УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МЕХАНИЧЕСКОЙ СМЕСИ ПОРОШКОВ ТИТАНА НА СВОЙСТВА ЗАГОТОВОК

Крючков Д.И., Поляков А.П., Залазинский А.Г., Березин И.М., Субачев Ю.В.
Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: kru4koff@bk.ru

В работе исследуется порошок из титанового сплава ВТ-22, полученного распылением плазмой, а также технология получения изделий на его основе. Механические характеристики и сферическая форма частиц, а также твердая оксидная пленка на поверхности частиц препятствуют схватыванию частиц между собой и формуемости брикетов. Получение брикетов возможно с использованием добавок механической смеси из порошков с развитой поверхностью и более пластичными свойствами. Приводится морфология порошков ВТ-22 и добавок. Исследуются прочностные свойства спрессованных и спеченных брикетов. Приводится режим отжига порошка ВТ-22. Определены относительная плотность, предел прочности на сжатие брикетов, скомпакированных при одном давлении, и теоретический предел прочности компактных материалов. Приводятся рекомендации выбора оптимального процентного содержания добавок и режимов получения порошкового материала с высокой прочностью и плотностью, близкой к теоретической.

Ключевые слова: титан, порошок, композит, прессование, плотность, прочностные свойства

INFLUENCE OF COMPOSITION OF A MECHANICAL MIXTURE OF POWDERS OF TITAN ON PROPERTIES OF BILLETS

Kryuchkov D.I., Polyakov A.P., Zalazinskiy A.G., Berezin I.M., Subachev Ju.V.
Ural branch of Russian Academy of Sciences Institute of Engineering Science, Ekaterinburg, e-mail: kru4koff@bk.ru

In this article are investigated powder from alloy of titan VT-22 and technology from produce billets based on mechanical mix powders of titan. Mechanical characteristics, spherical form of corpuscles and firm sull on a surface of corpuscles are prevent dripping of corpuscles among themselves and moldability of billets. To increase moldability used additives of powders with the developed surface and more plastic properties. The morphology of powders VT-22 and additives is presented. Mechanical properties compacted and sintered billets are investigated. Conditions annealing of powder VT-22 are presented. Have been obtained relative density, an ultimate strength on compression and a theoretical ultimate strength of billets. Recommendations of optimum percentage of additives are done from of a powder material for manufacture billets with high strength and density close to theoretical.

Keywords: powder of titan, composite, pressing, density, mechanical properties

Развитие технологий получения изделий идет в направлении увеличения коэффициента использования металла при сохранении или улучшении качества готового продукта. Порошковая технология отвечает требованиям ресурсосбережения и малоотходности, обеспечивая возможность создания материалов, которые по физико-механическим и эксплуатационным характеристикам не уступают материалам, изготовляемым традиционными способами [1]. Важно отметить, что порошковые технологии также являются эффективным способом утилизации отходов промышленности [7]. В полной мере это относится к материалам на основе титана, широко применяемым в авиакосмической технике, автомобилестроении и других областях благодаря их высокой удельной прочности (отношение прочностных характеристик к плотности), сопротивлению усталости, вязкости разрушения и коррозионной стойкости.

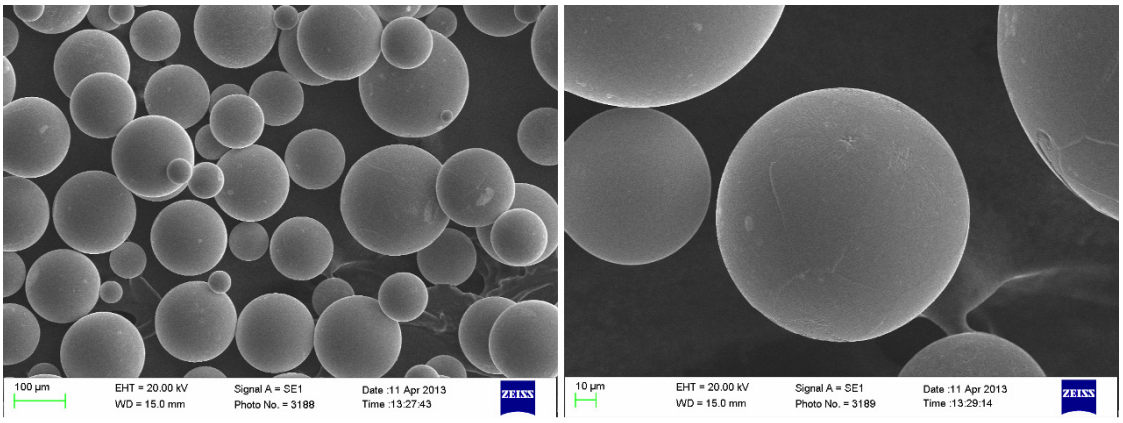
Необходимо учитывать, что существенным фактором в производстве изделий из порошковых материалов является такое свойство порошков, как формуемость, или способность сохранять форму после прессования [1]. Данное свойство определяется прежде всего формой частиц порошка и состоянием их поверхности. Для порошковых композитов уплотняемость и формуемость порошка зависят также от вида добавок порошков легирующих металлов и сплавов. Так, если прочностные характеристики вводимых добавок выше, чем основного металла, то уплотняемость смесей порошков ухудшается. Для изготовления спеченных титановых сплавов используют чистые по примесям (особенно кислороду и азоту) порошки легирующих металлов [6], что гарантирует хорошую спекаемость заготовок и однородность их по химическому составу.

