

УДК 669.295.669.76

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЧАТКОВОЇ ТЕКСТУРИ ЗАГОТОВКИ НА ТЕКСТУРУ ГОТОВИХ ТРУБ ЗІ СПЛАВУ ТИТАНУ Ti-3Al-2,5V

ВАХРУШЕВА В. С.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
ГРУЗИН Н. В.<sup>2</sup>, *мол. наук. співр.*

<sup>1</sup> Кафедра металознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна; e-mail: [v.vahrusheva@mail.ru](mailto:v.vahrusheva@mail.ru), ORCID ID : 0000-0002-2663-2714

<sup>2</sup> Лабораторія експериментальних та наукових досліджень, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна; e-mail : [tulenik@ukr.net](mailto:tulenik@ukr.net), ORCID ID : 0000-0002-7589-6548

**Анотація. Мета.** Дослідити вплив початкової текстури заготовки на спадковість текстури труб зі сплаву Ti-3Al-2,5V після деформування та термічної обробки труб на готовий розмір. **Методика.** Матеріалом для дослідження вибрано труби зі сплаву титану Ti-3Al-2,5V. Досліджено вихідну трубну заготовку, виготовлену способом гарячого пресування та одного проходу холодної деформації. Для дослідження текстури труб та побудови зворотних полюсних фігур застосовували метод рентгеноструктурного аналізу. Розраховували текстурні коефіцієнти Кернса. **Результати.** Показано, що вихідна заготовка є текстурованою. Співвідношення радіальної і тангенціальної складових перебуває в межах 46...48 % і 39...44 % відповідно. Маршрути деформації, ступінь деформації, співвідношення деформації по стінці і діаметру, на всіх проходах не забезпечили суттєвої зміни текстури. **Наукова новизна.** Встановлено тип текстури сплаву Ti-3Al-2,5V у вихідній заготовці та її зміни у технологічному процесі виготовлення труб. Виконано оцінку впливу виявлених текстур на показники якості труб. **Практична значимість.** Оптимізація технології виготовлення виробів із титану і його сплавів вимагає знань закономірностей утворення текстури в них при різних видах і режимах пластичної деформації і термічної обробки, яка при експлуатації впливає на якісні показники та термін роботи виробів.

*Ключові слова:* текстура; заготовка; деформування; радіальна і тангенціальна складові текстури, параметри Кернса.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОЙ ТЕКСТУРЫ ЗАГОТОВКИ НА ТЕКСТУРУ ГОТОВЫХ ТРУБ ИЗ СПЛАВА ТИТАНА Ti-3Al-2,5V

ВАХРУШЕВА В. С.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
ГРУЗИН Н. В.<sup>2</sup>, *мл. научн. сотр.*

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина; e-mail : [v.vahrusheva@mail.ru](mailto:v.vahrusheva@mail.ru), ORCID ID : 0000-0002-2663-2714

<sup>2</sup> Лаборатория экспериментальных и научных исследований, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина; e-mail : [tulenik@ukr.net](mailto:tulenik@ukr.net), ORCID ID : 0000-0002-7589-6548

**Аннотация. Цель.** Исследовать влияние исходной текстуры заготовки на наследственность текстуры труб из сплава Ti-3Al-2,5V после деформирования и термической обработки на готовый размер. **Методика.** Материалом исследования выбраны трубы из сплава титана Ti-3Al-2,5V. Исследована исходная трубная заготовка, изготовленная методом горячего прессования и одного прохода холодной деформации. Для исследования текстуры труб и построения обратных полюсных фигур использовали метод рентгеноструктурного анализа. Рассчитывали текстурные коэффициенты Кернса. **Результаты.** Показано, что исходная трубная заготовка является текстурированной. Соотношение радиальной и тангенциальной составляющих находится в пределах 46...48 % и 39...44 % соответственно. Выбранные маршруты деформации, степень деформации, соотношение деформации по стенке и диаметру, на всех проходах не обеспечили существенного изменения текстуры. **Научная новизна.** Установлены тип текстуры сплава Ti-3Al-2,5V в исходной заготовке и ее изменение в технологическом процессе изготовления труб. Выполнена оценка влияния полученных текстур на показатели качества труб. **Практическая значимость.** Оптимизация технологии изготовления изделий из титана и его сплавов требует знаний закономерностей образования текстуры в них при различных видах и режимах пластической деформации и термической обработки, которая при эксплуатации влияет на качественные показатели и срок работы изделий.

