

УДК 669.187.82

# РАЗРАБОТКА И ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

В. О. Мушегян<sup>1</sup>, А. Г. Моляр<sup>2</sup>, В. В. Грабин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГП НТЦ «Патон-Армения» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.  
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины.

03142, г. Киев, бульв. Академика Вернадского, 39. E-mail: molyar@imp.kiev.ua

<sup>3</sup>ГП «Международный центр электронно-лучевых технологий» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.  
03680, Киев, ул. Горького, 68. E-mail: vvgrabin@gmfil.com

Разработана сквозная технология получения проката (прутков) из титановых сплавов ВТ6. Технология включает электронно-лучевую плавку с промежуточной емкостью с использованием периферийного нагрева, а также стана шаговой прокатки. В процессе плавки поддерживали глубину жидкой ванны в кристаллизаторе в пределах 4...6 мм. Получены слитки диаметром 70 мм, которые переработаны в прокатную заготовку диаметром 62 мм и прокатаны без предварительной термомеханической обработки на пруток диаметром 20 мм. Исследованы химический состав, структура и механические свойства исходных и полученных прутков титановых сплавов. Достигнут высокий уровень механических свойств материала прутков: временное сопротивление при растяжении составило  $\pm 1023$  МПа, относительное удлинение — более 17 %. Показано, что качество прутков соответствует требованиям ОСТ 190006–86, ОСТ 190173–75. Библиогр. 8, табл. 2, ил. 9.

**Ключевые слова:** титан; гомогенизирующий отжиг; лигатура; электронно-лучевой переплав; рафинирование; прокат; технические условия; шаговая прокатка

Способ получения слитков и их дальнейшая термомеханическая обработка при изготовлении полуфабрикатов являются определяющими факторами в обеспечении физико-механических свойств титановых сплавов [1–5].

С целью определения комплекса свойств сплава ВТ6 (Ti–6Al–4V) в ИЭС им. Е. О. Патона и НТЦ «Патон-Армения» проведены исследования прутков, изготовленных способом шаговой прокатки из

слитка, полученного с применением электронно-лучевой плавки.

Экспериментальные плавки проводили на электронно-лучевой установке МВ-1 с промежуточной емкостью собственного изготовления (рис. 1). Главной технической особенностью электронно-лучевой установки МВ-1 является возможность плавки тугоплавких металлов — высокая удельная мощность электронно-лучевого нагрева относительно объема

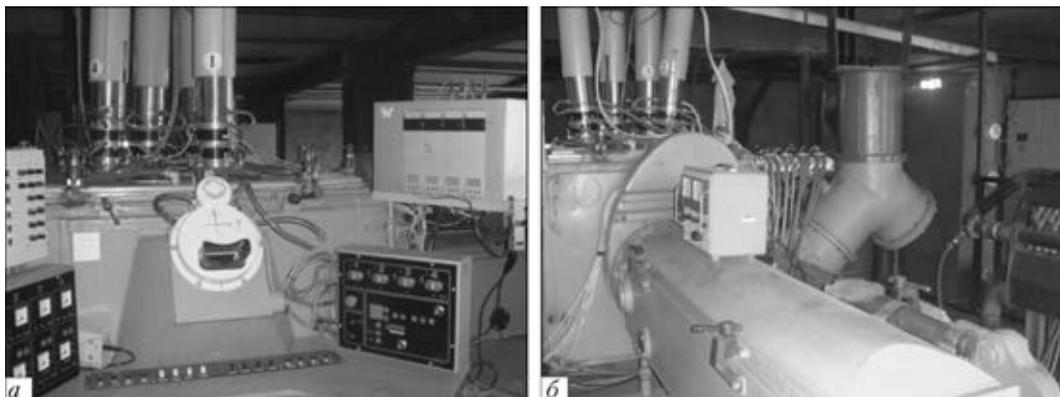


Рис. 1. Пульт оператора установки МВ-1 (а) и вид со стороны камеры загрузки (б)

© В. О. МУШЕГЯН, А. Г. МОЛЯР, В. В. ГРАБИН, 2014



Таблица 1. Химический состав слитка ВТ6 ЭЛПЕ диаметром 70 мм и прутка диаметром 20

Вид образца	Место вырезки	Массовая доля элементов, %			
		Al	V	Zr	Si
Слиток Ø70	Голова	6,21	4,28	–	0,040
	Дно	5,75	4,21	–	0,038
Пруток Ø20	Начало	5,97	4,18	–	0,028
	Конец	5,48	4,11	0,01	0,018
ОСТ 1 90013–86		5,3...6,8	3,5...5,3	–	≤0,100

камеры плавки и конструктивные решения технологической оснастки, позволяющие эффективно производить дегазацию и плавку исходного сырья. При необходимости установка позволяет создавать локальную электронную бомбардировку удельной мощностью  $5 \cdot 10^8$  Вт/м<sup>2</sup> [3, 4].

