ мм.}$

Підсумково отримуємо:

$$V^* = 0,603 + 0,259 - 0,049 = 0,813.$$

У результаті процесу штампування з витіканням матеріалу отримуємо виріб (кришку) з відносною щільністю $\theta \geq 99,8\%$ та заданим рівнем ударної в'язкості.



a



б

Рис. 5. Схема штампування кришки (а) та готовий виріб (б)

З метою зменшення витрат металу розроблено спосіб виготовлення виробів з порошкових заготовок (а. с. № 1360004), який включає нагрівання заготовок та гарячу деформацію, що проводиться з витіканням матеріалу заготовки у бокові порожнини матриці. Потім матеріал у порожнинах допресовується та відокремлюється від основного виробу. Спосіб забезпечує можливість одночасного отримання за один цикл пресування декількох деталей, наприклад, заготовок болта та шайби, і дозволяє практично виключити втрати металу.

Приклад 4.

Нагріта до $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ заготовка 1 із електролітичного порошка титану ПТЕС-1 з відносною щільністю 90% розміщується в складальній матриці 2, в якій є кільцева порожнина 3 (рис. 6, а). При гарячій деформації під дією ступінчастого пуансона 4 матеріал заготовки витікає в порожнину 3 (рис. 6, б). Після формування виробу в матриці 2 пуансон 4 діє верхнім ступенем на верхню секцію матриці. Відбувається допресовка матеріалу в порожнині 3. Потім пуансоном 5 матеріал в порожнині 3 відокремлюється від основного виробу (рис. 6, в). У результаті за рахунок забезпечення витікання матеріалу в режимі гарячої деформації, основний виріб – болт, який формується в матриці, має відносну щільність $\geq 99,8\%$, а виріб, що формується в боковій порожнині; шайба – $98,4\%$.

У процесі формування за один цикл заготовок під болт та під шайбу практично виключаються втрати металу. Крім того, забезпечуються високі механічні властивості основного виробу ($\sigma_B = 400 - 420\text{ МПа}$; $\delta = 30 - 32\%$; $\psi = 40 - 44\%$; $KCU = 1100 - 1200\text{ кДж/м}^2$).

Отже, в результаті проведених досліджень розроблено способи гарячої деформації пористих порошкових заготовок, які забезпечують створення додаткових очагів деформації в зонах, де сконцентрована залишкова пористість, дозволяють збільшити деформований об'єм та рівномірність розподілу щільності у виробі і отримувати одночасно один цикл пресування декількох деталей.

Носенко М.И., Павлов В.А. Разработка способов горячей деформации порошковых заготовок при получении деталей конструкционного назначения

Разработаны схемы и способы получения порошковых изделий в процессе горячей деформации.

Ключевые слова: горячая деформация, порошковая заготовка, плотность, очаг деформации, деформированный объем.

Nosenko M., Pavlov V. Development of methods for hot deformation powder billets in obtaining parts for constructional purposes

The schemes and methods for producing of powder products during hot deformation were developed.

Key words: hot deformation, powder billet, density, deformation zone, deformed volume.

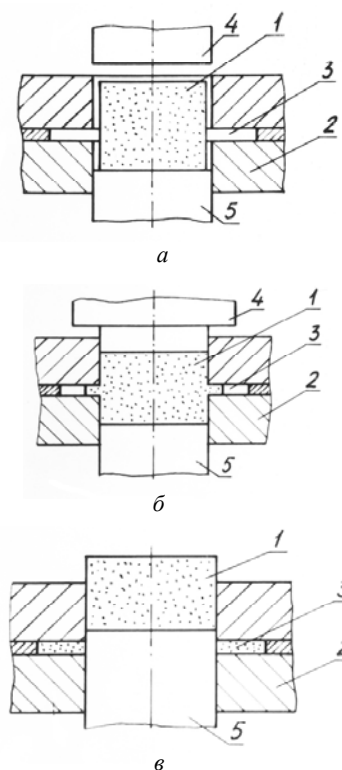


Рис. 6. Схема штампування порошкових заготовок:
 а – завантаження заготовки в матрицю;
 б – гаряча деформація заготовки;
 в – відокремлення матеріалу в бокових порожнинах матриці від основного виробу

Список літератури

1. Носенко М. І. Дослідження гарячого штампування порошкових заготовок//Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні / М. І. Носенко, В. О. Павлов. – 2006. – № 2. – С. 51–56.
2. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский– М. : Наука, 1978. – 335 с.

Одержано 06.06.2013