*Ключевые слова:* текстура; заготовка; деформирование; радиальная и тангенциальная составляющие текстуры, параметры Кернса.

## RESEARCH OF INITIAL TEXTURE INFLUENCE OF WORKPIECE ON THE TEXTURE OF FINISHED PIPES FROM THE TITANIUM ALLOY Ti-3Al-2,5V

VAKHRUSHEVA V. S. <sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
GRUZIN N. V. <sup>2</sup>, *jun. res. fell.*

<sup>1</sup> Department of Materials and Materials Processing, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine; e-mail : [v.vahrusheva@mail.ru](mailto:v.vahrusheva@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-2663-2714

<sup>2</sup> Laboratory of experimental and scientific research, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine; e-mail : [tulenik@ukr.net](mailto:tulenik@ukr.net), ORCID ID : 0000-0002-7589-6548

**Abstract. Purpose.** To investigate the effect of the original texture of the workpiece on heredity of texture tube from alloy Ti-3Al-2,5V after deformation and heat treatment to the finished size. **Methodology.** X-ray diffraction analysis was used for studding the pipes texture. The parent pipe after hot-pressing and one passing of cold deformation are used. The method of X-ray structure analysis are used for the pipe texture investigation and building of reverse pole figures. Kearns textured coefficients are taken into account. **Findings.** It is shown the parent pipe is textured. The correlation of radial and tangential component is in the range 46...48 % and 39...44 % correspondingly. Selected routes of deformation, rate of deformation the wall and diameter and calibration at all passes are not provided significant change of texture. **Originality.** Texture of alloy Ti-3Al-2,5V in the parent pipe and all changes in technological process are established. Evaluation of found textures effect on quality pipe indexes are established. **Practical value.** Optimization technology of manufacturing products of titanium and its alloys require knowledge of the laws of the texture formation in them in different types and plastic deformation and heat treatments modes that effect on the operation of quality index and working term of product.

*Keywords* : texture; workpiece; deformation; radial and tangential components of the texture, parameters Kearns

### Вступ

Титан і його сплави знайшли широке застосування в техніці завдяки високій механічній міцності, яка зберігається в умовах високих температур, корозійної стійкості, жароміцності, питомої міцності, малої щільності та інших корисних властивостей. Висока вартість титану і його сплавів у багатьох випадках компенсується їх великою працездатністю, а в деяких випадках вони є єдиним матеріалом, з якого можна виготовити устаткування або конструкції, здатні працювати в цих конкретних умовах [1; 2].

Титанові сплави відіграють велику роль в авіаційній техніці, де прагнуть отримати найбільш легку конструкцію у поєднанні з необхідною міцністю [3; 4].

Сплав титану Ti-3Al-2,5V широко використовується як елемент конструкцій паливних систем літаків. Надійність роботи труб із титану і його сплавів багато в чому визначається вимогами до текстури, яка формується в трубах під час технологічної обробки [5; 6].

Низька симетрія гексагональної кристалічної решітки  $\alpha$ -Ti, основної фази більшості промислових сплавів титану, в поєднанні з особливостями кристалографічної текстури виробів із титану, значною мірою зумовлюють виявлену в них анізотропію фізико-механічних властивостей, характеристик міцності, корозію, повзучість та втомну міцність [7; 13].

Крім того, текстурна анізотропія відіграє важливу роль у проблемах, пов'язаних з обробкою матеріалу.

Виразена орієнтація базисних площин під час прокатки металів із ГПУ решіткою передбачає підвищені зусилля валків під час прокатки  $\alpha$ -титанових сплавів [8; 9].

Первинна орієнтація базисних площин може також гальмувати зміну орієнтації на подальших операціях обробки. На думку авторів [7; 8; 13], кращою текстурою у трубах зі сплавів титану є радіальна текстура, що забезпечує більш високі експлуатаційні властивості.

