



Вплив структури на демпфувальну здатність технічно чистого титану VT1-0

Т. Д. Ткач¹⁾

¹⁾ Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063

Article info:

Paper received:

The final version of the paper received:

Paper accepted online:

15 November 2014

22 December 2014

08 January 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ _odarka@mail.ru

В роботі проведена оцінка впливу інтенсивної пластичної деформації на демпфувальні властивості титану VT1-0. Було досліджено зразки у вихідному (литому) стані, отримані гвинтовою екструзією та відпалені. Встановлено, що найвищі демпфувальні властивості має титан в литому стані. Відпалення литих зразків призводить до різкого зниження рівня розсіювання енергії (у 2,4 рази). Субмікрокристалічні зразки титану VT1-0 після гвинтової екструзії мають менший логарифмічний декремент коливань порівняно з литими зразками. Проте субмікрокристалічні зразки відзначаються більш кращою здатністю гасіння коливань по відношенню до відпалених зразків (в 1,73 рази вище за відпалений зразок).

Ключові слова: технічно чистий титан, гвинтова екструзія, лита структура, відпалений стан, демпфувальна здатність, логарифмічний декремент коливань, розсіювання

1. ВСТУП

Зростаючи з кожним роком кількість деструктивних захворювань суглобів призводить до збільшення потреби виконання операцій ендопротезування. В ряді випадків це є ефективним і часто єдиним засобом відновлення втраченої функції кінцівки [1; 2]. При цьому актуальним залишається забезпечення функціонування ендопротеза з точки зору опору конструкції зовнішнім навантаженням та впливу біологічного середовища. Використання технічно чистого титану є доцільним, проте його характеристики міцності та циклічної витривалості недостатні для виготовлення ендопротезів. Тому для підвищення експлуатаційної надійності титану необхідно знаходити шляхи управління мікроструктурою з метою досягнення бажаних властивостей без використання легувальних елементів.

Одним з перспективних напрямів підвищення експлуатаційних властивостей виробів з титану VT1-0 є формування нано- або субмікрокристалічної (СМК) структури, яка дозволяє значно покращити низку фізико-механічних властивостей матеріалу за рахунок утворення значної кількості зерен субмікрота нанокристалічного розміру з великокутовим разорієнтуванням поверхонь поділу. Для отримання такої структури використовують різні методи інтенсивної пластичної деформації (ППД), зокрема гвинтову екструзію. Це забезпечує зростання експлуатаційних властивостей титану і сплавів на його основі порівняно з рівноважним станом [3, 4, 5].

Ендопротези працюють в умовах постійно діючих навантажень різного роду: це можуть бути як стати-

чні, так і динамічні навантаження, в процесі діяльності людини суглоби можуть періодично піддаватись

ударним та вібраційним навантаженням. Тому вважають, що матеріали які застосовують для виготовлення імплантатів мають забезпечувати як статичну міцність, так і опір конструкції змінним навантаженням [6, 7]. В умовах впливу на конструкцію періодичних навантажень існує небезпека виникнення в ній резонансних коливань та високої динамічної напруженості, а в подальшому і можливого руйнування.

Отже для зменшення динамічної напруженості в конструкції необхідно використовувати матеріали з високою демпфувальною здатністю, які ефективно гасять коливання (як вільні, так і резонансні). Зниження амплітуди коливань з часом пов'язують з розсіюванням пружних хвиль внаслідок непружного опору середовища, на який витрачається енергія коливної системи, що приводить до реалізації явища внутрішнього тертя в металах та сплавах [8]. Затухання коливань в результаті внутрішнього тертя обумовлене перетворенням механічної енергії в теплову. Характер поведінки цієї величини визначається особливостями будови границь зерен, розподілом дефектів кристалічної будови, впливом температури та деформації [8-11]. Високі значення внутрішнього тертя приводять до швидкого затухання вільних коливань виробу та зниженню амплітуд його вимушених коливань в резонансному режимі. Вирінювання динамічних напружень в місцях їх конче-

нтрації також відбувається за рахунок цього явища, що, в свою чергу, сприяє збільшенню границі витривалості, оскільки втомні тріщини утворюються пізніше [12].

