

Impact Factor ISRA (India) = 1.344
Impact Factor ISI (Dubai, UAE) = 0.829
based on International Citation Report (ICR)
Impact Factor GIF (Australia) = 0.356

Impact Factor JIF = 1.500
Impact Factor SIS (USA) = 0.912
Impact Factor PIHII (Russia) = 0.179
Impact Factor ESJI (KZ) = 1.042

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2015 Issue: 04 Volume: 24

Published: 30.04.2015 <http://T-Science.org>

Denis Alexandrovich Chemezov
Master of Engineering and Technology,
Corresponding member of International Academy TAS,
Lecturer of Vladimir Industrial College, Russia
chemezov-da@yandex.ru

Anzhelika Vladimirovna Bayakina
Lecturer of Vladimir Industrial College, Russia
bajakina.anzhelika@yandex.ru

SECTION 7. Mechanics and machine construction.

THE INTENSITY OF STRESS & STRAIN OF THE MODEL, WHICH IS MADE OF TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V, DURING EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING

Abstract: According to results of the explicit modeling of the dynamics of the process of angular pressing the model which is made of titanium alloy Ti-6Al-4V the analyze of the stress-strain state the base material of the intersection of foster & output channels of the matrix was held. The dependences of plastic strain of the model which created in the material stresses were received.

Key words: equal channel angular pressing, stress, strain, a model.

Language: Russian

Citation: Chemezov DA, Bayakina AV (2015) THE INTENSITY OF STRESS & STRAIN OF THE MODEL, WHICH IS MADE OF TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V, DURING EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING. ISJ Theoretical & Applied Science 04 (24): 74-79.

Soi: [http://s-o-i.org/1.1/TAS*04\(24\)13](http://s-o-i.org/1.1/TAS*04(24)13) **Doi:**  <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2015.04.24.13>

ИНТЕНСИВНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ОБРАЗЦА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ

Аннотация: По результатам моделирования явной динамики процесса углового прессования образца из титанового сплава Ti-6Al-4V проведен анализ напряженно-деформированного состояния продавливаемого материала в месте пересечения приемного и выходного каналов матрицы. Получены зависимости пластической деформации образца от создающихся в материале напряжений.

Ключевые слова: равноканальное угловое прессование, напряжение, деформация, образец.

Равноканальное угловое прессование (РКУП) – метод интенсивного пластического деформирования заготовок, обеспечивающий получение высокоплотных материалов с изменением микроструктуры: формы и размера зерна [1]. Процесс РКУП металлических сплавов характеризуется упругими и пластическими деформациями в материале прессуемого образца. Сущность РКУП заключается в продавливании образца из вертикально расположенного приемного канала матрицы в горизонтальный или расположенный под определенным углом выходной канал. Операцию прессования образца повторяют несколько раз. В классическом варианте углового прессования материалов, диаметры приемного и выходного каналов матрицы равны. На прессуемый образец действуют сжимающая (осевая) сила на координатной плоскости (направление движения пуансона), нормальная сила на нижнюю стенку

выходного канала и сила трения, возникающая от соприкосновения поверхности материала с поверхностью каналов [2].

Титановые сплавы обладают высокими свойствами: прочностью, жаропрочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью при малой плотности. Прессование титановых сплавов более трудоемкий процесс, по сравнению с прессованием других деформируемых металлических сплавов. Сложность прессования характеризуется низкой теплопроводностью, необходимостью высокотемпературного нагрева материала, при котором заготовка приобретает пластичность, способностью налипания сплава на матрицу и образования твердых поверхностных слоев при температурных нагрузках, вызывающих повышенный износ каналов матрицы при контакте [3]. В месте пересечения приемного и выходного каналов матрицы возникает сложное напряженно-



деформированное состояние материала прессуемого образца. Расчет и последующий анализ величин напряжений создающихся в продольном и поперечном сечениях материала прессуемого образца позволит дать качественную оценку механизма деформирования титанового сплава.

Решение экспериментальной задачи выполнялось путем моделирования процесса РКУП в многоцелевой компьютерной программе конечноэлементного анализа LS-DYNA. Постановка эксперимента включала в себя:

1. Построение трехмерных твердотельных моделей матрицы (два канала одинакового диаметра 25 мм и длины 120 мм с углом пересечения 90°) и сплошного прессуемого образца (наружный диаметр – 25 мм, длина – 50 мм) расположенного в приемном канале.

