

УДК 621.762

Получение металлических порошков методом центробежного распыления с использованием вращающегося стакана

Д. А. Труфанов, С. А. Котов, Е. В. Шалашов, В. В. Часов*

В лабораторной установке центробежного распыления с вращающимся стаканом и жидкой средой охлаждения получены распыленные порошки оловянисто-свинцового припоя (ПОС-61) и оловянистой бронзы (БрО-20). Показано, что на сфероидизацию капель расплава при распылении на воздухе главным образом влияет природа металла (сплава), а именно поверхностное натяжение и вязкость при температуре плавления. Исследованы: форма, размер частиц, уплотняемость и формуемость полученных порошков. Предложен проект установки гибридного распыления в целях получения ультрадисперсных металлических порошков со сферической формой частиц для 3D-печати.

Ключевые слова: центробежное распыление, металлические порошки, форма частиц, припой, бронза, вращающийся стакан.

Центробежное распыление жидкости или металлического расплава с использованием вращающегося стакана широко используется во многих промышленных процессах: начиная с производства шоколадных гранул и заканчивая химическими процессами в реакторах. Суть метода заключается в следующем: жидкий металл наливают на вращающийся диск, чашу или стакан. Под действием центробежной силы расплав растекается в виде тонкой пленки, а на кромке диска разделяется на струйки, которые далее распадаются на капли. Производительность метода может изменяться от нескольких десятков килограмм до нескольких тонн в час. Энергоэффективность центробежного распыления выше по сравнению с распылением расплава газом или водой.

Цель работы — изучение влияния природы материала и параметров распыления на свойства получаемого порошка: размер и форму частиц, уплотняемость, формуемость.

Анализ опубликованных работ и результатов эксперимента

На кафедре «Технология и исследование материалов» Санкт-Петербургского политех-

нического университета в лабораторной установке центробежного распыления были получены порошки припоя ПОС-61 и бронзы БрО-20. Схема лабораторной установки центробежного распыления показана на рис. 1.

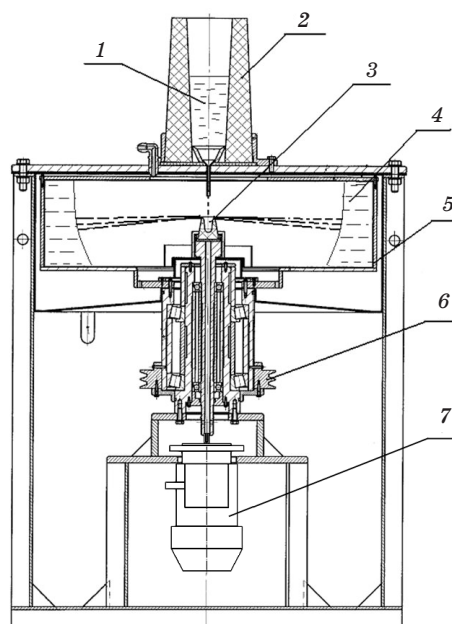


Рис. 1. Схема установки центробежного распыления:

1 — расплав; 2 — заливочная воронка; 3 — стакан-распылитель; 4 — охлаждающая жидкость; 5 — сборник порошка; 6 — привод сборника; 7 — привод стакана-распылителя

* В работе также принимали участие: Гиршов В. Л., Кочкин В. Г., Цеменко В. Н.

