

УДК 621.983

С.Ф. САБОЛ, В.М. ГОРНОСТАЙ, К.О. ВЛАСЕНКО

ОБТИСК ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ТРУБЧАТИХ ВИРОБІВ  
З ГОРЛОВИНОЮ В ПРОФІЛЬОВАНИХ МАТРИЦЯХ

Методом скінченних елементів в програмному середовищі «DEFORM» проведено дослідження процесу обтиску трубчатих виробів з горловиною. Використання такого способу направлено на підвищення коефіцієнту обтиску  $K_{об}$  та зниження впливу тертя на формоутворення виробів при холодному обтиску. Такий спосіб не потребує нагрівального обладнання та складних конструкцій штампу. В результаті проведення чисельних експериментів визначено оптимальну форму профіля матриці для обтиску, яка складається з послідовно розташованих

торових поверхонь. Центри торових поверхонь розміщені вздовж радіусу:  $R_1 = R_{сф} - \frac{d_k}{2}$ , при чому діаметри  $-d_k$  розташовані під кутом з

однаковим кроком -  $t$ . Проводився порівняльний аналіз енерго- силових параметрів обтиску трубчастих заготовок в традиційній та профільованій матрицях для обтиску з різних матеріалів при різних коефіцієнтах тертя. Встановлено характер розподілу інтенсивності

напружень  $\sigma_r$ , осьових напружень  $\sigma_z$ , інтенсивності деформації  $\epsilon_i$ , а також ступеню використання ресурсу пластичності  $\Psi$  по об'єму циліндричної деталі, що піддається обтиску в традиційній матриці та матриці спеціального профілю, при різних коефіцієнтах тертя та різних товщинах стінок для різних матеріалів.

**Ключові слова:** обтиснення, трубчасті заготовки, коефіцієнт обтиску, традиційна матриця, матриця спеціального профілю, метод скінченних елементів, зусилля обтиснення, напружено - деформований стан, ступінь використання ресурсу пластичності.

Методом конечных элементов в программной среде «DEFORM» проведено исследование процесса обжима трубчатых изделий с горловиной. Использование такого способа направлено на повышение коэффициента обжима  $K_{об}$  и снижения влияния трения на формообразования изделий при холодном обжиме. Такой способ не требует нагревательного оборудования и сложных конструкций штампа. В результате проведения численных экспериментов, определено оптимальную форму профиля матрицы для обжима, которая состоит из последовательно расположенных торговых поверхностей. Центры торговых поверхностей размещены вдоль радиуса, причем диаметры  $-d_k$  расположены под углом с одинаковым шагом -  $t$ . Проводился сравнительный анализ энерго- силовых параметров обжима трубчатых заготовок в традиционной и профилированной матрицах для обжима из различных материалов при различных коэффициентах трения. Установлен

характер распределения интенсивности напряжений  $\sigma_r$ , осевых напряжений  $\sigma_z$ , интенсивности деформации  $\epsilon_i$ , а также степени использования ресурса пластичности по объему цилиндрической детали  $\Psi$ , подвергающейся обжиму в традиционной матрице и матрице специального профиля, при различных коэффициентах трения и различных толщинах стенок для различных материалов.

**Ключевые слова:** обжатия, трубчатые заготовки, коэффициент обжима, традиционная матрица, матрица специального профиля, метод конечных элементов усиления обжатия, напряженно - деформированное состояние, степень использования ресурса пластичности.

