

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ
ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.774:669.296: 621.774.1-412:621.74

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТОЙ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГОРЯЧЕПРЕССОВАННЫХ
ТРУБ ИЗ СПЛАВА Zr1Nb**

*В.С. Вахрушева, Г.Д. Сухомлин, Т.Н. Буряк, В.А. Сердюк, О.А. Коленкова
Государственный трубный институт, г. Днепрпетровск*

Представлено результати дослідження литих трубних заготовок із сплаву цирконію Zr1Nb, які отримано різними способами виплавки. Проведено комплексний порівнювальний аналіз якості металу трубних заготовок і гарячепресованих труб із них.

Представлены результаты исследования литых трубных заготовок из сплава циркония Zr1Nb, полученные различными способами выплавки. Проведен комплексный сопоставительный анализ качества металла трубных заготовок и горячепрессованных труб из них.

The results of research of cast tuba bars from alloy of zirconium Zr1Nb, obtained by different ways are shown. The complex comparative analysis of quality of metal of tuba bars and hot pressed tubes from them are given.

Концепция развития ядерно-топливного цикла основана на использовании национальных сырьевых ресурсов и технологий производства циркониевых сплавов, проката и, прежде всего, труб. Организация производства циркониевого проката в Украине предусматривает разработку и выбор оптимальной технологии производства трубной заготовки на этапе металлургического передела слитка для обеспечения требований по качеству и структуре трубной заготовки. В слитках, получаемых электронно-лучевым переплавом кальциетермического циркония не всегда обеспечивается необходимое качество металла прежде всего по химическому составу и структуре. Поэтому повышение качества слитков и, следовательно, создание альтернативных технологий получения литых трубных заготовок из сплава циркония и исследование их в процессе трубного передела является актуальной задачей.

Исследовали литые трубные заготовки из сплава циркония марки *Zr1Nb*, полученные различными способами:

- электронно-лучевым переплавом (ЭЛП) по штатной технологии ГНПП "Цирконий", диаметром 170 мм;
- гарнисажной плавкой с электромагнитным перемешиванием (ГЭМП), по технологии ФТИМС НАНУ в условиях ГНПП «Цирконий», диаметром 135 мм;
- центробежным литьем (ЦБЛ) по технологии ФТИМС НАНУ, наружным диаметром 135 мм и внутренним 55 мм.

С целью определения характера влияния способа получения слитков из сплава *Zr1Nb* на их технологическую пластичность в трубном переделе из литых трубных заготовок способом горячего прессования изготовлены передельные трубы по режиму: нагрев до высокотемпературной β -области, прессование с большой степенью деформации, ус-коренное

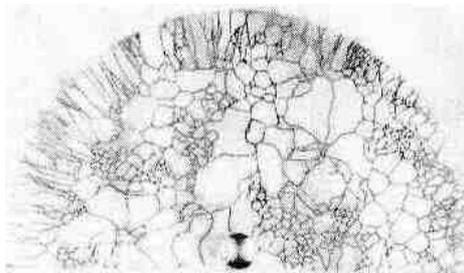
охлаждение. Проведен комплексный анализ механических характеристик и структуры литых трубных заготовок, полученных разными способами, и горячепрессованных труб из них.

Принципиальные различия в технологиях получения литых заготовок из сплава *Zr1Nb* обусловили формирование в них разных макроструктур β -фазы (рис.1). Металл ЭЛП отличается наибольшей неоднородностью макроструктуры по длине и сечению слитка со значительной разнотельностью и наличием зоны столбчатых кристаллов у наружной поверхности. Наиболее неблагоприятная структура формируется в середине слитка, где наблюдается аномальный рост отдельных зерен β -фазы, достигающих 25...30 мм в поперечнике. В центральной части слитка форма зерен близка к равноосной с наличием грубой внутризеренной структуры (см. рис.1,а).

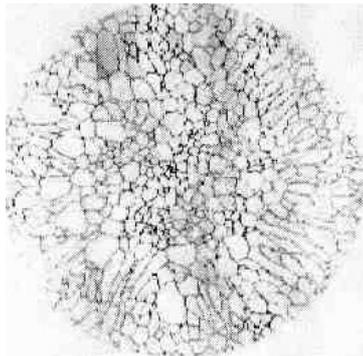
Металл ГЭМП имеет типичную картину кристаллизации, состоящую из трех неравных по сечению слитка зон. Первая - периферийная мелкозернистая корка. Вторая - основная - зона столбчатых кристаллов, ориентированных в направлении теплового потока. Их форма - от вытянутых иглообразных до эллипсоидных. Третья - сердцевина слитка - равноосные и сравнительно однородные кристаллы размером 2...5 мм (см. рис.1,б).