Аналіз літературних даних дозволив встановити, що на сьогодні досить добре досліджена демпфувальна здатність титану та його сплавів в стані стандартного постачання (крупнозернисті) [13, 14, 15]. Вплив нано- та субмікроструктурної структури на механічні властивості металів та сплавів досліджений досить добре [16], проте дисипативні властивості практично не визначені [17, 18]. Крім того більшість з проведених експериментів визначали дисипативні властивості наноструктурованих покриттів [12, 18, 19], а об'ємні субмікроструктурні матеріали (в тому числі і титан) в повній мірі не розглядалися.

Отже, вплив субмікроструктурної структури отриманої інтенсивною пластичною деформацією методом гвинтової екструзії на демпфувальну здатність технічно чистого титану практично не досліджений. Тому, метою роботи, було оцінити вплив структури технічно чистого титану VT1-0 на його демпфувальні властивості.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вплив структури на демпфувальні властивості отриманого матеріалу визначався на призматичних зразках за стандартним методом вільних коливань, що згасають [20]. Для кожного зразка записували 5 віброграм за якими виконували розрахунок. Логарифмічний декремент коливань розраховували за віброграмами вільних коливань за формулою

$$\delta = \frac{1}{z} \ln \frac{a_k}{a_{k+z}} \cdot 100\% ,$$

де δ – величина декременту коливань (у відсотках) при середній зміні напружень в матеріалі пера під тензодатчиком на ділянці амплітуд $a_k - a_{k+z}$;

a_k, a_{k+z} – початкова і кінцева амплітуди напружень на розглянутій ділянці віброграми (рис. 1);

z – число циклів на розглянутій ділянці віброг-

рами з початковою амплітудою a_k і кінцевою a_{k+z} .

Для порівняльної оцінки впливу ПД на демпфувальні властивості титану VT1-0 було досліджено зразки у вихідному (литому) стані, отримані гвинтовою

екструзією та відпалені при температурі 500 °С впродовж 1 години із рівноважною структурою з полідрічними зернами. Віброграми згасаючих коливань зразків із різним структурним станом представлені на рис. 2.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати розрахунку логарифмічного декременту коливань (δ) для досліджених зразків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Середнє значення логарифмічного декременту для досліджених зразків

	Стан зразків	Логарифмічний декремент коливань δ , %
1	VT1-0 у литому стані	3,6
2	VT1-0 литий у відпаленому стані	1,5
3	VT1-0 після гвинтової екструзії	2,6

Порівняльна оцінка величини логарифмічного декременту коливань дозволила виявити, що найвищі демпфувальні властивості має титан в литому стані ($\delta=3,6$ %). Відпалення литих зразків призводить до різкого зниження рівня розсіювання енергії (у 2,4 рази, $\delta=1,5$ %). СМК зразки титану VT1-0 після гвинтової екструзії мають менший δ порівняно з литим станом, проте відзначаються більш кращою здатністю гасіння коливань по відношенню до відпаленого зразка для якого характерне значення логарифмічного декременту коливань $\delta=2,6$ % (в 1,73 рази вище за відпалений зразок).

На розсіювання коливань в металах та сплавах значною мірою впливає розмір зерен, в'язкість границь [9, 11] та рух дислокацій в об'ємі [10]. Проте більш високі значення розсіювання енергії у деформованих зразків не можуть бути пояснені лише збільшенням кількості дислокацій, протяжності зерно-

