УДК 669.295 DOI: https://doi.org/10.26661/2071-3789-2021-1-05

Павлов Василь Володимирович, старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, ПАТ «Інститут титану»
Скачков Віктор Олексійович, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-4447-4641
Янко Тарас Богданович, завідувач лабораторією, кандидат технічних наук, ПАТ «Інститут титану»

ГІДРУВАННЯ АКТИВОВАНОГО ГУБЧАСТОГО ТИТАНУ

Процес гідрування виконували у три етапи на губчастому титані марки ТГ-100 з розміром часточок в інтервалі від 2 до 5 мм. На першому етапі процес гідрування здійснювали на вихідному матеріалі – губчастому титані з розмірами часточок –12 +5 мм і –30 +10 мм. На другому етапі гідрування використовували механічно активований ТГ-100. На третьому етапі гідруванню піддавали суміш механічно активованого ТГ-100 з гідридом титану. В процесі утворення гідриду титану виділено чотири основні стадії: фізичну адсорбцію молекул водню на поверхні металу; дисоціацію молекул водню на активних центрах металевої поверхні; дифузію атомів водню всередину поверхневого шару металу та впорядковане розміщення водню в порожнечах металевої матриці з утворенням гідриду (β-фази). Встановлено, що температура початку активного поглинання водню для початкового ТГ-100 складає 793 К, для механічно активованого губчастого титану – 573 К, а для механохімічно активованого матеріалу – 503 К. При цьому повний час гідрування початкового ТГ-100 складає 1380 хвилин, для механічно активованого – 1140 хвилин і для механохімічно активованого – 780 хвилин. Механохімічна активація губчастого титану дає змогу скоротити тривалість процесу гідрування практично на 46%. При цьому масова доля водню в гідриді титану складає від 3,63 % до 3,84 % за масою, максимальна температура процесу встановилася в межах від 863 К до 918 К, а час досягнення максимальної температури складає від 120 хв. до 240 хв. Вихід гідриду титану до досягнення максимальної температури складає для початкового ТГ-100 35,4 %, для механоактивованого – 50 %, механохімічно активованого – 59,4 %.

Ключові слова: губчастий активований титан, гідрування, гідрид титану, стадії утворення, температура початку поглинання водню, час гідрування

Вступ. Титан та його сплави, що мають унікальні властивості, широко використовують у хімічній, атомній, авіаційній і інших галузях промисловості. Поширення області застосування таких матеріалів безпосередньо залежить від їх властивостей і вартості. Вартість титанових виробів дають змогу суттєво понизити методи порошкової металургії [1–4], що мають на увазі використання дисперсних порошків. Проте збільшення дисперсності часточок титану підвищує ймовірність забруднення матеріалу домішками. В той же час для широкого практичного використання виробів з титану, що одержано методами порошкової металургії, їх фізико-механічні характеристики повинні відповідати характеристикам сплавів, одержаних традиційним методом плавки та гарячої деформації. Тому, виробництво високочистих титанових порошків є важливою проблемою в металургії.

Критичний аналіз різних технологічних схем виробництва титанових порошків показав, що найбільш технічно й економічно обґрунтованою є схема гідрування-дегідрування матеріалів, які вміщують титан.

Процес гідрування титану можна використовувати як проміжну стадію під час одержання дисперсного металевого порошку, а також одержання товарного гідриду титану.

© В.В. Павлов, В.О. Скачков, Т.Б. Янко, 2021

На процес поглинання водню значна впливає стан поверхні титану, тобто наявність оксидної плівки, яка практично завжди є присутньою на його поверхні [5; 6]. Для пониження впливу зазначеної плівки здійснюють термічну обробку матеріалу, що піддають гідруванню за температури 673 К і більш з метою очищення й активації його поверхні.

Механічна обробка матеріалу, якого піддають гідруванню [7], чинить значний вплив на процес сорбції під час взаємодії газів з твердими речовинами. Посилення адсорбції газів на поверхні твердих тіл супроводжується проникненням молекул газу всередину механічно спотворених кристалічних решіток.