2. Задание свойств моделей. Матрица – жесткое тело, образец – твердое тело (титановый сплав Ti-6Al-4V), подвергающееся деформации, со следующими физико-механическими характеристиками: $E = 1.1 \times 10^5$ МПа; $\rho = 4540$ кг/м³; $\mu = 0.3$; $s_T = 280$ МПа [4].

3. Задание начальных и граничных условий: давление пуансона на образец – 50 МПа; коэффициент трения – 0.68 [5]; образец прессовался без предварительного нагрева, при температуре 22°C ; время моделирования процесса – 16 мс.

На рис. 1 представлены значения и границы их действия напряжения von Mises в продольном сечении материала прессуемого образца в месте пересечения приемного и выходного каналов матрицы (поверхности каналов матрицы на эпорах не показаны) на временном диапазоне (0 – 16 мс) процесса. В начальный момент приложения нагрузки образец подвергается упругой деформации (рис. 1, а). Напряжение в материале образца можно классифицировать на следующих участках матрицы: приемный канал – увеличение значений от места приложения нагрузки до места пересечения каналов; место пересечения приемного и выходного каналов (сечение изгиба) – максимальные значения; выходной канал – уменьшение значений (остаточные напряжения). По мере продавливания образца через каналы матрицы напряжения возрастают (рис. 1, б – ф). На 16 мс процесса РКУП напряжение образца на сгибе достигает 300 МПа и упругая деформация материала переходит в пластическую [6]. Отсюда следует, что упрочнение материала происходит не равномерно по всей длине образца.

На графиках (рис. 2) приведены зависимости эффективной пластической деформации образца

от результирующего перемещения, результирующей скорости деформации, давления, эффективного напряжения, максимального сдвигового напряжения [7], максимального главного девиаторного напряжения [8] и максимального главного напряжения в контрольных точках 1 – 3.

На эскизе (рис. 2, а), показано конечное расположение контрольных точек 1, 2 и 3, в которых осуществлялся отклик [9].

Участок прессуемого образца, связанный с точкой 3, находящийся ближе к нижней стенке выходного канала матрицы испытывает большие эффективные пластические деформации при наименьшем перемещении материала. Участок, связанный с точкой 2, находящийся на границе соприкосновения с пуансоном подвергается меньшей эффективной пластической деформации при наибольшем перемещении материала, чем участок, связанный с точкой 1, находящийся на границе внутреннего сопряжения приемного и выходного каналов (рис. 2, б).

Зависимости результирующей скорости деформации образца в контрольных точках 1 – 3 выражаются возрастающими и убывающими нелинейными функциями на всем временном диапазоне процесса РКУП (рис. 2, в). Участок, на котором расположена контрольная точка 3, по сравнению с другими рассматриваемыми участками, подвергается наибольшей пластической деформации, но при этом скорость деформации материала образца – наименьшая. Наибольшая скорость деформации наблюдается в конце временного процесса прессования на участке, связанном с точкой 1.

Характер деформации материала образца в контрольных точках 1, 2 и 3 от давления определяется по зависимостям, представленным на рис. 2, д. Снижение давления на участках зависимостей 1 (до отрицательных значений, на границе внутреннего сопряжения приемного и выходного каналов матрицы) и 3 – действие силы сопротивления. На участке, связанном с контрольной точкой 2, такие изменения незначительны.

Величины эффективного напряжения материала на исследуемых участках (точки 1 и 3) прессуемого образца примерно одинаковы и увеличиваются пропорционально увеличению эффективной пластической деформации. На участке, связанном с контрольной точкой 2, эффективное напряжение достигает значения 128 МПа и эффективной пластической деформации 0.22.

Impact Factor ISRA (India) = 1.344
 Impact Factor ISI (Dubai, UAE) = 0.829
 based on International Citation Report (ICR)
 Impact Factor GIF (Australia) = 0.356

Impact Factor JIF = 1.500
 Impact Factor SIS (USA) = 0.912
 Impact Factor PIHII (Russia) = 0.179
 Impact Factor ESJI (KZ) = 1.042

