



УДК 669.187.826

ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕПРЕССОВАННЫХ И ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ ИЗ ЛИТОЙ ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT1-0, ИЗГОТОВЛЕННОЙ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ

О. Е. Собко-Нестерук¹, Н. Г. Третяк¹, Н. В. Чайка¹,
С. И. Горгуль², М. И. Медведев², Н. А. Беспалова².

¹ООО «Международная компания «АНТАРЕС»
03113, г. Киев, ул. Василенко, 1-А.
E-mail: tretiak@antares.com.ua

²ГП «НИТИ»
4960, г. Днепропетровск, 2, ул. Писаржевского, 1-а.
E-mail: michael.medvedev@rambler.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований получения полых слитков из сплава VT1-0 способом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью. Предложена технология изготовления горячепрессованных и холоднокатанных труб непосредственно из литого полого слитка, позволяющая снизить энергозатраты и расходный коэффициент по сравнению с существующей технологией, предусматривающей ковку слитков и термообработку труб. Отработаны основные параметры процессов изготовления горячепрессованных и холоднокатанных труб, обеспечивающие получение необходимого качества поверхности. Представлены результаты исследований структуры и механических свойств горячепрессованных и холоднокатанных труб. Установлено соответствие основных характеристик требованиям отечественных и зарубежных нормативных документов. Библиогр. 8, табл. 6, ил. 8.

Ключевые слова: титановый сплав; электронно-лучевая плавка; полый слиток; горячепрессованная труба; холоднокатаная труба; структура; механические свойства

Титановые сплавы благодаря низкому удельному весу, высокой удельной прочности и коррозионной стойкости находят широкое применение в авиационной и космической технике, атомной энергетике, химическом машиностроении. Дальнейшее расширение объемов и областей применения титановых сплавов во многом сдерживается более высокой стоимостью изделий из них, по сравнению с другими материалами, в частности нержавеющими сталями.

Пути снижения стоимости изделий из титановых сплавов являются совершенствование способов плавки слитков титановых сплавов и удешевление технологий получения слитков. Электронно-лучевая плавка с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) позволяет обеспечить необходимое качество титановых слитков и снизить их стоимость за счет использования лома и титановой губки низших сортов [1, 2].

Уменьшение стоимости титановых труб может быть достигнуто также за счет использования литого слитка для горячей прокатки, прессования, исключения операцийковки и последующей механической обработки по-

ковок. При этом уровень прочностных свойств соответствует требованиям отечественных и зарубежных стандартов [3–5].

Новым подходом в снижении стоимости титановых труб и увеличении выхода годного металла является сокращение операцийковки и механической обработки благодаря применению способа ЭЛПЕ полых слитков в качестве трубной заготовки. В работе [6] описаны экспериментальные плавки для получения толстостенных полых слитков большого диаметра на установке УЭ-182М. Выплавлен опытный полый слиток титанового сплава VT1-0 с диаметрами наружным 600 и внутренним 200 мм, длиной 2 м с обеспечением необходимого уровня качества литого металла. Из фрагментов этого слитка изготовлены кольца диаметрами 1850 и 1415 мм с толщиной стенки 50 мм и высотой 350 мм [7].

Цель настоящей работы состояла в определении особенностей получения полых слитков сплава VT1-0 способом электронно-лучевой плавки (ЭЛП) и возможности изготовления из них горячепрессованных и холоднокатанных труб.

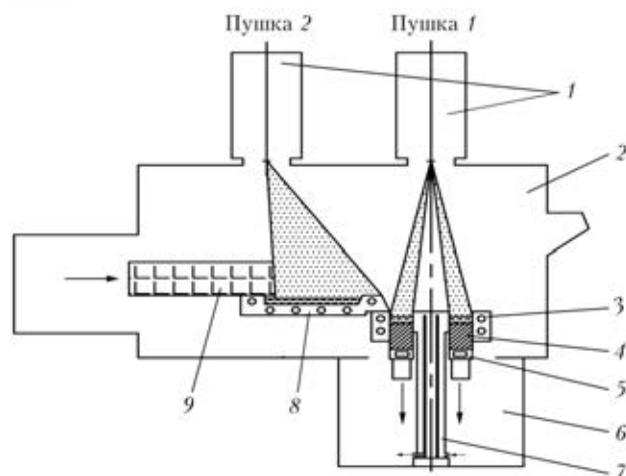


Рис. 1. Схема лабораторной установки для получения полого слитка: 1 — электронные пушки; 2 — камера плавки; 3 — кристаллизатор; 4 — полый слиток; 5 — поддон; 6 — камера слитка; 7 — дорн; 8 — промежуточная емкость; 9 — заготовка

