

УДК 669.295.669.76

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.241219.16.596

## ВПЛИВ ТЕКСТУРИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТРУБ ІЗ СПЛАВУ ТИТАНУ

ВАХРУШЕВА В. С.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., проф.*,  
 ГРУЗИН Н. В.<sup>2</sup>, *асист.*,  
 ТЮТЕРЕВ І. А.<sup>3</sup>, *к. т. н., доц.*,  
 МАЛИШ О. Д.<sup>4</sup>, *с. н. с.*

<sup>1\*</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 632-45-32, e-mail: [vs062@ukr.net](mailto:vs062@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2663-2714

<sup>2</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (099) 410-91-86, e-mail: [vs062@ukr.net](mailto:vs062@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-7589-6548

<sup>3</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна

<sup>4</sup> Лабораторія механічних випробувань, державне підприємство «Науково-дослідний інститут трубної промисловості», вул. Пісаржевського, 1-а, 49600, Дніпро, Україна

**Анотація.** *Мета роботи* – встановити вплив текстури, що формується у процесі виготовлення труб, на механічні властивості. Обчислити оптимальні значення механічних властивостей, що забезпечують коефіцієнт відносного стиснення (contractile strain ratio CSR), згідно з вимогами стандарту на труби. *Методика.* Застасовано методи оцінювання механічних властивостей труб під час випробування на розтяг. Визначено коефіцієнт відносного стиснення (CSR), згідно з вимогами стандарту на труби. Оцінено текстуру труб методом рентгеноструктурного аналізу. Побудовано зворотні полюсні фігури. *Результати.* Визначено механічні властивості і текстуру труб, що формується у процесі їх виготовлення. Текстура в трубах оцінюється коефіцієнтом відносного стиснення (CSR), згідно з вимогами стандарту на труби, а також рентгеноструктурним методом із розрахунком параметрів Кернса, що характеризують кількість радіальної та тангенціальної складової текстури. Встановлено залежність механічних властивостей від показника CSR. Обчислено оптимальні значення механічних властивостей границі міцності, текучості і відносного видовження, що забезпечують показники CSR у межах 1,3...3,5. Збільшення частки радіальної складової текстури викликає підвищення показників CSR. За високих значень CSR до 3...3,5 труби частіше не витримують технологічних випробувань на сплюснення, загин, роздачу. Значення показників CSR потребує коригування. Доведено, що збільшення плинності труб збільшує показники CSR. *Наукова новизна.* Встановлено вплив текстури, який оцінено методом рентгеноструктурного аналізу та визначенням коефіцієнта відносного стиснення на механічні властивості труб під час їх виготовлення. Оцінено механічні властивості, що забезпечують значення показників якості труб згідно зі стандартами. *Практична значимість.* Установлені закономірності дозволили скоригувати параметри технологічного процесу виготовлення труб із сплаву титану.

*Ключові слова:* сплав титану; труби; механічні властивості; текстура; зворотні полюсні фігури; коефіцієнт відносного стиснення (contractile strain ratio (CSR))

## ВЛИЯНИЕ ТЕКСТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРУБ ИЗ СПЛАВА ТИТАНА

ВАХРУШЕВА В. С.<sup>1\*</sup>, *д. т. н., проф.*,  
 ГРУЗИН Н. В.<sup>2</sup>, *ассист.*,  
 ТЮТЕРЕВ И. А.<sup>3</sup>, *к. т. н., доц.*,  
 МАЛЬШ А. Д.<sup>4</sup>, *с. н. с.*

<sup>1\*</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (067) 632-45-32, e-mail: [vs062@ukr.net](mailto:vs062@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2663-2714

<sup>2</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (099) 410-91-86, e-mail: [vs062@ukr.net](mailto:vs062@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-7589-6548

<sup>3</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина

<sup>4</sup> Лаборатория механических испытаний, государственное предприятие «Научно-исследовательский институт трубной промышленности», ул. Писаржевского, 1-а, 49600, Днепро, Украина