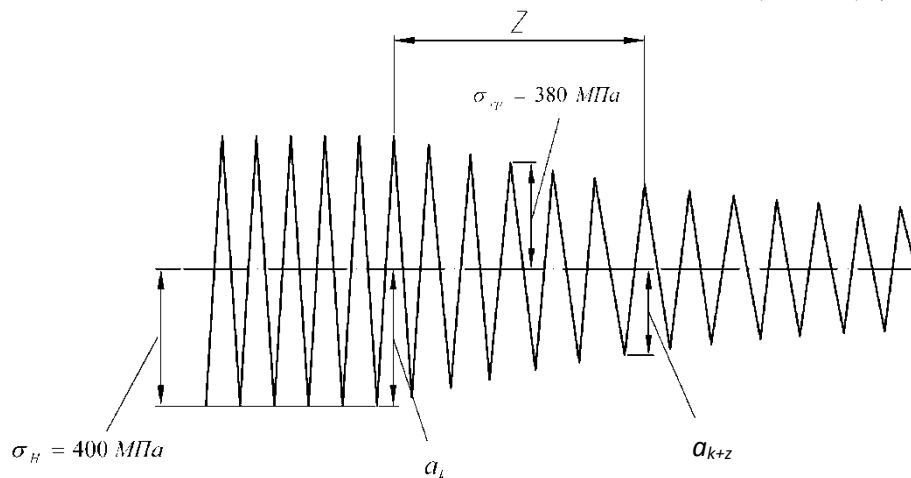


Рис. 1. Параметри віброграми вільних коливань для визначення логарифмічного декременту

граничних ліній та зміною їх стану, оскільки найбільші значення логарифмічного декременту коливань зафіксовані у литих зразках.

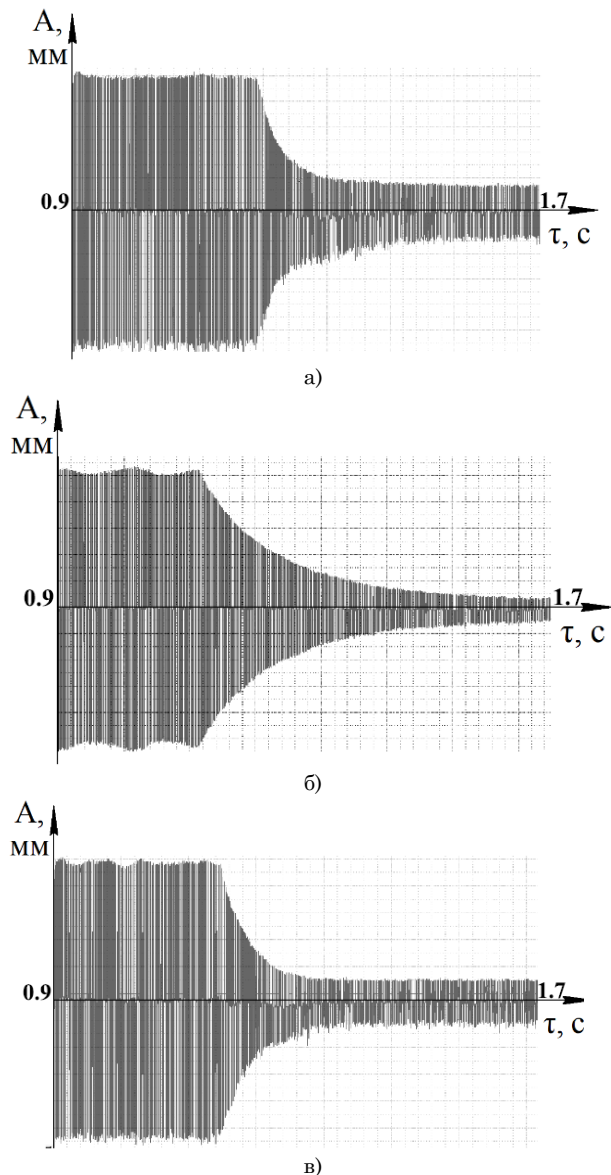


Рис. 2. Схема характерних віброграми згасаючих коливань зразків з титану ВТ1-0 у різних станах: а) – литий стан; б) – відпалений стан; в) – після гвинтової екструзії

Оскільки, титан ВТ1-0 в литому стані має грубозернисту пластівчасту структуру, яка формується за принципом орієнтаційного зв'язку при нерівноважних умовах кристалізації [21], отриману структуру можна розглядати, в деякому об'ємі, як шарувату, тому за її рахунок відбувається підвищення демпфувальної здатності.

