

УДК 621.438.002.2

Н. К. ЗЛОЧЕВСЬКА, А. В. ТІТОВ

**ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВУ 1420
В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗСУВУ**

В результаті великих пластичних деформацій зсуву розміри структурних елементів зменшується і досягають значень, характерних для нанокристалічних і субмікроструктурних матеріалів. Внаслідок цього метали здобувають якісно нові властивості. Зокрема, вони мають високу (на 20-40% більше) міцність в поєднанні з великою пластичністю. Керування формою гвинтового каналу може забезпечити рівномірність механічних властивостей матеріалу заготовки. В якості процесу формування властивостей матеріалу заготовок обраний процес рівноканального гвинтового уширяючого пресування, оснований на принципах гвинтової екструзії з використанням матриці, еліптичної форми перерізу. Для проведення експерименту була використана комп'ютеризована установка, яка монтується на гідравлічний прес. Встановлені закономірності формування структурних властивостей сплаву 1420 шляхом деформування в ізотермічних умовах. На основі експериментального формування методом гвинтового уширяючого пресування та металографічних дослідів встановлений взаємозв'язок між ступеню інтенсивності деформацій та морфологією структури матеріалу, а також його механічними властивостями. Обґрунтовано підвищення пластичності за рахунок подрібнення структурних компонентів матеріалу. Результати показують, що після деформування величини характеристики міцності підвищуються. Так, після першого проходу їх значення підвищуються по відношенню до вихідного металу на 15-18%, а після повторної обробки – на 19-24%.

Ключові слова: гвинтове уширяюче пресування, інтенсивна пластична деформація, структурні та механічні властивості, ізотермічне пресування.

В результате больших пластических деформаций сдвига размеры структурных элементов уменьшается и достигают значений, характерных для нанокристаллических и субмикроструктурных материалов. В результате металлы получают качественно новые свойства. В частности, они имеют высокую (на 20-40% больше) прочность в сочетании с большой пластичностью. Управление формой винтового канала может обеспечить равномерность механических свойств материала заготовки. В качестве процесса формирования свойств материала заготовок выбран процесс равноканального винтового уширяющего прессования, основанный на принципах винтовой экструзии с использованием матрицы, эллиптической формы сечения. Для проведения эксперимента была использована компьютеризированная установка, которая монтируется на гидравлический пресс. Установлены закономерности формирования структурных свойств путем деформирования сплава 1420 в изотермических условиях. На основе экспериментального формообразования методом винтового уширяющего прессования и металлографического исследования установлена взаимосвязь между степенью интенсивности деформаций и морфологией структуры материала, а также его механическими свойствами. Обосновано повышение пластичности за счет измельчения структурных компонентов материала. Результаты показывают, что после деформирования величины характеристик прочности повышаются. Так, после первого прохода их значения повышаются по отношению к исходному металлу на 15-18%, а после повторной обработки – на 19-24%.

Ключевые слова: винтовое уширяющее прессование, интенсивная пластическая деформация, структурные и механические свойства, изотермическое прессование.

As a result, large plastic deformations the shear size of the structural elements decreases and reaches values characteristic of nanocrystalline submicrocrystalline and structural materials. As a result, the metals obtained qualitatively new properties. In particular, they have a high (20-40% higher) strength combined with high ductility. screw channel form of management can ensure the uniformity of the mechanical properties of the workpiece material. As the process of formation properties of the material blanks selected process ravnokanalnogo broadening screw compression based on the principles of a screw extrusion using a matrix, an elliptical cross-sectional shape. computerized installation, which is mounted on a hydraulic press was used for the experiment. The regularities of formation of the structural properties were determined by deformation in isothermal conditions. The relationship between deformation intensity, structure of material and his mechanical properties was established on the base of experimental forming by the method of helical forging of workpieces, on the base of finite element modeling and metallographic investigation. It was grounded that the plasticity increases at the cost of the refinement of structure components of material. Results show that after deformation values increased strength characteristics. Thus, after the first pass, the values are increased with respect to the parent metal by 15-18%, and after re-treatment – by 19-24%.

Keywords: helical extending extru, severe plastic deformation, structural and mechanical properties, isothermal pressing.