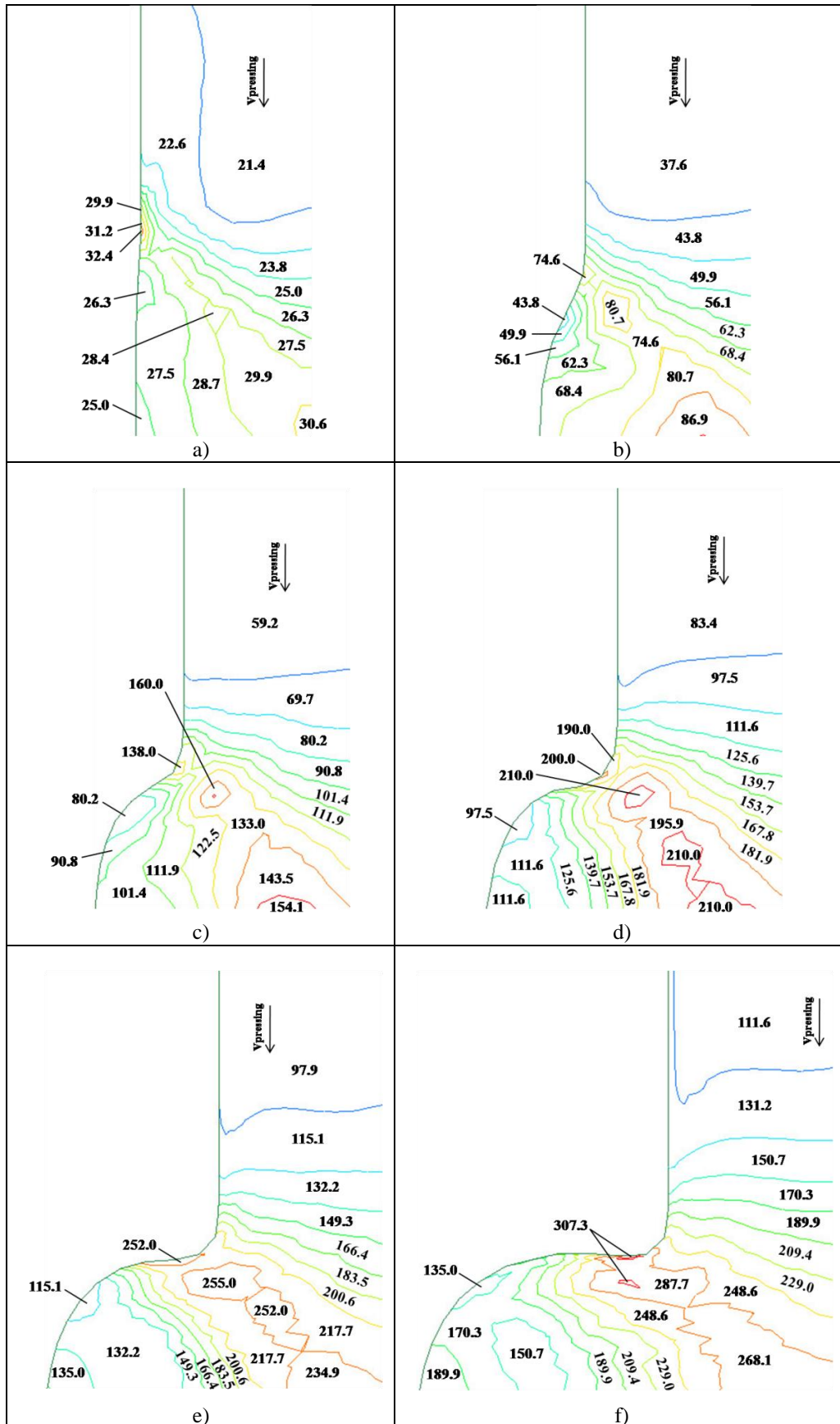


Рисунок 1 – Напряжение von Mises (МПа) в материале образца при угловом прессовании: а – 0.6 мс; б – 3 мс; в – 6 мс; г – 9 мс; д – 12 мс; е – 16 мс. $V_{pressing}$ (скорость прессования) = 0.015 м/с.