Study of the process of bending tubular products with a neck is provided by the method of finite elements in the software environment "DEFORM". The use of this method is aimed to increase the coefficient of compression  $K_{об}$  and to reduce the effect of friction on the shaping of products under cold pressure. This method does not require heating equipment and complicated stamp constructions. As a result of numerous experiments, the optimal shape of the matrix profile for compression was determined. It consists of successively located tor surfaces. The centers of the tor surfaces are located along

the radius:  $R_1 = R_{сф} - \frac{d_k}{2}$ , at which the diameters  $-d_k$  are located at an angle with the same step -  $t$ . A comparative analysis of power-strength parameters of bending of tubular billets in the traditional and profiled matrices for compression of different materials at various friction coefficients was carried

out. There were identified nature of distribution of stresses intensity  $\sigma_r$ , axial stresses  $\sigma_z$ , intensity of deformation  $\epsilon_i$ , as well as level of use of the plasticity resource  $\Psi$  through the volume of cylindrical detail, which is squeezed in the traditional matrix and special matrix profile, under different coefficients of friction and different wall thicknesses for different materials

**Keywords:** compression, tubular blanks, crimping factor, traditional matrix, special profile matrix, finite element method of compression force, stress - strain state, degree of plastic resource utilization.

**Вступ** Отримання трубчастих виробів з горловиною за допомогою операції обтиску широко розповсюджено для виготовлення деталей балонів, гільз, перехідників для трубопроводів та трубопровідної арматури та ін.

Постійною задачею при обробці металів тиском є збільшення ступенів деформації, яка досягається за один перехід при мінімальних енерговитратах.

Однак, не завжди можливо застосування однієї операції обтиску, для отримання потрібної деталі, через те, що можливості формозміни при обтиску циліндричних заготовок обмежені втратою стійкості, яка виражається в утворенні повздовжніх та поперечних складок. Це призводить до того, що собівартість отриманих виробів збільшується.

Методи підвищення ефективності обтиску дозволяють значно підвищити ступінь деформації, але використання цих методів обмежене розмірами заготовки та параметрами процесу.

**Мета роботи:** підвищення ефективності процесу обтиску трубчастих заготовок з горловиною шляхом зниження сил тертя на контактуючих поверхнях, отримання більших коефіцієнтів обтиску за один технологічний перехід, в порівнянні з традиційними методами обтиску.

Дану задачу можна вирішити шляхом зменшення площі контакту між матрицею і заготовкою, змінюючи та оптимізуючи традиційну сферичну поверхню матриці профільною, форма

поверхні якої складається із послідовно розташованих під кутом торових поверхонь.

Досліджується спосіб обтиску циліндричних трубчастих заготовок з горловиною в профільованих матрицях. Такий спосіб не потребує нагрівального обладнання та складних конструкцій штампу.

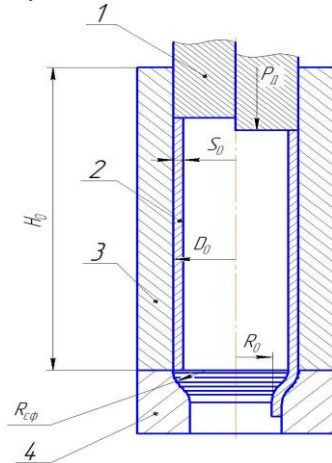


Рис.1 – Схема обтиску трубчастої заготовки в профільованій матриці (1-пуансон, 2 - заготовка, 3 - оправка, 4 - матриця )

Задачами дослідження є визначення, за допомогою МСЕ, впливу таких параметрів як: діаметр торової поверхні матриці спеціального профілю; крок розташування торових поверхонь -  $t$ ; коефіцієнт тертя заготовки, на закономірності формозміни металу при холодному обтиску заготовки;

Поверхня матриці спеціального профілю складається з послідовно розташованих торових поверхонь. Центри торових поверхонь розміщені вздовж радіуса  $R_1$ , при чому діаметри  $d_k$  розташовані під кутом з однаковим кроком -  $t$ . На рис. 2. показана із профільована поверхня матриці. Проводився порівняльний аналіз обтиску трубчастих заготовок  $p$  в традиційній та профільованій матрицях.

Моделювання проводили для трубчастих заготовок із такими розмірами: діаметр -  $D_0 = 38$  мм, товщина стінки -  $S_0 = 2$  мм, висота заготовки -  $H_0 = 100$  мм.