Экспериментальные работы проводили на установке ВТ03 (рис. 1), для которой спроектирована и изготовлена специальная технологическая оснастка и разработан блок развертки луча электронной пушки. Использована схема проходного кристаллизатора с нижним расположением дорна.

Плавку осуществляли с помощью двух электронных пушек ВТ20 мощностью по 400 кВт каждая, разработанных и запатентованных в 2001 г. в МК «АНТАРЕС» совместно с НТУУ «КПИ» [8]. Заготовку, сформированную из брикетированной титановой губки ТГ100, плавил пушкой 2 на мощности 160 кВт в промежуточную емкость, из которой по мере накопления жидкий металл порциями сливали через сливной носок в водоохлаждаемый кристаллизатор. Скорость подачи заготовки составляла 8...10 мм/мин, скорость плавки — 80 кг/ч. Рабочее давление в камере в начальный момент плавки равнялось 0,133 Па, натекание — 50 л/ч.

В процессе плавки пушку 1 использовали для формирования полого слитка и периодического оплавления сливного носка по мере накопления металла в промежуточной емкости. Подводимая мощность пушки 1 составляла 120 кВт. Для обеспечения заданного температурного режима в металлической ванне с помощью блока



Рис. 2. Полый слиток с диаметрами наружным 190 и внутренним 50 мм в камере после плавки

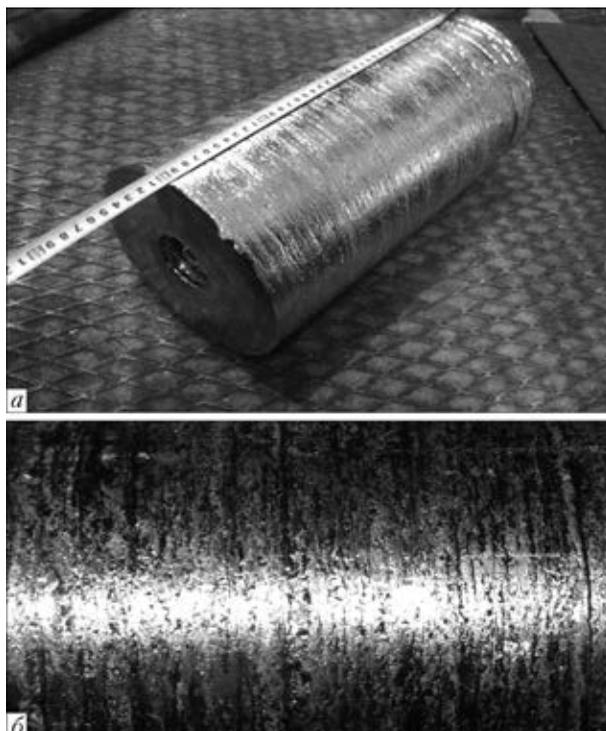


Рис. 3. Внешний вид (а) и наружная поверхность (б) полого слитка после плавки

управления лучом осуществляли развертку луча по траекториям в виде концентрических колец, причем повышенную мощность электронного луча задавали в зоне контакта расплава с поверхностью обечайки кристаллизатора и дорна. Такой характер развертки луча компенсировал повышенный теплоотвод в данных местах и обеспечивал устранение усадочных дефектов в верхней части слитка.

Как показали эксперименты, на формирование отверстия в слитке оказывают влияние форма и размеры дорна, что может приводить к заклиниванию заготовки слитка на дорне, связанному с уменьшением диаметра отверстия полого слитка в процессе его охлаждения.

