

16. Marcatili, E. A. J., Schmeltzer, R. A. (1964). Hollow Metallic and Dielectric Waveguides for Long Distance Optical Transmission and Lasers. Bell System Technical Journal, 43 (4), 1783–1809. doi: 10.1002/j.1538-7305.1964.tb04108.x

17. Zheltikov, A. M. (2004). Nonlinear optics of microstructure fibers. Physics-Uspekhi, 47 (1), 69–98. doi: 10.1070/pu2004v047n01abeh001731

18. Knight, J. C., Birks, T. A., Russell, P. S. J., Atkin, D. M. (1996). All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding. Optics Letters, 21 (19), 1547. doi: 10.1364/ol.21.001547

19. Gfeller, F. R., Bapst, U. (1979). Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation. Proceedings of the IEEE, 67 (11), 1474–1486. doi: 10.1109/proc.1979.11508

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Мачехін Ю. П.

Дата надходження рукопису 17.12.2015

**Haider Ali Muse**, Postgraduate student, Department of Physical Foundations of Electronic Engineering, Kharkiv national university of radio electronics, Lenina ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166  
E-mail: Hadr\_2005@yahoo.com

**Tatyana Dribnokhod**, Department of Physical Foundations of Electronic Engineering, Kharkiv national university of radio electronics, Lenina ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166  
E-mail: tatyana.dribnokhod@gmail.com

УДК 621.567

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58770

## РАЗМЕРНАЯ ТОЧНОСТЬ СПЕЧЕННЫХ ЗАГОТОВОК

© Ч. А. Алиев

*В статье приведены результаты оценки влияния стабильности поведения компонентов, входящих в состав композиций и технологических параметров их получения, на размерную точность заготовок. Установлено, что при увеличении количества оксида в составе композиции происходит большее уплотнение спеченной заготовки в процессе термической обработки. При этом также происходит увеличение плотности всех составляющих композиции*

**Ключевые слова:** размерная точность, спеченная заготовка, плотность, аналитическое выражение, оксид, вариация

*The article presents the results of assessing the impact of the behaviour stability of the components included in the compositions and process parameters of their production, on the dimensional accuracy of workpieces. It was found that by increasing the amount of oxide in the composition is greater compaction of the sintered billet in the process of heat treatment. This also increases the density of all components of the composition*

**Keywords:** dimensional accuracy, sintered billet, density, analytical expression, oxide, variation

### 1. Введение

Получение композиций типа «металлы-оксиды-фенол-формальде-гидная смола (ФФС)» является приоритетным направлением на пути расширения номенклатуры заготовок сложной формы. Однако для изготовления композиций заготовок путем свободной заливки в форму смеси компонентов с последующим спеканием необходимо умело управлять изменением формы и размером конечных заготовок [1–3].

При выборе той или иной технологии изготовления заготовок вопросы размерной точности являются определяющими. В особенности это относится к случаю получения заготовок сложной формы, так как обработка всех поверхностей таких заготовок сопоставима с их получением механообработкой из отливок, поковок, штамповок и т. д.

### 2. Постановка проблемы и анализ литературных данных

С точки зрения размерной точности, рассматриваемая в работе технология получения порошко-

вых заготовок принципиально отличается от принятых. Эта разница состоит в том, что в традиционных технологиях в процессе мехобработки плотность заготовки остается практически неизменно и в то время как усадка составляет несколько процентов. В рассматриваемой технологии плотность материала заготовок может несколько раз изменяться тогда, как усадка может составлять 20–30 % от номинальной величины.

В то же время, используя материалы, обладающие высокими стабильными физическими и технологическими свойствами, а также высокоточные режимы обработки, можно достичь размерной точности, сопоставимой или превосходящей этот показатель у заготовок, изготавливаемых принятыми способами [4–6].

### 3. Проведения теоретической оценки изготовления спеченных заготовок

С целью проведения теоретической оценки влияния стабильности параметров компонентов, входящих в состав композиций, и основных технологи-

ческих параметров изготовления заготовок на их размерную точность были приняты следующие допущения:

- композиций имеют изотропный состав;
- металлическая фаза не теряет исходную массу;
- восстановление исходного оксида композиции происходит полностью.

Для заготовок любых форм и размеров справедливо следующее выражение:

$$\rho_4 = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3}} \quad (1)$$

и

$$\rho_5 = \frac{m_2 + y \cdot m_3}{V_2}, \quad (2)$$

где  $m_1, m_2$  и  $m_3$  – соответственно в прессовке массы фаз связующего, металлической и оксидной;  $\rho_1, \rho_2$  и  $\rho_3$  – то же, только плотности;  $V_2$  – объем спеченной заготовки,  $y$  – коэффициент, зависящий от вида оксида и определяемый экспериментально по результатам измерения количества кислорода ( $y=0,7$  принято).