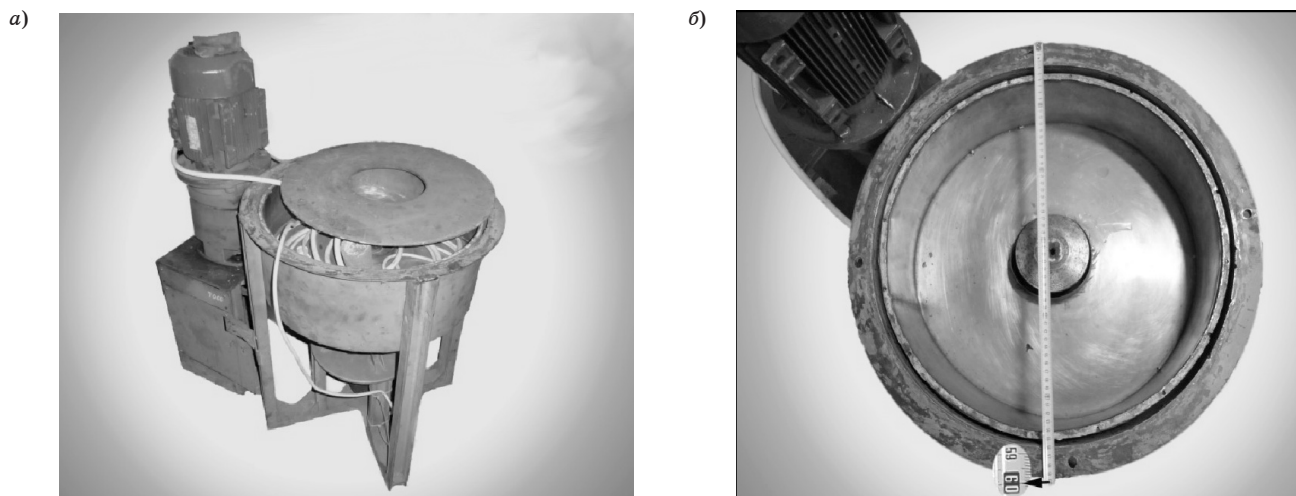


Рис. 2. Лабораторная установка центробежного распыления (СПБУ): а — общий вид установки; б — вид сверху

Распыление осуществляется следующим образом. В сборник порошка заливается вода. Включается привод сборника порошка и стакана-распылителя, в который через заливочную воронку подается расплав. Поступающий расплав под действием центробежной силы выбрасывается из стакана в форме нитевидных прядей и пленок, которые в виде капель попадают в воду, где затвердевают, образуя порошок. На рис. 2 показан внешний вид лабораторной установки.

В литературе [1, 2] подчеркивается, что центробежный метод распыления позволяет получить частицы сферической формы за счет применения инертной атмосферы распыления. Так, Ш. М. Шейхалиев [2] получил

сферические частицы алюминия в среде азота (рис. 3).

Автор выделил два параметра, которые влияют на форму частиц:

- состав газовой среды;
- температура перегрева расплава.

На воздухе и при небольших перегревах расплава частицы имеют нитевидную форму (рис. 3) с большой удельной поверхностью. В атмосфере азота или при малом содержании кислорода и высоком перегреве (более 5 %) форма частиц получается сферической (рис. 3, б).

В работе [3] представлены результаты экспериментов по центробежному распылению чистого олова в качестве модельной жидкости при

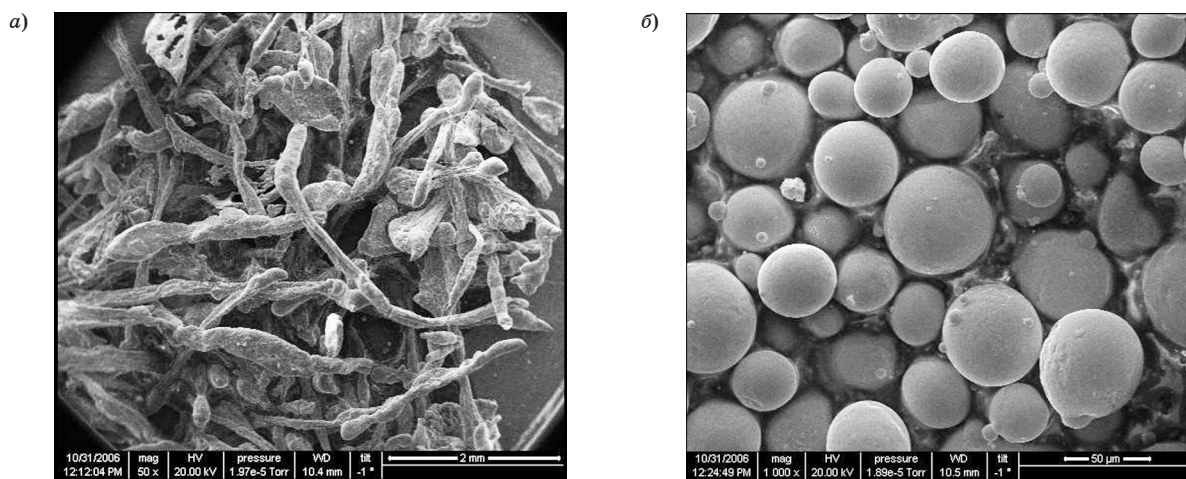


Рис. 3. Формы частиц гранул алюминия, полученные центробежным распылением: а — на воздухе; б — в азоте