На рис. 2 показан выплавленный образец в камере слитка. После извлечения дорна слиток длиной 400 мм (рис. 3, а) передается на участок механической обработки. Наружная и внутренняя поверхности слитка представляют собой результат периодического слива порций жидкого металла из промежуточной емкости (рис. 3, б).

В процессе механической обработки производят обрезку донной и головной части, а также доводку слитка для получения требуемых размеров трубной заготовки в соответствии с размерами контейнера пресса (наружный диаметр 170 мм, внутренний диаметр 70 мм, длина 350 мм). В ходе обработки слитков отобраны пробы металла для определения химического состава слитков с учетом содержания в них кислорода, водорода и азота. Как показали результаты анализов (табл. 1), состав слитков отвечает как техническому титану ВТ1-0, так и более чистому варианту ВТ1-00 в соответствии с ГОСТ 19807-91 «Титан и сплавы титановые деформируемые». Распределение элементов по длине (высоте) заготовок находится на одном уровне.



Таблица 1. Результаты контроля химического состава полых слитков, мас. %

№ слитка (место отбора пробы)	Al	Fe	O	N	C	H
3 (верх)	0,020	0,049	0,19	0,010	0,027	0,0030
3 (низ)	0,045	0,068	0,17	0,013	0,020	0,0020
4 (верх)	0,016	0,050	0,20	0,010	0,012	0,0032
4 (низ)	0,010	0,052	0,16	0,010	0,010	0,0010
2 (верх)	0,045	0,024	–	–	–	–
2 (низ)	0,050	0,020	–	–	–	–
BT1-00 по ГОСТ19807–91	Не более 0,30	Не более 0,15	Не более 0,10	Не более 0,04	Не более 0,05	Не более 0,008
BT1-0 по ГОСТ19807–91	Не более 0,70	Не более 0,25	Не более 0,20	Не более 0,04	Не более 0,07	Не более 0,010

Обработанные полые слитки (рис. 4) передали в ГП «НИТИ», г. Днепропетровск для получения из них горячепрессованных труб.

Дополнительные испытания спектральным методом по ГОСТ 23902–79 и методике к атомно-эмиссионному спектрометру «Spectromax X» подтвердили соответствие литых заготовок титана марки BT1-0 и BT1-00 (табл. 2). Химический состав отличался стабильностью как от отливки к отливке, так и в пределах одной отливки.

Макроструктуру определяли путем травления темплетов, отобранных от концов заготовок исследуемого массива (отливки № 2-03; 3-03; 4-03; 5-05). В целом в заготовках сформирована однородная макроструктура с кристаллами равноосного типа (рис. 5), за исключением тонких слоев направленной кристаллизации по наружной и внутренней поверхности. Размер литых кристаллов составляет 5...10 мм. Микроструктура равноосного типа имеет беспорядочную кристаллографическую ориентировку и поэтому предпочтительнее для последующей деформации. В донной части заготовки структура более крупнозернистая, по сравнению с верхней частью.

По результатам механических испытаний установлено, что в целом литые заготовки характеризуются удовлетворительным уровнем прочностных и пластических свойств, сопоставимыми со свойствами для горячедоформованного металла (табл. 3).

Твердость по заготовкам распределена следующим образом (табл. 4).



Рис. 4. Полые слитки, подготовленные для прессования

Незначительное, на несколько единиц в пределах погрешности измерения, увеличение значений твердости зафиксировано у поверхностных слоев, что, вероятнее всего, может быть связано с измельчением структуры вдоль наружной и внутренней стенок и возникающими при кристаллизации напряжениями.

Исследованные литые заготовки из титана BT1-0 по совокупности химического состава, структуры и свойств пригодны для дальнейшего трубного передела.

