

УДК 669.295.669.76

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804152016108378>

Грузин Н. В.¹, ассистент, м. н. с., Вахрушева В. С.², профессор, д.т.н.

ОЦЕНКА ТЕКСТУРЫ И СВОЙСТВ ТРУБ ИЗ СПЛАВА Ti-3Al-2.5V ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРЕССОВАНИЕМ

En

Titanium and its alloys are widely adopted in the aircraft equipment due to the high mechanical durability which remains at high temperatures, corrosion resistance, thermal stability, specific durability, small density and other useful properties.

¹ ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

² ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

The Ti-3Al-2.5V alloy pipes investigated in this work are used for hydraulic systems of the Boeing planes and the Airbus A320. One of the requirements to these pipes is the coefficient to relative compression (CRC) which characterizes pipes texture. For the correct technological process of pipes production it is necessary to know what texture pipes have exactly on all technological repartitions and how it changes in the course of the production. Pressed billets are used for pipes production.

Уа У даній роботі був досліджені труби зі сплаву титану *Ti-3Al-2.5 V*, які використовуються в якості елементів конструкцій паливних систем літаків. Труби зі сплаву титану *Ti-3Al-2.5 V* широко використовуються у гідросистемах сучасних літаків провідних світових фірм, що займаються літакобудуванням «Боїнг», Аеробус тощо. У роботі досліджені структура, текстура та механічні властивості цих труб на одній із стадій технологічного процесу – під час пресування. Встановлено, що структурно-текстурний стан у гарячепресованих трубах впливає на анізотропію та рівень механічних властивостей, які визначають процес формування властивостей і текстури на наступних технологічних переділах.

Введение

Титан и его сплавы нашли широкое применение в авиационной технике. Трубы из сплава титана *Ti-3Al-2.5V* используются в гидросистемах в качестве конструкционного материала современных самолетов ведущих мировых фирм, занимающихся самолетостроением таких как «Боинг», Аэробус и др. Условия эксплуатации труб требуют создания в них высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности.

Для обеспечения вышеперечисленных свойств важно правильно построить технологический процесс изготовления труб. Технология изготовления труб предусматривает вакуумную выплавку сплава, ковку, пресование и серию холодных прокаток с промежуточными вакуумными отжигами либо другими видами термической обработки [1]. Важным этапом технологического процесса является пресование, т.к. свойства и текстура, сформированная на этой стадии технологического процесса, наследуется на последующих стадиях деформации.

Постановка задачи

Цель данного исследования состоит в оценке структуры, текстуры и механических свойств сплава титана *Ti-3Al-2,5V* после горячей деформации пресованием.

Материал и методика исследования

Химический состав сплава титана *Ti-3Al-2.5VAMS4943*, 4944 приведен в табл. 1. Сплав содержит 3% *Al*, 2,5% *V*, 93,5% *Ti*, а также примеси *Fe*, *C*, *N* и *O*. Поскольку титан активный металл и газы являются примесями внедрения в титане, их наличие упрочняет его, а поверхностное насыщение газами в титане приводит к охрупчиванию.

Таблица 1.

Химический состав сплава *Ti-3Al-2,5V*

<i>Al</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>Ti</i>
2,5–3,5	2,0–3,0	<0,3	<0,05	<0,02	<0,12	все остальное

Оценку микроструктуры проводили на оптическом микроскопе *Neophot 32*.

В работе исследованы механические свойства, которые были испытаны на круглых образцах при растяжении в соответствии с ГОСТ 1497-84. Механические свойства оценивали в продольном и поперечном направлениях, также измеряли твердость по Бринеллю и Роквеллу в продольном и поперечном направлениях.

Механические свойства определяли при растяжении на разрывной машине *FM-500* в соответствии с ГОСТ 10008–80. Определяли характеристики σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ_5 . Прессование проводили на горизонтальных прессах различной мощности.

