

УДК 621.762.4:620.18:539:4

Капустян А. Е.  
Овчинников А. В.  
Павлов В. В.  
Шульга К. С.  
Шевченко В. Г.

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРЕССОВАНИЯ И СПЕКАНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

При изготовлении деталей по традиционным технологиям с большой долей механической обработки коэффициент использования металла составляет 20–25%, а в ряде случаев менее 5% [1]. Существующие методы порошковой металлургии позволяют значительно повысить этот коэффициент [2], что дает возможность снизить себестоимость производства изделия. Поэтому производство изделий из такого дорогостоящего материала, как титан и его сплавы, методами порошковой металлургии расширяет сферу использования титановых сплавов и представляет практический интерес [3]. В тоже время для обеспечения механических свойств порошковых титановых сплавов на уровне или выше соответствующих литых сплавов необходимо применение механоактивированных порошков [4], либо обеспечение плотности  $\geq 99\%$ . Для плотного металла необходимо использование высокодисперсных ( $\leq 20$  мкм) порошков [5] или дополнительных технологий уплотнения после спекания [6]. Все эти приемы увеличивают стоимость конечного изделия. В тоже время существует ряд деталей, не подвергающихся критическим нагрузкам, не требующих высоких эксплуатационных свойств и изготовленных из титана только из-за его коррозионностойких свойств, что позволяет применять сплавы с относительно низкой пористостью 5–15% (без значительной потери механических и служебных характеристик). Такой уровень пористости обеспечивается традиционным методом холодного прессования [7]. Однако в настоящее время нет четких представлений о технических особенностях по изменению структуры и обеспечению необходимых свойств спеченных материалов из порошков магнийтермического способа производства, производимых на Украине, что ограничивает применение изделий из титана и его сплавов в нашей стране.

Поэтому необходимо определение оптимальных параметров производства заготовок из порошков титановых сплавов с целью максимального упрощения и удешевления технологии при удовлетворительных показателях механических свойств.

Проведенный анализ литературных источников показал актуальность получения титановых спеченных изделий с различной пористостью.

Таким образом, влияние давления прессования и фракционного состава порошков магнийтермического способа производства на структуру титановых сплавов представляет научный и практический интерес применительно к деталям неотчетливого назначения.

Целью работы является изучение влияния параметров метода порошковой металлургии на пористость получаемых заготовок из порошков магнийтермического способа производства.

В качестве исходного материала использовали промышленные порошки титановые (ТУ 14-10-026-98) производства ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана», ГП «Запорожский металлургический опытно-промышленный завод» различного гранулометрического состава. Химический состав порошков представлен в табл. 1, общий вид на рис. 1. С целью удаления влаги проводили сушку порошка в вакуумной печи типа СНВ при температуре 300°C на протяжении 30–50 мин. Пористость получаемых заготовок варьировали изменением давления прессования и дисперсностью порошков.

Таблица 1

Химический состав используемых порошков, в зависимости от гранулометрического состава

Крупность порошков, мм	Ti	Fe	Cl	N
0,63...0,80	основа	0,4	0,08	0,05
0,45...0,63	основа	0,6	0,08	0,06
0,32...0,45	основа	0,8	0,08	0,08

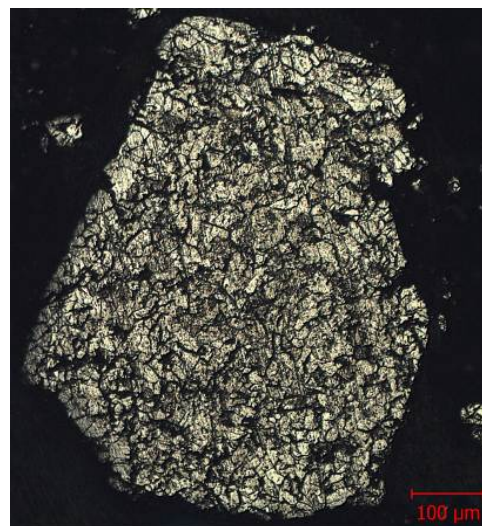
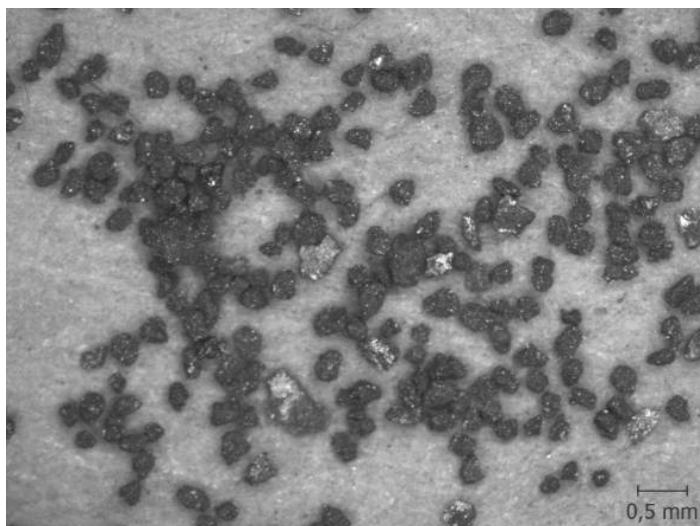