Вступ. Перспективність підвищення механічних властивостей металів легуванням, як це показано в роботах академіка Фрідляндера І.Н., в останні роки знижується. Так, за останні 40-50 років питома міцність конструкційних алюмінієвих сплавів збільшилася в 1,5-2 рази, а за прогнозом на найближчі роки, може збільшитися тільки на 8-20% [1]. При цьому значення питомого модуля пружності практично не змінюється. Така тенденція зберігається і для інших сплавів. Тому в середині минулого століття активно почали розвиватися альтернативні напрями підвищення механічних властивостей металів і сплавів шляхом формування дрібнокристалічної структури пластичним деформуванням в умовах великих пластичних деформацій зсувом.

Серед методів обробки металів, що створюють великі деформації зсуву в осередку деформацій при

зберіганні поперечного перерізу заготовки, найбільш поширеними, є рівноканальне кутове пресування [2, 3] та гвинтова екструзія [4]. В результаті великих пластичних деформацій зсуву розміри структурних елементів зменшується і досягають значень, характерних для нано- і субмікроструктурних матеріалів. Внаслідок цього метали здобувають якісно нові властивості. Зокрема, вони мають високу (на 20-40% більше) міцність в поєднанні з великою пластичністю. Однак по ефективності впливу на структуру металу та продуктивності процесу більш перспективним є – метод гвинтової екструзії [5-8]. Керування формою гвинтового каналу може забезпечити рівномірність механічних властивостей матеріалу заготовки. В якості процесу формування властивостей матеріалу заготовок обраний процес рівноканального гвинтового уширяючого пресування (ГУП),

оснований на принципах гвинтової екструзії з використанням матриці, еліптичної форми перерізу запропонованої авторами [9].

Метою роботи є встановлення закономірностей формування властивостей сплаву 1420 в ізотермічних умовах при гвинтовому уширюючому пресуванні.

Матеріали та методика експерименту. Для проведення експерименту була використана комп'ютеризована установка, яка монтується на гідравлічний прес ПД 476.

Вихідні зразки механічно обробляли до розмірів: діаметр 29,5 мм і висота 50 мм. Матеріал випробовуваних зразків: алюмінієво-літєвий сплав – 1420. Перед деформуванням заготовки нагрівали в печі типу СНОЛ 7,2 / 1000 до відповідної температури деформування. Пресування заготовок виконувалось за методикою робіт [10, 11, 12].

Постановка та результати дослідження та їх аналіз. Діаграма навантаження заготовок при пресуванні показана на рис. 1.

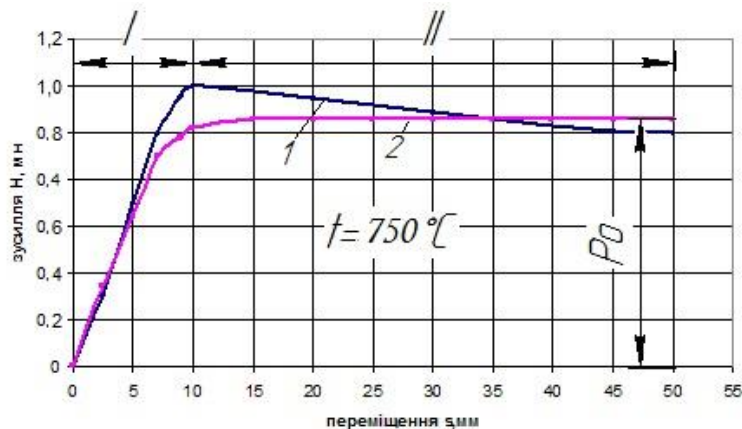


Рис. 1 – Типова діаграма залежності зусилля пресування від переміщення пуансону:
1 – експериментальна; 2 – теоретично-розрахункова

На рис. 1 наведено порівняння експериментальних (1) та теоретичних (2) залежностей зусилля-переміщення. Максимальна похибка теоретичного визначення зусилля чисельними методами не перевищує 12–14%. Для

інших сплавів похибка теоретичного визначення зусилля не

На рис. 2 показана залежності твердості по Віккерсу для заготовок поздовж радіальної координати для різної кількості проходів.