Таблица 2. Результаты масс-спектрального анализа, выполненного в ГП «НИТИ», мас. %

Номер (место отбора пробы)	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	Al	Cu	Прочие
3-03 (верх)	0,0073	0,012	<0,0045	0,011	0,030	0,027	<0,002	0,0024	–
4-03 (низ)	0,0075	0,012	<0,0045	0,0086	0,027	0,019	<0,002	0,0027	–
5-03 (низ)	0,0063	0,012	<0,0045	0,012	0,038	0,027	<0,002	0,0025	–
5-03 (верх)	0,0054	0,012	<0,0045	0,018	0,033	0,035	0,0073	0,0026	–
2-03 (горячепрессованная труба)	0,0082	0,021	<0,0045	0,012	0,025	0,034	<0,002	<0,002	–
BT1-00 по ГОСТ 19807–91	Не более 0,05	Не более 0,08	–	–	–	Не более 0,15	Не более 0,30	–	Не более 0,10
BT1-0 по ГОСТ19807–91	Не более 0,07	Не более 0,10	–	–	–	Не более 0,25	Не более 0,70	–	Не более 0,30

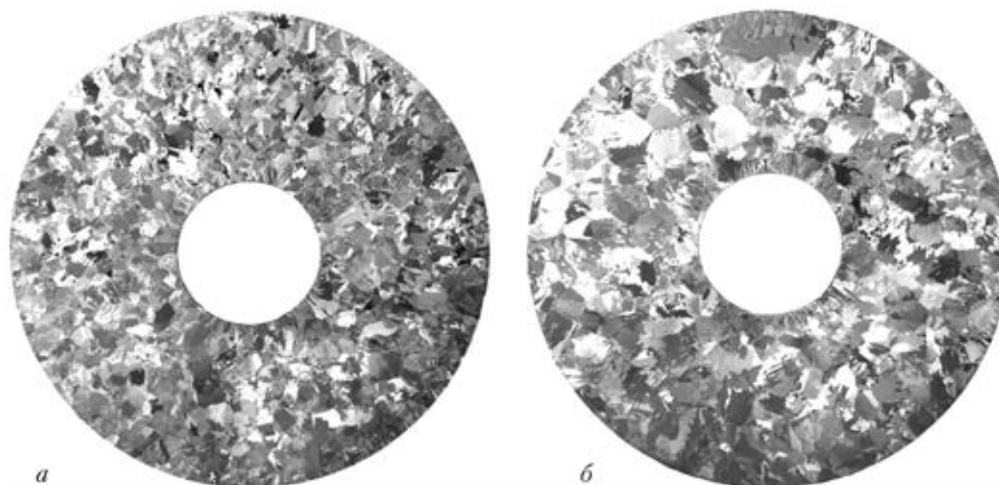


Рис. 5. Макроструктура верхней (а) и нижней (б) частей полого слитка из титанового сплава ВТ1-0

Таблица 3. Механические характеристики литых заготовок

№ заготовки (место отбора пробы)	σ_b , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	НВ, МПа
4-03 (низ)	440...448	341...349	18,0...29,1	52,5...56,5	146...164
5-03 (низ)	479	361...373	14,5...15,5	36,0...42,0	139...169
ГОСТ 26492 (для катаного прутка ВТ1-0)	Не менее 345	—	Не менее 15	Не менее 36	—
ГОСТ 24492 (для катаного прутка ВТ1-00)	Не менее 265	—	Не менее 20	Не менее 40	—
ТУ 1-5-132 (для заготовки ВТ1-00)	294...441	Не менее 216	Не менее 30	Не менее 60	—
ГОСТ 21945 (для горячекатаной трубы ВТ1-0)	343...568	Не менее 245	Не менее 20	Не менее 42	—

Таблица 4. Твердость НВ по сечению литых заготовок, МПа

№ заготовки (место отбора пробы)	10 мм от наружной поверхности	Середина по толщине стенки	15 мм от внутренней поверхности
3-03 (верх)	179, 167, 161	166, 163, 166	167, 152, 166
4-03 (низ)	157, 150, 164	152, 148, 146	154, 156, 158
5-03 (низ)	139, 161, 152	156, 158, 152	166, 169, 163



Рис. 6. Макроструктура горячепрессованной трубы диаметром 82x14 мм

Из заготовки №2-03 пропрессована труба диаметром 82x14 мм. Прессование осуществлялось в ГП «НИТИ» на трубопрофильном горизонтальном гидравлическом прессе с максимальным усилием 16 МН. Размер заготовки — диаметр 170x50x(350...370) мм, шероховатость поверхности после механической обработки — $R_a \leq 5,0$ мкм. В качестве смазки использовали стандартный стеклопорошок № 122. Скорость рабочего хода пресс-штемпеля равнялась 150 мм/с, усилие прессования — 7 МН. Параметры прессования следующие: нагрев в вертикальном индукторе до 960...1000 °С, степень деформации — 84 %, вытяжка — 6,4.