Рис. 1. Общий вид применяемого титанового порошка

Заготовки получали методом порошковой металлургии. Химический состав соответствовал титану технической чистоты марки ВТ1-0 (ГОСТ 19807-91). Формообразование призматических заготовок размерами 14x14x95 мм проводили путем холодного одностороннего прессования на гидравлическом прессе-полуавтомате ДБ2432А в закрытой разборной пресс-форме с давлением прессования 500...900 МПа. Спекание проводили в вакуумной печи СНВЭ-1.3.1/16ИЗ при температуре  $1250 \pm 20^\circ\text{C}$  в течение 3 ч, давление 13,3 Па, охлаждение проводили совместно с печью. Время выдержки при спекании выбрали, исходя из результатов предыдущих экспериментов, с учетом того, что менее плотные прессовки спекаются дольше.

Для воспроизводимости опытов на каждом сочетании уровней факторов изготавливали не менее десяти образцов, определяли объемный процент пор и их размер.

Образцы для металлографических исследований готовили последовательным шлифованием и полированием. Травление шлифов осуществляли в реактиве состава: HF – 10 мл, HNO<sub>3</sub> – 25 мл, глицерин – 65 мл. Микроструктурные исследования проводили на шлифах, изготовленных в поперечном сечении заготовок с применением инвертированного микроскопа отраженного света «Observer.D1m» и электронного микроскопа JSM-6360LA. Количественную оценку размеров пор проводили в соответствии со стандартной методикой ГОСТ 1778-70 (используя метод секущих) [8]. Считали поры размером более 2 мкм.

В образцах, полученных из порошка крупности 0,63...0,80 мм при минимальном давлении прессования имело место осыпание нижней кромки (рис. 2). Что можно объяснить непропрессованностью заготовки. В образцах, полученных давлении 500 МПа и 600 Мпа, имела место непропрессованность. Степень непропрессованности снижалась при уменьшении фракции порошка (рис. 3).