**Аннотация.** *Цель работы* – определить влияние текстуры, которая формируется при изготовлении труб, на механические свойства. Оценить оптимальные значения механических свойств, которые обеспечивают коэффициент относительного сжатия (contractile strain ratio CSR), согласно требованиям стандарта на трубы. *Методики.* Используются методы оценки механических свойств при испытании на растяжение. Определены коэффициенты относительного сжатия (CSR) согласно требованиям стандарта на трубы. Оценена текстура труб методом рентгеноструктурного анализа. Построены обратные полюсные фигуры. *Результаты.* Определены механические свойства и текстура труб, которая формируется в процессе их изготовления. Текстура в трубах оценена коэффициентом относительного сжатия (CSR), согласно требованиям стандарта на трубы, а также рентгеноструктурным методом с расчетом параметров Кернса, характеризующих количество радиальной и тангенциальной текстуры. Установлена зависимость механических свойств от показателя CSR. Определены оптимальные значения механических свойств: пределов прочности и текучести, относительного удлинения, которые обеспечивают показатели CSR в пределах 1,3...3,5. Увеличение радиальной составляющей текстуры приводит к повышению показателей CSR. При высоких значениях CSR до 3...3,5 трубы часто не выдерживают технологических испытаний на сплющивание, загиб, раздачу. Требуется корректировка значений CSR. Доказано, что увеличение пластичности труб увеличивает показатели CSR. *Научная новизна.* Установлено влияние текстуры, которое оценено методом рентгеноструктурного анализа и определением коэффициента относительного сжатия, на механические свойства труб при их изготовлении. Определены механические свойства, которые обеспечивают требуемые значения качественных показателей стандарта на трубы. *Практическая значимость.* Установленные закономерности изменения показателей текстуры и механических свойств позволили скорректировать параметры технологического процесса изготовления труб из сплава титана.

*Ключевые слова:* сплав титана; трубы; механические свойства; текстура; обратные полюсные фигуры; коэффициент относительного сжатия (contractile strain ratio (CSR))

## INFLUENCE OF TEXTURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF TITANIUM ALLOY TUBES

VAKHRUSHEVA V.S.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
HRUZIN N.V.<sup>2</sup>, *Assistant*,  
TIUTIERIEV I.A.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
MALYSH O.D.<sup>4</sup>, *Senior Research Assistant*

<sup>1\*</sup> Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 632-45-32, e-mail: [vs062@ukr.net](mailto:vs062@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2663-2714

<sup>2</sup> Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (099) 410-91-86, ORCID ID: 0000-0002-7589-6548

<sup>3</sup> Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine

<sup>4</sup> State Enterprise “Research and Design-Technology Institute of the Tube Industry”, 1-a, Pissarzhevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** *Purpose* is to determine the influence of texture, which is formed during pipe manufacturing, on mechanical properties. To estimate the optimum values of mechanical properties, which provide the coefficient of relative compression (contractile strain CSR), according to the requirements of the standard on the pipe. *Methods.* Methods for evaluation of mechanical properties in tensile testing are used. Determined the coefficients of relative compression (CSR) according to the requirements of the standard on the pipe. Evaluation of pipe texture by X-ray structure analysis method. Reverse pole shapes were constructed. *Results.* Determined the mechanical properties and texture of pipes, which are formed during their manufacture. Texture in tubes was estimated by the coefficient of relative compression (CSR), according to the requirements of the standard for tubes, as well as X-ray method with the calculation of Kernes parameters characterizing the amount of radial and tangential texture. The dependence of mechanical properties on the CSR index has been established. Optimal values of mechanical properties are determined: strength and yield strength limits, relative elongation, which provide CSR indices within 1,3...3,5. An increase in the radial component of the texture leads to an increase in CSR values. At high CSR values up to 3...3,5, pipes often do not withstand the technological tests for flattening, bending and distribution. Correction of CSR values is required. It is proved that increase in plasticity of pipes increases CSR values. *Scientific novelty.* Influence of texture which is estimated by a method of the X-ray structural analysis and definition of factor of relative compression on mechanical properties of pipes at their manufacturing is established. The values of mechanical properties, which provide the required values of quality indicators of the standard for pipes, have been determined *Practical relevance.* The established regularities of texture and mechanical properties indexes change allowed to adjust parameters of technological process of tubing manufacturing from titanium alloy.

