

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ-ОБОЛОЧЕК ТВЭЛ ИЗ СПЛАВА Zr1Nb В УКРАИНЕ

**В.С.Вахрушева, Т.А.Дергач, Г.Д.Сухомлин, В.Я.Замощиков, М.И.Медведев**  
**Государственный трубный институт им. Я.Е.Осады, г.Днепропетровск, Украина**

На підставі розробок, виконаних у Державному трубному інституті, запропонована технологічна схема та наведені деякі параметри промислового виробництва труб-оболонок ТВЕЛ із сплаву Zr1Nb в Україні.

На основании разработок, проведенных Государственным трубным институтом, предложена технологическая схема и приведены некоторые параметры промышленного производства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb в Украине.

On the base of the development realized in the State tube Institute, the technological scheme of the industrial production of fuel element tube-casings of alloy Zr1Nb in Ukraine is proposed; some parameters of the industrial production are presented.

Государственным трубным институтом (ДТИ) на основании опыта, полученного при разработке технологий и изготовлении опытных партий труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb на Опытном заводе ДТИ и на ОАО "Никопольский Пивденнотрубный завод", а также на основании анализа результатов комплексной оценки их качества и с учетом зарубежного опыта разработана принципиальная технологическая схема промышленного производства проката из циркониевого сплава в Украине [1-7].

В связи с относительно небольшой потребностью Украины в трубах-оболочках ТВЭЛ из циркониевого сплава, при разработке промышленной технологической схемы исходили из целесообразности организации компактного, рентабельного, быстро окупаемого производства. При этом учитывали перспективные возможности Украины по производству циркониевой трубной заготовки.

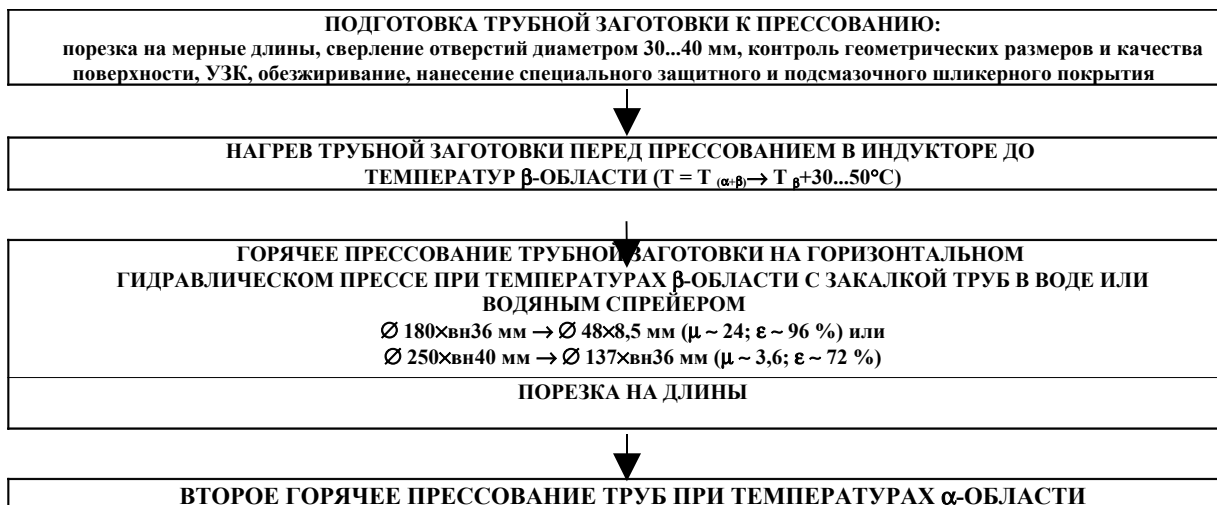
В соответствии с этим предложено исключить традиционную операциюковки слитка больших размеров, являющуюся энергоёмким, трудоёмким, многопроходным и малопроизводительным процессом, не обеспечивающим получение однородной по