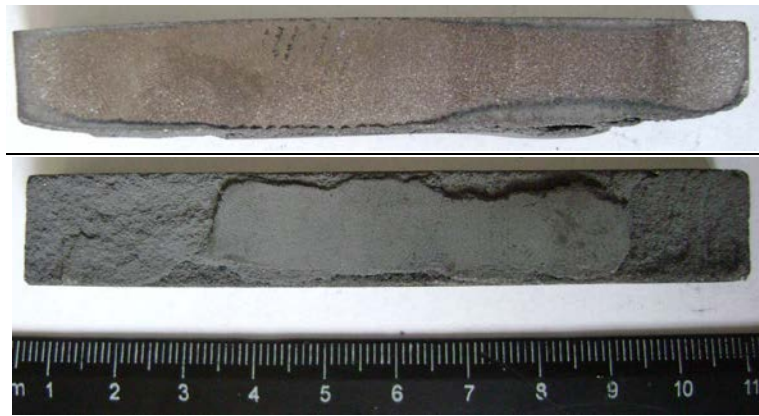


Рис. 2. Внешний вид образца с осыпавшейся нижней кромкой

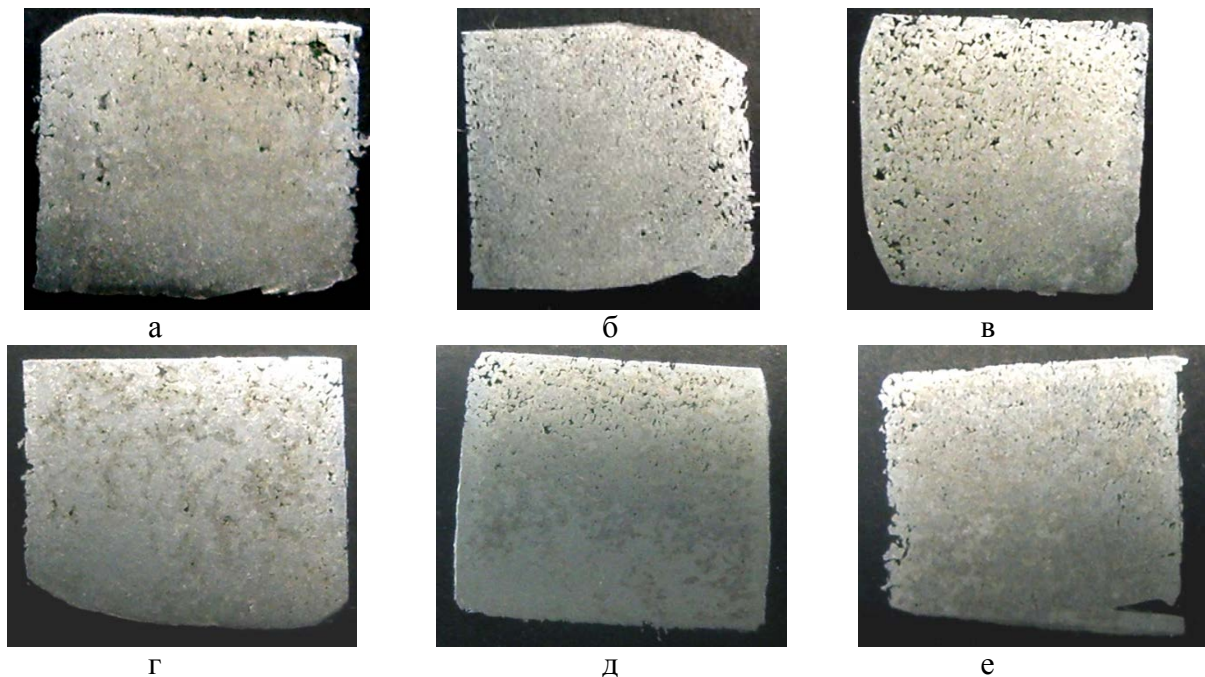


Рис. 3. Макроструктура спеченных заготовок:

а – 500 МПа, 0,63...0,80 мм; б – 500 МПа, 0,45...0,63 мм; в – 500 МПа, 0,32...0,45 мм;  
 г – 600 МПа, 0,63...0,80 мм; д – 600 МПа, 0,45...0,63 мм; е – 600 МПа, 0,32...0,45 мм

При металлографическом анализе шлифов, вырезанных из спеченных заготовок, установлено, что все они состоят из  $\alpha$ -фазы, а пористость, размеры и форма полиэдров и пор в них различны. Размеры зерен и пор различны и в объеме одного образца (рис. 4).

Поры в образцах преимущественно имели неправильную форму, средний размер их составлял 15...120 мкм, объемная доля пор в данных образцах составляла 5...33 %.