*Keywords:* titanium alloy; tubes; mechanical properties; texture; inverse poles figures; contractile strain ratio (CSR)

### Вступ

Труби із сплаву титану Ti-3Al-2,5V широко застосовуються як конструкційний матеріал у літако- та ракетобудуванні. В авіації вони використовуються для гідравлічних систем літаків провідних закордонних фірм. Сфера їх використання постійно збільшується. Зарубіжні стандарти, за якими ці труби поставляються за кордон, висувають комплекс вимог, які посилюються, сюди включено вимоги до механічних властивостей, текстури, структури, низки технологічних випробувань та інших параметрів.

Текстура в трубах оцінюється коефіцієнтом відносного стиснення (contractile strain ratio CSR). В аерокосмічних стандартах для труб із титанового сплаву Ti-3Al-2,5V ASM 4 945 цей показник уведено для труб після холодної прокатки і відпалу для зняття напружень [1]. Коефіцієнт відносного стиснення визначається як відношення істинної осьової деформації  $E_c$  до істинної радіальної деформації  $E_r$ :

$$CSR = E_c / E_r.$$

Жорсткі вимоги передбачають одноразово наявний інтервал по рівню механічних властивостей, текстурі і технологічних випробуваннях. При цьому потрібно, щоб властивості були стабільні. Виробникам труб часто складно виконати ці вимоги одноразово. Треба знати, як впливає текстура на механічні властивості для правильної побудови технологічного процесу виготовлення труб.

**Мета дослідження** – встановити вплив текстури на механічні властивості труб. Обчислити оптимальні значення механічних властивостей, що забезпечують коефіцієнт відносного стиснення (CSR), згідно з вимогами стандарту на труби.

### Матеріал та методика

Матеріалом для дослідження вибрані труби зі сплаву титану Ti-3Al-2.5V. Хімічний склад наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Хімічний склад сплаву Ti-3Al-2.5V, склад хімічних елементів, % (мас.) / Chemical warehouse for Ti-3Al-2.5V alloy, chemical elements warehouse, % (wt.)**

Al	V	Fe	C	N	O	Ti
2.5 – 3.5	2.0 – 3.0	< 0.3	< 0.05	< 0.02	< 0.12	основний

Дослідження механічних властивостей труб виконано на трубах готових розмірів 19,05 × 0,6 мм, 15,8 × 0,8 мм, 12,7 × 0,7 мм, прокатаних у промислових умовах. Труби прокатані з різним ступенем обтиснення, і після чого піддані термічній обробці: відпалу для зняття напружень. Термічну

обробку проводили у вакуумі за температур 380...580 °С.

Механічні випробування на розтяг виконано згідно зі стандартом ASM 4946 [2]. Текстуру труб оцінювали згідно зі стандартом AS 4076, розраховували коефіцієнт відносного стиснення CSR [3].

Крім того, для визначення кристалографічної текстури труб застосовували метод рентгеноструктурного аналізу на установці ДРОН-4 в опромінюванні  $CuK_{\alpha}$ . Записували повнопрофільну діаграму  $2\theta$  умовних змін інтенсивності рентгенівського відображення від зовнішньої поверхні труб (R) і від плоскості повздовжнього перерізу (T). Зразки труб спеціально готували. Для збільшення площини опромінювання зйомку проводили на збірних зразках із сегментів труб. Для кожної зйомки визначали інтенсивності рентгенівських ліній і щільність полюсів методом Харріса–Морріса [4; 5] і розраховували текстурні коефіцієнти Кернса ( $f$ ), що характеризують радіальну і тангенціальну складову текстури [6]:

$$f = A_i P_i \cos^2 \alpha_i.$$

де  $\alpha$  – кут між віссю [00.1] кристалітів матеріалу і нормаллю к поверхні зйомки. Далі для кожної лінії розраховували щільність полюсів  $P_i$ .

$A_i$  – статистична вага відповідних рефлексів на сферичній проекції ( $A_i = 1$ ).

За наборами  $P_i$  будували зворотні полюсні фігури.