У роботі [8] описаний спосіб гідрування, за яким для активації до матеріалу, що піддають гідруванню, додавали гідрид титану. Температура початку виділення водню складає 673 К [9]. Водень, що розчинений у титані, виділяється в атомарному стані з кристалічної решітки під час нагрівання та вакуумування матеріалу. Наслідком цього процесу важливим є те, що високоактивний атомарний водень, що виділяється під час розпадання гідриду, до рекомбінації на молекули здатний відновлювати оксидні плівки на поверхні титану. Отже, атомарний водень, що виділяється під час нагрівання, видаляє оксидні плівки й активно взаємодіє з активованим титаном [10–12].

Постановка завдання. Завданням досліджень є оцінка впливу активації початкового матеріалу на процес гідрування.

Методика експерименту. Дослідження виконували на Запорізькому дослідному металургійному заводі (ЗМОЗ) ПАТ «Інститут титану». Як початковий матеріал для досліджень було вибрано губчастий титан марки ТГ-100 (фракція –12 +5 мм і –30 +10 мм), виробництва ТОВ «Запорізький титаномагнієвий комбінат».

Механічну активацію губчастого титану виконували на роторній дробарці, конструкція якої описана у роботі [13]. Послідовність операцій дроблення губчастого титану наведено у роботі [14].

Відомо, що лімітуючою стадією процесу гідрування є дифузія водню в титані. За матеріалами робіт [15–17] було визначено оптимальний розмір часточок титану, що піддаються гідруванню. За результатами розрахунків вибрали розмір часточок губчастого титану для гідрування в інтервалі від 2 мм до 5 мм.

Дослідження щодо гідрування губчастого титану виконували в три етапи. На першому етапі гідруванню піддавали початковий матеріал (губчастий титан фракції –12 +5 мм і –30 +10 мм). На другому етапі виконували гідрування механічно активованого матеріалу (ма), а на третьому – до механічно активованого матеріалу додавали гідрид титану та зазначену суміш (мха) піддавали гідруванню.

Гідрування здійснювали з використанням дослідно-промислової установки з ретортою діаметром 600 мм за технологією, що вживають на ЗМОЗ ПАО «Інститут титану». Підготовчі до гідрування операції описано у роботі [18]. Слід виділити наступні технологічні етапи процесу гідрування:

– завантаження початкового матеріалу до апарата гідрування, перевірка його на герметичність і вакуумування;

– сушіння матеріалу, якого гідрують, до температури 473 К за постійно працюючим вакуумним насосом;

– подальше нагрівання матеріалу до температури 673 К за залишковим тиском $1{,}33 \cdot 10^{-5}$ МПа;

– подавання водню до апарата за постійним контролем його температури та тиску;

– здійснюють відключення нагрівання печі на початку поглинання водню титаном;

– розігрівання матеріалу, що гідрують за рахунок теплоти екзотермічної реакції до температури 923 К;

– відведення надлишкової теплоти;

– ступінчасте охолодження за вимкненої електропечі у середовищі водню до температури 523…623 К;

– охолодження матеріалу в середовищі аргону до кімнатної температури.

Підготовка до процесу гідрування полягає у ступінчастому розігріванні матеріалу до температури 473 К за постійним вакуумуванням апарату. Після витримки матеріалу в апараті під вакуумом за заданої температури (для початкового металу 673 К, для механічно активованого металу – 573 К і для механохімічно активованого металу – 473 К), в апарат подавали водень до тиску 0,13 МПа. Початок поглинання водню матеріалом визначали за змінюванням тиску в апараті, при цьому фіксували температуру початку реакції. Кількість пропущеного через апарат водню визначали з використанням газового лічильника РГК-10-Е.

Після припинення поглинання матеріалом водню в апарат подавали аргон до досягнення тиску 0,13 МПа. Апарат гідрування витягали з печі та встановлювали в холодильник. Гідрид титану, охолоджений до температури довкілля, витягали з апарату й аналізували на вміст водню та домішок, що регламентують.

Обговорення результатів. Активацію губчастого титану здійснювали шляхом багатократного пропускання початкового матеріалу через дробарку. Після кожного проходу матеріалу через дробарку роздрібнюваний матеріал піддавали розсіванню. Метал фракції –5 +2 мм направляли на гідрування, а метал фракції більше ніж 5 мм – на повторне дроблення. Характеристика губчастого титану, що направляли на гідрування, наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Якісні характеристики матеріалу для гідрування