Вклад в підвищення значення логарифмічного декременту коливань можуть також вносити закріпленні дислокації, що характерно для литого стану матеріалу при формуванні домішкових атмосфер. Відповідно до теорії Гранато і Люке коливання цих дислокацій під дією зовнішніх змінних напружень можуть гальмуватись домішковими атомами, і вакансіями, які фіксуються при нерівноважних умовах

кристалізації. Оскільки «еластичність» таких дислокацій досить висока, внаслідок їх значної протяжності в об'ємі зерна, гальмування коливань буде вносити значний вклад в розсіювання енергії. Крім того, під впливом змінних навантажень, такі дислокації можуть досить легко відриватись і викликати додаткове збільшення величини логарифмічного декременту коливань під час відриву і наступного руху.

При виготовленні значної частини реальних виробів з α -титану використовують заготовки, що знаходяться в рівноважному стані, після відпалювання. Властивості розсіювання коливань зразків у відпаленому стані, як було зазначено вище, виявились найнижчими. Це, на думку автору, може бути пов'язано з рядом факторів:

- отримана після відпалу структура має меншу протяжність великокутових границь в порівнянні зі зразками в деформованому стані. Більш високі значення логарифмічного декременту коливань в литому зразку є наслідком особливостей кристалічної структури з пластинчастою морфологією α -кристалів і, відповідно, більшою протяжністю великокутових границь поділу. В зразках із СМК структурою після ПД більш інтенсивне розсіювання коливань (порівняно з відпаленим) є наслідком формування ультрадрібнозернистої структури із розвиненою сіткою великокутових границь;

- під час відпалювання значна кількість дислокацій переміщується до міжзерних поверхонь поділу, що приводить до зниження полів внутрішніх напружень і кількості дефектів, які могли б забезпечити додатковий внесок у величину внутрішнього тертя.

Зниження (порівняно з литим станом) логарифмічного декременту коливань внаслідок ПД є результатом накопичення значного рівня пластичної деформації [8-11]. Це пов'язано з тим, що утворюється структура з великою кількістю лінійних дефектів, які мають довжину дислокаційних петель набагато нижчу ніж в литому матеріалі. Зниження рухомості дислокацій при наявності полів напружень призводить до деякого погіршення демпфувальних властивостей СМК матеріалу.

Додатково на величину логарифмічного декременту коливань може впливати рух вакансій в процесі циклічних навантажень з розтягнутих областей до стиснених. Оскільки в процесі ПД створюються умови для насичення матеріалу великою кількістю вакансій [22], то це може обумовлювати зменшення внутрішнього тертя в матеріалі, по причині закріплення дислокацій і зменшення довжин петель [10].

4. ВИСНОВКИ

Отже, можна стверджувати, що ПД позитивно впливає на демпфувальні властивості титану ВТ1-0, порівняно з відпаленим станом. Використання такого матеріалу при виготовленні деталей, що працюють в умовах змінних навантажень дозволить підвищити їх довговічність. Додаткове проведення термічної обробки деформованих зразків може дещо підвищити логарифмічний декремент коливань, внаслідок зниження внутрішніх напружень та кількості дефектів.



Features of the turbocharger's rotor vibration in unstable region

D. V. Tkach¹⁾

¹⁾ Zaporozhye National Technical University, 64, Zhukovsky Str., Zaporizhzhya, Ukraine, 69063