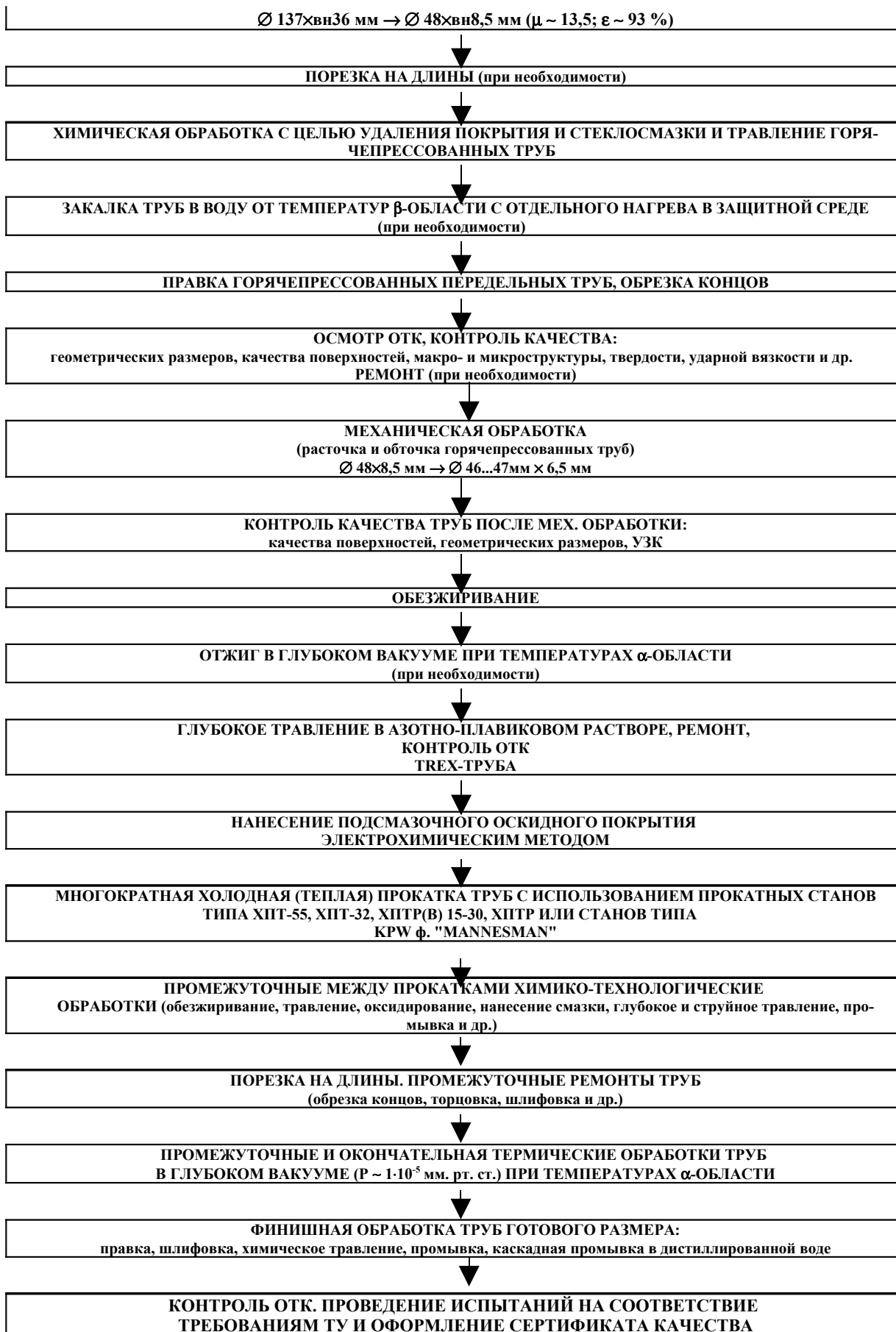
химическому составу и структуре ковальной заготовки.

В качестве исходной заготовки предполагается использование механически обработанных слитков наружным диаметром 180...250 мм в виде штанг длиной до 2 м, полученных электронно-лучевым, вакуумно-дуговым переплавами, гарнисажной выплавкой с электромагнитным перемешиванием или центробежным литьем в вакууме. Способ выплавки заготовок будет уточнен на основании результатов работ, проводимых в настоящее время в этом направлении.

Качество заготовок должно соответствовать разработанным техническим требованиям. Главными из них являются высокое качество поверхности, отсутствие неметаллических включений и внутренних дефектов, регламентированная макроструктура и химический состав, особенно по содержанию легирующего элемента ниобия, а также кислорода, гафния, азота, углерода и др. примесей.

Предлагаемая технологическая схема промышленного производства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb включает следующие основные технологические операции.





Предложенная схема отличается нетрадиционным способом горячей деформации слитка, исключая операциюковки. Ее эффективность обус-

печивается оптимальным сочетанием размеров слитка и температурно-деформационных параметров прессования с ускоренным охлаждением, позво-

ляющим совместить в одной кратковременной операции полную фазовую  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha'$  перекристаллизацию, способствующую образованию однородной мартенситной структуры с умеренной плотностью дислокаций и относительно мелким  $\beta$ -зерном 40...50 мкм (рис. 1).

На рис.1,б видны границы  $\beta$ -зерен, декорированные прослойками чистого циркония. Такая структу-



а

ра получена с помощью специального методического приема, с целью облегчения выявления границ зерен.

Полученная мартенситная структура обеспечивает довольно высокую пластичность горячепрессованных закаленных труб ( $\delta_5 \geq 30\%$ ), что даёт возможность подвергать их холодной деформации со степенью более 30% без дополнительной термической обработки.