Матеріал	Стадія переробки	Фракційний склад, мм	Пористість, %	Хімічний склад, %			
				Титан	Масова доля домішок, %		
					Fe	*Cl*	*N*
ТГ-100		-12 +5 (гарнісаж)	95,0	основа	0,060	0,080	0,020
		-30 +10 (криця)	59,0	основа	0,060	0,080	0,020
ТГ-100 фракція -12 +5 мм чи -30 +10 мм	перша	-5 +2	86,0	основа	0,057	0,072	0,018
	друга, третя	-5 +2	74,0	основа	0,054	0,070	0,017
	багато-разова	-5 +2	42,0	основа	0,050	0,070	0,016
	відсію-вання	-2 +0	не визначено	основа	0,142	0,09	0,019

Примітка: «стадія переробки» характеризує кількість проходів матеріалу через дробарку

Процес утворення гідриду титану умовно можна поділити на чотири основні стадії [18; 19]:

– фізичну адсорбцію молекул водню на поверхні металу;

– дисоціацію молекул водню на активних центрах металевої поверхні;

– перехід атомів водню всередину поверхневого шару металу;

– впорядковане розміщення водню у порожнечах металевої матриці й утворення гідриду (β-фази).

Слід зазначити, що швидкість взаємодії водню газової фази з титаном визначається швидкістю одного з етапів процесу.

Як відзначається в літературі [19], процес насичення титану воднем характеризується збільшенням об’єму матеріалу та його руйнуванням (розтріскуванням часточок),

що призводить до збільшення питомої поверхні матеріалу. Поява тріщин на поверхні часточок матеріалу, що гідрується, дає змогу водню проникнути углиб матеріалу з ініціацією подальшої реакції. Оскільки реакція взаємодії титану з воднем є екзотермічною, то температура в апараті гідрування підвищується до 873 К і більш. По досягненні температури більше ніж 873 К, а це відбувається практично через 2…4 години після початку активного поглинання водню, реакція сповільнювалася, а в окремих процесах навіть припинялася та тиск в апараті підвищувався до 0,13 МПа. Це пов'язано з тим, що за такої температури можливим є протікання зворотної реакції виділення водню з матеріалу (дегідрування) [18]. Для зниження впливу зворотної реакції потрібно забезпечити постійне відведення надлишкової теплоти, тобто здійснювати охолодження апарату, після чого реакція поглинання водню триває, але з помітно зниженою швидкістю. Тому дуже важливо продовжити термін активної реакції поглинання, що дасть змогу за цей час пропустити більшу кількість водню.

Гідрування як початкового, так і активованого губчастого титану відбувається з різким підвищенням температури у реакторі, тобто в початковий період процесу відбувається активне поглинання водню матеріалом.

Температура початку активного поглинання водню знижується залежно від способу активації губчастого титану:

– для початкового матеріалу 693 К;
– для механічно активованого губчастого титану 573 К;
– для механохімічно активованого матеріалу 503 К.

Змінювання показників процесу гідрування наведено у табл. 2 і 3.

Таблиця 2 – Змінювання виходу гідриду титану

Матеріал	Тривалість процесу гідрування, год.								
	0	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33
	Вихід гідриду титану, %								
1	0	28	40	49	56	62	68	74	78
2	0	30	45	62	68	76	82	88	92
3	0	39	66	74	81	85	88	94	96

Примітка: 1 – фракція вихідна; 2 – матеріал «ма»; 3 – матеріал «мха»

Таблиця 3 – Змінювання температури процесу гідрування

Матеріал	Тривалість процесу гідрування, год.								
	0	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33
	Температура процесу гідрування, К								
1	420	600	610	580	560	520	510	450	420
2	300	550	580	570	520	460	430	380	360
3	220	520	560	570	470	380	340	270	220

Примітка: 1 – фракція вихідна; 2 – матеріал «ма»; 3 – матеріал «мха»

У табл. 4 подано показники гідрування губчастого титану за різним способом активації.

Висновки. За результатами виконаних досліджень можна сказати, що процес активації губчастого титану позитивно впливає на процес гідрування.

Підготовка матеріалу перед гідруванням дає змогу:

– скоротити тривалість процесу гідрування на 24…46 %, що, у свою чергу, призводить до підвищення коефіцієнта використання обладнання;

– понизити температуру початку взаємодії титану з воднем, що дасть змогу зменшити витрату електроенергії на нагрівання апарату.