Очевидно, что

$$\rho_4 = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{k d^3} \quad (3)$$

и

$$\rho_5 = \frac{m_2 + y m_3}{k(d - \Delta d)^3}, \quad (4)$$

где  $\rho_4$  и  $\rho_5$  – соответственно плотность прессовки и спеченного материала;  $k$  – коэффициент, зависящий от формы изделия (для шара  $k = \frac{\pi}{6}$ , для куба  $k=1$ ),  $d$  – линейный размер поковки;  $\Delta d$  – изменение размера поковки после спекания и достижения требуемой плотности.

Разделив выражение (4) на (3), получим

$$\frac{\rho_5}{\rho_4} = \frac{(m_2 + 0,7m_3)d^3}{(m_1 + m_2 + m_3)(d - \Delta d)^3}. \quad (5)$$

После преобразования получим:

$$\frac{\Delta d}{d} = 1 - \left[ \frac{\rho_4(m_2 + 0,7m_3)}{\rho_5(m_1 + m_2 + m_3)} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (6)$$

Подставив в выражение (1) значение  $\rho_4$  получим:

$$\frac{\Delta d}{d} = 1 - \left[ \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 (m_2 + 0,7m_3)}{\rho_5 (m_1 \rho_2 \rho_3 + m_2 \rho_1 \rho_3 + m_3 \rho_1 \rho_2)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

или

$$\frac{\Delta d}{d} = 1 - \left[ \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 (x + 0,7y)}{\rho_5 (\rho_2 \rho_3 + x \rho_1 \rho_3 + y \rho_1 \rho_2)} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (8)$$

где  $x = \frac{m_2}{m_1}$ , а  $y = \frac{m_3}{m_1}$ .

В выражении (8) участвуют только плотности и величины  $x, y$ , определяющие рецептуру композиций.

Определение размерной точности прессовки после спекания сводится к анализу изменения величины отношения  $\frac{\Delta d}{d}$  при варьировании плотностями, входящими в выражение (8).

Дифференцируя выражение (8) по одному из параметров и предполагая, что другие будут постоянными, получаем уравнение для оценки размеров в зависимости от вариации того или другого параметра

$$\delta \left( \frac{\Delta d}{d} \right)_i = \frac{\partial}{\partial \rho_i} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) \delta \rho_i, \quad (9)$$

где  $\rho_i$  – параметры  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_5, x$  и  $y$ .

Производные  $\frac{\partial}{\partial \rho_i} \left( \frac{\Delta d}{d} \right)$  имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \rho_1} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) &= \\ &= -\frac{1}{3} \left[ \frac{\rho_2^4 \cdot \rho_3^4 (x + 0,7y)}{\rho_1^2 \rho_5 (\rho_2 \cdot \rho_3 + x \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)^4} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \rho_2} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) &= \\ &= -\frac{1}{3} \left[ \frac{\rho_1^4 \cdot \rho_3^4 (x + 0,7y)}{\rho_2^2 \rho_5 (\rho_2 \cdot \rho_3 + x \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)^4} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \rho_3} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) &= \\ &= -\frac{1}{3} \left[ \frac{\rho_1^4 \cdot \rho_2^4 \cdot y^3 (x + 0,7y)}{\rho_3^2 \rho_5 (\rho_2 \cdot \rho_3 + x \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)^4} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \rho_5} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) &= \\ &= \frac{1}{3} \left[ \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 (x + 0,7y)}{\rho_5^4 (\rho_2 \cdot \rho_3 + x \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) &= \\ &= -\frac{1}{3} \left[ \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 (\rho_2 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 - 0,7y \cdot \rho_1 \cdot \rho_3)^3}{\rho_5 (x + 0,7y)^2 (\rho_2 \cdot \rho_3 + x \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\Delta d}{d} \right) &= \\ &= -\frac{1}{3} \left[ \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 (0,7\rho_2 \cdot \rho_3 + 0,7 \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 - x \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)^3}{(x + 0,7y)^2 \rho_5 (\rho_2 \cdot \rho_3 + x \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + y \cdot \rho_1 \cdot \rho_2)^4} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (15) \end{aligned}$$

Для практического применения полученных выражений (10)–(15) задаемся соответствующими параметрами. Для стальных заготовок из композиций со связующим на основе фенолформальдегидный смолы (ФФС) принимаем:

$$\rho_1 = 1,3 \frac{\rho}{\text{см}^3};$$

$$\rho_2 = 7,8 \frac{\rho}{\text{см}^3};$$

$$\rho_3 = 5,24 \frac{\rho}{\text{см}^3};$$

$$\rho = 7,6 \frac{\rho}{\text{см}^3}.$$

Значения величин  $x$  и  $y$  рассчитываем по формулам:

$$x = \frac{m_2}{m_1} = \frac{7,8\gamma_1}{1,3(1-\gamma_2)(1-\gamma_1)}, \quad (16)$$

$$y = \frac{m_3}{m_1} = \frac{5,24\gamma_2}{1,3(1-\gamma_1)}, \quad (17)$$

где  $\gamma_1$  – объемная доля металлической фазы в композиции,  $\gamma_2$  – объемная доля оксида в связующем.