У цьому зв'язку оптимізація технології виготовлення виробів із титану і його сплавів, зокрема труб, залежить від знань закономірностей текстуроутворення в них при різних видах та режимах пластичної деформації та термічної обробки.

### Мета

Мета цієї роботи – дослідження початкової текстури заготовки та її вплив на спадковість текстури труб зі сплаву Ti-3Al-2,5V після деформації та термічної обробки на готовий розмір.

### Матеріал та методика дослідження

Дослідження проводились на трубах зі сплаву титану Ti-3Al-2,5V відповідно до стандарту ASTM B861-95a, Grade 9. Даний сплав титану достатньо технологічний, здатний до холодної деформації [10].

Досліджено вихідну трубну заготовку, отриману способом гарячого пресування, та труби після холодної деформації на проміжних та готових розмірах, а також після термічної обробки.

Досліджено зразки від вихідної заготовки № 1, 2, 3 та труб готового розміру № 12.

Для дослідження структури труб і побудови зворотних полюсних фігур застосовували метод рентгеноструктурного аналізу. Зйомки проводили на рентгенівському дифрактометрі ДРОН 4-07 із пропорційним лічильником у мідному випромінюванні  $\text{CuK}\alpha$ . Записували повну профільну діаграму 2 $\theta$  умовних змін інтенсивності рентгенівського відображення від зовнішньої поверхні труб (R – радіальний напрямок) та від площини подовжного перетину (T – тангенціальний напрямок). Для кожної зйомки визначали інтенсивність рентгенівських ліній і щільність полюсів методом Харріса – Моріса [11; 12], та розраховували текстурні коефіцієнти Кернса (f) [13]. Зворотні полюсні фігури (ЗПФ) побудовані з використанням комп'ютерних програм. Для кожного напрямку зйомки розраховували параметри Кернса :

$$f = \sum A_i P_i \cos^2 \alpha_i,$$

де  $\alpha$  – кут між віссю [00.1] кристалітів матеріалу та нормаллю до поверхні зйомки,  $P_i$  – щільність полюсів. Сума таких параметрів за трьома основними геометричними напрямками для зразка дорівнює одиниці.

Таким чином, цей параметр може бути деякою частковою (процентною) мірою орієнтації кристалографічних площин відносно даної поверхні, тобто характеризує радіальну та тангенціальну текстури.

#### Результати дослідження та їх обговорення

Результати дослідження зразків заготовки після пресування та прокату наведено в таблицях 1–3 – це інтенсивності рентгенівських ліній, а в таблиці 4 показано розрахункові значення щільності полюсів і параметрів Кернса.

Таблиця 1

#### Інтегральні інтенсивності відображення від зразка № 1 в проєкціях R і T / Integral intensity reflected from the sample № 1 projections in R & T

(hkl)	1R	1T
100	7 760	9 280
0,02	29 450	27 890
101	34 560	35 300
102	6 110	6 560
110	4 020	5 340
103	10 280	9 140

Таблиця 2

#### Інтегральні інтенсивності відображення від зразка № 2 в проєкціях R і T / Integral intensity reflected from the sample № 2 projections in R & T

(hkl)	2R	2T
100	5 850	9 440
0,02	35 690	22 700
101	28 550	44 650
102	6 360	6 030
110	3 470	4 210
103	9 650	8 410

Таблиця 3

#### Інтегральні інтенсивності відображення від зразка № 3 в проєкціях R і T / Integral intensity reflected from the sample № 3 projections in R & T

(hkl)	3R	3T
100	6 290	9 940
0,02	26 610	23 350
101	26 980	42 670
102	5 990	68 60
110	3 500	4 540
103	8 890	7 690