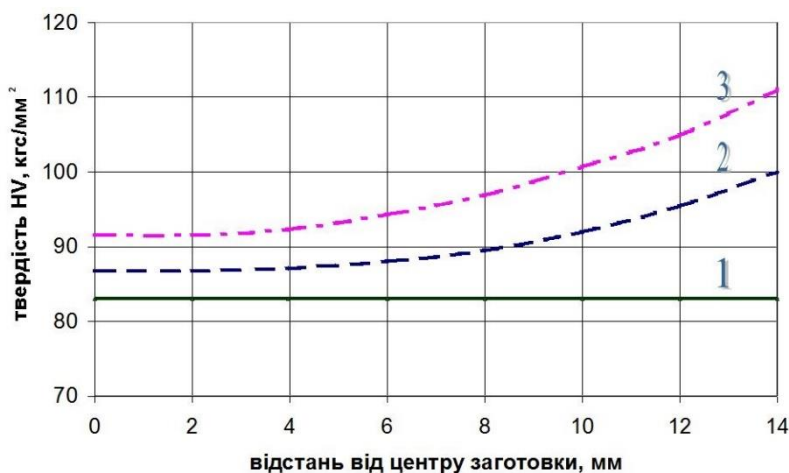


Рис. 2 Залежність твердості по Віккерсу заготовки поздовж радіальної координати:
1 – без обробки; 2 – після першого проходів; 3 – після другого проходів

Показано, що величина твердості підвищується при збільшенні ступеню накопиченої деформації (рис. 2), а максимальна твердість досягає в

периферійній зоні. Порівняння залежностей твердості та ступеню деформації, яка розрахована чисельними методами [12], залежно від радіальної

координати деформованої заготовки після першого проходу показує, що величина твердості пропорційна величині деформації і може бути використана для оцінки деформації. Це не суперечить методу заміру деформації по заміру твердості матеріалів, основи якого розроблено Г.Д. Делем, Г.О. Смірновим-Аляєвим та іншими. Залежності показують, що при гвинтовому уширяючому пресуванні на першому проході основні деформації розвиваються у периферійній зоні зразка. На наступних проходах процесу пресування зона деформації зсуву центр

збільшується по величині і має тенденцію розповсюджуватись на всю товщину заготовки при умові багатократного проходження заготовкою гвинтового каналу при пресуванні (див. рис. 2).

На рис. 3 наведено порівняння мікроструктури зразка в центральній та крайовій зонах в залежності від накопиченої деформації після декількох проходів. Показано, що вже після третього переходу в центральній зоні величина накопиченої деформації приблизно дорівнює величині деформації після першого проходу у крайовій зоні.



Рис. 3 – Вплив деформації на структуру матеріалу заготовки після ГУП для: 1 – одного, 2 – двох,, 3 – трьох проходів