Таблиця 4 – Показники процесу гідрування губчастого титану за різним способом активації

Матеріал	Фракційний склад, мм	Пористість, %	Спосіб активації	Температура початку реакції, К	Максимальна температура, К	Час досягнення максимальної температури, хв.	Вихід гідриду титану, %	Тривалість гідрування, хв.	Масова доля водню у гідриді титану, %
ТГ 100	(гарнісаж) -12 +5	95,0	не активовано	420	645	120	35,42	1380	3,74
	(криця -30+10	59,0		420	600	120	32,93	1440	3,66
ТГ 100	-5+2	86,0	механічна активація	300	597	180	54,35	1020	3,84
		74,0		350	590	180	50,53	1080	3,78
		42,0		395	590	180	41,08	1080	3,63
ТГ 100	-5+2	86,0	механо-хімічна активація	230	580	240	68,94	750	3,82
		74,0		260	590	189	59,40	780	3,78
		42,0		295	590	180	55,12	780	3,77

Оскільки значну частину гідриду титану одержано під час активної фази реакції гідрування, то подальші дослідження будуть присвяченими вивченню процесів, що відбувається у період зазначеної фази.

Бібліографічний перелік

1. Ивасишин О.М., Саввакин Д.Г., Бондарева К.А. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения. *Наука та іновації*. 2005. № 2, С. 44–57.
2. Froes F., Eylon H.D. Bomberger H.B. Powder metallurgy of titanium alloys – a review. In: Titanium Technology: Present Status and Future Trends, Titanium Development Assosiation, 1985. Pp. 49–59.
3. Abkowitz S.M., Abkowitz S.M., Weihrauch P.F., Wells M.G.H. Low cost PM manufacture of titanium alloy components for fatique critical application In: PM in Aerospace, Defense and Demanding Applications, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 1993. P. 241.
4. Moxson V.S., Senkov O.N., Froes F.H. Production and applications of low cost titanium powder products. *The International Journal of Powder Metallurgy*. 1998. Vol. 34(5). Pp. 45–53.
5. Вербицкий В.Н., Митрохин С.В. Гидриды интерметаллических соединений – синтез, свойства и применение для аккумулирования водорода. Водородная энергетика и транспорт. Хранение водорода. *Альтернативная энергетика и экология.* 2005. № 10(30). С. 41–61.
6. Устинов В.С., Олесов Ю.Г., Дрозденко В.А. Порошковая металлургия титана. Москва : Металлургия, 1981. 248 с.
7. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ. *Успехи химии*. 2006. № 75(3). С. 203–216.
8. Патент № 488 Республика Казахстан, С 01В 6/00 (09.1993). Способ получения гидрида титана. В.З. Тарасенко, Д.Б. Жакибаев, Н.А. Байтенов. № 1723759 (SU); заявл. 16.01.1990; опубл. 15.03.1994.
9. Патент № 2494837 Российская федерация: МПК В 22F 1/00. Способ термического разложения гидридов переходных металлов. М.Б. Макаров, В.И. Капитонов, В.В. Ершов, С.М. Валеев, С.В. Баранов, С.И. Ровный; патентообладатель ФГУП «Производственное объединение «Маяк». № 2002108984/02, 08.04.2002; опубл. 10.11.2003.
10. Патент № 2494837 Российская федерация: МПК В 22F 9/00. Способ очистки порошка титана от примеси кислорода. А.Ю. Постников, П.Г. Бережко, А.А. Потехин, А.И Тарасова; патентообладатель Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». № 2012103160/02, 30.01. 2012; опубл. 10.10.2013.

11. Івасишин О.М., Бондарчук О.Б., Гуменяк М.М. Поверхневі явища при нагріванні порошку гідриду титану. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2011. Т. 12. № 4. С. 900–907.

12. Черняева Е.В., Хаймович П.А., Полянский А.М. Влияние барокриодеформирования на содержание водорода и акустическую эмиссию в техническом титане ВТ1-0. *Журнал технической физики*. 2011. Т. 81. Вып. 4. С. 131–134.

13. Нарушин Г.А., Щербина А.А., Яценко А.П. Исследование *эксплуатационных характеристик зубчатых накладок дробилок типа ДГТ. Металлургия*. Научные труды Запорожской инженерной академии. РИО ЗГИА, 2002. Вып. 6. С. 106–109.

14. Колобов Г.А., Павлов В.В., Овчинников А.В. Технологические аспекты некоторых путей снижения стоимости титановой продукции. *Титан*. 2013. № 3. С. 39–44.