### Результати досліджень

Кристалографічна текстура в металах із гексагональною щільноупакованою решіткою – важлива характеристика, яка впливає на зміцнення металу, на анізотропію низко його властивостей. Перспективне використання матеріалу з певною об'ємною анізотропією механічних властивостей, яка може зумовити як текстурне зміцнення, так і навпаки [7]. Під час виготовлення труб із титану можливе отримання різних текстур шляхом варіювання пропорцій деформацій по стінці та діаметру. Показником цих деформацій постає фактор Q, який відображає відношення деформації по стінці до деформації по діаметру [8]. Крім того, значну роль відіграє загальний ступінь деформації, особливо на останніх проходах виготовлення труб [9].

Текстура труб із титану багато в чому визначає якість матеріалу, його експлуатаційні властивості, такі як опір втоми, низка технологічних характеристик таких як сплющення, загин, роздача та інше.

Раніше виконані дослідження показали, що у трубах під час прокатки формуються два типи текстури – радіальна і тангенціальна. Співвідношення цих двох типів текстури багато в чому визначають властивості труб [10].

Низка дослідників вважають, що переважання радіальної текстури у трубах із титану збільшує експлуатаційні властивості [11].

Аналіз результатів досить великого статистичного набору досліджень, виконаних у роботі, за оцінкою механічних властивостей і коефіцієнтом відносного стиснення CSR дозволив оцінити вплив текстури на механічні властивості і з'ясувати наявні значення поєднання CSR і механічних властивостей. Стандарти ASM, розроблені для трубної продукції, зокрема, для труб у стані CWSR після холодної деформації і подальшої термічної обробки для зняття напруги, встановлюють допустимі межі механічних властивостей:  $\sigma_b$  min 621...862 МПа, max 828...980 МПа;  $\sigma_{0,2}$  min 517 МПа, max 730 МПа,  $\delta$  для стінок < 0,41 мм – 8 %, а для стінок > 0,41 мм – 10 %.

Основний стандарт, за яким виготовляються титанові труби для гідросистем літаків в Україні – це стандарт ASM 4946 [2]. Вимоги його до механічних властивостей: границі міцності  $\sigma_b = 862...979$  МПа; границі плинності  $\sigma_{0,2} \geq 724$  МПа; відносне видовження  $\delta \geq 14,0$  %. Коефіцієнт відносного стиснення CSR 1,3...3,5. У виробничих умовах досить складно одноразово отримати у трубах комплекс вказаних властивостей з урахуванням технологічних випробувань на сплющення, роздачу, загин.

Дослідження залежності зміни коефіцієнта CSR від значень границі міцності труб із сплаву Ti-3Al-2,5V наведено на рисунку 1. Область оптимальних значень коефіцієнта CSR відповідає значенням границі міцності 875...925 МПа; для границі плинності це значення 750...780 МПа (рис. 2), а для відносного видовження 17,5...27,5 % (рис. 3). За низьких значеннях границі плинності і відносного видовження коефіцієнти CSR низькі і не вкладаються у вимоги стандарту 1,3...3,5.

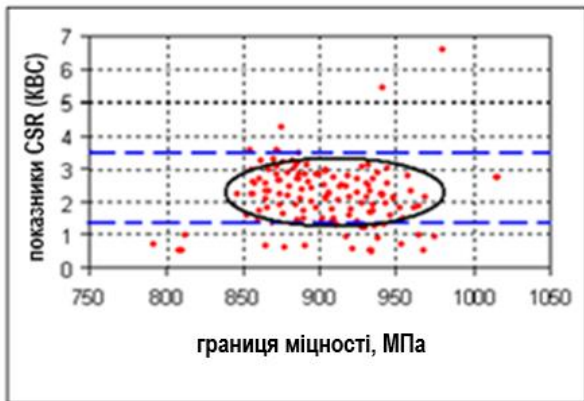


Рис. 1. Вплив границі міцності на показники CSR / Fig. 1. Influence of ultimate strength on CSR

