



УДК 669.187.526:51.001.57

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ ИЗ СЛИТКОВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT20, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ

Н. П. Тригуб, В. А. Березос,  
В. А. Крыжановский, А. Ю. Северин

Представлены результаты исследований структуры и механических свойств прутков и труб, изготовленных из слитков титанового сплава VT20, полученных способом электронно-лучевой плавки. Впервые в мировой и отечественной практике произведены горячекатаные трубы из слитков титанового сплава VT20 и показано высокое качество получаемых изделий.

Results of investigations of structure and mechanical properties of rods and pipes, manufactured of titanium alloy VT20 ingots, produced by the method of electron beam melting, are presented. For the first time in the world and domestic practice the hot-rolled pipes of ingots of titanium alloy VT20 were manufactured and the high quality of ready products was shown.

**Ключевые слова:** титановые сплавы; электронно-лучевая плавка; прутки; труба; деформация

Применение конструкционных материалов зависит не только от физико-механических свойств, но и от таких характеристик, как технологичность, дефицитность и стоимость. По комплексу физико-механических свойств титановые сплавы являются универсальными конструкционными материалами. Благодаря этому при условии соблюдения определенных предосторожностей, горячую деформацию титановых слитков можно осуществлять на том же печном, кузнечно-прессовом и прокатном оборудовании, которое используется для обработки стали [1].

Перспективной при производстве высококачественных слитков из титана и его сплавов является электронно-лучевая плавка с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ), позволяющая снизить себестоимость титановых изделий за счет использования дешевых исходных шихтовых материалов в виде титановой губки марок ТГ-120 и ТГ-130 [2], а также то что производство слитков титана и его сплавов массой до нескольких десятков тонн способом ЭЛПЕ перестало быть сложной проблемой [3].

С целью изучения качества сложнoleгированных титановых слитков проведены комплексные работы по изготовлению полуфабрикатов в виде труб из слитков титанового сплава VT20, полученных способом ЭЛПЕ.

Исследования, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, показали, что для получения равноосного рекристаллизованного зерна в готовых трубах и равномерного распределения значений механических свойств целесообразно при прошивке



Рис. 1. Слитки титанового сплава VT20 диаметром 500 мм



Таблица 1. Химический состав слитков диаметром 500 мм титанового сплава BT20

№ образца	Массовая доля компонентов, %								
	Al	V	Mo	Zr	Si	Fe	O	N	H
1	5,9	1,5	1,3	2,2	0,1	0,16	0,10	0,010	0,001
2	6,2	1,5	1,4	2,5	0,08	0,14	0,10	0,010	0,001
3	6,0	1,6	1,3	2,2	0,09	0,15	0,09	0,013	0,001
ГОСТ 19807-91	5,5...7,0	0,8...2,5	0,5...2,0	1,5...2,5	<0,15	<0,25	<0,15	<0,050	<0,015

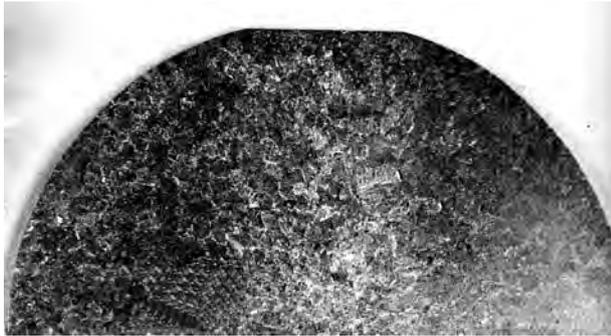


Рис. 2. Макроструктура титанового слитка сплава BT20 диаметром 500 мм

на стане поперечно-винтовой прокатки применение слитка большого диаметра, что позволит повысить степень деформации и тем самым обеспечить более полную проработку структуры горячекатаных передельных труб [4].

Традиционно для производства трубной заготовки диаметром 110... 150 мм используют слитки диаметром 300 мм, выплавленные электронно-лучевым или вакуумно-дуговым способом. Трубную заготовку изготавливают путемковки слитков на гидропрессах и ковочных машинах при 1000... 1050 °С [5].

По технологии ЭЛПЕ и с порционной подачей металла в водоохлаждаемый кристаллизатор изготовили слитки из титанового сплава BT20 диаметром 500 мм, длиной до 3500 мм (рис. 1).

Исследование химического состава полученных слитков показало (табл. 1), что по всему сечению он соответствует марочному составу титанового сплава BT20, распределение легирующих элементов как по длине, так и по поперечному сечению слитков равномерное.

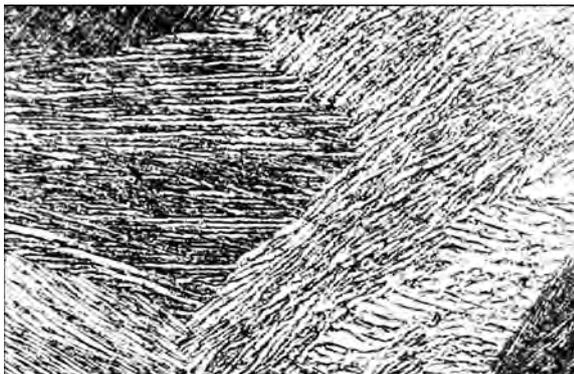


Рис. 3. Микроструктура (×400) слитка титанового сплава BT20

Таблица 2. Механические свойства литого титанового сплава BT20

№ слитка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\varphi$ , %
2251	845	820	15	29
2251	849	820	16	32
2256	850	820	14	28

Как следует из табл. 1, содержание всех примесных элементов находится в пределах требований ГОСТ 19807-91, причем концентрация водорода в титане не превышает 0,001 %, что в 15 раз меньше максимально допускаемого стандартами значения. Повышенного содержания газов как в донной, так и в головной частях слитков не обнаружено. Механические свойства титанового сплава BT20 в литом состоянии приведены в табл. 2.

Поверхность слитков подвергали электронно-лучевому оплавлению, что позволило увеличить выход годного металла на 10... 15 % [6, 7].

Входной контроль слитков показал, что по качеству поверхности и геометрическим размерам они соответствуют требованиям ТУУ 27.5-23712944-005-2001 «Заготовка трубная литая из титановых сплавов».

Макроструктура слитков плотная, однородная и характеризуется зернами, близкими к равноосным (рис. 2). Отсутствуют макро- и микросегрегация, а также участки столбчатой структуры. Размер зерна на основной площади темплета (поперечное сечение) соответствует баллу 9 согласно 10-бальной шкале макроструктур (Инструкция № 1054-76 ВИАМ). По периметру темплета в результате поверхностного оплавления на глубину 10 мм структура более мелкозернистая и соответствует баллу 7. Дефектов

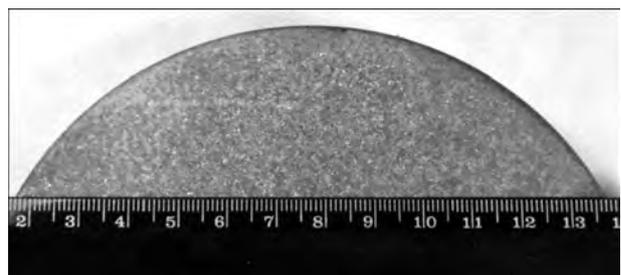


Рис. 4. Макроструктура кованого прутка диаметром 140 мм из титанового сплава BT20



Таблица 3. Средние значения механических свойств кованных прутков диаметром 140 из титанового сплава BT20

№ поковки	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %	$\varphi$ , %	$KCU_{\text{2}}$ Дж/м
2251	930	10	21	5,1
2252	951	11	24	5,2
2256	943	10	22	5,0
ОСТ 190107-73	900...1150	8	20	3,0

в виде пор, раковин, трещин, инородных включений не обнаружено.

Микроструктура слитков тонкопластинчатая, что является типичным для литого металла, и соответствует баллу 8 по шкале микроструктур (рис. 3).

Структура металла, формируемая в процессе горячей деформации, оказывает существенное влияние на механические свойства изделий. Основными факторами здесь являются исходная структура слитка, температура, степень и скорость его деформации [8]. Оптимальное сочетание механических свойств титановых поволоков обеспечивается благодаря мелко- и среднезернистой пластинчатой структуре, которая положительно влияет на прочность, пластичность, длительную прочность и предел выносливости [3].

Выплавленные слитки сплава BT20 диаметром 500 мм с оплавленной поверхностью подвергали горячей деформации на гидропрессе сначала в интервале температур 970... 1000 °С, а затем на открытом ковочном молоте при 990... 1020 °С и степени деформации 40... 50 % с последующей механической обработкой окисленной поверхности поковки.

Макроструктура кованной заготовки, полученной по существующей технологии, соответствует баллу 6 по шкалы макроструктур (рис. 4).

Определение механических свойств кованных прутков проводили при комнатной температуре (табл. 3). Образцы для определения прочности и пластичности металла отбирали от прутков, изготовленных из головной, средней и донной частей слитка. Механические свойства кованных прутков



Рис. 5 Кованные прутки из титанового сплава BT20 диаметром 140 мм

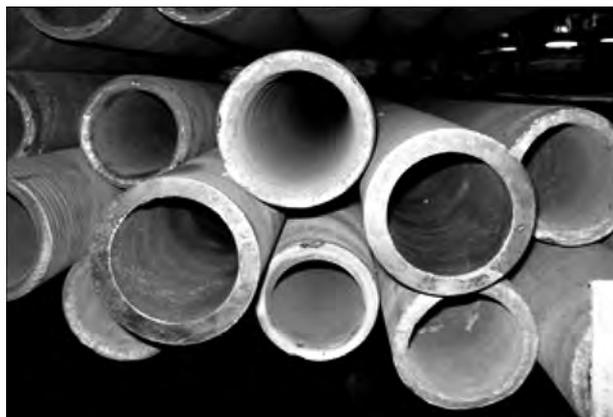


Рис. 6 Горячекатаные трубы 114×15×(3000... 3500) мм из титанового сплава BT20

соответствуют требованиям ОСТ1 90107-73 «Прутки кованные из титановых сплавов».

Полученные прутки (рис. 5) использовали в качестве трубных заготовок для последующего изготовления труб.

Горячую прокатку труб на размер 114×15 мм производили на трубопрокатной автоматической установке «ТПА 140» по технологии ТПЦ «НЗСТ «ЮТ и СТ» на ЗАО «НЗТО». Нагрев металла в методической печи осуществляли до температуры центра металла (1000±10)°С.

Горячекатаные трубы 114×15×3000... 3500 мм подвергали контролю на соответствие требованиям ГОСТ 21945-76 «Трубы бесшовные горячекатаные из сплавов на основе титана» с обычным качеством поверхности без механической обработки (рис. 6).

Визуальный осмотр наружной и внутренней поверхности показал, что качество поверхности, геометрические размеры и кривизна труб находятся в пределах требований стандартов. Макроструктура труб мелкозернистая (рис. 7). Глубина газонасыщенного слоя не превышает значений слоя, образу-



Рис. 7. Макроструктура горячекатаной трубы 114×15 мм из титанового сплава BT20



Таблица 4. Механические свойства горячекатаных труб 114×15 из титанового сплава BT20

№ образца	$\sigma_b$ , МПа	$KCU_{1,2}$ Дж/м	$\delta$ , %	$\varphi$ , %
1	984	6,2	13,0	29,8
2	967	5,6	13,1	26,2
3	1012	5,7	13,0	29,1
4	1005	6,1	12,9	28,4
ТУ 14-3-1349-85	95... 115	Не менее 3,0	Не менее 8,0	Не менее 18,0

ющего в процессе прокатки труб по существующей технологии.

Трубы подвергали 100%-му УЗК. Дефектов не выявлено.

Все операции обработки труб от сдачи в производство до сдаточного контроля осуществляли по действующей технологии. Трубы после механической обработки подвергали термообработке в проходной печи по следующему режиму: нагрев при температуре  $(850 \pm 10)$  °С с последующим охлаждением на воздухе в течение 1 ч.

Механические свойства горячекатаных труб соответствуют требованиям стандартов (табл. 4). Неравномерностей распределения значений механических свойств в трубах в пределах одной плавки не зафиксировано. Пластические свойства имеют довольно высокий уровень.

Таким образом, проведенные работы позволили показать высокое качество прутков и труб из сплава титана BT20, изготовленных из металла ЭЛПЕ.

## Выводы

1. Впервые в отечественной и мировой практике изготовлены горячекатаные трубы из слитков титанового сплава BT20, полученных способом ЭЛПЕ.

2. Комплекс исследований показал, что механические свойства труб, изготовленных из титановых слитков способом электронно-лучевой плавки, характеризуются повышенным запасом пластичности при сохранении прочностных свойств на уровне требований стандартов.

1. *Титановые сплавы в машиностроении* / Б. Б. Чечулин, С. С. Ушков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн. — Л.: Машиностроение, 1977. — 248 с.
2. *Развитие технологии электронно-лучевой плавки титана* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, В. Н. Замков и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2000. — № 2. — С. 34–40.
3. *Развитие электронно-лучевой плавки титана в ИЭС им. Е. О. Патона* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Г. В. Жук, В. А. Березос // Современ. электрометаллургия. — 2008. — № 3. — С. 22–24.
4. *Исследование процесса изготовления горячекатаных и холоднодеформированных труб из литой недеформируемой трубной заготовки титанового сплава BT1-0, полученной способом электронно-лучевой плавки* / Н. П. Тригуб, Г. В. Жук, А. А. Чепинский и др. // Там же. — 2006. — № 3. — С. 11–14.
5. *Полуфабрикаты из титановых сплавов* / В. К. Александров, Н. Ф. Аношкин, Г. А. Бочвар и др. — М.: Металлургия, 1979. — 512 с.
6. *Калинюк А. Н., Дереча А. Я., Тригуб Н. П.* Поверхностная обработка титановых сплавов электронным лучом // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1995. — № 1. — С. 26–30.
7. *Электронно-лучевая установка УЭ-185 для оплавления поверхностного слоя слитков* / Н. П. Тригуб, Г. В. Жук, А. Н. Пикулин // Современ. электрометаллургия. — 2003. — № 3. — С. 12–14.
8. *Калинюк А. Н., Козловец О. Н., Ахонин С. В.* Производство полуфабрикатов из титановых слитков, полученных методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2002. — № 2. — С. 25–28.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 30.06.2010

## Шановні читачі!

Повідомляємо Вас, що Наказом ВАК України № 641 від 08.10.2010 р. в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ створено спеціалізовану Вчену раду Д 26.182.02 для проведення захистів дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора (кандидата) наук за спеціальностями:

**05.0201 «Матеріалознавство»;**

**05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів».**