In work the comparative assessment of the impact of severe plastic deformation on the properties of titanium damping VT1-0 in the original (cast) states obtained screw extrusion and annealed at 500 ° C for 1 hour with the equilibrium structure of homogeneous microstructure grains tests were conducted at room temperature (20 ° C). Comparative evaluation of the magnitude logarithmic decrement of oscillations revealed that the highest damping property has a titanium cast condition ($\delta = 3,6\%$). Annealing cast samples leads to a dramatic reduction in energy dissipation (2.4 times, $\delta = 1,5\%$). Samples of titanium VT1-0 submicrocrystalline structure obtained screw extrusion have less logarithmic decrement of oscillations as compared to the cast, but observed a higher potential for vibration relative to the annealed sample which is characterized by values of logarithmic decrement of vibrations $\delta = 2,6\%$ (1,73 times higher than the annealed sample). Since titanium VT1-0 in the cast state has a coarse flaky structure that is formed on the basis of orientation due in nonequilibrium conditions of crystallization, the resulting structure can be seen in some volume as layered, so at the expense of an increase damping ability. Contribution to increase the value of logarithmic decrement of oscillations may also make consolidation deployment, which is characteristic of molten state of the material during the formation of impurity atmospheres. Properties scattering fluctuations in samples annealed condition appeared to be the lowest. This is due to several factors: - Obtained after annealing the structure has a lower boundary length large angular compared with samples in the deformed state. Higher values of the logarithmic decrement of oscillations in the cast sample features are the result of the crystal structure of the lamellar morphology of α -crystals and consequently a greater extent large angular division boundaries. In samples from submicrocrystalline structure after severe plastic deformation is more intense scattering fluctuations (compared to annealed) is the result of the formation ultra-fine grain structure with advanced grid large angular boundaries; - During annealing significant number of dislocations moved to Intergrain surface separation, resulting in lower internal stress fields and the number of defects that could provide an additional contribution to the value of internal friction. Decrease (compared to the cast as) logarithmic decrement of oscillations due to severe plastic deformation is the result of accrued significant plastic deformation. The resultant structure with a large number of linear defects that have a length of dislocation loops are much lower than in the cast material. Reduced mobility of dislocations in the presence of stress fields leads to some deterioration damping properties submicrocrystalline material. For more information on the value of logarithmic decrement of vibrations can affect the movement of jobs during cyclic loading of the stretched areas to compressed. Because the process of severe plastic deformation conditions for saturation of the material a lot of jobs, it can cause reduction of internal friction in the material, because fixing dislocations and shorter loops. Thus, one could argue that intensive plastic deformation positively affect the properties of titanium damping VT1-0 compared to the annealed condition. The use of such material in the manufacture of parts operating under conditions of variable loads will increase their durability.

Keywords: commercially pure titanium, twist extrusion, cast structure, annealed state, damping ability, the logarithmic decrement of the oscillations, scattering

Влияние структуры на демпфирующую способность технически чистого титана ВТ1-0

Т. Д. Ткач¹⁾

¹⁾ Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063

В работе проведена оценка влияния интенсивной пластической деформации на демпфирующие свойства титана ВТ1-0. Исследовали образцы в исходном (литом) состоянии, полученные винтовой экструзией и отожженные при комнатной температуре. Установлено, что высокие демпфирующие свойства имеет титан в литом состоянии. Отжиг литых образцов приводит к резкому снижению уровня рассеяния энергии (в 2,4 раза). Образцы титана ВТ1-0 с субмикроструктурной структурой полученной винтовой экструзией имеют меньший логарифмический декремент колебаний по сравнению с литым состоянием, однако отмечают лучшую способность гашения колебаний по отношению к отожженному образцу (в 1,73 раза выше отожженного). При изготовлении большого числа реальных изделий из α -титана используют заготовки находящиеся в равновесном состоянии, после отжига. Поэтому, поскольку интенсивная пластическая деформация положительно влияет на демпфирующие свойства титана ВТ1-0, по сравнению с отожженным состоянием, то ее использование при изготовлении изделий, работающих в условиях переменных нагрузок позволит повысить их долговечность. Дополнительное проведение термической обработки деформированных образцов может несколько повысить логарифмический декремент колебаний, вследствие снижения внутренних напряжений и количества дефектов.

