

ления оксидов в режиме горения при низких температурах, что может позволить регулировать морфологию и структуру СВС продукта.

Литература:

1. Miedema A.R., Boom R., Boer F.R. On the heat of formation of solid alloys. J. Less-Common Met., 1975, v. 41, No 2, p. 283-298.
2. Miedema A.R. On the heat of formation of solid alloys (II). J. Less-Common Met., 1976, v. 46, No 1, p. 67-83.
3. Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И. . Планетарная мельница. А.с. СССР № 975068, БИ, № 43, 1982.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЯЗКОСТИ ФОРМУЕМЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ СВЯЗУЮЩЕГО И ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

ДОВЫДЕНКОВ В.А.¹, МЕРЗЛЯКОВА О.С.²

¹ООО «Наномет», г. Йошкар-Ола, Россия,

тел.: (+78362)41-42-99, e-mail: metma@yoshkar-ola.ru

²Марийский государственный технический университет,

г. Йошкар-Ола, Россия, e-mail: MerzlyakovaOS@mail.ru

При изготовлении деталей из композиций порошков и связующего инъекционным, мундштучным, прямым пресованием важнейшим параметром технологии является степень наполнения композиций твердой фазой, поскольку, чем выше степень наполнения, тем меньше усадка и коробление изделий при спекании и, соответственно, выше размерная точность, что является решающим для конкурентоспособности этих технологий. Вместе с тем увеличение степени наполнения увеличивает вязкость композиций, и при определенной критической степени наполнения композиции вообще теряют текучесть. Известно, что приемлемые для технологии соотношения между вязкостью и степенью наполнения могут быть достигнуты за счет применения полидисперсных наполнителей, в которых частицы меньшего размера могут размещаться в полостях между более крупными частицами, как бы «выдавливая» из этих полостей связующее, в результате чего связующего на поверхностях скопления становится больше и это приводит к уменьшению вязкости композиции. Как показано в работах [1,2] вязкость композиции, в которой твердая фаза состоит из одного монодисперсного компонента,

может быть, с достаточной для практического применения, точностью рассчитана согласно выражения [1]:

$$\frac{\eta_k}{\eta} = \frac{A}{1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_k} \right)^{\frac{1}{3}}}, \quad (1)$$

где η_k и η – вязкости композиции и связующего; A – коэффициент, различный для разных видов твердофазного наполнителя и определяемый экспериментально; γ – объемное содержание твердой фазы; γ_k – критическое объемное содержание твердой фазы, при котором композиция теряет текучесть.

Если композиция содержит два компонента твердой фазы и при этом дисперсность этих компонентов существенно отличается, то вязкость таких композиций может быть описана уравнением [2]:

$$\frac{\eta_K}{\eta} = \frac{A}{\left[1 - \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_{k1}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_{k2}} \right)^{\frac{1}{3}} \right]}, \quad (2)$$

где γ_1 – объемное содержание наполнителя №1 в композиции в целом; γ_2 – объемное содержание наполнителя № 2 в системе «наполнитель №2 – связующее»; γ_{k1} и γ_{k2} – критические объемные содержания наполнителя №1 и №2, соответственно.

Для композиций с 3-х компонентным наполнителем вязкость может быть рассчитана согласно уравнения [3]:

$$\frac{\eta_K}{\eta} = \frac{A}{\left[1 - \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_{k1}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_{k2}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{\gamma_3}{\gamma_{k3}} \right)^{\frac{1}{3}} \right]}, \quad (3)$$

где γ_1 - объемное содержание наполнителя №1 в композиции в целом; γ_2 - объемное содержание наполнителя №2 в системе: связующее + наполнитель №2 + наполнитель №3; γ_3 - объемное содержание наполнителя №3 в системе: связующее + наполни-

тель №3. γ_{k1} , γ_{k2} , γ_{k3} - критические объемные содержания 1-го, 2-го и 3-го компонентов в системах компонент – связующее, при которых такие однокомпонентные композиции теряют текучесть; η - динамическая вязкость связующего; η_k - динамическая вязкость композиции; А – постоянная, определяемая экспериментально.

В данном случае объемное содержание твердой фазы в композиции (γ) составит величину, рассчитываемую по уравнению [4]:

$$\gamma = \gamma_1 + (1 - \gamma_1) \cdot \gamma_2 + (1 - \gamma_1)(1 - \gamma_2) \gamma_3 \quad (4)$$

Таблицы значений $\frac{\eta_k}{\eta} \cdot \frac{1}{A}$ для заданных значений величины γ и при различных величинах γ_1 , γ_2 , γ_3 .

Таблица 1

$$\gamma = 0,5$$

$\gamma_2 \backslash \gamma_3$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
0,05	35	37	37	38	38	40	42	45	49
0,1	37	39	40	41	42	44	46	48	-
0,15	38	41	43	44	45	46	47	44	-
0,2	40	43	45	46	47	47	45	-	-
0,25	42	45	47	49	48	46	-	-	-
0,3	45	49	51	51	48	-	-	-	-
0,35	50	54	55	52	-	-	-	-	-
0,4	61	64	58	-	-	-	-	-	-
0,45	88	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2

$$\gamma = 0,6$$

$\gamma_2 \backslash \gamma_3$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
0,05	124	103	90	83	79	79	80	88	106	166
0,1	104	96	90	86	85	85	89	97	117	178
0,15	93	92	89	88	88	90	94	103	123	179
0,2	88	90	90	90	91	94	99	108	1126	122
0,25	86	91	92	94	96	99	104	112	1118	-
0,3	89	95	98	101	103	106	110	111	-	-
0,35	98	106	110	113	115	117	114	-	-	-
0,4	120	130	136	139	139	133	-	-	-	-
0,45	191	207	213	213	194	-	-	-	-	-