Таблица 1

Сравнение параметров распыления

Установка	Заливочное устройство	Атмосфера распыления	Диаметр камеры, мм	Частота вращения диска, мин ⁻¹	Масса расплавленного металла, г
СПБПУ	Воронка, $d = 4$ мм	Воздух	600	$\approx 15 \cdot 10^3$	1670
НГТИ	Форсунка ЦГР	Азот ($\approx 99\%$)	2000	$20 \cdot 10^3$	—

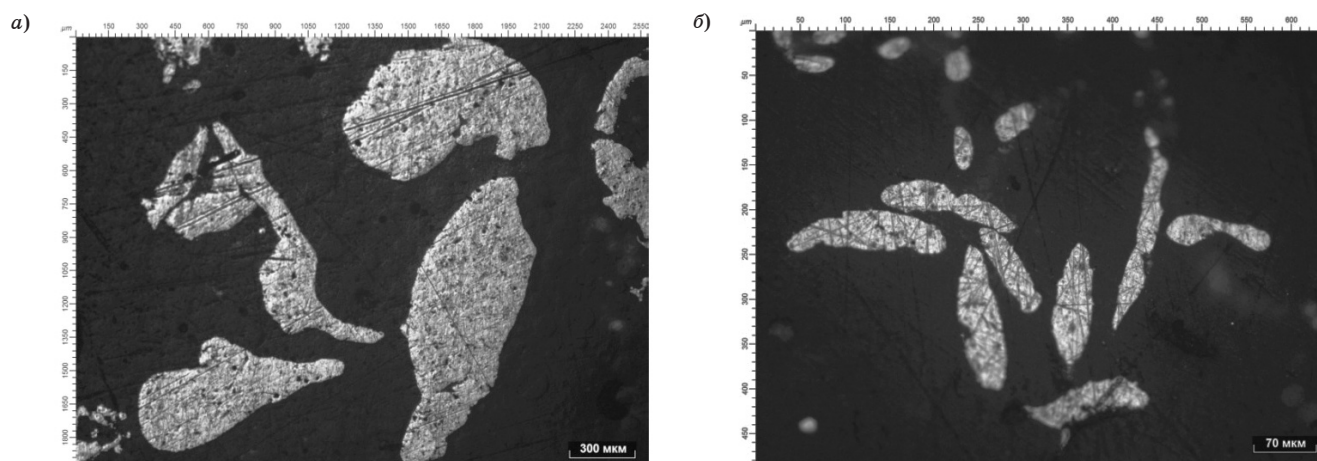


Рис. 4. Форма частиц порошка ПОС-61 различных гранулометрических фракций (ситовый анализ): а — $1000 + 630$ мкм; б — 200 мкм

температуре 550°C . В работе [1] отмечается, что частицы, полученные на воздухе, мгновенно покрываются толстой оксидной пленкой, мешающей их сфероидизации и дальнейшему измельчению. Для того чтобы получить мелкие сферические частицы, распылительная камера должна быть заполнена инертной средой.

В работе [4] представлены результаты экспериментов по определению влияния концентрации кислорода в атмосфере камеры установки на свойства получаемых порошков сплава ПОС-61 при распылении пленки расплава. Авторы получили припой со сферической формой частиц. Интересным в работе является то, что на базе Новоуральского государственного технологического института был распылен точно такой же сплав, что и на кафедре «Технология и исследование материалов» (СПБПУ), однако установки и условия распыления различаются. Отметим основные параметры распыления в (табл. 1).

Эксперименты по распылению ПОС-61 на установке СПБПУ показали, что частицы имеют неправильную форму (рис. 4).

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что принципиальное отличие в условиях

проведения эксперимента заключается в атмосфере распыления. Из материалов работ [3, 4] следует, что инертная атмосфера в распылительной камере предотвращает образование оксидной пленки в момент дробления пленки ПОС-61 и позволяет получить частицы сферической формы.

С другой стороны, нельзя оставить без внимания информацию о получении порошков быстрорежущей стали методом центробежного распыления [6]. Форма частиц порошка стали изображена на рис. 5.