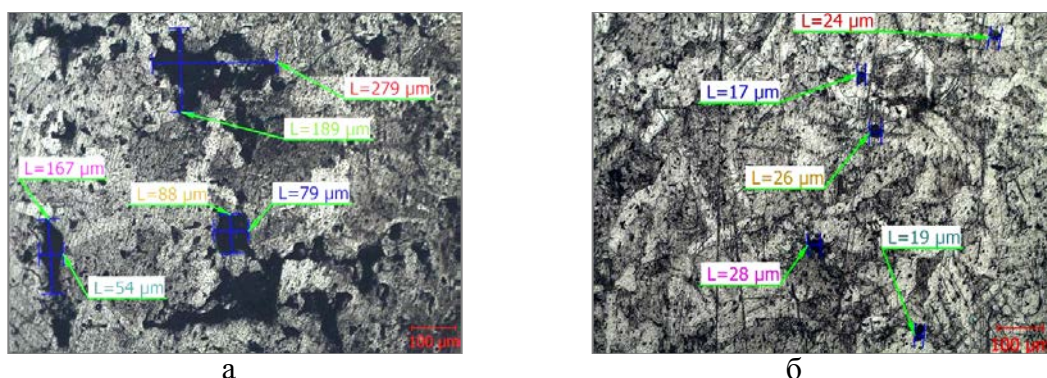


Рис. 4. Микроструктура спеченных заготовок:  
 а – непропрессованных; б – пропрессованных

Как видно из данных табл. 2, с увеличением размера применяемого порошка для спеченных образцов объемная доля пор при одинаковых давлениях прессования повышалась. Наибольшая пористость соответствовала наиболее крупному фракционному составу порошка (0,63...0,80 мм) и наименьшему давлению прессования заготовки (500 МПа). Высокая плотность и минимальный размер пор характеризовали заготовки из более дисперсного порошка (0,32...0,63 мм). Объемная доля пор менее 15 % обеспечивалась при давлениях прессования от 700 МПа.

Таблица 2

## Характеристика спеченных заготовок из нелегированного титана

№ условия	Фракционный состав порошка, мм	Давление прессования, МПа	Объемная доля пор, %	Размер пор, мкм
1.	0,63...0,80	500	33	80...160
2.		600	28	80...120
3.		700	15	70...120
4.		800	10	60...100
5.		900	7	56...80
6.	0,45...0,63	500	28	80...130
7.		600	20	60...120
8.		700	10	50...100
9.		800	7	40...100
10.		900	5	10...80
11.	0,32...0,45	500	25	56...90
12.		600	12	20...80
13.		700	7	18...70
14.		800	6	12...65
15.		900	5	8...50

Снижение объемной доли пор и их размеров с уменьшением крупности порошка можно объяснить тем, что более мелкий порошок при прессовании укладывается более компактно, поэтому образуются более мелкие поры, которые легче залечиваются в процессе спекания. Снижение объемной доли пор и их размеров с увеличением давления прессования можно объяснить залечиванием пор в результате деформирования.

Исходя из результатов проведенных исследований, для получения пористости спеченных заготовок из порошка титанового сплава в диапазоне 5–15 % с учетом фактора снижения себестоимости рекомендуются следующие параметры метода порошковой металлургии: фракция порошка размерами 0,32...0,45 мм, давление прессования от 700 Мпа.

В настоящей работе установлены зависимости влияния режимов прессования и фракционного состава порошков магнийтермического способа производства на объемные доли и размеры пор в спеченных титановых сплавах. Показана возможность варьирования параметрами технологии порошковой металлургии для получения заданного уровня пористости спеченных титановых сплавов. Это является эффективным способом снижения стоимости спеченных титановых сплавов и может без затрат значительных материальных и интеллектуальных ресурсов реализоваться на практике в промышленных масштабах. Следует отметить тот факт, что опытные титановые сплавы получены из сырья (порошок титана), произведенного на территории Украины, и именно это способствует развитию титановой промышленности в нашей стране, а также повышает независимость от внешних поставщиков сырья, полуфабрикатов и изделий из титана и его сплавов.

## ВЫВОДЫ

1. Установлены фракционный состав и давление прессования заготовок из порошка магнийтермического способа производства, которые обеспечивают изменение пористости от 33 % до 5 % с размером пор от 160 мкм до 8 мкм.
2. Установлено, что при применении давления прессования 700 МПа и выше можно

использовать порошки крупностью до 0,8 мм, обеспечивающие пористость менее 15 %. Лучшие результаты обеспечиваются при максимальном давлении прессования 900 МПа и крупности 0,32...0,45 мм.