**Техническая характеристика установки МВ-1**

Максимальная мощность, кВт	480
Ускоряющее напряжение, кВ	30
Количество пушек, шт.	4
Наибольшие размеры заготовки, м:	
длина	2,2
сечение	0,50×0,45
Наибольшие размеры слитков, м:	
длина	2,0
диаметр	0,13
Для прямоугольного сечения	0,2×0,3
Производительность высоковакуумной системы откачки, л/с	15000
Рабочий вакуум в камере плавки, Па	$1 \cdot 10^{-2}$
Максимальный расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	1-40
Габаритные размеры установки, м	5×7×5

В качестве исходной шихты использовали титановую губку ТГ-100 как основу с добавлением легирующих в количестве, необходимом для достижения заданного химического состава сплава и компенсации потерь на испарение согласно ОСТ190013–86. В процессе плавки поддерживали глубину жидкой ванны в кристаллизаторе в пределах 4...6 мм. Для исследований выплавляли экспе-

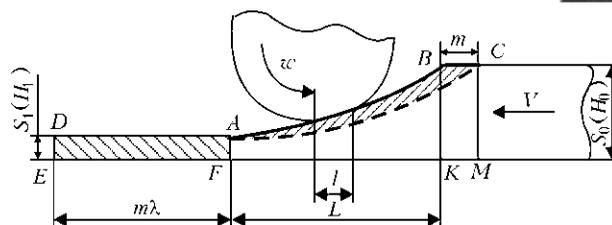


Рис. 2. Процесс шаговой прокатки



Рис. 3. Общий вид стана

риментальный слиток диаметром 70 мм, химический состав которого, определенный на образцах, вырезанных из головной и донной частей, представлен в табл. 1.

Полученную на тех же технологических режимах ЭЛПЕ опытно-промышленную партию слитков подвергали гомогенизирующему отжигу при температуре 950 °С. Затем протачивали до диаметра 60 мм и прокатывали на шаговом прокатном стане СШ-175. Процесс шаговой прокатки [5] используют для получения малотоннажных партий заготовок и профилей. Суть процесса заключается в том, что при деформации заготовки на части ее длины образуется переходной участок АВ, называемый конусом деформации. Длина конуса L превышает длину мгновенного очага деформации l (рис. 2). Поперечное сечение заготовки на конусе деформации изменяется от сечения исходной заготовки S<sub>0</sub> или ее высоты H<sub>0</sub> до сечения готового профиля S<sub>1</sub> или его высоты H<sub>1</sub>. В каждом шаге деформации в валки

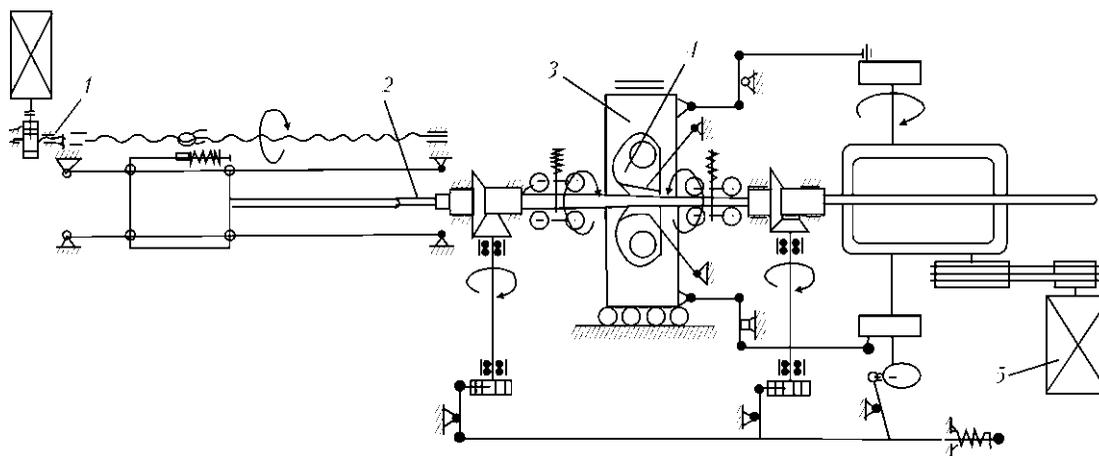


Рис. 4. Кинематическая схема стана: 1 – привод механизма подачи; 2 – толкатель задающего устройства; 3 – прокатная клеть; 4 – валки; 5 – электродвигатель главного привода стана прокатной клетки