Для исследований выбрали порошок из сплава ВТ-22

$(Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe)$ [4].

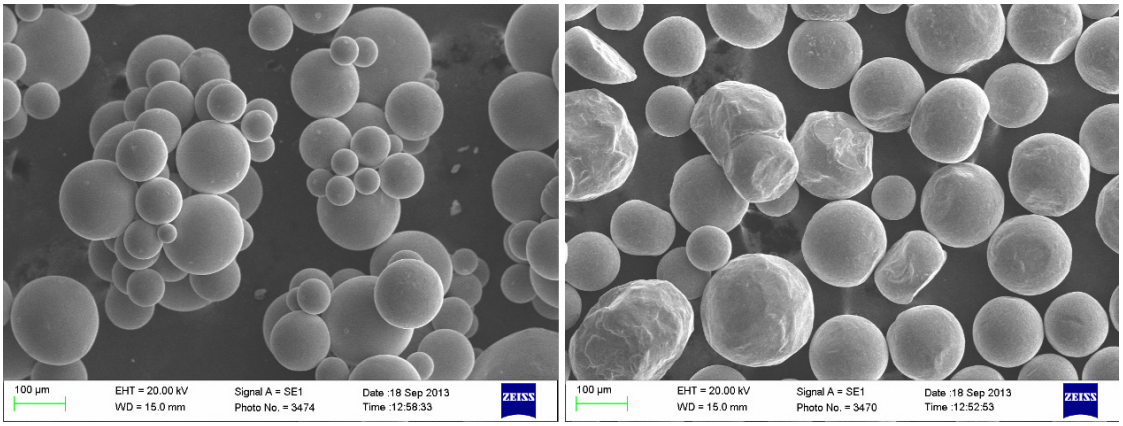
В материалах на основе титана алюминий повышает прочностные и жаропрочные свойства, ванадий повышает

пластичность и снижает охрупчивание материала при эксплуатации [4,5]. Сплав ВТ-22 в отожженном состоянии является наиболее прочным среди серийных сплавов, используется, например, для изготовления силовых крупногабаритных деталей летательных аппаратов. Гранулометрический состав порошков определяли на анализаторе частиц по размерам и форме CAMSIZER –XT (retsch Technology, Германия). Исследуемый порошок представлен фракцией менее 440 мкм, средний размер частиц – 156 мкм. Частицы порошка имеют округлую и сферическую форму, коэффициент сферичности – 0,722, коэффициент симметричности – 0,876. Морфология и топография поверхности порошка представлена на рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Морфология порошка, полученного из сплава ВТ-22 распылением плазмой (а); топография поверхности частиц порошка (б)



а) б)

Рис. 2. Морфология порошка после отжига (а) и после измельчения отожженного порошка (б)

Перед прессованием часть порошка сплава ВТ–22 подвергали отжигу в вакуумной электропечи сопротивления камерного типа СНВЭ–9/18 в следующем режиме: выдержка 1 час при 750 ^{0}С, охлаждение с печью 2 часа, затем выдержка 3 часа при 650 ^{0}С и охлаждение с печью. После отжига частицы образовывали связь между собой в виде конгломератов из сросшихся между собой частиц (рис. 2, а), однако образовывающаяся между ними связь непрочная, и сросшиеся частицы поддаются измельчению в виброистирателе. После измельчения в виброистирателе большинство частиц крупной фракции имели более развитую шероховатую поверхность (рис. 2, б), однако лучшему схватыванию при прессовании это не способствовало.