Таблица 3

$$\gamma = 0,7$$

$\gamma_2 \backslash \gamma_3$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
0,05	-	-	-	-	549	320	252	237	261	392
0,1	-	-	-	698	373	281	248	245	280	428
0,15	-	-	754	405	300	258	242	250	291	453
0,2	-	726	414	313	267	246	242	256	305	477
0,25	598	399	315	275	252	244	247	267	320	502
0,3	363	314	283	264	254	253	262	286	346	534
0,35	305	295	283	277	274	279	292	322	384	572
0,4	322	327	328	329	333	343	361	394	458	443
0,45	468	494	505	517	527	546	569	605	566	-

Таблица 4

$$\gamma = 0,8$$

$\gamma_2 \backslash \gamma_3$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4106
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2754
0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	2507	2226
0,2	-	-	-	-	-	-	-	3125	1731	1976
0,25	-	-	-	-	-	-	3979	1718	1426	1870
0,3	-	-	-	-	-	4775	1812	1351	1335	1880
0,35	-	-	-	-	4419	1932	1397	1267	1364	2031
0,4	-	-	-	4010	2142	1617	1424	1410	1609	2462
0,45	-	-	4346	2936	2349	2110	2022	2126	2497	3911

Следует отметить, что наиболее важно знать не абсолютные значения величин вязкости, а характер ее изменения в зависимости от состава композиции. Как видно из таблиц значений вязкости, предложенная методика позволяет расчётным путем определить области концентраций компонентов, при которых вязкость композиций минимальна и при которых вязкость мало изменяется при флуктуациях величин $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

Для наглядности на рисунке 1 приведены графики изменения величины $\frac{\eta_k}{\eta} \cdot \frac{1}{A}$ в трехмерном изображении.

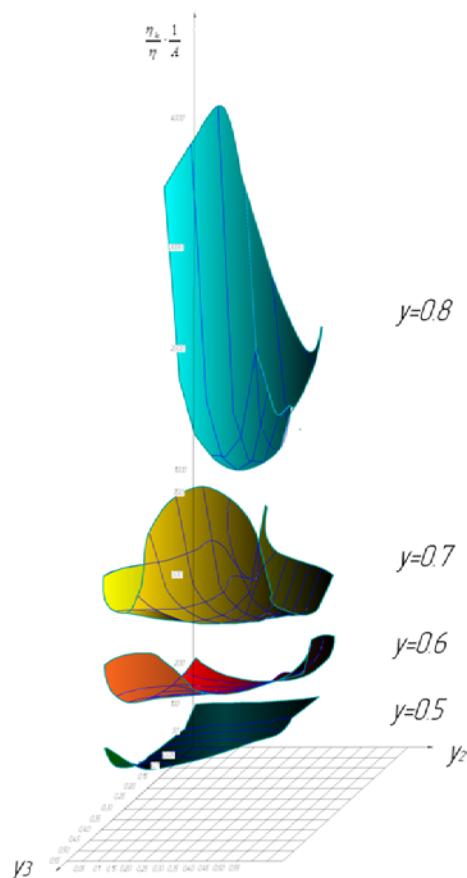


Рис. 1. Трехмерное изображение изменения величины $\frac{\eta_k}{\eta} \cdot \frac{1}{A}$

Определение области концентраций компонентов, при которых вязкость композиций минимальна и при которых вязкость мало изменяется при флуктуациях величин $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, важно как с точки зрения снижения трудоемкости работ по оптимизации составов, так и с точки зрения определения таких составов, в которых неизбежные флуктуации концентрации не будут влиять на сплошность изделий, полученных прессованием.

Литература:

1. Dovydenkov, V.A. Model and Method to Calculate Viscosity of Metal and polymer Composites (MIM - Feedstocks)/V.A. Dovydenkov//Prog. Of the PM2008 International Powder Metallurgy Congress. Mannheim. 29th September – 1st October 2008. – Vol.2 – P.263-268.
2. Довыденков, В.А. Модель для расчета вязкости композиций порошок – связующее для получения заготовок путем их литья и спекания / В.А. Довыденков, Г.П. Фетисов //Заготовительные производства в машиностроении. – 2009.- №1. – С. 47-49.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДОЧНЫХ И КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВО-ВОЛОКНОВЫХ ПОРИСТЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР

ДОКТОРОВ В. В., ИЛЬЮЩЕНКО А.Ф., МАЗЮК В. В.

Институт порошковой металлургии, г. Минск, Беларусь

Введение. Существенным недостатком порошковых капиллярных структур является относительно большая усадка при спекании, которая приводит к возникновению усадочных пор на границе капиллярной структуры и корпуса тепловой трубы. Усадочные поры создают дополнительное тепловое сопротивление между корпусом и структурой и тем самым резко ухудшают параметры тепловой трубы. Этот эффект практически не заметен для тепловых труб диаметром 14-16 мм, но оказываются существенным при изготовлении тепловых труб диаметром 6-8 мм и особенно сильно проявляется при изготовлении миниатюрных тепловых труб. Причины усадки в порошковых капиллярных структурах объясняются в работе [1]. При этом важно, что силы, вызывающие усадку, возникают на границе соприкасающихся частиц порошка и приводят к сближению центров этих частиц.

Моделирование порошково-волоконных капиллярных структур. Усадке препятствуют силы межчастичного трения. Если капиллярная структура при усадке представлена как сплошная среда, то силы межчастичного трения можно соотнести с эффективным модулем упругости капиллярной структуры, который характеризует явления, препятствующие усадке. Таким образом, капиллярную структуру, подвергающуюся усадке при спекании, можно представить как сплошную среду, подвергающуюся сжатию под действием сил, равномерно распределенных по объему. Одним из наиболее