Таблиця 4

#### Значення щільності полюсів та параметри Кернса / The density poles and parameters Cairns

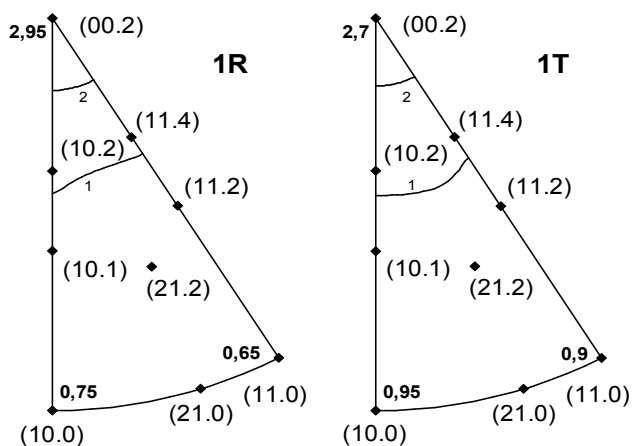
Зразок №	Проєкція (10.0)	R	T	$f_R$	$f_T$
1		0,75	0,95	0,46	0,44
2		0,60	0,95	0,48	0,40
3		0,65	1,00	0,47	0,39

Як видно з наведених результатів дослідження, коефіцієнти Кернса, які характеризують процентний вміст орієнтації кристалографічних напрямків – радіального ( $f_R$ ) і тангенціального ( $f_T$ ), для зразків заготовки № 1–3 становить, що у вихідній заготовці присутня текстура як радіальна, так і тангенціальна у співвідношенні : 46...48 % радіальної та 39...44 % тангенціальної.

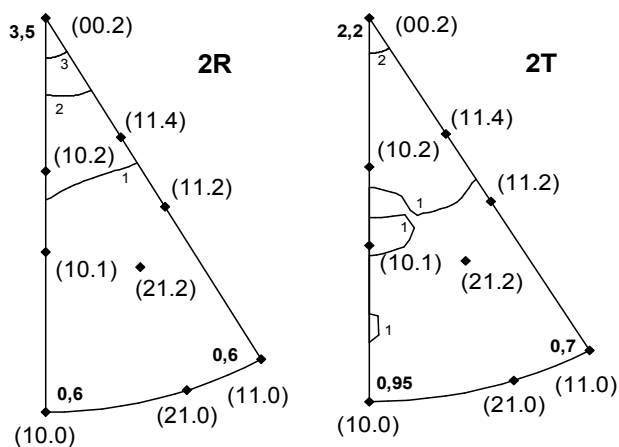
Всі три зразки заготовки мають приблизно таку саму текстуру.

Зворотні полюсні фігури вихідної заготовки для всіх зразків у радіальному і тангенціальному напрямках показані на рисунку 1 а, б, в.

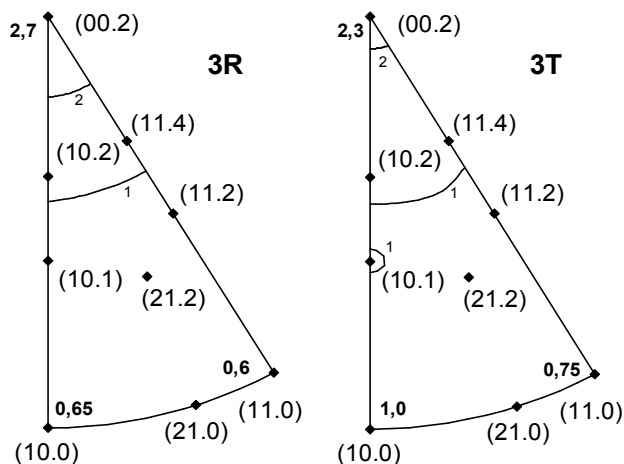
Порівнюючи механічні властивості вихідної заготовки, слід зазначити, що зразок № 3 має більш високе відносне подовження, проте рівень меж міцності і плинності нижча, ніж у зразка № 2, що підтверджується більш високим вмістом 47...48 % радіальної текстури в зразках. Це узгоджується з думкою авторів статті [13], що чим вища пластичність труб із титану, тим більший відсоток радіальної текстури присутній у трубах [3; 11; 13].



a



b



в

Рис. 1. Зворотні полюсні фігури зразків № 1, 2, 3 вихідної заготовки в радіальному (R) та тангенціальному (T) напрямках / Return polar figures samples № 1, 2, 3 of the part blank in radial and tangential directions

Таким чином, встановлено, що вихідна заготовка є текстурованою. Вміст радіальної і тангенціальної текстури практично однаковий.