Ключевые слова: технически чистый титан, винтовая экструзия, демпфирующая способность, логарифмический декремент колебаний, рассеивание

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Забелин С. Ф. Совершенствование технологии получения металлических имплантатов биомедицинского назначения / С. Ф. Забелин, А. А. Дорожков // Ученые записки ЗабГГПУ. – 2011. – №3. – С. 85–92.
2. Маслов А. П. К вопросу эндопротезирования тазобедренного сустава / А. П. Маслов // ОТП. – 2008. – №2. – С. 10–14.
3. Павленко Д. В. Применение сплава ВТ1-0 в субмикрорекристаллическом состоянии для изготовления нагруженных элементов эндопротеза тазобедренного сустава / Д. В. Павленко, Д. В. Ткач, А. Я. Качан // Вестник двигателестроения. – 2013. – №1. – С. 148–154.
4. Ольшанецкий В. Е. Деформационное поведение титана ВТ1-0 с субмикрорекристаллической структурой, полученной методом винтовой экструзии / В. Е. Ольшанецкий, Л. П. Степанова, В. Л. Грешта, Д. В. Павленко, Д. В. Ткач // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2013. – №11. – С. 29–33.
5. Овчинников А. В. Оценка эффективности применения интенсивной пластической деформации для получения нанокристаллической структуры в титановом сплаве ВТЗ-1 / А. В. Овчинников, Д. В. Павленко, А. Я. Качан, В. Г. Шевченко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2007. – №1. – С. 27–31.
6. Andraeus Ugo. Biomedical Imaging and Computational Modeling in Biomechanics / Ugo Andraeus, Daniela Iacoviello (Eds.). – Springer, 2013. – Vol. VIII. – 204 p.
7. Лоскутов А. Е. Достижения и перспективы эндопротезирования тазобедренного сустава / А. Е. Лоскутов, А. Е. Олейник // Здоров'я України. – 2010. – №2. – С. 29–31.
8. Постников В. С. Внутреннее трение в металлах / В. С. Постников. – М.: Металлургия, 1969. – 332 с.
9. Постников В. С. Температурная зависимость внутреннего трения чистых металлов и сплавов / В. С. Постников // Успехи физических наук. – 1958. – Т. LXVI. – Вып. 1. – С. 43–77.
10. Ниблетт Д. Внутреннее трение в металлах, связанное с дислокациями / Д. Ниблетт, Дж. Уилкс // Успехи физических наук. – 1963. – Т. LXXX. – Вып. 1. – С. 125–187.
11. Puskar A. Internal friction of materials / A. Puskar. – Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2001. – 238 p.

REFERENCES

1. Zabelin S. F., Dorozhkov A. A. (2011). Uchenye zapiski ZabGGPU. Vol. 3. pp. 85-92. [in Russian].
2. Maslov A. P. (2008). OTP. Vol. 2. pp.10-14. [in Russian].
3. Pavlenko D. V., Tkach D. V., Kachan A. Ya. (2013). Vestnik dvigatelestroeniya. Vol. 1. pp. 148-154. [in Russian].
4. Olshaneckiy V. E., Stepanova L. P., Gresha V. L., Pavlenko D. V., Tkach D. V. (2013). Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. Vol. 11. pp. 29-33. [in Russian].
5. Ovchinnikov A. V., Pavlenko D. V., Kachan A. Ya, Shevchenko V. G. (2007). Novye materialy i tehnologii v metallurgii i mashinostroenii. Vol. 1. pp. 27-31. [in Russian].
6. Andraeus Ugo, Daniela Iacoviello. (2013). Springer. Vol. VIII. 204 p.
7. Loskutov A. E., Oleynik A. E. (2010). Zdorov'ya Ukraini. Vol. 2. pp. 29-31. [in Russian].
8. Postnikov V. S. (1969). Vnutrennee trenie v metallah. M. Metallurgiya. 332 p. [in Russian].
9. Postnikov V. S. (1958). Uspehi fizicheskikh nauk. Vol. LXVI. Issue 1. pp. 43-77. [in Russian].
10. Niblett D. (1963). Uspehi fizicheskikh nauk. Vol. LXXX, Vissue. 1. pp. 125-187. [in Russian].
11. Puskar A. (2001). Internal friction of materials. Cambridge. Cambridge International Science Publishing. 238 p.