Прессование проводили на гидравлическом прессе МС–500. С целью уменьшения коэффициента трения, снижения давления прессования (при обеспечении заданной плотности заготовки) и напряжения выпрессовки, уменьшения неравномерности распределения плотности по объему прессовки наносили стеарат цинка на стенки контейнера.

На первом этапе исследований провели испытания по прессованию порошка сплава ВТ–22 в исходном состоянии и после отжига. В результате получено, что для достижения относительной плотности $\rho_{отн}$=0.75…0.8 порошка ВТ–22 требуется значительное давление прессования p – более 1000 МПа. Однако даже при давлении порядка 1200…1300 МПа прессовки из ВТ–22 рассыпаются как из отожженного, так и неотожженного порошка. Частицы деформируются, но не сцепляются между собой, что обусловлено правильной формой частиц и состоянием их поверхности, в частности, наличием оксидной пленки. Дальнейшее увеличение давления прессования, вероятно, позволит получить цельные прессовки, однако учитывая, что трудоемкость прессования составляет в ряде случаев до 50% в общей трудоемкости операций порошковой металлургии (от приготовления шихты до калибрования) [6], это вряд ли экономически целесообразно.

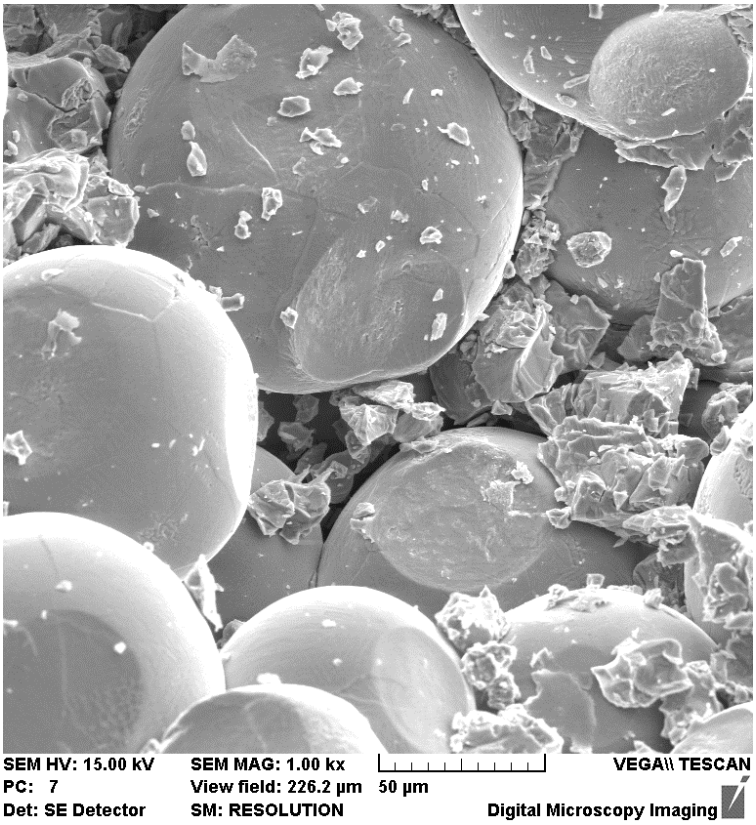
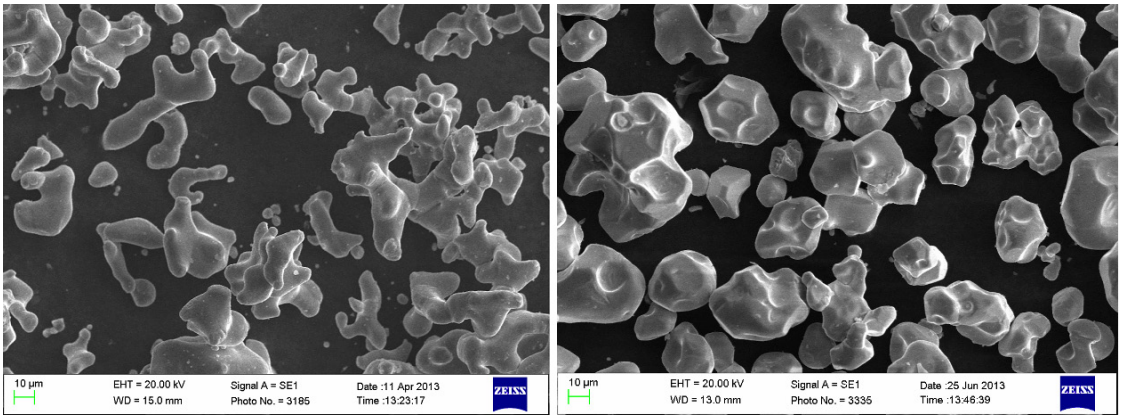