Наявність текстурованості у заготовці під час подальшого прокату визначає багато в чому тип текстури, яка утворюється в процесі подальшої деформації. Знаючи тип текстури у заготовці, будують режими подальшої деформації, зокрема, співвідношення деформацій по діаметру та товщині стінки труби на наступних проходах деформації.

Ймовірно, текстура в титані в основному формується на стадії гарячої деформації, що підтверджують дані дослідження.

Досліджено текстуру під час прокатки труб на готовий розмір. Визначено інтегральні інтенсивності рентгенівських ліній, розраховано щільності полюсів та параметри Кернса для труб готового розміру за аналогією з вихідною заготовкою.

На основі отриманих даних побудовано зворотні полюсні фігури (рис. 2).

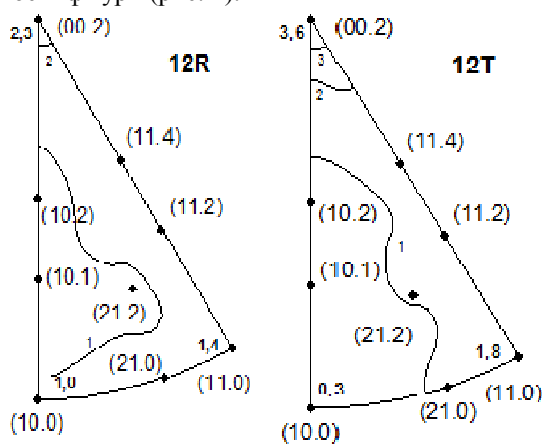


Рис. 2. Зворотні полюсні фігури готових труб / Return polar figures of ready pipes

Дослідження показали, що останній прохід холодної деформації зменшив частку радіальної текстури  $f_r \sim 38...41\%$ ,  $f_t \sim 40...42\%$ .

Це свідчить, що обрані маршрути деформації мають низький Q-фактор (співвідношення деформації по стінці до деформації по діаметру). Для збільшення частки радіальної складової слід збільшити деформацію по стінці, ніж по діаметру. Крім того, для збільшення включати механізм пластичної деформації не тільки ковзанням, а й двійникуванням, а це потребує дещо більших зусиль, в першу чергу за рахунок збільшення рівня деформації на кожному переділі.

### Наукова новизна і практична значимість

Установлено тип текстури сплаву Ti-3Al-2,5V у технологічному процесі виготовлення труб вихідної заготовки, а також її зміни у технологічному процесі виготовлення труб.

Оптимізація технології виготовлення виробів із титану і його сплавів вимагає знань закономірностей утворення текстури в них при різних видах і режимах пластичної деформації і термічної обробки, що у процесі експлуатації впливає на якісні показники та термін роботи виробів.

### Висновки

1. Установлено, що вихідна трубна заготовка є текстурованою.
2. Співвідношення радіальної та тангенціальної складової перебуває в межах 46...48 % та 39...44 % відповідно. Текстуру отримано на стадії гарячої деформації.
3. Основний тип текстури, отриманий під час гарячої деформації, є найбільш стійкий.
4. Первинна орієнтація базисних площин може гальмувати зміни текстури на подальших операціях обробки.

5. Вибрані маршрути деформації, співвідношення деформації по стінці і діаметру, а також калібрування на всіх проходах не забезпечили суттєвої зміни текстури.