15. Иванов Д.О., Аксенов А.А., Рупасов С.И. Влияние механического активирования на синтез гидрида титана из стружковых отходов сплава ВТ 1-0. *Цветные металлы*. 2007. № 12. С. 74–78.

16. Ливанов В.А., Буханова А.А., Колачев Б.А. Водород в титане. Москва : Металлургия, 1962. 236 с.

17. Коган Я.Д. Колачев Б.А., Левинский Ю.В. Константы взаимодействия металлов с газами: справочник. Москва : Металлургия, 1987. 367 с.

18. Воробьев Б.Я., Олесов Ю.Г., Дрозденко В.А. Производство изделий из титановых порошков. Киев : Техніка, 1976. 176 с.

19. Рубцов А.Н., Олесов Ю.Г., Антонова М.М. Гидрирование титановых материалов. Киев : Наукова думка, 1971. 127 с.

References

1. Ivasyshyn O.M., Savvakin D.G., Bondareva K.A. Proizvodstvo titanovykh splavov i detaley ekonomichnym metogom poroshkovoy metallurgii dlya shirinastabnogo promyshlennogo primeneniya. *Nauka ta inovatsii*. 2005. No, 2, S. 44–57.

2. Froes F., Eylon H.D. Bomberger H.B. Powder metallurgy of titanium alloys – a review. In: Titanium Technology: Present Status and Future Trends, Titanium Development Assosiation, 1985. S. 49–59.

3. Abkowitz S.M., Abkowitz S.M., Weihrauch P.F., Wells M.G.H. Low cost PM manufacture of titanium alloy components for fatique critical application In: PM in Aerospace, Defense and Demanding Applications, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 1993. S. 241.

4. Moxson V.S., Senkov O.N., Froes F.H. Production and applications of low cost titanium powder products. *The International Journal of Powder Metallurgy*. 1998. Vol. 34(5). S. 45–53.

5. Verbitskiy V.N., Miyrokhin S.V. Gidridy intermetallicheckikh soedineniy – sintez. Svoystva i primenetie dlya akkumulirovaniya vodoroda. Vodorodnaya ehergetika i transport. Khranenie vodoroda. *Al ternativnaya energetika i ekologiya.* 2005. No. 10(30). S. 41–61.

6. Ustinov V.C., Olesov Yu.G., Drozdenko V.A. Poroshkovaya metallurgiya titana. Moskva : Metallurgiya, 1981. 248 s.

7. Boldyrev V.V. Mekhanokhimiya i mekhanicheskaya aktivatsiya tverdykh vechshetv.*Uspekhi khimii*. 2006. No. 75(3). S. 203–216.

8. Patent 488 Respublika Kazakhstan, C 01B 6/00 (09.1993). Sposob polucheniya gidriga titana. V.Z. Tarasenko, D.B. Zhakibaev, N.A. Baytenov. № 1723759 (SU); zayabl. 16.01.1990; opubl. 15.03.1994.

9. Patent 2494837 Possiyskaya fegeratsiya: MPK B 22 F1/00. Sposob termicheskogo razlozheniya gsfrigov perekhognykh metallov. M.B. Makarov, B.I. Kapitonov, V.V. ERskov, S.M. Vallev, S.V. Baranov, S.I. Rovnyy; Patentoobladafel' FGUP «Proizvodstvennoe obedinenie «Mayak». № 2002108984/02, zayavl. 08.04.2002; opubl. 10.11.2003.

10. Patent 2494837 Possiyskaya fegeratsiya: MPK B 22F 9/00. Sposob ochisrki poroshka titana ot primesi kisloroda. A.Yu. Postnikov, P.G. Berezhko, A.A. Potekhin, A.I Tarasova; patentoobladarel' Gosudarstbennaya korporatsiya po atomnoy energii «Rosatom», Federal noe fosudarstvennoe unitarnoe predpriyatue «Rossiyskiy Federal'nyy tsentr – Vserosiyskiy nauchno-issledovatel'skiy unstitut eksperimental'noy diziki» FGUP «RFYATS-VNIIGEF». № 2012103160/02, zayavl. 30.01.2012; opubl. 10.10.2013.

11. Ivasyshyn O.M., Bondarchuk O.B., Gumynyak M.M. Poverknevi yavyshcha pry nagrvanni poroshku gidrydu tytanu. Fizyka i khimiya tverdogo tlla. 2011. T. 12. No. 4. S. 900–907.