Исследованная макроструктура горячепрессованной трубы плотная, видимых дефектов не обнаружено (рис. 6). Поверхность трубы имеет характерный для горячепрессованного состояния вид, дефектов в виде плен, раковин, закатов, трещин, глубоких рисок не содержит.

Микроструктура трубы в результате прессования измельчена (рис. 7, а, б) и соответствует состоянию после деформации и охлаждения в области $\alpha+\beta$, находится в двухфазном состоянии.

У поверхности трубы имеются участки микроструктурной неоднородности и полосчатости (рис. 7, в, г), что может быть связано с исходной структурой литой заготовки, требующей, вероятно, увеличения степени деформации.

Трубы по механическим свойствам удовлетворяют нормам ГОСТ 21945 (табл. 5), по уровню свойств — требованиям современных ТУ У 27.2-05757883-176:2007

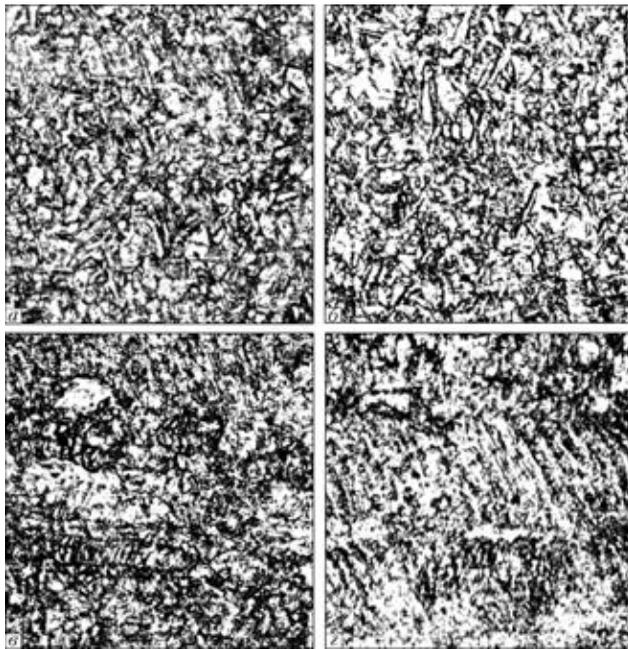


Рис. 7. Микроструктура (X100) горячепрессованной трубы диаметром 82X14 мм по середине толщины стенки (а, б) и у наружной поверхности (в, г)

«Трубы бесшовные горячедеформированные из титана и титановых сплавов».

По исследованным критериям труба диаметром 82X14 мм отвечает требованиям нормативной документации. В виду того, что по уровню механических свойств труба соответствует нормативу, на данном этапе термическую обработку не выполняли. Целесообразность последней определяется в зависимости от назначения трубы (обязательна для готовой трубы, при необходимости — для передельной). Следует отметить, что значения прочностных свойств горячепрессованной трубы из полого слитка, приведенные в табл. 5, превышают аналогичные показатели для горячепрессованной трубы, полученной из литой заготовки диаметром 200 мм, приведенные в работе [4].