3. Дальнейшие работы будут направлены на изучение механических характеристик спеченных заготовок.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев Л. И. Порошковая металлургия – трудности и перспективы современного этапа развития / Л. И. Чернышев, Д. А. Левина // *Порошковая металлургия*. – 2013. – № 11/12. – С. 144–151.
2. Опыт получения и прессования титановых порошков / Л. И. Гопиенко [и др.]; под ред. С. Н. Касаткина. – М. : Цветметинформация. – 1970. – 79 с.
3. Матвийчук М. В. Синтез высоколегированных титановых сплавов методом порошковой металлургии / М. В. Матвийчук, Д. Г. Саввакин // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2010. – № 1. – С. 81–84.
4. Сметкин А. А. Тенденции развития процессов получения титановых материалов методом порошковой металлургии / А. А. Сметкин // *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*. – 2013. – Т. 15. – № 3. – С. 26–32.
5. Patent US 4432795 A, C22C 14/00, C22C 1/04, B22F 3/20, B22F 1/00. Sintered powdered titanium alloy and method of producing same / Inventor Phillip J. Andersen; Assignee Imperial Clevite Inc. – № 06/349,432; Filed February 16, 1982.
6. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, К. А. Бондарева, В. С. Моксон, В. А. Дузь // *Наука та інновації*. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 44–57.
7. Назаренко В. А. Физико-механические свойства смесей из порошков титана и гидрида титана / В. А. Назаренко // *Наукові нотатки: міжвузівський збірник за напрямом «Інженерна механіка»*. – Випуск 32. – Луцьк, 2011. – С. 249–254.
8. Справочник по практическому металловедению / В. Л. Пилушенко [и др.] – К. : Техніка, 1984. – 135 с.

### REFERENCES

1. Chernyshev L. I. Poroshkovaja metallurgija – trudnosti i perspektivy sovremennogo jetapa razvitija / L. I. Chernyshev, D. A. Levina // *Poroshkovaja metallurgija*. – 2013. – № 11/12. – S. 144–151.
2. Opyt poluchenija i pressovanija titanovyh poroshkov / L. I. Gopienko [i dr.]; pod red. S. N. Kasatkina. – M. : Cvetmetinformacija. – 1970. – 79 s.
3. Matvijchuk M. V. Sintez vysokolegirovannyh titanovyh splavov metodom poroshkovej metallurgii / M. V. Matvijchuk, D. G. Savvakın // *Novi materiali i tehnologii v metalurgii ta mashinobuduванні*. – 2010. – № 1. – S. 81–84.
4. Smetkin A. A. Tendencii razvitija processov poluchenija titanovyh materialov metodom poroshkovej metallurgii / A. A. Smetkin // *Vestnik PNIPU. Mashinostroenie, materialovedenie*. – 2013. – T. 15. – № 3. – S. 26–32.
5. Patent US 4432795 A, S22S 14/00, S22S 1/04, B22F 3/20, B22F 1/00. Sintered powdered titanium alloy and method of producing same / Inventor Phillip J. Andersen; Assignee Imperial Clevite Inc. – № 06/349,432; Filed February 16, 1982.
6. Proizvodstvo titanovyh splavov i detalej jekonomichnym metodom poroshkovej metallurgii dlja shirokomasshtabnogo promyshlennogo primenenija / O. M. Ivasishin, D. G. Savvakın, K. A. Bondareva, V. S. Mokson, V. A. Duz' // *Nauka ta innovacii*. – 2005. – T. 1. – № 2. – S. 44–57.
7. Nazarenko V. A. Fiziko-mehaniicheskie svojstva smesej iz poroshkov titana i gidrida titana / V. A. Nazarenko // *Naukovi notatki: mizhvuziv's'kij zbirnik za naprjamom «Inzhenerna mehanika»*. – Vipusk 32. – Luc'k, 2011. – S. 249–254.
8. Spravochnik po prakticheskomu metallovedeniju / V. L. Piljushenko [i dr.] – K. : Tehnika, 1984. – 135 s.

- Капустян А. Е. – ст. преп. каф. «Оборудование и технология сварочного производства ЗНТУ»;
- Овчинников А. В. – д-р техн. наук, проф., проф. каф. механики ЗНТУ;
- Павлов В. В. – канд. техн. наук, гл. инж. ГП «Запорожский металлургический опытно-промышленный завод», ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана»;
- Шульга К. С. – директор ГП «Запорожский металлургический опытно-промышленный завод», ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана»;
- Шевченко В. Г. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. механики ЗНТУ.

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет.

E-mail: aek@zntu.edu.ua