Таблиця 1 - Значення зусиль процесу обтиску в залежності від геометричних параметрів матриці спеціального профілю для заготовок із товщиною стінки  $S_0 = 2$  мм із найбільш вживаних матеріалів, при коефіцієнту тертя  $\mu = 0,08$

Параметри	Застосований матеріал		
	Сталь 10	Д16	03X16H15M3
Обтиск у традиційній матриці	259,32 кН	152,16 кН	323,66 кН
$d_k = 4$ мм, $t = 3$ мм	294,82 кН	168,92 кН	368,77 кН
$d_k = 5$ мм, $t = 4$ мм	328,68 кН	189,11 кН	343,69 кН
$d_k = 10$ мм, $t = 4$ мм	254,27 кН	164,03 кН	319,91 кН
$d_k = 4$ мм, $t = 1$ мм	267,58 кН	148,26 кН	326,86 кН

Виходячи з отриманих результатів, найбільш оптимальними розмірами діаметрів кіл та їх крок, які забезпечують мінімальні силові параметри процесу  $\epsilon = 10$  мм і  $t = 4$  мм .

Використання такого способу направлене на підвищення коефіцієнту обтиску  $K_{об}$  та зниження впливу тертя на формоутворення виробів при холодному обтиску.

Схема обтиску трубчастої заготовки в профільованій матриці приведена на рис. 1.

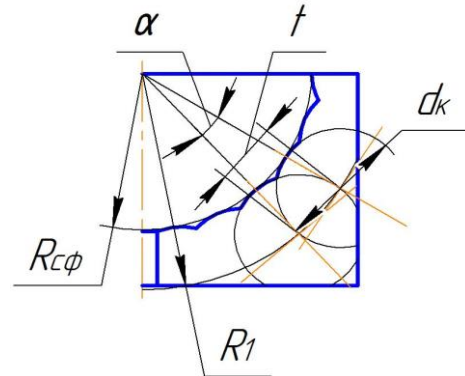


Рис. 2 – Вигляд поверхні профільованої матриці

Фізико-механічні параметри матеріалів, що деформуються: сталь 10,  $\sigma_T = 200$  МПа; сплав алюмінію – Д16,  $\sigma_T = 255$  МПа; нержавіюча сталь  $\sigma_T = 03X16H15M3$ ,  $\sigma_T = 420$  МПа.

Швидкість деформуючому інструменту задавали постійною, - вона становила 2 мм/с.

Вплив параметрів на процес обтиску досліджували шляхом введення змінних параметрів, таких, як: коефіцієнт тертя на контактуючих поверхнях задавали  $\mu = 0,08$ ,  $\mu = 0,12$  та зміною товщин стінок:  $S_0 = 2$  мм.

В результаті проведення чисельних експериментів були отримані наступні значення зусилля процесу в залежності від геометричних параметрів матриці спеціального профілю, які зведено в таблицю 1

На рис. 3–5 показано розрахункові залежності зусиль обтиску в традиційній матриці та матриці спеціального профілю для заготовок зі сталі 10, сплаву алюмінію – Д16, нержавіючої сталі –

03X16H15M3, від переміщення пуансону.  
Дослідження проведені для товщини стінки  $S_0=2\text{мм}$ .  
Коефіцієнт тертя  $\mu=0,08$