Рис. 3. Осыпавшийся край брикета из порошка ВТ-22 после прессования при 1200 МПа

Поэтому далее исследовали смесь порошка сплава ВТ-22 с добавками более мелких порошков с частицами с развитой поверхностью: гидридно-кальциевого порошка титана ПТМ-1 со средним размером частиц 46,3 мкм после отжига и порошка сплава никель-алюминий, восстановленного ПВ-Н70Ю30, со средним размером частиц 43 мкм. Никелевый порошок применяется в порошковой металлургии в качестве добавки для специальных сплавов [4]. Морфология порошков ПТМ-1 и ПВ-Н70Ю30 представлена на рис. 4.

Процентное содержание ПТМ-1 и ПВ-Н70Ю30 варьировали исходя из следующих соображений. С одной стороны, необходимо максимально возможно использовать порошок сплава ВТ-22. Кроме того, стоимость ПТМ-1 в несколько раз выше, чем у ВТ-22, что является немаловажным фактором при производстве изделий из титановых порошков [4]. Поэтому доля ПТМ-1 должна быть по возможности ограничена. Это же относится и к порошку сплава ПВ-Н70Ю30, исходя из того, что его плотность значительно выше (примерно в 1,75 раза), чем у ВТ-22 и ПТМ-1, и, следовательно, увеличение доли порошка ПВ-Н70Ю30 ведет к увеличению плотности всей композиции. С другой стороны, необходимо обеспечить сохранение формы прессовок (исключить их осыпание, растрескивание, расслоение) для последующего спекания.



а) б)

Рис. 4. Морфология частиц порошка ПТМ-1 (а) сплава никель-алюминий, полученного восстановлением; марки ПВ-Н70Ю30 (б)

Образцы прессовали при давлении 1000 МПа. Прессование брикетов проводили на гидравлическом прессе МС–500 в закрытой разборной пресс–форме. В результате получены заготовки на основе порошка сплава ВТ–22 плотностью 0,72…0,85 от теоретической. Качество брикетов удовлетворительное, при этом в ряде случаев для неспеченных образцов наблюдалось осыпание нижней кромки. После прессования образцы спекали в вакуумной электропечи сопротивления камерного типа СНВЭ–9/18.

Прочность брикетов оценивали по результатам опытов на осевое сжатие на универсальной испытательной машине ZWICK BT1–FR050THW/A1K. В момент начала разрушения заготовки фиксировали усилие и определяли предел прочности на сжатие при текущей плотности σ_p.

По результатам испытаний образцов на сжатие выполнена оценка предела прочности на сжатие компактного материала $\sigma_p^к$, для чего использована формула М.Ю. Бальшина [3]:

$$\sigma_p = \sigma_p^к \cdot (\rho_{отн})^m,$$

где $m \geq 3$ в диапазоне плотности $\rho_{отн}$ от 0,5 до 0,9. Для качественной оценки прочности полученных брикетов приняли m=3. Наиболее характерные результаты представлены в таблице. Приведены усредненные значения по трем образцам для каждого состава порошка.

Плотность и прочность спеченных брикетов

№ п/п	Состав, мас.%			$\rho_{отн}$	σ_p, МПа	$\sigma_p^к$, МПа
	ВТ-22	ПТМ-1	ПВ-Н70Ю30			
1	60	10	30	0,776	535	1145
2	65	5	30	0,754	410	957
3	60	20	20	0,783	834	1737
4	65	15	20	0,756	768	1777
5	60	30	10	0,812	1103	2090
6	65	25	10	0,789	1056	2150
7	65	30	5	0,791	1124	2264
8	70	25	5	0,785	967	1999

Результаты исследования прессовок на основе порошка сплава ВТ–22 показали следующее. Лучше всего прессуются порошки с содержанием порошка ПТМ–1 выше 20% (см. таблицу). При этом прочность компактного материала на сжатие (величина $\sigma_p^к$) для указанных составов имеет такую же зависимость. Наибольшую прочность компактного материала можно достигнуть для брикетов с составом 7.