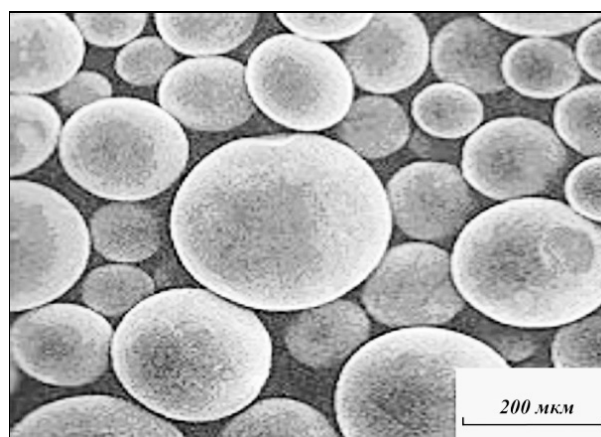


Рис. 5. Частицы быстрорежущей стали, полученные центробежным распылением

Важным в исследовании является то, что распыление происходило на воздухе, а не в атмосфере инертного газа, что не мешало сфероидизации частиц. Однако не все частицы имели округлую форму. Сферическими частицы получались во время так называемого установившегося или стационарного процесса, когда через заливочную воронку прошло уже несколько килограмм металла и оснастка установки достигла определенной температуры. Всего же распылялось несколько десятков килограмм стали за одну плавку.

Из этого следует вывод, что не всем металлам и сплавам необходима защитная атмосфера для сфероидизации. Следует принимать во внимание свойства, зависящие от природы расплава. К ним относятся, прежде всего, поверхностное натяжение и динамическая вязкость. Для наглядности представим эти характеристики для железа и олова в табл. 2.

Из таблицы следует, что поверхностное натяжение у расплава железа больше в 3,3 раза, чем у расплава олова. Известно, что поверхностное натяжение расплава оказывает определяющее влияние на размер и форму распыленных частиц [6]. Очевидно, что более высокое значение поверхностного натяжения у расплава железа способствует сфероидиза-

ции капле расплава стали. Для оценки среднего размера капле, образующихся при центробежном распылении, рекомендовано уравнение [6]:

$$d_k = \frac{k}{\omega} \left(\frac{\sigma}{D_p \gamma_{ж}} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

где k — эмпирический коэффициент, учитывающий условия формирования капли в момент ее отрыва от кромки; ω — угловая скорость вращения диска, мин^{-1} ; σ — поверхностное натяжение расплава Н/м , $\sigma = f(T)$; D_p — диаметр распылителя, мм ; $\gamma_{ж}$ — плотность расплава, кг/м^3 .

Во второй части работы распылению подвергался расплав бронзы. Распыление производилось на воздухе. Форма частиц неправильная, в основном дендритная и игольчатая (рис. 6, а). Однако в частицах, имеющих размер меньше 200 мкм, начинается сфероидизация. Форма частиц размером меньше 100 мкм преимущественно округлая, близкая к сферической (рис. 6, б). Процентное содержание частиц меньше 100 мкм составляет примерно 60 % по массе. Округлую фор-

Таблица 2

Сравнение основных свойств расплава олова и железа [7]

Металл	Температура плавления $T_{пл}$, °С	Плотность при $T_{пл}$ ρ , г/см ³	Вязкость при $T_{пл}$ $\eta \cdot 10^3$, Па · с	Поверхностное натяжение при $T_{пл}$ $\sigma \cdot 10^3$, Н/м
Олово	231,9	6,98	1,9	550
Железо	1538	7,01	7,7	1810