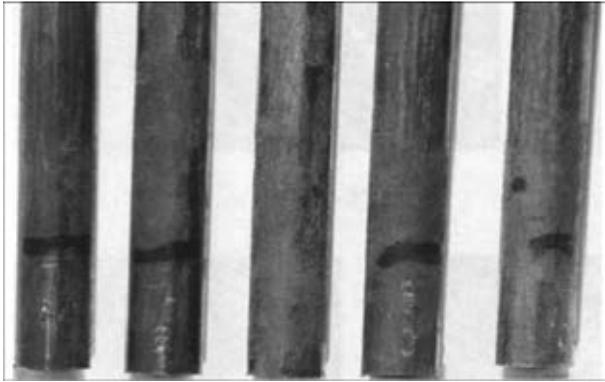


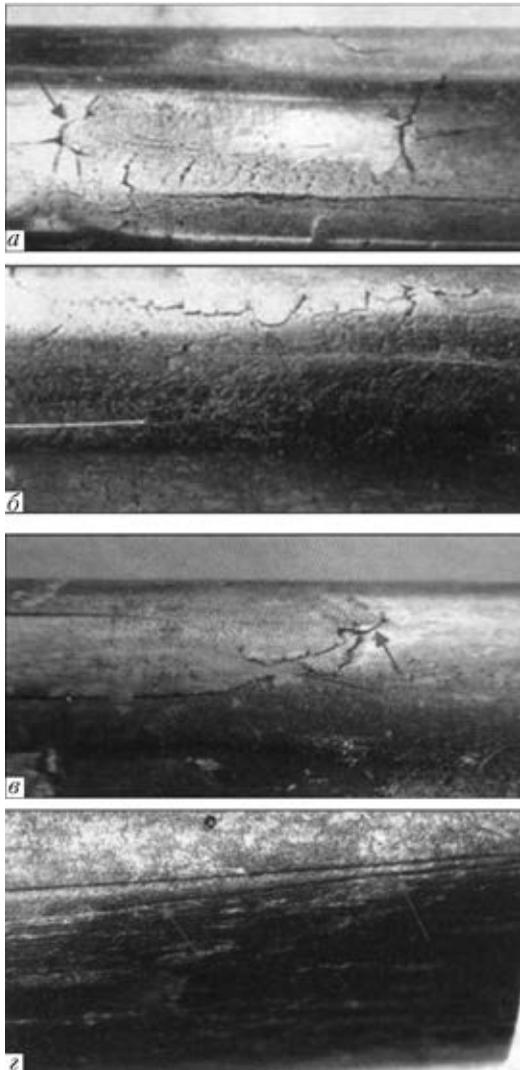
Рис. 5. Внешний вид прутков

задается заготовка с выкатанным конусом деформации, смещенным в сторону готового профиля на длину подачи  $m$ .

При деформации заготовки каждый из валков осуществляет смещение объема металла  $ABC$  в сторону готового профиля. Длина готового профиля, получаемого за шаг деформации, составляет  $m\lambda$ , где

$$\lambda = \frac{S_0}{S_1},$$

поскольку объем металла  $ABC$  равен объему металла  $ADEF$  или  $BCMK$ .

Рис. 6. Характерные дефекты поверхности прутков ( $\times 6$ )

Для создания требуемых технологических условий деформации заготовки кантуются после каждого шага деформации на угол  $\pi/n$ , где  $n$  — количество прокатных валков, одновременно деформирующих заготовку. Процесс шаговой прокатки реализуется на станах специальной конструкции, которые разделяются на станы валковые с вращающимися и качающимися валками и станы роликовые. Стан СШ 175 относится к станам с качающимися валками (рис. 3).