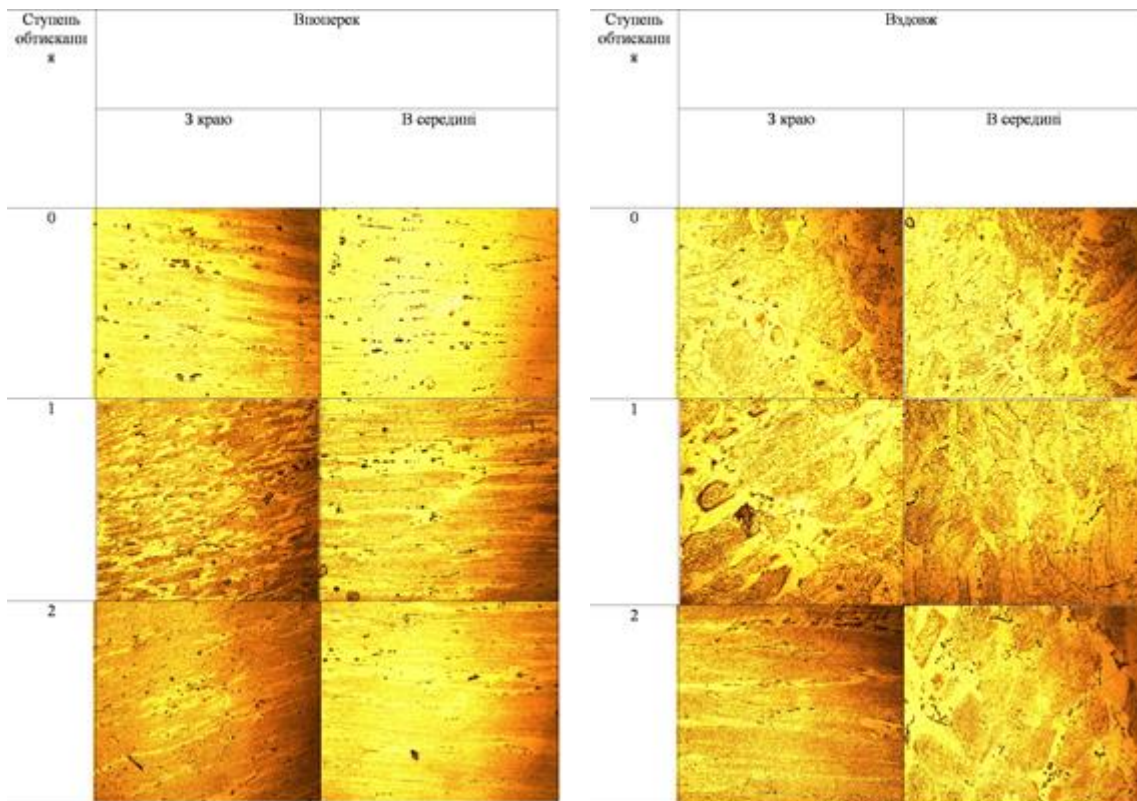


Рис. 4 – Вплив пластичних деформацій обробки зразків із сплаву 1420 на структуру металу: 0, 1, 2 – кількість циклів обробки відповідно

В результаті деформаційної обробки відбувається подрібнення зерен, структурних складових і очищення границь, а ступінь подрібнення кристалічної структури для всіх досліджених матеріалів зростає від центру до бічної поверхні зразка пропорційно до ступеню накопиченої деформації (рис.4). Деформовані зерна орієнтуються в напрямку течії металу.

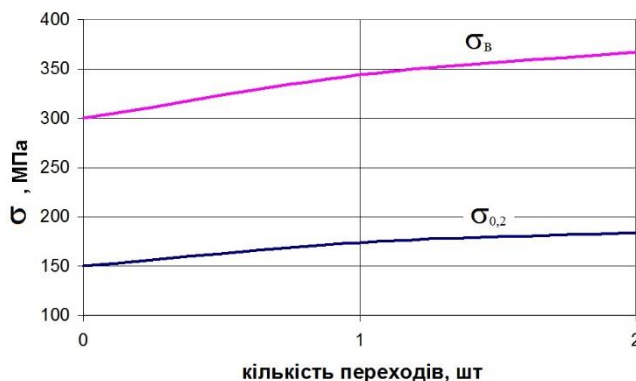


Рис. 5 – Залежність границі текучості $\sigma_{0,2}$ та границі міцності σ_B від кількості проходів при ізотермічному гвинтовому пресуванні зразків зі сплаву 1420

Результати показують, що після деформування величини характеристики міцності підвищуються. Так після першого проходу їх значення підвищуються по відношенню до вихідного металу на 15-18%, а після повторної обробки на 19–24%. При цьому відносно подовження зразків при досліді на одновісне розтягування у відповідності до ДСТУ EN 10002-1:2000, практично не змінюється.

Висновки. Показано, що в результаті деформаційної обробки відбувається подрібнення зерен, а ступінь подрібнення кристалічної структури зростає від центру до периферії пропорційно величині накопиченої деформації. Здеформовані зерна орієнтуються (втягуються) в напрямку течії металу. Після ізотермічного ГУП величина границі міцності підвищується відповідно 19–24%. При цьому відносно подовження зразків при одноосному розтягуванні, практично не змінюється.