6. Таким чином, дослідження показали, що у процесі виготовлення заготовки формується стійка текстура, ймовірно, на стадії гарячої деформації. Режими деформації, які використані при виробленні труб, не змінюють основної текстури, а тільки розширюють максимум інтенсивностей полюсів базисних площин.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Властивості матеріалів. Довідник : Титанові сплави. За редакцією Р. Буайє, Е. В. Коллінз, Г. Велш. – Вашингтон : ASM International, 1994. – 1169 с.  
Materials properties handbook : Titanium Alloys. Edited by R. Boyer, E. W. Collins, G. Welsch. Washington : ASM International, 1994. – 1169 p.
2. Под ред. Белов А. Ф. Титан. Metallovedenie i tehnologiya. – Том 1. – Москва : ВИЛС, 1977 – 485 с.  
Edited Belov A. F. Titanium. Metallography and technology. – Vol. 1. – Moscow : VILS Publ., 1977. – 485 p.
3. Бецофен С. Я. Закономірності формування текстури і анізотропії механічних властивостей в листах з титанових сплавів / С. Я. Бецофен, А. А. Ільїн, С. В. Скворцова та ін. // Метали, 2005. – № 2. – С. 54–63.  
Patterns of texture formation and anisotropy of mechanical properties in sheets with titanium alloys / S. Ya. Betsofen, A. A. Illin, S. V. Skvortsova et al. // Metaly, 2005. – № 2. – S. 54–63.
4. Под ред. Аношкин Н. Ф. Титановые сплавы. Полуфабрикаты из титановых сплавов. – Москва : Металлургия, 1979. – 257с.  
Edited. Anoshkin N. F. Titanium alloys. Semi-finished products from titanium alloys. Moscow : Metallurgical Publ., 1979. – 257 p.
5. Горелик С. С. Рентгенографічний та електронно-оптичний аналіз / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – Москва : МІСІС, 2002. – 306 с.  
Gorelik S. S., Skakov U. A., Rastorguev L. N. X-Ray and electron – optical analysis. – Moscow : MISIS Publ., 2002. – 306 s.
6. Ажажа В. М. Технология изготовления изделий из циркониевых сплавов для атомной энергетики и некоторые свойства сплавов циркония / В. М. Ажажа, В. С. Вахрушева, Т. А. Дергач, К. В. Ковтун,

Д. Г. Мальных, И. А. Петельгузов, В. И. Соколенко. – Харьков : ИФТТ МТ ННЦ ХФТИ, 1999. – 155с.

The technology of manufacturing products made of zirconium alloys for nuclear energy and some properties of zirconium alloys / Agaga V. M., Vahrusheva V. S., Dergach T. A., Kovtun K. V., Malihin D. G., Petelgyzov I. A., Sokolenko V. I. – Kharkov : IFTT MT NNC CH FTI, 1999. – 155 p.

7. Агеев Н. В. Текстурное упрочнение титана и циркония / Н. В. Агеев, А. А. Бабареко // Москва : Металлы, 1975. – № 2. – С. 81–90.

Ageev N. V., Babareko A. A. Texture strengthening of titanium / Moscow : Metals Publ., 1975. – № 2. – Pp. 81–90.

8. S. E. Moredith, I. H. Shemel. Sanvik Spec. Met. Corp., Publ. ASTM, 1990, vol. 18, № 2, pp. 98–105.

9. A. C. Houghton, A. W. Bowen. Aspects of texture control with Ti–3Al–2.5V seamless cold worked aircraft hydraulic tube. Ironmaking and Steelmaking 1995. Vol 22. № 1.

10. В. Ф. Хосфорд. Текстурное упрочнение / Хосфорд В. Ф. // Университет шт. Мичиган, 1966. – С. 19– 18.

W. F. Hosford. Teksturnoye uprochneniye. Universitet sht. Michigan, 1966, s. 19- 18.

11. Harris G. B. Quantitative measurement of preferred orientation in rolled uranium bars / G. B. Harris // Phil. Mag., 1952. – V. 43. – № 336. – P. 113–123.

12. Morris P. R. Reducing the effects of non-uniform pole distribution in inverse pole figure studies / P. R. Morris // J. Appl. Physics, 1959. – V. 30. – № 4. – P. 595–596.

13. Kearns J. Thermal expansion and preferred orientation in Zircaloy / J. Kearns // USAEC WAPD-TM-472. – Nov., 1965.

*Стаття рекомендована к публікації д-ром техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Україна); д-ром техн. наук, проф. Г. Д. Сухомлиным (Україна)*

Стаття поступила в редколлегию 25.09.2015