Технологический процесс получения заготовок на стане с качающимися валками СШ175 происходит следующим образом (рис. 4). Нагретую заготовку подают к стану и устанавливают по оси прокатки перед толкателем задающего устройства. Включается привод механизма подачи, и заготовка ускоренно подается в прокатную клеть. При проходе заготовки к валкам прокатной клетки привод механизма переводится в режим подачи, включается электродвигатель главного привода стана и начинается процесс шаговой прокатки. При прокатке валками переменного радиуса в каждом шаге деформации на заготовке образуется переходный участок (конус деформации) от исходной заготовки к готовому профилю. После каждого шага деформации во время

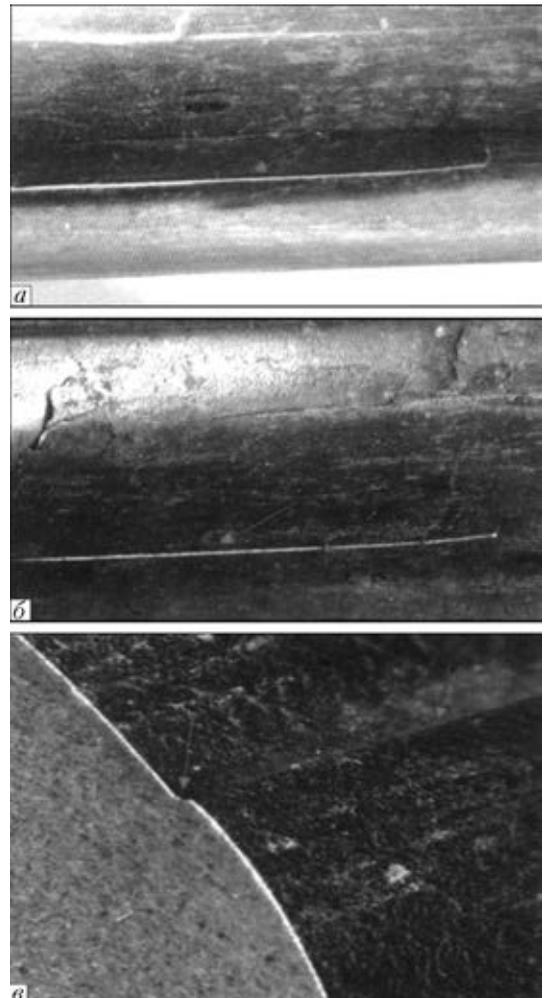
Рис. 7. Фрагменты поверхности (а, б) и торца (в) прутков ( $\times 6$ )



Таблица 2. Механические свойства прутков диаметром 20 мм

Сплав	Условный № прутка	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\varphi$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	HB ( $d_{отт}$ ), мм
ВТ6	4	1008...1023	16,0	36,0	7,25	3,5
			13,2	35,8	7,50	3,5
	5	1016...1007	16,0	38,8	7,75	3,5
			17,2	35,8	7,75	3,5
ОСТ 190173-75	—	920...1007	>10	>30	>40	3,3...3,8

образования зазора между валками, превышающего высоту исходной заготовки, последнюю перемещают на длину подачи и кантуют на угол 45, 60 и /или 90° (в зависимости от формы поперечного сечения получаемого профиля). После прокатки исходной заготовки главный привод стана отключается, а каретка с толкателем возвращаются механизмом подачи в исходное положение. Стан работает в полуавтоматическом режиме, при котором оператор дает команду только на начало прокатки. Механизмы стана могут работать в ручном (настроечном) режиме управления. На стане могут быть прокатаны заготовки из конструкционной, инструментальной, жаропрочной стали и других, а также из цветных металлов на основе меди, никеля, титана, молибдена. Структура и механические свойства получае-

мого проката соответствуют техническим требованиям.

Слитки перед прокаткой нагревали в установке ТВЧ (входит в комплект стана СШ-175) до температуры 850 °С и прокатывали за один проход до диаметра 20 мм (рис. 5). Прокатанные прутки подвергались отжигу согласно инструкции ВИАМ ПИ 1.2.587-02, после чего были проведены исследования состояния поверхности прутков; механических свойств; макро- и микроструктуры.

**Оценка состояния поверхности.** Визуальный осмотр и под бинокулярным микроскопом показали, что на поверхности прутков из сплавов имеются несплошности в виде отслоений, поперечных разрывов металла (рис. 6, а-в) и прерывистых линейных несплошностей продольной ориентации (рис. 6, г).