Холодную деформацию осуществляли на станах ХПТ-55 и ХПТ-32. Согласно технологической схеме, образцы передельных горячепрессованных и механически обработанных труб диаметром 80X10 мм труб и 76X8 мм прокатывали в образцы размером 48X3,5 мм. Затем изготавливали образцы труб диаметром 25X2 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 22897–86. Суммарные коэффициенты вытяжки составили соответственно 15,2

Таблица 5. Механические свойства трубы диаметром 82X14 мм из титана ВТ1-0 в состоянии после горячего прессования			
$\sigma_b, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_t, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
512...532	437...469	20,5...24,5	52
ГОСТ 21945, ТУ У 27.2-05757883-176:2007 (для термически обработанного состояния)			
343...568	Не менее 245	Не менее 20	Не менее 42

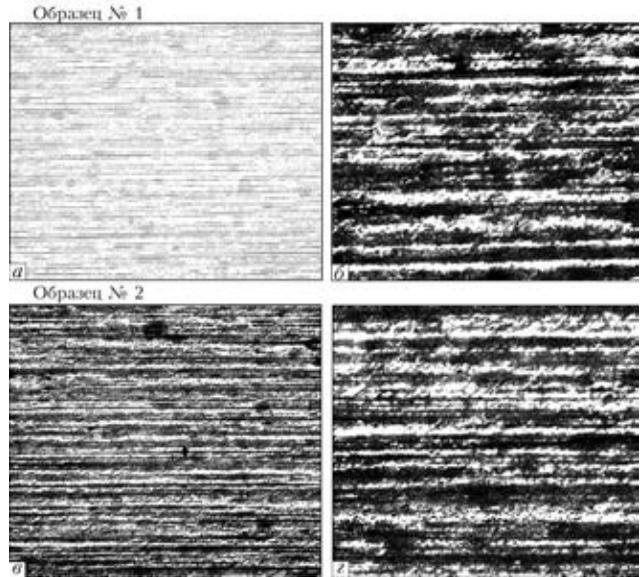


Рис. 8. Микроструктура образцов холоднодеформированных труб диаметром 25X2 мм сплава ВТ1-0: а, в — X100; б, г — X250

и 11,8. Прокатку осуществляли с применением смазки для наружной и внутренней поверхностей передельных труб.

После прокатки образцы холоднодеформированных труб подвергали промежуточной и окончательной термической и механической видам обработки.

Результаты оценки наружной и внутренней поверхности образцов холоднодеформированных труб диаметром 25X2 мм, а также замеры шероховатости поверхности подтвердили соответствие качества труб требованиям ГОСТ 22897–86 и ASTM B338.

Контроль геометрических размеров и кривизны образцов холоднодеформированных труб показал, что отклонения по диаметру, толщине стенки, длине и кривизне образцов труб соответствовали требованиям ГОСТ 22897–86.

Микроструктура образцов (№ 1, 2) труб диаметром 25X2 мм соответствовала холоднодеформированному состоянию металла после термической обработки (рис. 8).

После отбора образцов проведены комплексные исследования холоднодеформированных труб размером 25X2 мм — испытания на растяжение, сплющивание и раздачу.

Таблица 6. Механические характеристики образцов холоднодеформированных труб				
Образцы трубы	$T_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
Диаметром 25X2 мм	+20	361...512	265...313	34...51,5
Диаметром 25X2 мм	+150	310...393	174...277	42...50
ГОСТ 22897–86 (для холоднодеформированных труб из ВТ1-0)	+20	343...586	Не менее 245	Не менее 24
	+150	Не менее 216	Не менее 147	Не менее 24
ASTM B338/ASME SB 338 для труб из Grade 2	+20	Не менее 345	275...450	Не менее 24



Механические свойства образцов холоднодеформированных труб диаметром 25×2 мм соответствовали требованиям ГОСТ 22897–86 и ASTM B338/ASME SB 338 для труб из сплава Grade 2 (табл. 6), за исключением единичного выпада по пределу текучести ($\sigma_{0,2} = 265 \text{ Н/мм}^2$).

Выводы

1. Показано, что литая полая заготовка, полученная способом ЭЛПЕ, по своим качественным показателям может быть пригодна для получения деформированных труб.

2. Качество деформированных труб, полученных из полой литой заготовки, соответствует требованиям отечественных и зарубежных стандартов (ГОСТ 21945–76; ГОСТ 22897–86, ASTM B-338).