Металл ЦБЛ имеет наиболее благоприятную для пластической деформации макроструктуру, однородную по длине и сечению слитка и состоящую из равноосных зерен диаметром до 5 мм (см. рис.1,в).

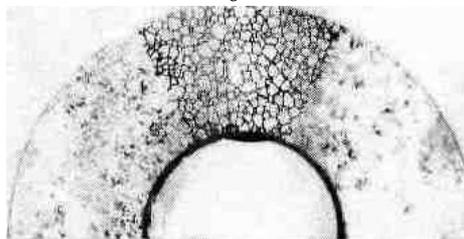
Микроструктура слитков состоит из пластин α -фазы, между которыми расположены прослойки ниобиевой β -фазы, а также прослойки α -фазы, расположенных по границам β -зерен. Наиболее тонкую дифференцировку пластин α -фазы имеет металл ЭЛП, а наиболее грубую - ЦБЛ. Средние размеры пакетов внутри β -зерен металла ЭЛП \approx 110 мкм, ГЭМ \approx 70 мкм, ЦБЛ \approx 95 мкм (рис.2).



а



б



в

Рис. 1. Макроструктура литых трубных заготовок:
а – ЭЛП; б – ГЭМП; в – ЦБЛ

Анализ механических свойств показывает, что литой металл ЭЛП и ЦБЛ имеет повышенные прочностные характеристики (σ_B , $\sigma_{0,2}$, HRB) при относительно невысокой пластичности (δ_5 и ψ) и ударной вязкости (KCV), что обусловлено, по-видимому, неоднородной крупнозернистой структурой слитка ЭЛП и имеющимися отклонениями по химическому составу металла ЦБЛ (табл.1).

Металл ГЭМП, несмотря на наличие в слитке столбчатых кристаллов, имеет наиболее высокие



а



б



в

Рис. 2. Микроструктура литых трубных заготовок, ув.500: а – ЭЛП; б – ГЭМП; в – ЦБЛ

значения сужения ψ и ударной вязкости KCV в сочетании с удовлетворительным уровнем прочностных характеристик.

Различие в ориентации β -зерен приводит к различию в значениях относительного удлинения в продольном и поперечном направлениях.

Таблица 1

Механические свойства металла слитков из сплава *Zr1Nb*, полученных различными способами

Способ получения	Содержание O ₂ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCV, Дж/см ²	HRB
ЭЛП Ø 170 мм	0,11	<u>615,1</u> 570,0	<u>532,4</u> 523,6	<u>13,9</u> 15,9	<u>25,3</u> 19,1	<u>27,1</u> -	91,2
ГЭМП Ø 135 мм	0,11-0,13	<u>504,4</u> 477,9	<u>447,5</u> 423,2	<u>16,2</u> 13,8	<u>32,4</u> 33,9	<u>38,5</u> -	88,2
ЦБЛ Ø 135 мм	Не опред.	<u>556,9</u> 591,9	<u>525,9</u> 515,8	<u>12,6</u> 14,7	<u>16,6</u> 15,9	<u>13,4</u> -	88,9

Примечание. В числителе - свойства в продольном направлении, в знаменателе - свойства в поперечном направлении.

Таблица 2

Анизотропия механических свойств сплава $Zr1Nb$ в литом и горячепрессованном состояниях

Способ получения	k_{σ_B}	$k_{\sigma_{02}}$	k_{δ_5}	K_{Ψ}
ЭЛП	<u>1,079</u>	<u>1,017</u>	<u>0,877</u>	<u>1,326</u>
	1,050	1,256	2,759	2,616
ГЭМП	<u>1,055</u>	<u>1,058</u>	<u>1,176</u>	<u>0,957</u>
	0,979	1,105	2,827	1,900
ЦБЛ	<u>0,941</u>	<u>1,018</u>	<u>0,855</u>	<u>1,044</u>
	0,934	1,049	3,419	3,760

Примечание. В числителе - отношение свойств в продольном направлении к поперечному в слитках, в знаменателе - в горячепрессованных трубах.