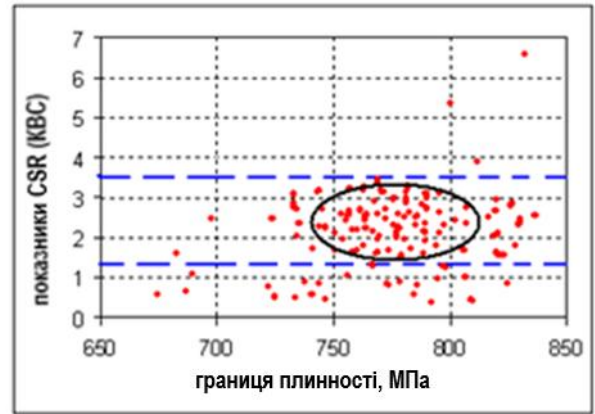


Рис. 2. Вплив границі плинності на показники CSR / Fig. 2. Influence of yield strength on CSR

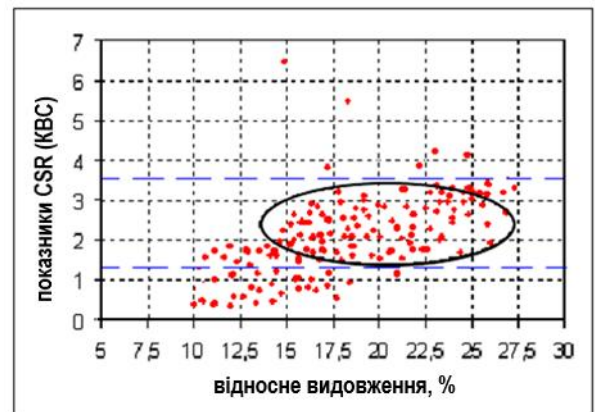


Рис. 3. Вплив відносного видовження на показники CSR / fig. 3. Influence of relative elongation on CSR

Установлено, що за високих значень коефіцієнтів CSR (3,0...3,5) труби найчастіше не витримують технологічних випробувань. Це ймовірно пов'язано із формуванням такої текстури деформації, яка викликає більшого зміцнення, як наслідок розтріскування та руйнування металу, зумовленого поворотом зерен у положення, яке ускладнює подальшу деформацію у тому ж напрямку. У зв'язку з тим виходить, що потрібна оптимізація текстури гідравлічних труб із метою забезпечення найкращого поєднання властивостей. Як показали дослідження, коефіцієнт CSR слід зменшити і замість 3,5 слід вказати значення 2...2,5. При цьому зменшується відсоток радіальної текстури, але вказати відсоток радіальної текстури наразі неможливо, тому що треба провести окремі дослідження і набрати статистичний матеріал.

Ми дослідили кристалографічну текстуру зразків труб, прокатаних із високими ступенями деформації на стадії холодної прокатки до 85 %, а також після термічної обробки – відпалу для зняття напружень за температури нижче 500 °С.

Для цього виконано рентгеновську зйомку повної дифрактограми зразків у двох напрямках радіальному і тангенціальному. Підраховано розподіл щільності полюсів  $P_{hkl}$  і параметрів Кернса

(f), які характеризують наявність радіальної та тангенціальної текстури.

На підставі отриманих результатів побудовано зворотні полюсні фігури (рис. 4).

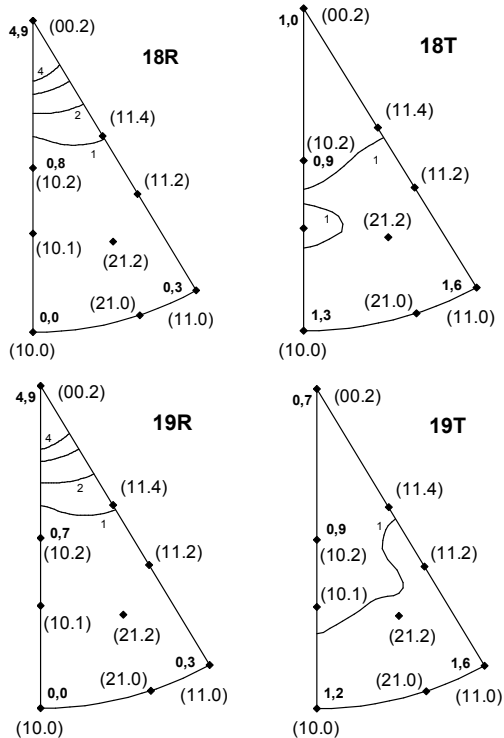


Рис. 4. Зворотні полюсні фігури зразків труб, прокатаних із деформацією 85 % на останньому проході (R – радіальний напрямок, T – тангенціальний напрямок) / Fig. 4. Inverse pole figures in the specimens taken from the tubes rolled at 85 % strain degree in the last pass. (R – radial direction, T – tangential direction)

Як впливає з наведених результатів, у зразках, прокатаних із високим ступенем деформації, спостерігається сильно виражена текстура (00,2) у радіальному напрямку. Параметри Кернса  $f_2$  у даному випадку означають 69...70 % нахилу базисних площ нормалі до поверхні зйомки.