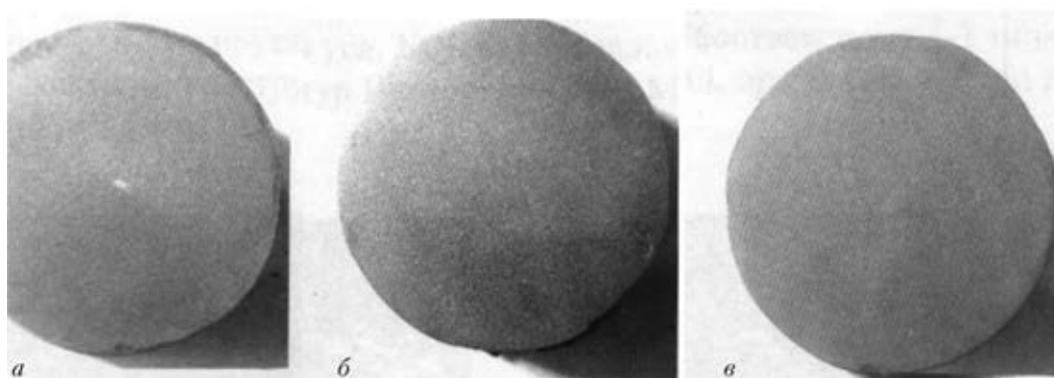


Рис. 8. Макроструктура (×3) поперечных темплетов прутков ВТ6 диаметром 20 мм; условные номера а – 3; б – 4; в – 5

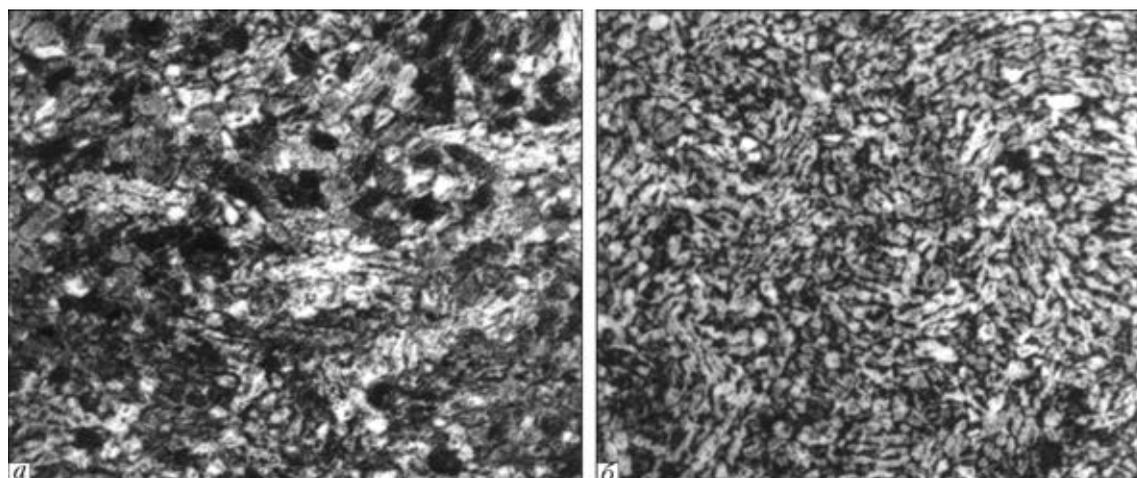


Рис. 9. Микроструктура (×500) прутков ВТ6 диаметром 20 мм; условные номера 4 (а) и 5 (б)



Следует отметить, что на поверхности всех прутков имеются прерывистые продольные углубления (рис. 7, а, б). В ходе исследования поперечного шлифа установлено, что углубление представляет собой пологий уступ высотой примерно 0,3 мм, по-видимому, являющийся следом от ковочного инструмента (рис. 7, в).

Механические свойства полуфабрикатов определяли на образцах, изготовленных из прутков диаметром 20 мм, отожженных по инструкции ВИАМ ПИ 1.2.587-02. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Макроструктуру исследовали на темплетях, изготовленных в поперечном сечении термообработанных прутков [6, 7]. Визуальный осмотр показал, что фон макроструктуры прутков матовый, размер макрозерна соответствует баллу 2 по 10-балльной шкале макроструктур Инструкции ВИАМ № 1054 при норме не более балла 4 по ОСТ 190006-86, ОСТ 190173-75 (рис. 8).

Микроструктуру прутков исследовали на шлифах, изготовленных в поперечном сечении половинок ударных образцов.

Микроструктура прутков условных № 4, 5 из сплава ВТ6 соответствует типам 1, 2 по 9-типной шкале микроструктур Инструкции ВИАМ № 1054 при норме 1-7 ОСТ 190173-75 (рис. 9).