1. Развитие технологии электронно-лучевой плавки титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, В. Н. Замков и др. // Пробл. спец. электроталлургии. — 2000. — № 2. — С. 34–40.
2. Получение титановых труб из заготовок электронно-лучевой плавки с использованием отходов / Т. Н. Бурак, В. С. Вахрушева, С. В. Ладохин и др. // Там же. — 2001. — № 3. — С. 24–29.

3. Исследование процесса изготовления горячекатаных и холоднодеформированных труб из литой недеформированной трубной заготовки титанового сплава VT1-0, полученной электронно-лучевой плавкой / Н. П. Тригуб, Г. В. Жук, А. А. Чепинский и др. // Современ. электроталлургия. — 2006. — № 2. — С. 25–28.
4. Калинюк А. Н., Козловец О. Н., Ахонин С. В. Производство полуфабрикатов из титановых слитков, полученных способом электроннолучевой плавки с промежуточной емкостью // Пробл. спец. электроталлургии. — 2002. — № 2. — С. 25–28.
5. Изготовление титановых труб из металла, выплавленного способом ЭЛПЕ / С. Н. Антонов, В. П. Ревенок, А. В. Журавлев и др. // Современ. электроталлургия. — 2004. — № 4. — С. 21–23.
6. Получение полых титановых слитков способом ЭЛПЕ / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Г. В. Жук и др. // Там же. — 2004. — № 4. — С. 18–21.
7. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Жук Г. В. Производство высококачественных слитков, полуфабрикатов и заготовок изделий из титана способом электронно-лучевой плавки // Международная конференция «Ti-2006 в СНГ»: Сб. тр. — Киев: Наук. думка, 2006. — С. 8–91.
8. Пат. 38451 Україна, МПК H 01 J 37/06. Газоразрядна електронна гармата / В. Г. Мельник, Б. А. Тугай, А. Г. Тагіль та ін. — Опубл. 15.11.2000; Бюл. № 6.

Results of experimental investigations for producing hollow ingots of VT1-0 alloy using the method of electron beam cold hearth melting are presented. Technology is offered for manufacture of hot-pressed and cold-rolled pipes directly of cast hollow ingot, allowing reducing the power costs and consumption coefficient as compared with existing technology, providing the forging of ingots and heat treatment of pipes. Main parameters of processes of manufacture of hot-pressed and cold-rolled pipes, guaranteeing the required surface quality, have been optimized. Results of investigation of structure and mechanical properties of hot-pressed and cold-rolled pipes are given. The conformity of main characteristics to the requirements of national and foreign standardized documents was established. Ref. 8., Tables 6, Figs. 8.

Key words: titanium alloy; electron beam melting; hollow ingot; hot-pressed pipe; cold-rolled pipe; structure; mechanical properties

Поступила 15.02.2013

«ВСМПО Титан Украины»

осваивает выпуск длинномерных титановых труб

«ВСМПО Титан Украины» (г. Никополь, Днепропетровская область) — дочерняя компания крупнейшего мирового производителя полуфабрикатов и изделий из титана и его сплавов корпорации «ВСМПО Ависма» (Свердловская область, Россия), намерена начать производство длинномерных тонкостенных титановых труб. Об этом говорится в сообщении «ВСМПО Ависма».

«Корпорация «ВСМПО Ависма» приобрела для «ВСМПО Титан Украина» две сварочные линии итальянского производства, что уже через год позволит украинской компании выйти на проектную мощность по выпуску труб диаметром от 12 до 60 мм, длиной до 26 метров», — сказано в нем.

Согласно сообщению, ранее «ВСМПО Титан Украина» производила только холоднокатаные бесшовные трубы из титановых сплавов, теперь же компания намерена освоить также и сварочное производство труб.

В сообщении также отмечается, что, поскольку длинномерные титановые трубы требуют очень бережной транспортировки, «ВСМПО Ависма» решила наладить данное производство именно на «ВСМПО Титан Украина», которая находится в Никополе в сравнительной близости от Одесского морского торгового порта.

Длинномерные титановые трубы используются в атомной энергетике и на опреснительных заводах.

<http://www.ugmk.info/news>