У літературних джерелах є дані, наприклад, для цирконію і гафнію, металів із ГПУ – решітками, прокатками можливо максимально досягнути 75 % радіальної складової текстури [11].

Дослідження текстури, виконані раніше, під час прокатки труб із деформацією 40...60 % на останньому проході показали, що рівень радіальної текстури не перевищує 45...49 % [12], при цьому найчастіше не виконувались вимоги до коефіцієнта відносного стиснення (CSR).

Його рівень складав 1...1,2 (вимоги 1,3...3,5). Крім того, деякі труби не витримували випробування на роздачу та загин.

Збільшення загального ступеня деформації і деформації по стінці сприятливо позначається на показниках CSR, що пов'язано із формуванням більшої кількості радіальної складової текстури у трубах.

Визначення коефіцієнта відносного стиснення CSR під час прокатки труб із великими деформаціями показало значення 1,8...2,4. При цьому усі труби витримали технологічні випробування на роздачу, загин, сплюснення.

### Висновки

1. Установлено залежність зміни коефіцієнта CSR від значень границь міцності, плинності і відносного видовження труб із сплаву Ti-3Al-2,5V. Область оптимальних значень коефіцієнта CSR відповідає значенням границі міцності 875...925 МПа; для границі плинності це значення 750...780 МПа, а для відносного видовження 17,5...27,5. За низьких значень границі плинності і відносного видовження коефіцієнти CSR низькі і не вкладаються у вимоги стандарту 1,3...3,5.

2. Доказано, що збільшення пластичності труб збільшує показники CSR.

3. Зв'язано, що за високих значень коефіцієнтів CSR (3,0...3,5) найчастіше труби не витримують технологічних випробувань. Це ймовірно пов'язано із формуванням такої текстури деформації, яка викличе більше зміцнення і, як наслідок, руйнування металу труб. Коефіцієнт CSR слід зменшити і замість 3,5 установити значення 2...2,5. При цьому зменшується відсоток радіальної текстури, але вказати його наразі неможливо, тому що треба провести нові дослідження і набрати статистичний матеріал.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Safety-Relevant Guidance for On-Road Testing of SAE Level 3, 4, and 5 Prototype Automated Driving System (ADS) – Operated Vehicles J3018\_201909. – Режим доступу : <https://www.sae.org/standards/content/ams4>.
2. Titanium Alloy Tubing, Seamless, Hydraulic, 3Al-2,5V. Controlled Contractile Strain Ratio, Cold Worked, Stress Relieved AMS4945. – January, 1989.
3. Стандарт AMS 4946. Titanium alloy tubing, seamless, hydraulic 3Al-2,5V, texture controlled cold worker, stress relieved. SAE International. – 2006.
4. Стандарт AS 4076. Contractile strain ratio testing of titanium hydraulic tubing. SAE International. – 1987.
5. Harris G. B. Quantitative measurement of preferred orientation in rolled uranium bars / G. B. Harris // Phil. Mag. – 1952. – Vol.43, № 336. – Pp. 113–123.
6. Morris P. R. Reducing the effects of non-uniform pole distribution in inverse pole figure studies / P. R. Morris // J. Appl. Physics. – 1959. – Vol. 30, № 4. – Pp. 595–596.
7. Kearns J. Thermal expansion and preferred orientation in Zircaloy / J. Kearns // USAEC WAPD-TM-472. – Nov., 1965.