Для исследования текстуры труб и построения обратных полюсных фигур использовали метод рентгеноструктурного анализа. Съёмки проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН4-07 в медном излучении CuK_α . Записывали полнопрофильную диаграмму по условиям изменений интенсивности рентгеновского отражения от внешней поверхности труб – радиальное (*R*) направление и от плотности продольного сечения (*T*) – тангенциальное направление. Для каждой съёмки определяли интенсивность рентгеновских линий и плотность полюсов по методу Харриса-Мориса [2, 3], рассчитывали текстурный коэффициент Кернса [4].

Обратные полюсные фигуры построены с использованием компьютерных программ.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследуемый сплав титана имеет гексагональную плотноупакованную решетку (ГПУ), которая предопределяет свойства анизотропии при деформации, поскольку титан имеет всего две системы скольжения. Скольжение в титане протекает преимущественно по призматическим плоскостям $\{10\bar{1}0\}$ и в меньшей степени по пирамидальным $\{1011\}$ и

плоскостям базиса $\{0001\}$. Помимо этого, пластическая деформация в титане осуществляется путем двойникования [5].

Процесс горячего прессования осуществляется путем прессования полой трубной заготовки на размер под последующую холодную прокатку.

Различные производители используют свои технологические параметры процесса прессования. Как правило, прессование осуществляется при температуре в интервале β -области $850 - 870^{\circ}\text{C}$. Вытяжки, в зависимости от вида пресс-изделий, мощности применяемого оборудования и ряда других условий, находятся в пределах $20 - 50$.

Прессование осуществляется на горизонтальных гидравлических прессах различной мощности. Заготовкой для прессования служит, в основном, слиток, полученный методом вакуумно-дуговой плавки.

Исследование механических свойств горячепрессованной заготовки в продольном и поперечном направлении показало наличие анизотропии свойств. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Механические свойства горячепрессованных труб различных производителей

Состояние	№ об-разца	Продольное направление			Поперечное направление		
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Трубы размером 80x20 мм после горячего прессования (первый производитель)	1	750–752	608–610	20	740–742	590–600	21
Трубы размером 86x21 мм после горячего прессования (второй производитель)	2	760–770	654–660	18	750–760	660	18,5

Как следует из представленных данных, более высокие значения прочностных характеристик наблюдаются в продольном направлении. Более высокий уровень механических свойств имеют трубы поставщика № 2, что подтверждается и исследованиями микроструктуры [4]. Весьма направленная структура вносит свой вклад в наблюдаемую анизотропию механических свойств труб. Анизотропия свойств во многом обусловлена особенностями пластической деформации металлов с ГПУ решеткой.

Измерение твердости по толщине стенки в продольном направлении показало, что у поверхности с внутренней стороны трубы твердость выше

Розділ 2. Механіка

$H_B = 243$, середина $H_B = 230$. Это согласуется с данными исследования микроструктуры металла первого производителя заготовки. У второго производителя процесс прессования проходил при более низкой температуре в $\alpha+\beta$ области и более низкой скорости деформации. При этом механические свойства и твердость выше: для первого производителя 24 HRC, а для второго – 28 HRC.

На рис. 1 представлена микроструктура труб после прессования производителей № 1 и № 2.