Низкое содержание порошка ПТМ–1 не обеспечивает приемлемое качество и механические свойства готового изделия. Прочностные свойства напрямую зависят от процентного содержания добавок. Наиболее приемлемый уровень добавки ПТМ–1 25–30%, при этом рекомендуется использовать в качестве 3–го компонента 5–10% ПВ–Н70Ю30. Данные добавки позволяют получить брикеты плотностью порядка 0,8 от теоретической, с пределом прочности на сжатие выше 1000 МПа.

Таким образом, для получения изделий с высокой прочностью и плотностью с учетом фактора снижения стоимости исходного материала наиболее перспективным являются составы с содержанием ВТ–22 (60–65%) + ПТМ–1(25–30%) + ПВ–Н70Ю30 (5–10%), причем для увеличения плотности заготовок рекомендуется поднять давление прессования выше 1000 МПа.

Заключение

Механические характеристики и сферическая форма частиц порошка ВТ–22, а также твердая оксидная пленка на поверхности частиц с большим ресурсом пластичности препятствуют схватыванию частиц между собой. Холодное компактирование для получения изделий из порошка ВТ–22 возможно лишь при использовании добавок с более пластичными свойствами, с развитой поверхностью. Использование дорогостоящих добавок помогло значительно повысить механические характеристики готового изделия, однако потребовался подбор оптимального процентного содержания с точки зрения его экономической обоснованности. Поиск оптимального состава композита на основе порошка сплава ВТ–22 показал, что в составе необходимо использовать порошки ПТМ–1 и ПВ–Н70Ю30. Оптимальным являются составы с содержанием ВТ–22(60–65%) + ПТМ–1(25–30%) + ПВ–Н70Ю30(5–10%).

Список литературы

1. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение. М.: Металлургия, 1991. – 205 с.

2 Анциферова И.В. Порошковые титановые сплавы// Вестник ОГУ, 2004. – С. 198 – 202.

3. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972. – 336 с.

4. Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. – М.: ВИЛС–МАТИ, 2009. – 520 с.

5. Матвийчук М.В., Саввакин Д.Г. Синтез высоколегированных титановых сплавов методом порошковой металлургии// Нові матеріали і технології в металлургії та машинобудуванні. – 2010. – №1. – стр. 81 – 84.

6. Устинов В.С., Олесов Ю.Г., Дрозденко В.А., Антипин Л.Н. Порошковая металлургия титана. М.: Металлургия, 1973. – 248 с.

7. Ryabicheva L.A., Nikitin Yu.N., Beloshitskij N.V., Baranov A.G. Wastes of industry – source of raw materials for powder metallurgy. MTM'07 Conference proceedings, Bulgaria, Sofia, 2007. pp. 434–438.

References

1. Andrievskij R.A. Poroshkovoe materialovedenie. M.: Metallurgija, 1991. – 205 p.

2. Anciferova I.V. Poroshkovye titanovye splavy. Vestnik OGU, 2004. 2. pp.198 – 202.

3. Bal'shin M.Ju. Nauchnye osnovy poroshkovoj metallurgii i metallurgii volokna. M.: Metallurgija, 1972. – 336 p.

4. Il'in A.A., Kolachjov B.A., Pol'kin I.S. Titanovye splavy. Sostav, struktura, svojstva. Spravochnik. M.: VILS–MATI, 2009. – 520 p.

5. Matvijchuk M.V., Savvakin D.G. Sintez vysokolegirovannyh titanovyh splavov metodom poroshkovoj metallurgii. Novi materiali i tehnologiї v metallurgiї ta mashinobuduvanni, 2010. 1. pp. 81 – 84.

6. Ustinov V.S., Olesov Ju.G., Drozdenko V.A., Antipin L.N. Poroshkovaja metallurgija titana. M.: Metallurgija, 1973. – 248 p.

7. Ryabicheva L.A., Nikitin Yu.N., Beloshitskij N.V., Baranov A.G. Wastes of industry – source of raw materials for powder metallurgy. MTM'07 Conference proceedings, Bul–garia, Sofia, 2007. pp. 434–438.

Рецензенты:

Федотов В.П., д.т.н., старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории прикладной механики Института машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург;

Петунин А.А., д.т.н., доцент, заместитель директора по науке и инновациям, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизация проектирования» механико–машиностроительного института Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 04.06.2014.