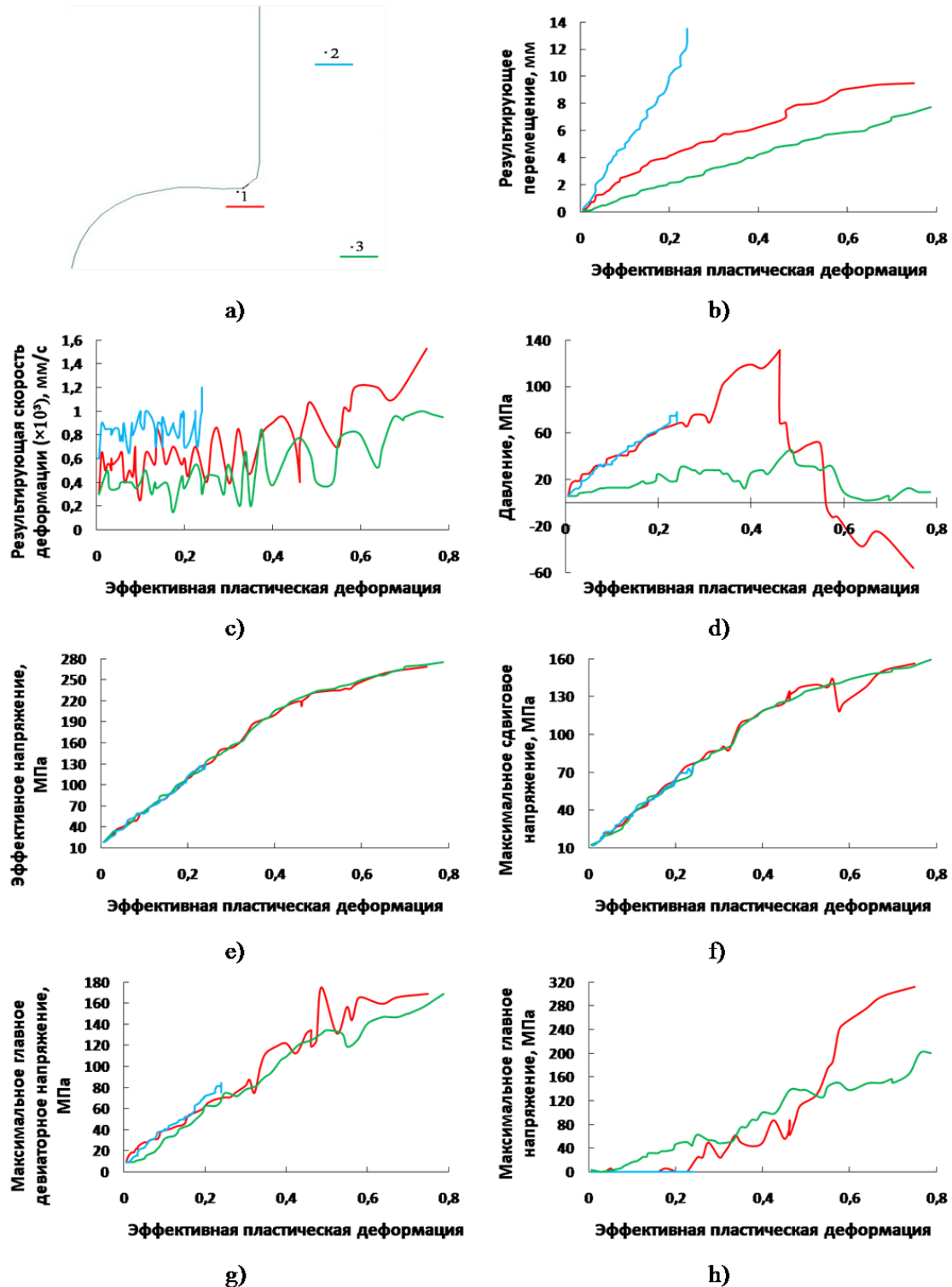


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние прессуемого титанового сплава Ti-6Al-4V на временном диапазоне процесса: а – конечное расположение контрольных точек по которым получены значения параметров; б – зависимости эффективной пластической деформации от результирующего перемещения образца; в – зависимости эффективной пластической деформации от результирующей скорости деформации образца; г – зависимости эффективной пластической деформации от давления; д – зависимости эффективной пластической деформации от эффективного напряжения образца; е – зависимости эффективной пластической деформации от максимального сдвигового напряжения образца; ф – зависимости эффективной пластической деформации от максимального сдвигового напряжения образца; г – зависимости эффективной пластической деформации от максимального главного девиаторного напряжения образца; h – зависимости эффективной пластической деформации от максимального главного напряжения образца.

Участки, связанные с точками 1 и 3, характеризуются плавным увеличением значений максимального сдвигового напряжения при постоянной нагрузке на образец. В результате перемещения контрольной точки 1 от исходного положения до внутреннего сопряжения приемного и выходного каналов, величина максимального сдвигового напряжения за короткий промежуток времени уменьшается на 30 МПа. Дальнейшее перемещение участка в выходной канал приводит к увеличению значений максимального сдвигового напряжения и эффективной пластической деформации материала.

Совокупность действия нормальных и касательных напряжений в контрольных точках нагруженных участков материала по трем осям и плоскостям (без учета средних напряжений) определяют величину механических напряжений и деформаций прессуемого образца (рис. 2, г). Наибольшее главное девиаторное напряжение отмечено в точке 1, при значении эффективной пластической деформации материала равном 0.5.