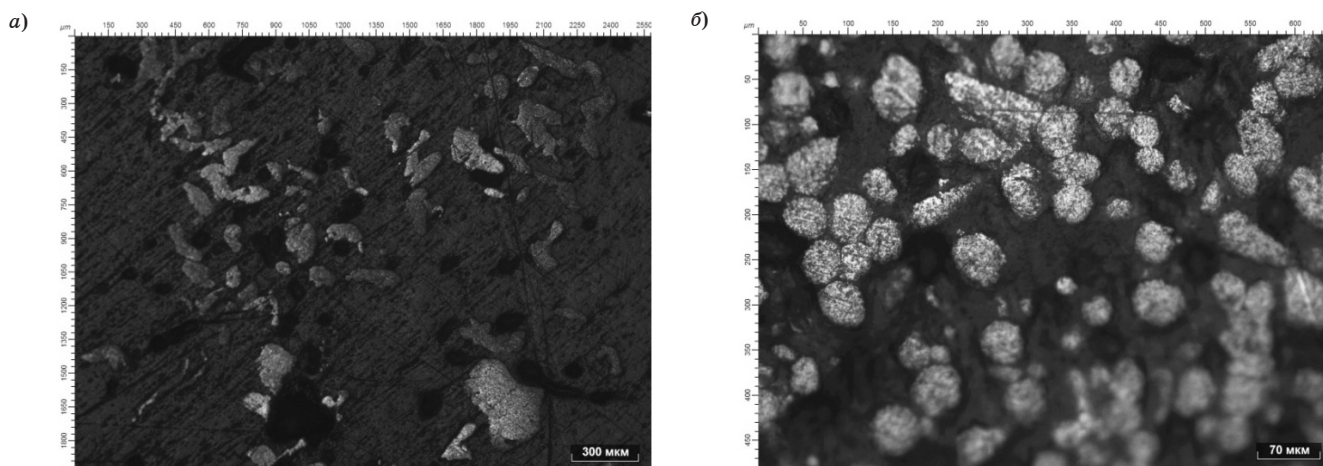


Рис. 6. Форма частиц бронзового порошка размерами: а — менее 500 мкм; б — менее 100 мкм

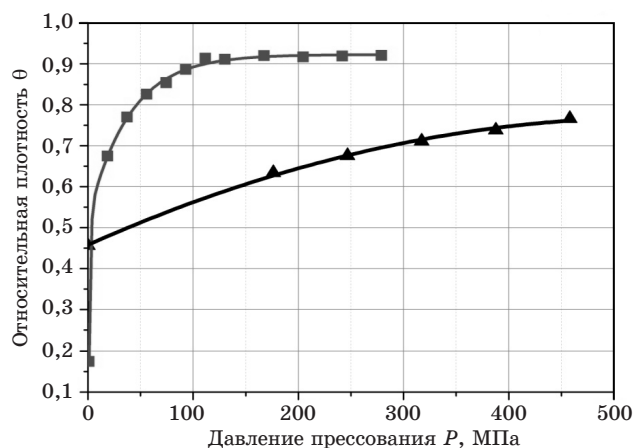


Рис. 7. Уплотняемость порошков ПОС-61 (■) и БрО-20 (▲)

му частиц порошка бронзы можно объяснить сравнительно высоким значением поверхностного натяжения меди (1,2 Н/м).

В работе была определена прессуемость полученных порошков. Прессование производилось на пресс-форме диаметром 17 мм. Результаты экспериментального исследования уплотняемости порошков представлены на рис. 7.

Из графика видно, что порошок припоя ПОС-61 обладает более высокой уплотняемостью, что объясняется повышенной пластичностью этого материала. Также порошок

припоя характеризуется хорошей формованием даже при низких давлениях прессования (20 МПа). Бронзовый порошок не такой пластичный, как порошок припоя. Получить транспортабельную прессовку удалось при давлении прессования около 170 МПа. При меньших давлениях прессования прессовка рассыпалась в момент извлечения из матрицы. Это связано с тем, что при распылении в воду частицы сплава сильно окислились, что отрицательно сказалось на когезии между частицами во время формования. Таким образом, получение высокопористых изделий из этих порошков бронзы невозможно.

Анализ литературных данных и результаты проделанных исследований позволяют считать, что для регулирования формы и размера распыленных центробежным методом частиц порошка надлежит контролировать и регулировать перегрев и расход расплава, скорость вращения стакана-распылителя, атмосферу, в которой происходит распыление.

В настоящее время актуально получение ультрадисперсных порошков сферической формы с узким диапазоном размеров частиц, которые могут иметь различную функциональ-