12. Chernyaeva E.V., Khaymovich P.A., Polyanskiy A.M. Vliyanie barokriodeformirovaniya na soderzhanie vodoroda i akusticheskuyu emissiyu v yekhnicheskom titane VT1-0. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 2011. T. 81. Iss. 4. S. 131–134.

13. Narushin G.A., Shcherbina A.A., Yatsenko A.P. Issledovanie ekspluatsionnykh kharakteristik zubchatykh nakladok drobilok tipa DGT. *Metallurgiya*. *Nauchnye Trudy Zapoeozhskoy gosudarstvennoy inzhenernoy akademii*. RIO ZGIA, 2002. Iss. 6. S. 106–109.

14. Kolobov G.A., Pavlov V.V., Ovchinnikov A.V. Tekhnologicheskie aspekty nekotorykh putey snizhemiya stoimosti titanovoy produktsii. *Titan*. 2013. No. 3. S. 39–44.

15. Ivanov D.O., Aksenov A.A., Rupasov S.I. Vliyanie mekhanicheskogo aktivirovanya na sintez gidrida titana iz struzhkobykh otkhodov splava VT 1-0. *Tsvetnye metally*. 2007. No. 12. S. 74–78.

16. Livanov V.A., Bukhanova A.A., Kolahev B.A. Vodorod v titane. Moskva : Metallurgiya, 1962. 236 s.

17. Kogan Ya.D. Kolahev B.A., Livinskiy Yu.V. Konstanty vzaimodeystviya metallov s gazami : spravochnik. Moskva : Metallurgiya, 1987. 367 s.

18. Vorobev B.Ya., Olesov Yu.G., Drozdenko V.A. Proizvodstvo izdeliy iz titanovykh poroshkov. Kiev : Tekhnika, 1976. 176 s.

19. Rubtsov A.N., Olesov Yu.G., Antonova M.M. Gidrirovanie titanovykh materialov. Kiev : Naukova dumka, 1971. 127 s.

Pavlov Vasyl, senior staff scientist, candidate of technical sciences, PJSC «Institute of Titanium»
Skachkov Viktor, professor, doctor of technical sciences, Zaporozhe national university, ORCID: 0000-0002-4447-4641
Yanko Taras, head of laboratory, candidate of technical sciences, PJSC «Institute of Titanium»

PHYSIC AND CHEMICAL PROPERTIES OF ALLOYED METALLURGICAL WASTE AS A SECONDARY RESOURCE-SAVING SUBSTANCE

The hydrogenation process is released in three stages on spongy titanium grade TG-100 with a particle size in the range from 2 to 5 mm. At the first stage, the hydrogenation process was carried out on the starting material – spongy titanium with particle sizes of –12 + 5 and –30 + 10 mm. At the second stage of hydrogenation, mechanically activated TG-100 was used. At the third stage of hydrogenation, a mixture of mechanically activated TG-100 with titanium hydride was used. In the process of titanium hydride formation four main stages are defined: physical adsorption of hydrogen molecules on the metal surface; dissociation of hydrogen molecules on active centers of the metal surface; diffusion of hydrogen atoms into the surface layer of the metal and the ordered placement of hydrogen in the voids of the metal matrix with the formation of a hydride (β-phase). It was found that the temperature of the beginning of active absorption of hydrogen for the initial TG-100 is 693 K, for mechanically activated titanium spongy – 573 K, and for mechanochemically activated material – 503 K. The total hydrogenation time of the initial TG-100 was 1380 minutes, for mechanically activated – 1140 minutes and for mechanochemically activated – 780 minutes. The mechanochemical activation of titanium sponge made it allows to fulfil the duration of the hydrogenation process by almost 46 %. In this case, the mass fraction of hydrogen in titanium hydride ranged from 3.63 % to 3.84 % by mass, the maximum process temperature was set in the range from 590 °C to 645 °C, and the time to reach the maximum temperature was from 120 minutes to 240 minutes. The yield of titanium hydride before reaching the maximum temperature was 35.4 % for the initial TG-100, 50.0 % for mechanically activated, and 59.4 % for mechanochemically activated.

Keysword: strongy activated titanium, hydrogenation, titanium hydride, formation stages, temperature of the beginning, time of hydrogenation

Стаття надійшла 15.04.2021 р.