12. Зиньковский А. П. Демпфирующая способность конструктивных элементов с наноструктурированными покрытиями / А. П. Зиньковский, И. Г. Токарь // Вестник двигателестроения. – 2009. – №2. – С. 36–41.
13. Писаренко Г. С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К.: Наукова думка, 1971. – 376 с.
14. Guan X.S. Low-frequency internal friction of $\alpha+\beta$ titanium alloy SP-700 / X. S. Guan, H. Numakura, M. Koiwa, K. Hasegawa, C. Ouchi // Materials Science and Engineering, 1999. – A 272. – P. 230–237.
15. Chiaki Ouchi Microstructural characteristics and unique properties obtained by solution treating or aging in b-rich a+b titanium alloy / Chiaki Ouchi, Hideaki Fukai, Kohei Hasegawa // Materials Science and Engineering – 1999. – A 263. – P. 132–136.
16. Валиев Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М.: Академкнига, 2007. – 397 с.
17. Мулюков Р. Р. Внутреннее трение субмикрорекристаллического металла / Р. Р. Мулюков // МнТОМ. – 1999. – №5. – С. 14–17.
18. Устинов А. И. Диссипативные свойства наноструктурированных материалов / А. И. Устинов // Проблемы прочности. – 2008. – № 5. – С. 96–104.
19. Ustinov A. I. Damping capacity of nanotwinned copper / Ustinov A. I., Skorodzievskii V. S., Fesiun E. V. // Acta Mat. – 2008. – Vol. 56. - P. 3770–3776.
20. Писаренко Г. С. Методы определения характеристик демпфирования колебаний упругих систем / Г. С. Писаренко, В. В. Матвеев, А. П. Яковлев. – К.: Наук. думка, 1976. – 86 с.
21. Чечулин Б. Б. Титановые сплавы в машиностроении / Б. Б. Чечулин, С. С. Ушков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн. – Л.: Машиностроение, 1977. – 248 с.
22. О возможной роли дефектов кристаллического строения в механизмах нанофрагментации зеренной структуры при интенсивной холодной пластической деформации металлов и сплавов / [А. И. Лотков, А. А. Батурин, В. Н. Гришков и др. // Физическая мезомеханика. – 2007. – Т. 10. – № 3. – С. 67 – 79.

12. Zinkovskiy A. P., Tokar I. G. (2009). Vestnik dvigatelestroeniya. Vol. 2. pp 36-41. [in Russian].
13. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. (1971). Vibropogloshchayushchie svoystva konstrukcionnykh materialov. K. Naukova dumka. 376 p. [in Russian].
14. Guan X. S., Numakura H., Koiwa M., Hasegawa K., Ouchi C. (1999). Materials Science and Engineering. Vol. A272. pp. 230–237.
15. Chiaki Ouchi, Hideaki Fukai, Kohei Hasegawa. (1999). Materials Science and Engineering. Vol. A263. pp. 132-136.
16. Valiev R. Z., Aleksandrov I. V. (2007). Obemnye nanostrukturnye metallicheskie materialy: poluchenie, struktura i svoystva. M. Akademkniga. 397 p. [in Russian].
17. Mulyukov R. R. (1999). MiTOM. Vol. 5. pp. 14-17. [in Russian].
18. Ustinov A. I. (2008). Problemy prochnosti. Vol. 5. pp. 96-104. [in Russian].
19. Ustinov A. I., Skorodzievskii V. S., Fesiun E. V. (2008). Acta Mat. Vol. 56. pp. 3770-3776.
20. Pisarenko G. S. Matveev V. V., Yakovlev V. V. (1976). Metody opredeleniya harakteristik dempfirovaniya kolebaniy uprugih system. K. Nauk. dumka. 86 p. [in Russian].
21. Chechulin B. B., Ushkov S. S., Razuvaeva I. N., Gold-

fayn V. N. (1977). Titanovye splavy v mashinostroenii. L. Mashinostroenie. 248 p. [in Russian].
Lotkov A. I., Baturin A. A., Grishkov V. N. (2007). Fizi-

cheskaya mezomehanika. Vol. 10, Issue 3. pp. 67-79. [in Russian].