#### 4. Результаты исследования

Расчетные значения  $x$  и  $y$  приведены в табл. 1. Приведенные значения показывают, что при кажущейся на первый взгляд сложности расчетов усадки в конечном итоге получаются достаточно достоверные результаты. Представляет значительный интерес долевая структура вариаций усадки при вариациях параметров композиций. Если допустить, что вариации параметров составляют одинаковую долю от номинальных величин, то на изменение усадки значительно повлияет изменение плотности ( $\rho_5$ ) спеченной заготовки. Введение в состав композиций оксидов значительно влияет на изменение структуры суммы вариаций размерных изменений. С увеличением количества вводимых оксидов, увеличивается влияние параметров  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_5$ . Это следует учитывать при разработке рецептуры определения требований к исходным компонентам и технологическим режимам изготовления композиций и заготовок из них.

Таблица 1

Расчетные значения величин  $x$  (числитель) и  $y$  (знаменатель) при различных значениях величин  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$

$\gamma_2 \backslash \gamma_1$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6
0	0	$\frac{0,67}{0}$	$\frac{1,50}{0}$	$\frac{2,57}{0}$	$\frac{4,00}{0}$	$\frac{6,00}{0}$	$\frac{7,33}{0}$	$\frac{9,00}{0}$
0,1	$\frac{0}{0,45}$	$\frac{0,74}{0,45}$	$\frac{1,67}{0,45}$	$\frac{2,86}{0,45}$	$\frac{4,44}{0,45}$	$\frac{6,67}{0,45}$	$\frac{8,15}{0,45}$	$\frac{10,00}{0,45}$
0,2	$\frac{0}{1,15}$	$\frac{0,83}{1,15}$	$\frac{1,88}{1,15}$	$\frac{3,22}{1,15}$	$\frac{4,99}{1,15}$	$\frac{7,50}{1,15}$	$\frac{9,17}{1,15}$	$\frac{11,25}{1,15}$
0,3	$\frac{0}{1,73}$	$\frac{0,96}{1,73}$	$\frac{2,14}{1,73}$	$\frac{3,67}{1,73}$	$\frac{5,72}{1,73}$	$\frac{8,58}{1,73}$	$\frac{10,47}{1,73}$	$\frac{12,86}{1,73}$
0,4	$\frac{0}{2,69}$	$\frac{1,12}{2,69}$	$\frac{2,50}{2,69}$	$\frac{4,29}{2,69}$	$\frac{6,68}{2,69}$	$\frac{10,02}{2,69}$	$\frac{12,24}{2,69}$	$\frac{15,03}{2,69}$
0,5	$\frac{0}{4,03}$	$\frac{1,34}{4,03}$	$\frac{3,0}{4,03}$	$\frac{5,14}{4,03}$	$\frac{8,0}{4,03}$	$\frac{12,0}{4,03}$	$\frac{14,66}{4,03}$	$\frac{18,0}{4,03}$
0,55	$\frac{0}{4,93}$	$\frac{1,49}{4,93}$	$\frac{4,33}{4,93}$	$\frac{5,70}{4,93}$	$\frac{8,88}{4,93}$	$\frac{13,32}{4,93}$	$\frac{16,27}{4,93}$	$\frac{19,98}{4,93}$
0,6	$\frac{0}{6,05}$	$\frac{1,67}{6,05}$	$\frac{3,75}{6,05}$	$\frac{6,42}{6,05}$	$\frac{10,0}{6,05}$	$\frac{15,0}{6,05}$	$\frac{18,32}{6,05}$	$\frac{22,5}{6,05}$

#### 6. Выводы

1. Проведена теоретическая оценка влияния стабильности параметров компонентов, входящих в состав композиций и технологических параметров изготовления, на размерную точность заготовок.

2. Установлено, что с увеличением количества оксидов, вводимых в состав композиций, увеличивается влияние таких параметров как плотность металлического порошка, плотность оксида и плотность спеченного материала.

#### Литература

1. Королев, Ю. М. Состояние развития порошковой металлургии России в свете мировых тенденций [Текст]:

конференция / Ю. М. Королев, В. Г. Люлько. – «Порошковая металлургия в автотракторном машиностроении». – Минск, 2007. – С. 23–27.

2. Горохов, В. М. Установка для теплового прессования металлических порошков-первый опыт применения для получения изделий сложной формы [Текст]: науч.-пр. сем. / В. М. Горохов, Е. В. Звонарев, А. Ф. Ильюшенко, П. Н. Киреев. – «Новые материалы и изделия из металлических порошков. Технология. Производство. Применение». – Йошкар-Ола, 2005. – С. 41–44.