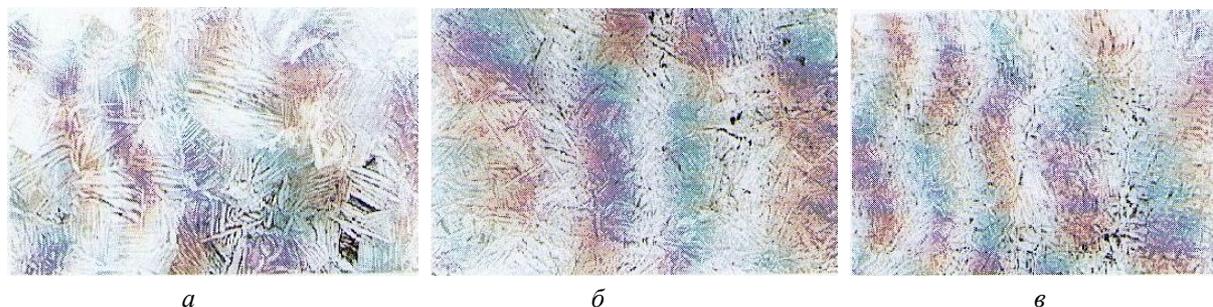


Рис. 3. Микроструктура горячепрессованных труб, ув.500: а - ЭЛП; б - ГЭМП; в - ЦБЛ

Таблица 3

Механические свойства металла горячепрессованных труб из сплава $Zr1Nb$

Способ получения	Содержание O_2 , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	Ψ , %	KCV, Дж/см ²	HRB
ЭЛП $\varepsilon = 92,0\%$	0,11	<u>646,8</u>	<u>584,4</u>	<u>23,0</u>	<u>49,6</u>	<u>35,1</u>	93,7
		616,2	465,3	8,3	18,6	-	
ГЭМП $\varepsilon = 91,6\%$	0,11- 0,13	<u>574,6</u>	<u>528,0</u>	<u>32,0</u>	<u>63,6</u>	<u>74,2</u>	95,6
		586,8	477,8	11,3	33,5	-	
ЦБЛ $\varepsilon=91,6\%$	Не опред.	<u>586,8</u>	<u>502,3</u>	<u>31,6</u>	<u>50,0</u>	<u>18,4</u>	91,2
		528,4	479,0	9,3	13,3	-	

Примечание. В числителе - свойства в продольном направлении, в знаменателе - свойства в поперечном направлении.

Так, в металле ГЭМП со столбчатыми кристаллами в структуре удлинение в продольном направлении выше, чем в поперечном, а в металле ЦБЛ и ЭЛП с равноосными кристаллами - наоборот (табл.2).

После прессования в высокотемпературной области с последующим охлаждением в воде происходит измельчение исходной β -зеренной структуры с образованием реечного мартенсита либо бейнита с пакетами различных размеров и тонкими рейками α -циркония (рис.3). Этим обусловлено повышение твердости металла горячепрессованных труб в сравнении с исходным литым состоянием (табл.3). В горячепрессованных трубах начинают проявляться присущие материалам с ГПУ-решеткой явления анизотропии, причем наиболее существенные отличия наблюдаются в пластических характеристиках, где удлинение и сужение в поперечном направлении значительно ниже чем в продольном (см. табл. 2, 3). При этом трубы из металла ГЭМП обладают наибольшими значениями ударной вязкости и пластичности, особенно сужением, а трубы из металла ЭЛП повышенной прочностью и низкой пластичностью в поперечном направлении.

Выводы

1. Определена принципиальная возможность получения труб из литых заготовок сплава Zr/Nb , полученных гарнисажной плавкой с электромагнитным перемешиванием, а также центробежным литьем.

2. Проведен комплексный сопоставительный анализ качества металла трубных заготовок (слитков), полученных различными способами (ЭЛП, ГЭМП, ЦБЛ), и горячепрессованных труб из них.

3. Установлено, что по уровню механических свойств металл слитков и труб ГЭМП превосходит металл, полученный другими способами, а металл ЦБЛ имеет наиболее благоприятную для горячей деформации макроструктуру.