## Выводы

1. Установлено, что прутки из сплава ВТ6 требуемого качества могут быть изготовлены из слитка электронно-лучевой плавки путем шаговой прокатки.

2. Качество материала прутков диаметром 20 мм из сплавов ВТ6 по химическому составу, механическим свойствам и микроструктуре соответствует требованиям ОСТ 190006-86, ОСТ 190173-75.

3. На поверхности и в сечении концевой части прутков (на длине примерно 50 мм от торца) выявлены дефекты прокатного происхождения — закаты, морщины, трещины, пустоты. Вместе с тем дефекты не глубокие, не выводят пруток за пределы минусового допуска по диаметру и на качество прутка не влияют.

1. *Mushegyan V. O.* Electron beam melting of reduced molybdenum concentrate // *Advances in Electrometallurgy*. — 2009. — № 7. — P. 225–228.
2. *Ильин А. А., Колачев Б. А., Польки И. С.* Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник. — М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. — 520 с.
3. *Мушегян В. О.* Новая технология получения молибденового прутка с использованием электронно-лучевой плавки // *Современ. электрометаллургия*. — 2013. — № 2. — С. 12–15.
4. *Мушегян В. О., Тарасюк А. А.* Формирование оптимальных режимов электронно-лучевого нагрева для плавления молибдена на установке МВ-1 // *Там же*. — 2010. — № 4. — С. 16–19.
5. *Финкельштейн Я. С.* Справочник по прокатному и трубному производству. — М.: Металлургия, 1975. — 400 с.
6. *Марковский П. Є., Моляр О. Г.* Підвищення механічних характеристик сплаву Т110 шляхом оптимізації термомеханічної і термічної обробок // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. — 2012. — 48, № 3. — С. 66–71.
7. *Получение прутков из титанового сплава ВТ20 и молибдена путем прямой шаговой прокатки литой заготовки (слитка)* / О. М. Ивасишин, П. Е. Марковский, А. Г. Моляр и др. // *Сб. тр. междунар. конф. «Ti-2013 в СНГ» (г. Донецк, 26–29 мая 2013 г.)*. — Донецк, 2014. — С. 15–18.

The end-to-end technology has been developed for producing the rolled metal (rods) of titanium alloys VT6. The technology includes the electron beam cold hearth melting using a periphery heating and also a mill with a stepping rolling. During melting the depth of molten pool in mould was maintained within the ranges of 4...6 mm. The ingots of 70 mm diameter were produced, which were processed into rolled billet of 62 mm diameter and rolled without preliminary thermomechanical treatment for 20 mm diameter rod. Chemical composition, structure and mechanical properties of initial and produced rods of titanium alloys were investigated. The high level of mechanical properties of rod material was attained: ultimate tensile strength was  $\pm 1023$  МПа, elongation was not more than 17 %. It is shown that the quality of rods meets the requirements of OСТ 190006-86, OСТ 190173-75. 8 Ref., 2 Tables, 9 Figures.

**Key words:** titanium; homogenizing annealing; master alloy; electron beam remelting; refining; rolled metal; technical specifications; stepping rolling

Поступила 21.03.2014

## ЗТМК УВЕЛИЧИЛ РЕАЛИЗАЦИЮ ГУБЧАТОГО ТИТАНА



<http://ztmc.zp.ua>

ООО «Запорожский титано-магнийский комбинат», входящее в титановый бизнес Group DF, в апреле 2014 г. увеличило реализацию губчатого титана на 34,5 % (от 528 до 710 т) по сравнению с мартом 2014 г.

По итогам первых четырех месяцев текущего года ЗТМК перевыполняет планы по производству готовой продукции. Произведено 2001 т губчатого титана, что на 3,7 % больше, чем было запланировано. В то же время на комбинате продолжается плановая техническая модернизация, нацеленная на увеличение мощностей. Только за период с января по апрель 2014 г. инвестиции Group DF позволили комбинату выполнить работы, связанные с проектами стратегического развития и модернизации на сумму 4,67 млн грн. Кроме того, выполнены работы по капитальному ремонту технологического оборудования на сумму 4,73 млн грн.

Программа технической модернизации ЗТМК предусматривает поэтапные инвестиции в строительство новых мощностей по выпуску титановой губки, в результате чего комбинат сможет выпускать до 40 тыс. т продукции в год. Повышение мощностей позволит Украине увеличить долю в мировом производстве титановой губки от нынешних 5 до 14 %.