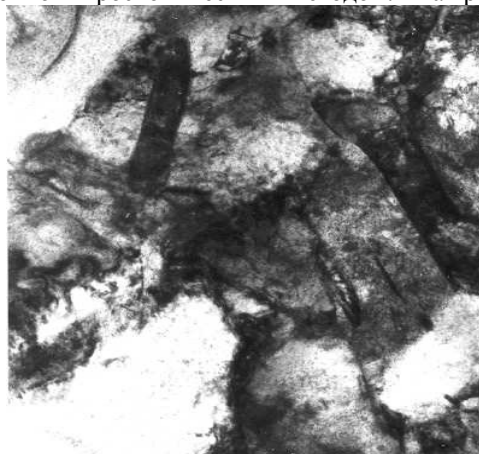
б

Рис. 1. Микроструктура горячепрессованных закаленных труб из сплава Zr1Nb: а -  $\times 100$ ; б -  $\times 400$ , М 1:1,3

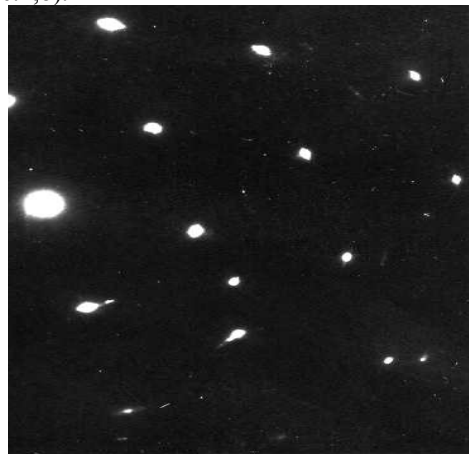
Закалку горячепрессованных труб из  $\beta$ -области с отдельного нагрева предусмотрено проводить при необходимости, при получении неоднородной или не полностью перекристаллизованной структуры в горячепрессованных закаленных трубах.

Полнота фазового превращения и однородность структуры на стадии разработки промышленной технологии может быть дополнительно оценена электронномикроскопическим методом. На рис.2

представлено электронномикроскопическое изображение тонкой фольги от горячепрессованной закаленной трубы из сплава Zr1Nb, претерпевшей полное фазовое превращение. Видны мартенситные кристаллы (рис.2,а) с умеренной плотностью дислокаций ( $\rho \sim 10^9 \dots 10^{10} \text{см}^{-2}$ ), о чем свидетельствует также слабое размытие в азимутальном направлении рефлексов на микродифракционной картине (рис.2,б).



а



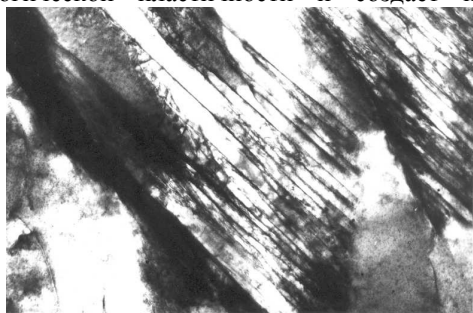
б

Рис.2. Электронномикроскопическое изображение тонкой фольги из горячепрессованной закаленной трубы из сплава Zr1Nb: а - мартенситные кристаллы,  $\times 30\ 000$ ; б - микродифракционная картина от мартенсита, ось зоны (0001) циркония

На рис.3 видны кристаллы бейнита, образовавшегося наряду с мартенситом в участках замедлен-

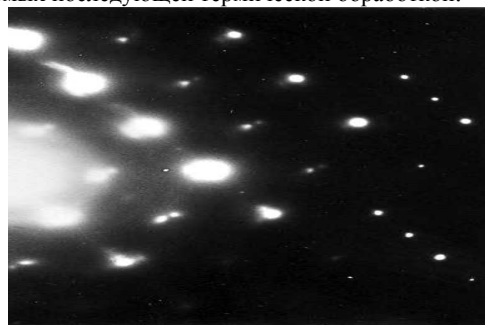
ного охлаждения, и микродифракционная картина от бейнита.

Наличие такой структурной неоднородности недопустимо, поскольку она приводит к снижению технологической пластичности и создает пред-



а

посылки для образования при последующей холодной деформации необратимых микродефектов, не устраняемых последующей термической обработкой.



б

Рис.3. Электронномикроскопическое изображение тонкой фольги из горячепрессованной закаленной трубы из сплава Zr1Nb: а – бейнитные кристаллы,  $\times 30\,000$ ; б – микродифракционная картина от бейнита, ось зоны (0001) циркония

Первая холодная прокатка горячепрессованных закаленных труб и последующий отжиг при температурах  $\alpha$ -области приводят к образованию однородной мелкозернистой структуры, представленной равноосными рекристаллизованными зернами диаметром до 18 мкм с дисперсными выделениями  $\beta$ -ниобиевой фазы (рис.4).

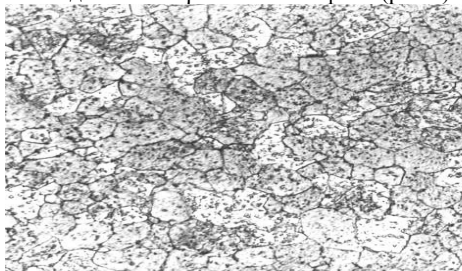


Рис.4. Микроструктура трубы из сплава Zr1Nb после первой холодной прокатки и отжига в вакууме при температурах  $\alpha$ -области,  $\times 500$ , М 1:1,3

При составлении маршрутов холодной прокатки труб-оболочек ТВЭЛ учтена способность циркониевого сплава Zr1Nb к деформации после закалки и после отжига, а также необходимость превышения обжатий по стенке по сравнению с обжатиями по диаметру, особенно при прокатке на готовый размер, для обеспечения требуемой текстуры (ориентации гидридов) в металле готовых труб. При прокатке на готовый размер по предлагаемому маршруту отношение обжатий по стенке к обжатиям по диаметру больше 3,5. При прокатке на станах валкового типа предусмотрено использование оправок с криволинейной образующей по разработке ДТИ.

Наряду со схемой холодной прокатки предлагается альтернативная схема теплой прокатки передельных труб. Она предусматривает интенсификацию процесса деформации за счет подогрева труб перед зоной деформации до температуры, которая не превышает температур газонасыщения циркониевых сплавов, но существенно уменьшает сопротивление деформации. Преимущество этого способа заключается в сокращении цикличности производства, снижении трудозатрат и уменьшении расходного коэффициента металла.

С целью получения оптимальных деформационных параметров и минимального расхода металла при изготовлении промышленных партий труб-оболочек ТВЭЛ из циркониевого сплава будет использован также разработанный институтом пакет компьютерных программ, включающий план экономичного раскрытия труб по проходкам.

Детали отдельных технологических операций будут уточнены после завершения технологических работ по исследованию влияния на качество готовых труб из сплава Zr1Nb различных способов горячей деформации, заковки труб из  $\beta$ -области с отдельного нагрева, теплой прокатки и др., которые выполняются институтом в настоящее время.

Представленная принципиальная схема промышленного производства базируется на разработанной ранее схеме опытного производства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb и защищена двумя патентами.

Анализ результатов исследований, выполненных при разработке технологии производства и изготовлении опытных партий труб, а также комплексная оценка их качества дают основание полагать, что выбранное направление и предлагаемая технологическая схема промышленного производства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава циркония в Украине является жизнеспособной и обеспечит получение труб высокого качества, на уровне зарубежных аналогов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.С.Вахрушева. Состояние разработки технологии и организации производства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава циркония КТЦ-110 в Украине // *Вопросы атомной науки и техники*, Харьков, 1998, 67с.
2. В.В.Сергеев, В.С.Вахрушева, А.П.Чернов, Г.Р.Семенов, Т.А.Дергач, Г.Д.Сухомлин, М.И.Медведев, А.Т.Коваль. *Способ изготовления циркониевых труб*. Декларационный патент 38160А, Украина, МПК7В21С23/08; С21Д9/08, В21В19/02 "Государственный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности". № 2000063191, дата подачи 02.06.2000. Опубликовано 15.05.2001.
3. В.С.Вахрушева, Ю.М.Правдин, Т.А.Дергач, Г.Д.Сухомлин. *Разработка технологических схем и изготовление опытных партий труб-оболочек ТВЭЛ из сплава ZrNb в Украине* / В кн. Атомная энергетика на пороге XXI века. г.Электросталь, 2000, с.166-175.
4. В.С.Вахрушева, Г.Д.Сухомлин, Т.А.Дергач. Комплексная оценка качества изготовленных в Украине первых опытных партий труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb // *Вопросы атомной науки и техники*. Харьков, 1999. с.46-48.
5. И.А.Петельгузов, А.Г.Родак, Н.М.Роенко, В.С.Вахрушева, Т.А.Дергач. Сравнительное изучение кинетики коррозии твэловых труб из сплавов КТЦ-110 и Э-110 в воде и паре // *Вопросы атомной науки и техники*. Харьков, 1999. с.80-82.
6. Цирконий в атомной промышленности. Вып. 16. М., 1988, 60 с.

7. H.G.Weidenger, H.Lettan. *Advanced material and fabrication technology for LWR fuel. Improvements in water reactor fuel technology and utilization.* Vienna: IAEA, 1987.