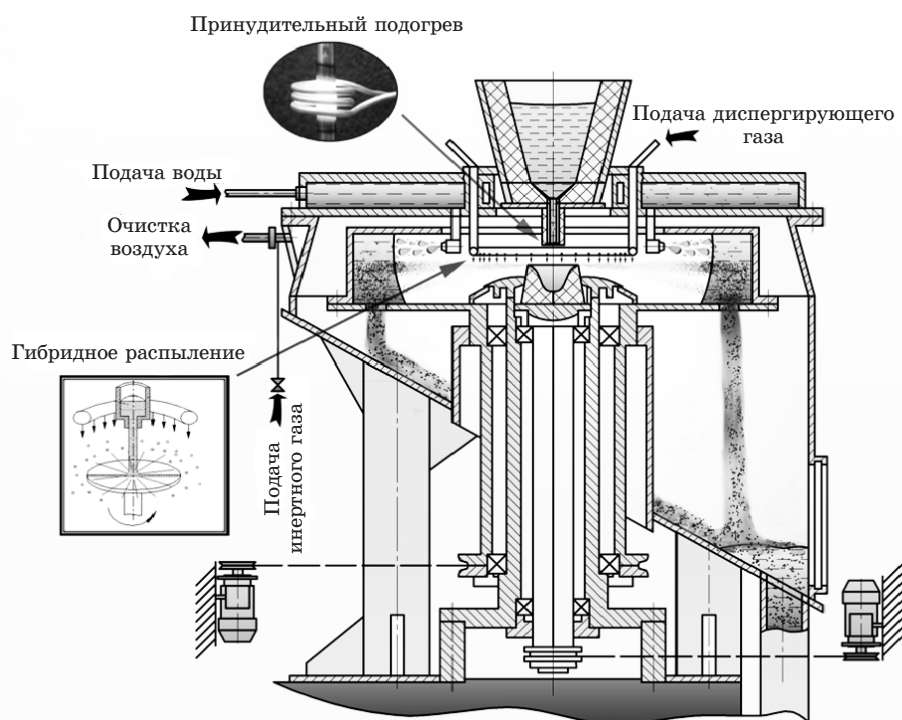


Рис. 8. Установка гибридного распыления для получения ультрадисперсных порошков

ное назначение. Прежде всего, такие порошки нужны для аддитивных (3D) технологий, поскольку именно ультрадисперсные фракции используются принтерами для 3D-печати. Как известно, аддитивные технологии открывают широкие перспективы для создания новых экономичных и малоотходных производств современных металлических материалов и изделий с высоким уровнем свойств [8]. В связи с этим весьма актуальное создание новых и модернизация существующих видов оборудования для диспергирования порошков.

Для получения распыленных сферических порошков была разработана конструкция гибридной промышленной установки центробежного распыления на базе установки ЦНИИМа (патент № 79817 от 04.09.2008 г.), где используются бесконтактные форсунки, через которые газ с большой скоростью попадает на пленку и нитевидные пряди расплава, обеспечивая их дополнительное диспергирование (рис. 8). Кроме того, предусмотрен подогрев металлопровода заливочной воронки, что позволит в более широких пределах регулировать расход расплава.

Выводы

1. Обзор литературных источников и проведение собственных опытов по распылению двух сплавов (ПОС-61 и БрО-20) показали, что на сфероидизацию капель расплава при распылении на воздухе главным образом влияют свойства, зависящие от природы расплава. К ним относятся, прежде всего, поверхностное натяжение и динамическая вязкость.

2. Дисперсность, полученных при центробежном распылении порошков зависит от

скорости вращения стакана, природы и расхода жидкости, температуры расплава и конструкции распылителя.

3. При распылении в воду частицы припоя ПОС-61 не окислились. Полученные порошки хорошо формуруются при низких давлениях (от 20 МПа). В свою очередь, при тех же параметрах распыления частицы бронзы покрылись оксидной пленкой (см. рис. 6, а), что отрицательно сказалось на когезии между частицами во время формования.

Литература

1. Liu J. X., Yu Q. B., Qin Q. Numerical study on film disintegration by centrifugal atomisation using rotating cup // Powder Metallurgy. Sept. 2013. Vol. 56, is. 4. P. 288–294.
2. Шейхалиев Ш. М. Центробежное распыление для производства порошков и гранул различных металлов и сплавов // Новости порошковой металлургии. 2007. № 1 [Электронный ресурс].
3. Xie J. W., Zhao Y. Y., Dunkley J. J. Effect of Processing Conditions on Powder Particle Size and Morphology in Centrifugal Atomization of Tin // Journ. Powder Metallurgy. 2004. Vol. 47. P. 168–172.
4. Берюхов А. В. Разработка технологии и оборудования для производства металлических порошков центробежным распылением пленки расплава: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2006. 18 с.
5. Исследование вязкости жидких металлов / Э. Э. Шпильрайн, В. А. Фомин, С. Н. Сковородько, Г. Ф. Сокол; Отв. ред. В. А. Кириллин. М. : Наука, 1983. 243 с.
6. Гиршов В. Л. Процессы порошковой металлургии. Порошковая металлургия высоколегированных сплавов: учеб. пособие. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. 153 с.
7. Панфилович К. Б. Тепловое излучение и поверхностное натяжение жидких металлов и сплавов. Казань : КГТУ, 2009. 253 с.
8. Довбыш В. М., Забеднев П. М., Зленко М. А. Аддитивные технологии и изделия из металлов [Электронный ресурс].