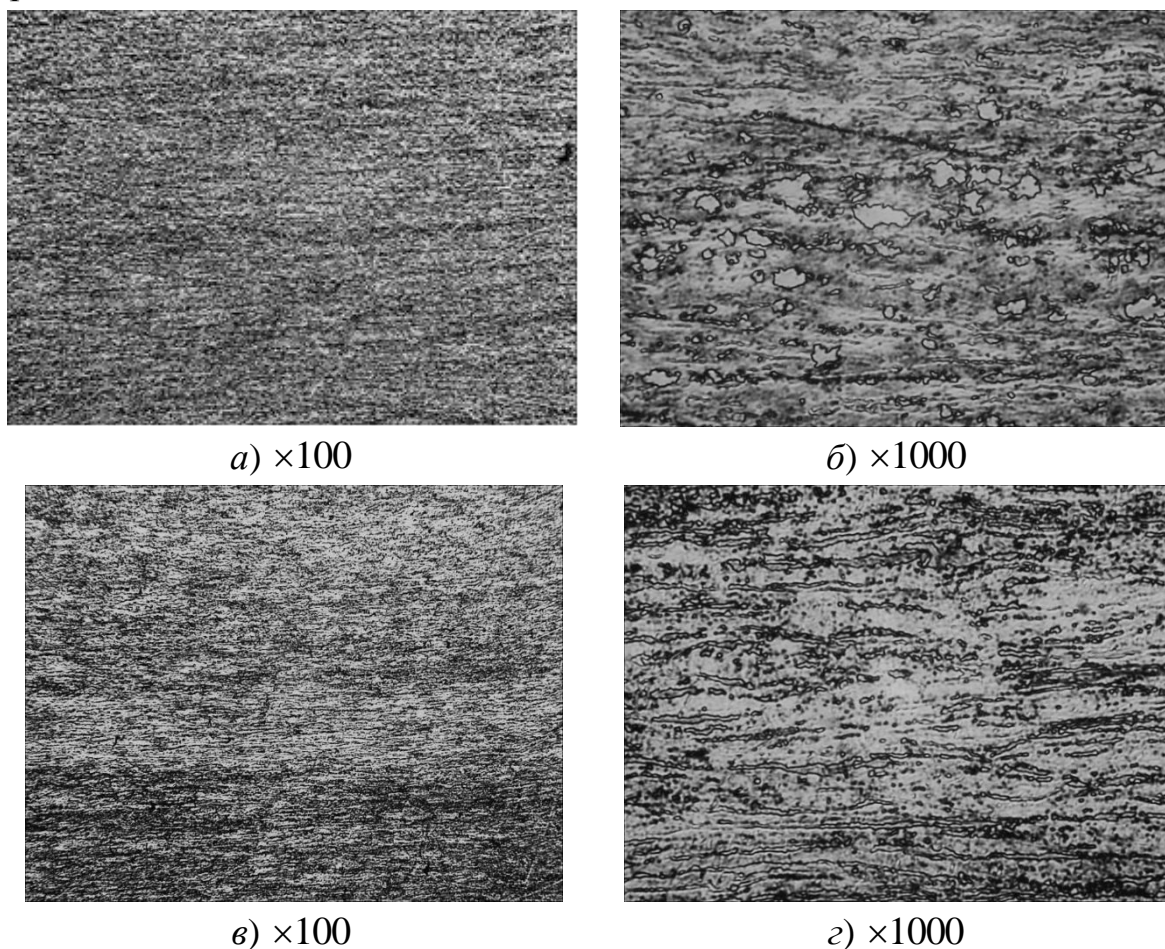


Рис. 1. Микроструктура горячепрессованных труб двух производителей (а, б – производитель № 1; в, г – производитель № 2)

Как видно структура труб мелкозернистая, зерно 10-11 номера. Наблюдается полосчатость по толщине стенки. В образце от первого производителя структура более неоднородна, наблюдается разнотернистость. Вероятно, прессование проходило при более высоких температурах, что способствует развитию процессов динамической рекристаллизации. В структуре видны отдельные рекристаллизованные зерна α -фазы, имеющие размеры до 20 мкм.

В то же время у второго производителя структура прессованных труб имеет вытянутые зерна α -фазы, рекристаллизация протекает в меньшей степени.

Также в работе исследована текстура горячепрессованных труб сплава $Ti-3Al-25V$ различных поставщиков. Для исследования текстуры труб были подготовлены образцы, вырезанные из труб в трех направлениях – радиальном, тангенциальном и осевом. Проведена рентгеновская съемка образцов в различных направлениях и рассчитаны значения плотности полюсов соответствующих отражений (hkl) при съемке образцов. Рассчитаны текстурные коэффициенты Кернса (f) в различных направлениях, результаты представлены в табл. 3. На основании этих исследований с использованием специальных программ построены обратные полюсные фигуры (ОПФ) образцов в различных направлениях съемок. Использована сокращенная символика обозначения кристаллографических плоскостей $(hkil) \rightarrow (hk.l)$. Числами обозначены отдельные значения полюсов.

Таблица 3.

Плотность полюсов, соответствующих отражениям $(hk.l)$ ($(hkil)$) при съёмке образцов горячепрессованных труб в радиальном направлении (R) и в тангенциальном направлении (T), рассчитанные текстурные коэффициенты f и остаток нормалей $(hk.0)$ в направлении съёмки

(hkl)	$N1-1R$	$N1-1T$	$N2-1R$	$N2-1T$
(10.0)	0,31	0,18	0,20	0,28
(00.2)	2,26	6,93	4,35	11,99
(10.1)	0,30	0,29	0,22	0,25
(10.2)	0,60	0,57	0,48	0,33
(11.0)	1,45	2,03	2,14	1,89
(10.3)	1,30	0,99	0,95	0,54
(11.2)	1,60	1,89	2,69	2,04
(20.1)	0,24	0,21	0,24	0,23
(10.4)	2,14	1,48	1,08	1,00
(20.3)	0,39	0,34	0,29	0,21
(21.0)	1,00	0,72	0,62	0,16
(21.1)	0,78	0,61	0,63	0,36
(11.4)	1,55	1,83	2,42	2,53
(21.2)	0,90	0,58	0,64	0,52
(10.5)	2,33	1,67	1,47	1,33
(21.3)	0,63	0,90	0,69	0,73
(30.2)	0,24	0,21	0,22	0,23

Розділ 2. Механіка

(hkl)	$N1-1R$	$N1-1T$	$N2-1R$	$N2-1T$
$f =$	0,463	0,493	0,462	0,558
ост. P	21%	18%	20%	14%

На рис. 2 представлены обратные полюсные фигуры и диаграмма соответственных значений текстурного параметра для образцов заготовки $\varnothing 85 \times 20$ мм (№ 1-1) – первый производитель и $\varnothing 86 \times 21$ мм (№ 2-1) – второй производитель.

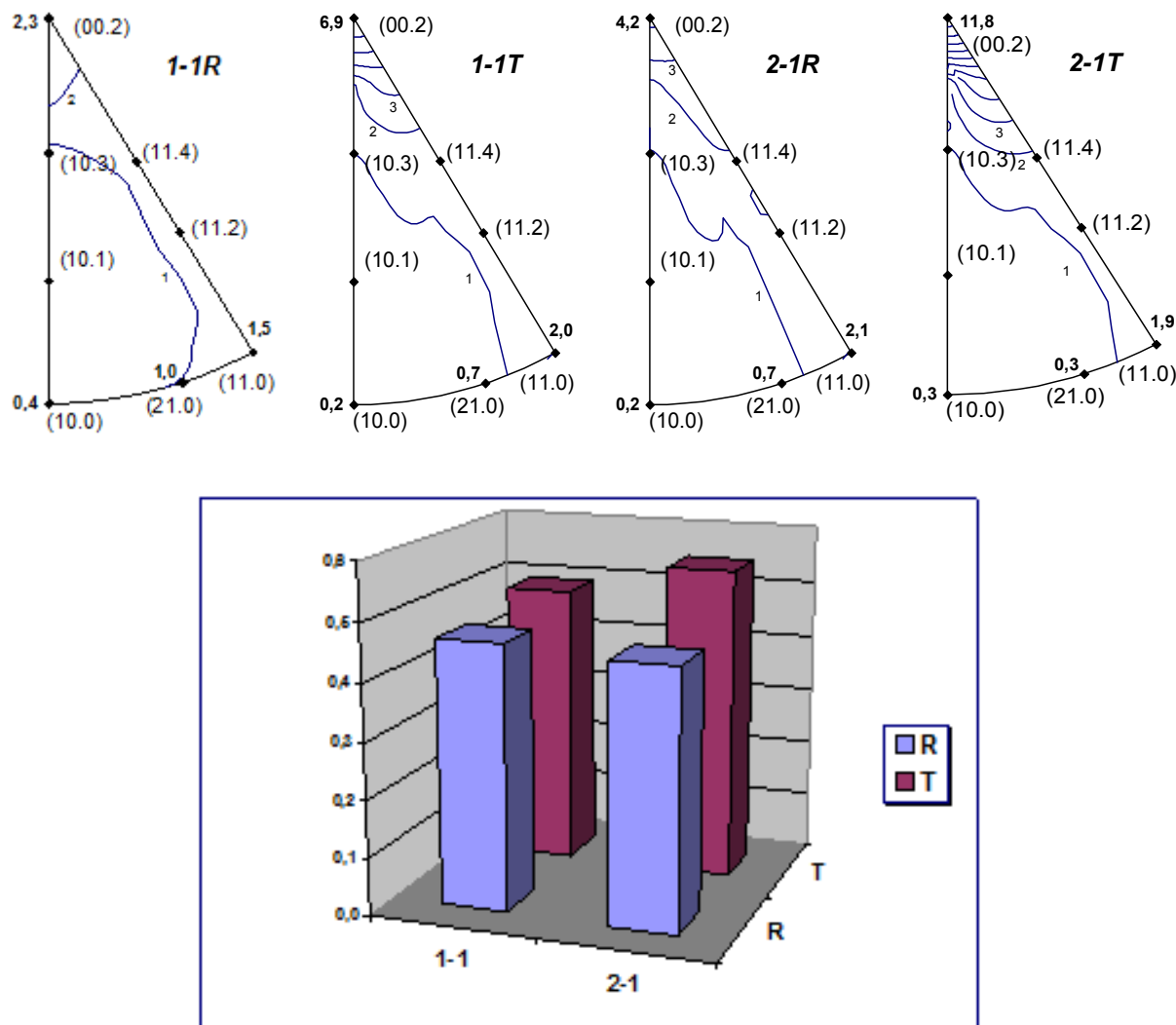


Рис. 2. Обратные полюсные фигуры (ОПФ) горячепрессованной заготовки 1-1, 2-1 (верхние рисунки) и диаграмма соответствующих значений текстурного параметра

Как видно из представленных результатов, текстурированы оба образца, радиальная и тангенциальная текстура присутствует в обоих. В образце № 1 радиальной составляющей несколько больше, чем в образце № 2.

Выводы

Выполнена оценка структуры, текстуры, механических свойств труб из сплава $Ti-3Al-2,5V$ на стадии прессования. В прессованных трубах формируется мелкозернистая структура α -зерен с прослойкой β -фазой 10-11 номеров. Структура имеет разноструктурность, которая характерна для металла первого производителя. Более высокая температура прессования приводит к развитию процессов динамической рекристаллизации и формирования более неоднородных структур. В металле прессованных труб имеется наличие анизотропии механических свойств. В продольном направлении механические свойства выше, чем в поперечном.

Исследование текстуры труб после прессования показало, что трубы имеют как радиальную, так и тангенциальную текстуру в пределах:

- радиальную 46 - 46,3 %;
- тангенциальную 49 – 55 %.

Трубы от производителя №1 имеют большой процент радиальной текстуры. Для снижения неоднородности структуры и анизотропии свойств, вероятно, прессование следует проводить при более низких температурах (α -области) и низких скоростях деформации, а также при больших усилиях пресса.

Список использованной литературы

1. *Логин Ю. Н.* Исследование свойств титанового сплава $Ti-3Al-2,5V$ с оценкой склонности к текстурообразованию / Ю. Н. Логин, В. В. Котов, В. Т. Смирнов // Сборник трудов межд. конф. «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов» –СПб. 2005.– С. 281-284.
2. *Колачев Б. А.* Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев., В. И. Елагин, В. А. Ливанов.– Москва.– МИСиС. 1999. – 413 с.
3. *Forney C. E.* $Ti-3Al-2,5V$ Seamless tubing engineering guide / C. E. Forney, H. S. Shemel.– Washington. 1987.– 115 p.
4. *Kearns J.* Thermal expansion and preferred orientation in Zircaloy // *USAEC WAPD-TM-472*. Nov. 1965.
5. *Ушков С. С.* Научные аспекты выбора регламентированного структурно-текстурного состояния «морских» сплавов титана / С. С. Ушков, В. Н. Копылов, И. Н. Разуваева // Металловедение и термическая обработка металлов – 1999. №9.– С. 38–51.
6. *Вахрушева В. С.* Дослідження впливу початкової текстури заготовки на текстуру готових труб зі сплавом титану $Ti-3Al-2,5V$ / В. С. Вахрушева, Н. В. Грузин // Металознавство та термічна обробка металів – 2015. – №3.–С. 16–20.