Список літератури:

1. Фридляндер І.Н. Свойства композиционных материалов и эффективность их применения: В сб. «Композиционные материалы». М. : Наука. 1981. С. 5–11.
2. Schuh C.A. The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni/ С.А. Schuh, T.G. Nieh, H. Iwasaki // Acta Materialia. — 2003. – v.51. – P.431–443.
3. Боткін А.В. Деформационные и силовые параметры процесса равноканального углового прессования длинномерной заготовки по схеме «Conform»/А.В. Боткін, Р.З. Валієв, А.Н. Абрамов, А.Г. Рааб // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением – 2009. № 11, С. 8–14
4. Бейгельзімер Я.Е. Винтовое прессование: технологические аспекты/ Я.Е. Бейгельзімер, Д.В. Орлов, С.Г. Синков, А.В.Рейстов. // Физика и техника высоких давлений.-2002.- Том №12, №4, с. 40-46.
5. Бейгельзімер Я. С. Уширяющая экструзия как метод устранения неравномерности свойств по сечению заготовки./

Металлографічний аналіз дозволяє також заключити, що у повздовжньому напрямку мікроструктура сплавів практично не залежить від ступеня деформації і є однаковою в усіх областях.

Механічні властивості були визначені на зразках при досліді на стиск відповідно з ДСТУ EN 10002-1:2006.

- Я.Е.Бейгельзімер, А.В.Рейстов, С.Г. Синков // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії, 2005, №2. – С. 57–61.
6. Матросов Н.І. Влияние равноканального многоугольного прессования на структуру, фазовый состав и свойства сплава Nb-Ti / Н.І.Матросов, В.В.Чішко, В.Ю.Дмитренко, С.А.Павловская, Л.Ф. Сеннікова, В.З.Спусканюк, В.В. Чабаненко, С.В. Васильєв, Е.А. Медведская, Б.А.Шевченко // Физика и техника высоких давлений 2005, том 15, №1. – С.95–53.
 7. Коршунов А.І. Исследование влияния количества циклов равноканального углового прессования на скоростную чувствительность титана ВТ1-0/ А.І. Коршунов, І.І. Ведерников, Л.В. Поляков, А.А. Смоляков, Т.Н. Кравченко, І.В. Коротченкова // Физика и техника высоких давлений 2006, том. 16, №4. – С. 68–71.
 8. Мурашкін М.Ю. Особенности структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах /М.Ю. Мурашкін, С.В. Бобрук, А.Р. Кільмаметов, Р.З. Валієв // Физика металлов и металловедение, 2008, том 108, №4 – С. 439–447.
 9. Варюхін В.Н. Влияние винтовой гидроэкструзии и прокатки на изменение субмикроструктуры меди /В.Н. Варюхін, Е.Г. Пашиная, С.В. Добаткін, С.Г. Синков, В.М. Ткаченко, А.В. Рейстов // Физика и техника высоких давлений 2002, том 12, №4, С. 53–59.
 10. Патент України № 64346 Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні /В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська, Е.В. Кондратюк, Г.І. Пейчев., опубл. 10.11.2011. Бюл.21.
 11. Злочевська Н.К. Закономірності формування структурних та механічних властивостей сплава системи Zr- Nb в умовах інтенсивних пластичних деформацій // Вісник НТУ «ХП». – 2013. № 43 (1016) – С. 114–120.
 12. Добровлянський С.М. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах / С.М. Добровлянський, П.С. Вишневський, С.Ф. Калантир, Н.К. Злочевська // Вісник НТУУ «КП». Серія «Машинобудування». – 2009. № 56. С. 189–192.

Bibliography (transliterated)