8. Физико-механические свойства легких конструкционных сплавов : монография / [Б. А. Колачев, С. Я. Белофен, Л. А. Бунин, В. А. Володин]. – Москва : Metallurgy, 1995. – 442 с.
9. Циркониевые сплавы в атомной энергетике : монография / [Ф. С. Займовский, А. В. Никулина, Н. Г. Решетников]. – Москва : Энергоиздат, 1981. – С. 281–284.
10. Вахрушева В. С. Дослідження впливу початкової текстури заготовки на текстуру готових труб з сплаву титану Ti-3Al-2,5V // *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2015. – № 3. – С. 16–20.
11. Логинов Ю. Н. Исследование свойств титанового сплава Ti-3Al-2,5V с оценкой склонности к текстурообразованию / Ю. Н. Логинов, В. В. Котов, В. Т. Смирнов // В сб. тр. межд. конф. «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов». – Санкт-Петербург, 2005. – С. 281–284.
12. Moredith S. E. Effect of Crystallographic Texture on Flexure Fatigue Properties of Ti-3Al-2,5V Hydraulic Tubing / S. E. Moredith, J. H. Shemel // *Journal of Testing and Evaluation JTEVA*. – Vol. 18, № 2. – March, 1990. – Pp. 98–145.

## REFERENCES

1. Safety-Relevant Guidance for On-Road Testing of SAE Level 3, 4, and 5 Prototype Automated Driving System (ADS) – Operated Vehicles J3018\_201909.
2. Titanium Alloy Tubing, Seamless, Hydraulic, 3Al-2.5V, Controlled Contractile Strain Ratio, Cold Worked, Stress Relieved AMS4945, January, 1989.
3. Standart AMS 4946. Titanium alloy tubing, seamless, hydraulic 3Al-2,5V, texture controlled cold worked, stress relieved. SAE International, 2006.
4. Standart AS 4076. Contractile strain ratio testing of titanium hydraulic tubing. SAE International, 1987.
5. Harris G.B. Quantitative measurement of preferred orientation in rolled uranium bars. *Phil. Mag.*, 1952, vol. 43, no. 336, pp. 113–123
6. Morris P.R. Reducing the effects of non-uniform pole distribution in inverse pole figure studies. *J. Appl. Physics*. 1959, vol. 30, no. 4, pp. 595–596.
7. Kearns J. Thermal expansion and preferred orientation in Zircaloy. USAEC WAPD-TM-472, Nov., 1965.
8. Kolachev B.A., Bezofen S.Ya., Bunin L.A. and Volodin V.A. *Fiziko-mekhanicheskiye svoystva legkikh konstruksionnykh splavov* [Physico-mechanical properties of light structural alloys]. Moscow : Metallurgy, 1995, 442 p. (in Russian).
9. Zaimovsky F.S., Nikulina A.V. and Reshetnikov N.G. *Tsirkoniyevyye splavy v atomnoy energetike* [Zirconium alloys in nuclear power engineering]. Moscow : Energoizdat, 1981, hh. 281–284. (in Russian).
10. Vakhrusheva V.S. and Hruzin N.V. *Issledovaniye vliyaniya iskhodnoy tekstury zagotovki na teksturu gotovykh trub iz titanovogo splava Ti-3Al-2.5V* [Investigation of influence of initial texture of the workpiece on the texture of finished Ti-3Al-2,5V titanium alloy tubes]. *Metallovedeniye I termicheskaya obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment of metals]. 2015, no. 3, pp. 16–20. (in Russian).
11. Loginov Yu.N., Kotov V.V. and Smirnov V.T. *Issledovaniye svoystv titanovogo splava Ti-3Al-2,5V s otsenkoy sklonnosti k teksturoobrazovaniyu* [Investigation of properties of the titanium alloy Ti-3Al-2,5V with assessment of tendency to texture formation]. *Sovremennyye dostizheniya v teorii I tekhnologii plasticheskoy obrabotki metallo* [Current advances in the theory and technology of plastic metal processing]. Saint-Petersburg, 2005, pp. 281–284. (in Russian).
12. Meredith S.E. and Shemel J.H. Effect of Crystallographic Texture on Flexure Fatigue Properties of Ti-3Al-2.5V Hydraulic Tubing. *Journal of Testing and Evaluation JTEVA*, vol. 18, no. 2, March, 1990, pp. 98–145.

Надійшла до редакції 23.10.2019.