3. Грабой, И. Э. Материалы Catameld компании BASF для литья порошков под давлением [Текст]: науч.-пр. сем. / И. Э. Грабой, Т. Арндт. – «Новые материалы и изделия из металлических порошков. Технология. Производство. Применение». – Йошкар-Ола, 2005. – С. 37–40.

4. Мамедов, А. Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы [Текст] / А. Т. Мамедов. – Баку: Элм, 2005. – 460 с.

5. Мамедов, А. Т. Особенности структурообразования порошковых сталей [Текст] / А. Т. Мамедов, Н. П. Сергеева // Порошковая металлургия. – 1989. – № 3. – С. 101–105.

6. Анциферов, В. Н. Спеченные легированные стали [Текст] / В. Н. Анциферов, В. Б. Акименко. – М., 2003. – 188 с.

#### References

1. Korolev, Ju. M., Ljul'ko, V. G. (2007). Sostojanie razvitiya poroshkovej metallurgii Rossii v svete mirovych tendencij. «Poroshkovaja metallurgija v avtotraktornom mashinostroenii». Minsk, 23–27.

2. Gorohov, V. M., Zvonarev, E. V., Il'jushhenko, A. F., Kireev, P. N. (2005). Ustanovka dlja teplogo pressovanija me-

tallicheskih poroshkov-pervyj opyt primeneniya dlja polucheniya izdelij slozhnoj formy. «Novye materialy i izdelija iz metallischeskih poroshkov. Tehnologija. Proizvodstvo. Primenenie». Yoshkar-Ola, 41–44.

3. Graboj, I. Je., Arndt, T. (2005). Materialy Cate-meld kompanii BASF dlja lit'ja poroshkov pod davleniem. «Novye materialy i izdelija iz metallischeskih poroshkov. Tehnologija. Proizvodstvo. Primenenie». Yoshkar-Ola, 37–40.

4. Mamedov, A. T. (2005). Konstrukcionnye i anti-frikcionnye poroshkovye materialy. Baku: Jelm, 460.

5. Mamedov, A. T., Sergeeva, N. P. (1989). Osobnosti strukturoobrazovanija poroshkovyh stalej. Poroshkovaja metallurgija, 3, 101–105.

6. Anciferov, V. N., Akimenko, V. B. (2003). Spechen-nye legirovannye stali. Moscow, 188.

**Чингиз Ариф оглы Алиев**, докторант, Азербайджанский Технический Университет, пр. Гусейн Джавида, 25, г. Баку, Азербайджан, AZ1073  
E-mail: ariff-1947@mail.ru

УДК 629.7.07

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58774

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА

© О. В. Артеменко, Д. Ю. Артеменко

*Исследовано задачу принятия решения о возможности выполнения полета воздушного судна. Установлены методы формализации задачи. Получено схему задачи, представленную в виде ориентированного плоского графа без петель, математическую модель задачи принятия решения о выполнении полета. Предложен графический способ представления информации с помощью диаграмм в полярных координатах и программный продукт для АС ППИ*

**Ключевые слова:** задача принятия решения, формализация, математическая модель, диаграмма в полярных координатах

*Decision problem of the possibility of the aircraft flight was investigated. Methods of formalizing the task were established. The model of the problem provided in the form of oriented planar graph without loops and the mathematical model of the decision problem of the aircraft flight were obtained. The graphic way of presenting information using diagrams in polar coordinates and software for application in the AS PPI were proposed*

**Keywords:** decision problem, formalization, mathematical model, diagrams in polar coordinates

### 1. Введение

Повышение безопасности полетов является одной из наиболее важных научно-технических задач в авиационной сфере. Основная роль в поддержке безопасности полетов принадлежит экипажу воздушного судна (ЭВС), неадекватное принятие решений которым может привести к авиационному происшествию [1]. Предполетная подготовка ЭВС является одним из условий обеспечения безопасности полетов [2] и предусматривает изучение большого объема разноплановой информации для различных видов и условий полетов [3]. Итогом предполетной подготовки является принятие командиром воздушного судна (КВС) обоснованного решения о возможности выполнения полета. В настоящее время существует ряд проблем [3], связанных с оперативностью поиска и получения необходимых данных. В связи с этим

снижается качество и эффективность предполетной подготовки и затрудняется принятие правильного решения экипажем. Поскольку принятие решения КВС является сложным психологическим процессом, и неправильное решение пилота может привести к авиационному происшествию, актуальной является задача построения математической модели процесса принятия решения на вылет и разработка на ее основе автоматизированного модуля поддержки принятия решения в системе подготовки предполетной информации [4].

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящее время в целях повышения безопасности полетов в состав автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД)