



УДК 669.187.526:51.001.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЯЧКАТАНЫХ И ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ ИЗ ЛИТОЙ НЕДЕФОРМИРОВАННОЙ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0, ПОЛУЧЕННОЙ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ

**Н. П. Тригуб, Г. В. Жук, А. А. Чепинский,
К. К. Тарасов, П. В. Куриленко,
Н. В. Антипьева, Н. Е. Копылова**

Разработана технология производства горячекатаных и холоднодеформированных труб непосредственно из слитков электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью. Исследовано качество труб промежуточных и готовых размеров. Показано, что механические свойства труб соответствуют требованиям государственных стандартов.

Technology of manufacture of hot-rolled and cold-formed pipes directly from ingots of electron beam cold hearth melting has been developed. Quality of pipes of intermediate and finished sizes was investigated. It is shown that mechanical properties of pipes are in compliance with requirements of State standards.

Ключевые слова: вакуумная электронно-лучевая плавка; трубная заготовка; слитки; входной контроль

логии электронно-лучевой плавки с промежуточной ёмкостью (ЭЛПЕ) и полунепрерывной разливки в

В настоящее время для изготовления трубной заготовки диаметром 110...150 мм используют слитки диаметром 400 и 600 мм, выплавленные электронно-лучевым или вакуумно-дуговым способом [1, 2]. Трубную заготовку производят путемковки слитков на гидропрессах и ковочных машинах в интервале температур 1000...1050 °С. Затем полученные заготовки подвергают обточке для удаления дефектов и газонасыщенного (альфированного) слоя.

Для существенного снижения энерго- и трудозатрат, а также расходного коэффициента металла в промышленных условиях на агрегате ТПА 140 использовали в качестве трубной заготовки литой недеформированный слиток.

Наиболее эффективным и экономичным способом получения слитков на основе титана является вакуумная электронно-лучевая плавка. Основным отечественным поставщиком таких слитков для последующего передела в трубы является НПЦ «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона, на котором по техно-

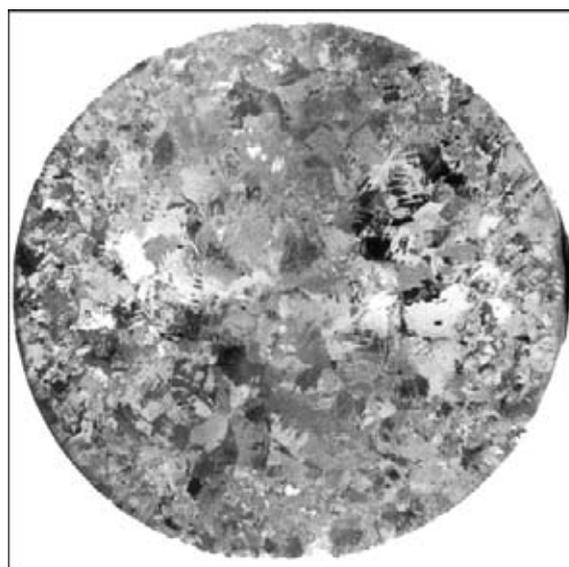


Рис. 1. Макроструктура поперечного сечения слитка

© Н. П. ТРИГУБ, Г. В. ЖУК, А. А. ЧЕПИНСКИЙ, К. К. ТАРАСОВ, П. В. КУРИЛЕНКО,
Н. В. АНТИПЬЕВА, Н. Е. КОПЫЛОВА, 2006



Таблица 1. Механические свойства литой заготовки (при 20 °С)

№ образца	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	$KCU_{,2}$ Дж/см ²
1	415	330	24	42	17,5
2	345	310	13	36	21,7

вакууме в проходной водоохлаждаемый кристаллизатор отливали слитки диаметром 110 мм, длиной 1500... 1600 мм из титанового сплава ВТ1-0. Поверхность слитков подвергали электронно-лучевому оплавлению для удаления поверхностных дефектов без механической обработки и увеличения выхода годного на 8... 10 % [3].

Входной контроль слитков показал, что по качеству поверхности и геометрическим размерам они соответствуют требованиям ТУ У 27.5-23712944-005-2001 «Заготовка трубная литая из титановых сплавов марок ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ6, ПТ-3В».

В ходе исследований зафиксировано, что макроструктура слитков — плотная, однородная, характеризуется зёрнами, близкими к равноосным (рис. 1). Размер зерна на основной площади темплета (поперечное сечение) соответствует баллу № 10 по десятибалльной шкале макроструктур (инструкция № 1054-76 ВИАМ), а по окружности темплета на глубину 15 мм структура является более мелкозернистой и соответствует баллу № 6. Макроструктура ковальной заготовки, применяемой по существующей технологии, соответствует баллу № 4-5. Дефектов в виде пор, раковин, трещин, инородных включений не обнаружено.

Микроструктура заготовок крупнозернистая имеет грубоиглочатое мартенситное строение, соответствует баллу № 8-9. Содержание водорода в заготовке составляет 0,003 %.

Механические свойства литой заготовки характеризуются неравномерностью из-за грубой крупнозернистой структуры (табл. 1).

Поскольку до настоящего времени в промышленных условиях прошивку литой трубной заготовки на косовальковом стане не производили, пред-

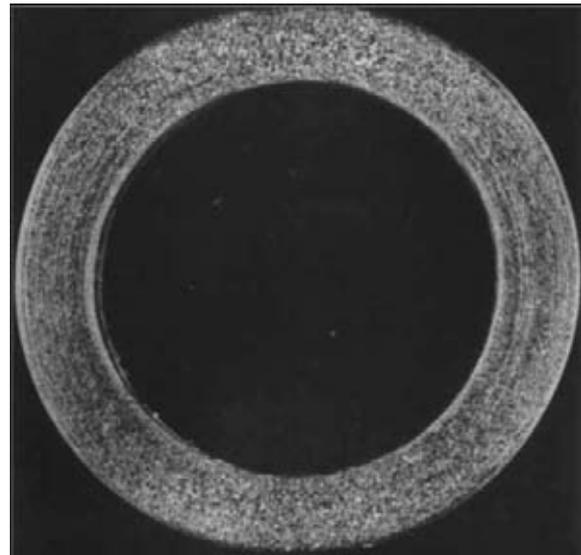


Рис. 2. Макроструктура горячекатаных труб

ставляло интерес определить ее оптимальные температурно-деформационные параметры. С этой целью испытан литой металл на «прошиваемость», определены допустимые критические обжатия. Для этих целей изготовлены конические образцы размерами 30×35×100 мм. Прокатку образцов производили на лабораторном прошивном стане типа ЦКБ-78. Перед прокаткой образцы нагревали в электрической печи Г-30. Прокатку осуществляли при четырёх значениях температуры (950, 1000, 1050 и 1100 °С).

Для определения критического обжатия после прокатки образцы разрезали вдоль образующей по диаметру. Значение критического обжатия вычисляли по формуле [1]

$$\delta_{кр} = \left(1 - \frac{1}{1 - \sqrt[3]{1 + \frac{6tg\beta^2 l_{кр}}{d_{кр}}}} \right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где β — угол наклона образующей конического образца; $d_{кр}$ — диаметр конического образца в сечении начала образования полости; $l_{кр}$ — расстояние от переднего конца образца до начала образования полости.

Таблица 2. Механические свойства горячекатаных передельных труб

№ образца	Временное сопротивление разрыву σ_b		Предел текучести σ_T		Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ , %
	кгс/мм ²	МПа	кгс/мм ²	МПа		
1-1	51,0	499,8	43,0	421,4	21,0	45
1-2	52,0	509,6	50,0	490,0	21,0	44
1-1	42,5	416,5	36,5	357,7	32,0	64
1-2	47,0	460,6	41,5	406,7	24,0	55
1-1	44,0	431,2	39,0	382,2	25,0	61
1-2	45,5	445,9	41,0	401,8	27,0	60
1-1	51,0	499,8	45,0	441,0	24,5	48
1-2	49,5	485,1	46,0	450,8	23,0	52
Стандартный	35,0...58,0	343...568	25,0	245,0	Не менее 20,0	42



Рис. 3. Микроструктура (X100) горячекатаных труб

Анализ проведенных исследований показал, что все образцы прокатывались без разрушений, вскрытия полости в центральной части не обнаружено.

На основании полученных данных для изготовления горячекатаных труб выбрали степень обжатия заготовок 16... 17 % в интервале значений температуры 950... 1050 °С.

Горячую прокатку передельных труб на размер 108,0X15,0 мм производили на трубопрокатной автоматической установке ТПА 140 по существующей технологии. Металл в методической печи нагревали до температуры в центре 980... 1010 °С.

Процесс деформации на всех участках передела (прошивной стан поперечно-винтовой прокатки, раскатный косовалковый и калибровочный станы, правильная машина) [4] протекал стабильно и не отличался от процесса прокатки труб, изготавливаемых

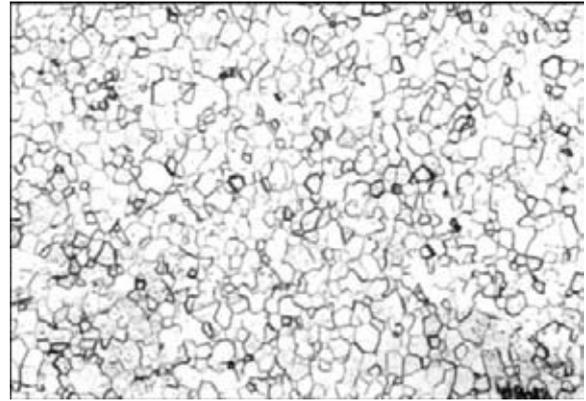


Рис. 4. Микроструктура (X200) холоднокатаной трубы, полученной по традиционной технологии из ковальной заготовки

из ковальной заготовки. Коэффициент вытяжки при этом составил 2,168; степень деформации — более 50 %.

Горячекатаные передельные трубы размером 108X15X(3180... 3500) мм подвергали контролю на соответствие требованиям ГОСТ 21945–76 «Трубы бесшовные горячекатаные из сплавов на основе титана» по группе качества Б, т. е. с обычным качеством поверхности без механической обработки. Визуальный осмотр наружной и внутренней поверхности показал, что качество поверхности соответствует ГОСТ 21945–76. Геометрические размеры и кривизна труб также находятся в пределах требований указанного стандарта.

Металл труб имеет крупнозернистую структуру с мартенситным строением (рис. 2, 3).

Глубина газонасыщенного слоя не превышает таковую слоя, образующегося в процессе прокатки труб по существующей технологии.

Таблица 3. Механические свойства и количество водорода в трубах промежуточных размеров в условиях комнатной температуры

№ прохода	σ_b , МПа	s_r , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	Массовая доля водорода, %
Заготовка	510	445	24,0	54,0	11,0	0,0060
I	485	345	23,0	61,0	10,6	0,0060
II	490	350	23,5	60,5	11,0	0,0061
III	530	390	26,0	Не определяли		0,0061
IV	550	415	32,0	»»		0,0060
I	490	355	25,0	62,0	14,8	Не определяли
II	485	340	25,0	61,5	15,0	0,0060
III	455	325	27,0			
IV	465	335	37,0			Не определяли

Таблица 4. Механические свойства труб готовых размеров

Размер труб, мм	20 °С					150 °С				
	σ_b , МПа		σ_r , МПа		δ_5 , %	σ_b , МПа		σ_r , МПа		
	Концы труб									
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
32,0X1,5	470	460	335	345	39	40	370	370	275	275
25,0X3,0	560	570	450	470	29	35	440	460	360	370
Стандартный	343... 568		245		24		216		147	

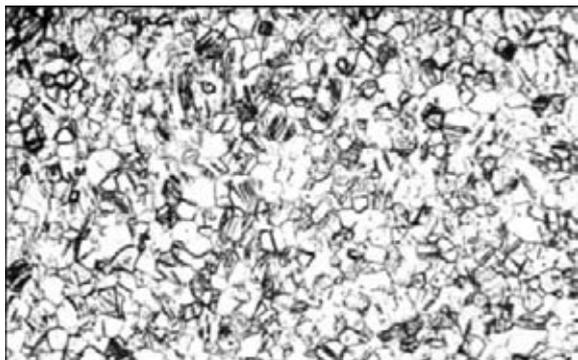


Рис. 5. Микроструктура (X200) холоднокатаной трубы, полученной из литой заготовки

Механические свойства труб в горячекатаном состоянии соответствуют свойствам термообработанных труб по ГОСТ 21945–76, но при этом обнаруживается неравномерность распределения значений относительного удлинения в трубах в пределах одной плавки.

Холодный передел труб производили в ЗАО «Завод СЕТАБ Никополь». Трубы сданы в производство после механической обработки (расточки и обточки на глубину по 1,0 мм с внутренней и наружной поверхностей). Все операции обработки труб от сдачи в производство до сдаточного контроля осуществляли по действующей технологии.

Передельную заготовку после механической обработки и трубы промежуточных размеров подвергали отжигу в проходной печи по существующему режиму для сплава ВТ1-0 при температуре $(770 \pm 10)^\circ\text{C}$.

От труб по переделам отбирали образцы для исследования механических свойств, микроструктуры и содержания водорода (табл. 3).

Микроструктура труб промежуточных размеров представляет собой смесь рекристаллизованных зерен проработанной α -фазы и остатков непроработанной горячекатаной структуры, что является характерным для таких труб.

С увеличением количества проходов в процессе холодной деформации происходит измельчение зерна и выравнивание структуры, что способствует постепенному увеличению пластичности труб промежуточных размеров, по сравнению с горячекатаным состоянием, и улучшению качества поверхности.

Микроструктура труб готовых размеров отличается от таковой труб, изготовленных из ковальной за-

готовки (рис. 4). Она мелкозернистая, но состоит из смеси равноосных рекристаллизованных зерен α -фазы и остатков непроработанных зерен мелкоигльчатого строения (рис. 5).

Оценку качества готовых труб производили в соответствии с требованиями ГОСТ 22897–86.

Механические свойства, содержание водорода, качество сплющивания и раздачи труб готовых размеров определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 22897–86 на образцах, отобранных с двух концов труб.

Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Механические свойства труб, несмотря на наличие мелкоигльчатой структуры, удовлетворяют требованиям ГОСТ 22897–86, пластические свойства при этом находятся на достаточно высоком уровне (табл. 4).

Технологические испытания на качество сплющивания и раздачу всех труб показали удовлетворительные результаты. Содержание водорода во всех трубах составляло 0,0060 %. Трубы подвергали УЗК (100 %). Дефектов при этом не выявлено.

Таким образом, проведенные исследования показали, что с целью получения равноосного рекристаллизованного зерна в готовых трубах и равномерного распределения механических свойств целесообразно применение при прошивке на стане поперечно-винтовой прокатки слитка большого диаметра, что позволит увеличить степень деформации и тем самым приведет к более полной проработке структуры горячекатаных передельных труб.

1. *Полуфабрикаты* из титановых сплавов / Н. Ф. Аношкин, М. З. Ерманюк, Г. Д. Агарков и др. — М.: Металлургия, 1979. — 512 с.
2. *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.
3. *Электронно-лучевое* оплавление слитков титана / А. Н. Пикулин, Г. В. Жук, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин // Современ. электрометаллургия. — 2003. — № 4. — С. 17–19.
4. *Прошивка* в косовальковых станах / А. П. Чекмарёв, Я. Л. Ваткин, М. И. Ханин и др. — М.: Металлургия, 1967. — 206 с.

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

ООО «Днепрметаллургобеспечение», Днепропетровск

ЗАО «Завод СЕТАБ Никополь», Никополь

Поступила 20.03.2006