Максимальное главное напряжение на участке, связанном с контрольной точкой 2, составляет не более 5 МПа на всем временном диапазоне процесса РКУП. Переход участка (точка 1) из приемного в выходной канал матрицы (растяжение прессуемого материала) сопровождается увеличением максимального главного напряжения в 1.6 раз по сравнению с участком, связанным с точкой 3 (рис. 2, h).

Зависимости степени эффективной пластической деформации материала ε от результирующего перемещения \bar{s} , результирующей скорости деформации v (значения принимались в м/с), давления P ,

эффективного напряжения σ' образца и времени процесса прессования t в контрольных точках 1, 2 и 3 можно представить в виде двух систем уравнений (1) и (2):

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = 0.7523 \times \sigma' - 0.9479 \times P + 1.7015 \times t \\ \varepsilon_2 = 0.2506 \times \sigma' - 1.1866 \times P + 6.9305 \times t, (1) \\ \varepsilon_3 = 0.2545 \times \sigma' - 2.0921 \times P + 9.153 \times t \end{cases}$$
$$\begin{cases} \varepsilon_1 = 5.5422 \times \bar{s} - 0.538 \times v - 2.5367 \times t \\ \varepsilon_2 = 5.7316 \times \bar{s} - 0.1699 \times v - 4.4012 \times t, (2) \\ \varepsilon_3 = 7.321 \times \bar{s} + 0.32 \times v - 2.4755 \times t \end{cases}$$

где ε_1 , ε_2 и ε_3 – эффективная пластическая деформация образца в контрольных точках 1 – 3.

Системы уравнений применимы для частного случая исследуемого процесса РКУП.

В соответствии с результатами реализации компьютерного исследования процесса РКУП образца из титанового сплава Ti-6Al-4V, можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшее напряжение материала образца сосредоточено в сечении наружного и внутреннего сопряжений приемного и выходного каналов матрицы. После 15 мс прессования, напряжение в материале достигает σ_T , что приводит к необратимым пластическим деформациям образца.

2. Получены системы уравнений регрессий, характеризующие величину ε в контрольных точках, при изменении значений других рассмотренных параметров процесса РКУП со временем.

References:

- (2015) Ravnokanalnoe uglovoe pressovanie. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%E0%E2%ED%EE%EA%E0%ED%E0%EB%FC%ED%EE%E5%F3%E3%EB%EE%E2%E%E5%EF%F0%E5%F1%F1%EE%E2%E0%ED%E8%E5> (Accessed: 14.04.2015).
- Ovechkin LM (2011) Otsenka osnovnykh energosilovykh i deformatsionnykh parametrov pri ravnokanalnom uglovom pressovanii. – Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 4. pp. 48 – 52.
- (2015) Pressovanie legkikh splavov. Available: http://metallcheckiy-portal.ru/articles/obrabotka/shtampovka/pressovanie_legkix_splavov/16 (Accessed: 14.04.2015).
- (2015) Marochnik stali i splavov. Available: http://m-s-s.ru/mar/mat_start.php-name_id=1298.htm (Accessed: 14.04.2015).
- (2015) Titan I ego splavy. Available: http://studopedia.ru/3_31466_titan-i-ego-splavi.html (Accessed: 14.04.2015).
- (2015) Uprugaya i plasticheskaya deformatsiya, razrushenie. Available: http://krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/METALLOV_MEHANICHESKIE_SVOSTVA.html?page=0,0#part-1 (Accessed: 14.04.2015).
- (2015) Napryajenie sdviga. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%CD%E0%EF%F>

Impact Factor ISRA (India) = 1.344
Impact Factor ISI (Dubai, UAE) = 0.829
based on International Citation Report (ICR)
Impact Factor GIF (Australia) = 0.356

Impact Factor JIF = 1.500
Impact Factor SIS (USA) = 0.912
Impact Factor PIHII (Russia) = 0.179
Impact Factor ESJI (KZ) = 1.042

- [0%FF%E6%E5%ED%E8%E5 %F1%E4%E2%E8%E3%E0](#) (Accessed: 14.04.2015).
8. Gorshkov AG, Starovoytov EI, Tarlakovsky DV (2002) Teoriya uprugosti i plastichnosti: Ucheb. dlya vuzov. – Moscow: FIZMATLIT, pp. 29–32.
9. (2015) Obshie ponyatiya teorii planirovaniya experimenta. Available: http://opds.sut.ru/old/electronic_manuals/pe/f011.htm (Accessed: 14.04.2015).