1. Fridlyander I.H. *Svoystva kompozitsionnykh materialov i effektivnost ih primeneniya*: V sb. «Kompozitsionnyye materialy» [The properties of composite materials and the efficiency of their application]. Moscow : Nauka. 1981. С. 5–11.
2. Schuh C.A. *The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni* / C.A. Schuh, T.G. Nieh, H. Iwasaki // *Acta Materialia*. — 2003. — v.51. — P. 431–443.
3. Botkin A.V. *Deformatsionnye i silovye parametry protsessa ravnokanalnogo uglovogo pressovaniya dlinnomernoy zagotovki po sheme «Conform»* [Deformation and strength parameters of the process of equal channel angular pressing lengthy harvesting scheme «Conform»] // *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* – 2009. No 11, P. 8–14.
4. Beygelzimer Ya.E. *Vintovoe pressovanie: tehnologicheskie aspekty* [Screw compression: Technological Aspects] // *Fizika i tehnika vyisokih davleniy*.- 2002.- Vol No12, No 4, P. 40–46.
5. Beygelzimer Ya. E. *Ushiryayuschaya ekstruziya kak metod ustraneniya neravnomernosti svoystv po secheniyu zagotovki* // *VISNIK Donbaskoyi derzhavnoyi mashinobudivnoyi akademiyi*, 2005, No 2, P.57–61.
6. Matrosov N.I. *Vliyanie ravnokanalnogo mnogouglovo pressovaniya na strukturu, fazoviyi sostav i svoystva splava Nb-Ti* // *Fizika i tehnika vyisokih davleniy* 2005, vol 15, No1. P. 95–53.
7. Korshunov A.I. *Issledovanie vliyaniya kolichestva tsiklov ravnokanalnogo uglovogo pressovaniya na skorostnyu chuvstvitelnost titana VT1-0* // *Fizika i tehnika vyisokih davleniy* 2006, vol. 16, No4. P. 68-71.
8. Murashkin M.Yu. *Osobnosti struktury i mehanicheskie svoystva alyuminievogo splava 6061, podvergnutogo obrabotke ravnokanalnyim uglovym pressovaniem v parallelnykh kanalah* // *Fizika metallov i metallovedenie*, 2008, vol 108, No4. P. 439–447.
9. Varyuhin V.N. *Vliyanie vintovoy gidroekstruzii i prokatki na izmenenie submikrostruktury medi* // *Fizika i tehnika vyisokih davleniy* 2002, vol 12, No4, P. 53–59.
10. Patent UkraYini No 64346 *Matritsya dlya zmltsnennaya materlalu pri bagatorazovomu presuvanni* / V.A. Titov, M.S. Trivaylo, N.K. Zlochevska, E.V. Kondratyuk, G.I. Peychev., opubl. 10.11.2011. Byul.21.
11. Zlochevska N.K. *Zakonomirnost formuvannya strukturnih ta mehanichnih vlastivostey splava sistemi Zr- Nb v umovah Intensivnih plastichnih deformatsiy* // *Visnik NTU «KhPI»*. – 2013. No 43 (1016). P. 114-120.
12. Dobrovlyanskiy S.M. *Ustanovka dlya doslidzhennya presuvannya v Izotermichnih umovah* // *Visnik NTUU «KPI»*. Seriya «Mashinobuduvannya». – 2009. No 56. P. 189-192.

Надійшла (received) 16.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Формування механічних і структурних властивостей сплаву 1420 в умовах великих пластичних деформацій зсуву / Н. К. Злочевска, А. В. Тітов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 38(1210). – С. 19–23. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2519-2671

Формирование механических и структурных свойств сплава 1420 в условиях больших пластических деформаций сдвига / Н. К. Злочевская, А. В. Титов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 38(1210). – С. 19–23. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2519-2671

Formation mechanical and structural properties of alloy 1420 in large plastic deformations shift / N. K. Zlochevska, A.V. Titov // *Bulletin of NTU «KhPI»*. Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 38 (1210). – P. 19–23. – Bibliogr.: 12 – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Злочевська Наталія Костянтинівна – кандидат технічних наук, асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, асистент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел. (099) 264 72 28; e-mail: zlochevska.natali@gmail.com.

Злочевская Наталья Константиновна – кандидат технических наук, ассистент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» им. Игоря Сикорского, ассистент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел. (099) 264 72 28; e-mail: zlochevska.natali@gmail.com.

Zlochevska Nataliya Kostyantynivna – Assistant, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" name Igor Sikorsky, assistant of the Department of mechanics of plasticity of materials and resource-saving processes; tel. (099) 264 72 28; e-mail: zlochevska.natali@gmail.com.

Тітов Андрій Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри прикладної механіки, тел. (044) 204-94-02, e-mail: avt.kpi@gmail.com

Титов Андрей Вячеславович – кандидат технических наук, ассистент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» им. Игоря Сикорского, доцент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел. (044) 204-94-02, e-mail: avt.kpi@gmail.com

Titov Andrey Vyacheslavovich – candidate of technical sciences, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute" them. Igor Sikorsky, Associate Professor of the Department of Mechanics of plasticity of materials and resource saving processes; tel. (044) 204-94-02, e-mail: avt.kpi@gmail.com