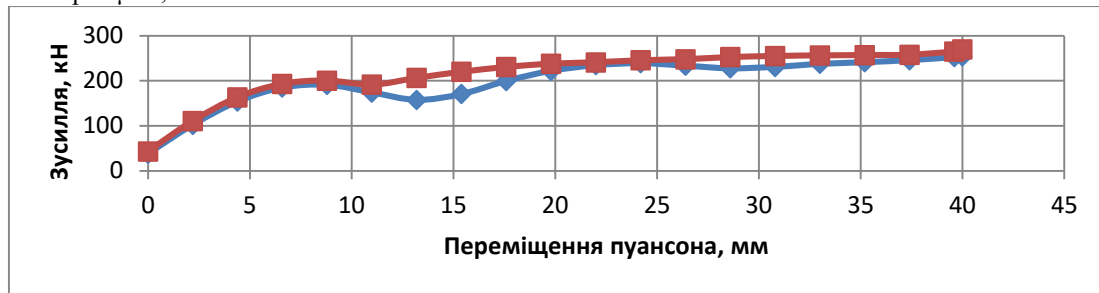


Рис. 3 – Залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону для трубочастої заготовки зі сталі 10 із товщиною стінки  $S_0 = 2,0$  мм. Синя лінія - матриця спеціального профілю, червона лінія – традиційна матриця.

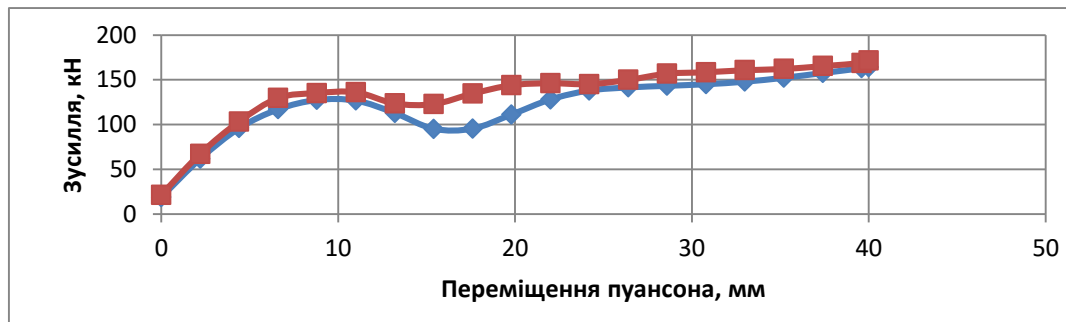


Рис. 4 – Залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону для трубочастої заготовки зі сплаву алюмінію Д16 із товщиною стінки  $S_0 = 2,0$  мм. Синя лінія - матриця спеціального профілю, червона лінія – традиційна матриця

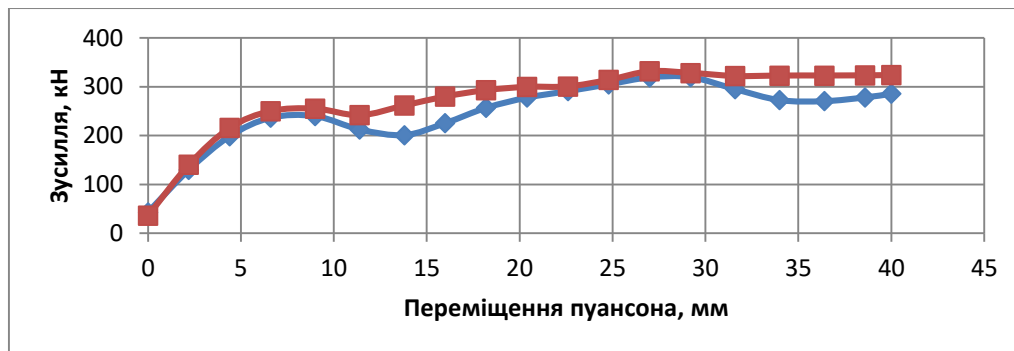


Рис. 5 – Залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону для трубочастої заготовки із нержавіючої сталі 03X16H15M3 із товщиною стінки  $S_0 = 2,0$  мм. Синя лінія - матриця спеціального профілю, червона лінія – традиційна матриця.

В результаті проведення чисельних експериментів було встановлено характер розподілу інтенсивності напружень  $\sigma_i$ , осьових напружень  $\sigma_z$ , інтенсивності деформації  $\epsilon_i$ , а також ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  по об'єму

циліндричної деталі, що піддається обтиску в традиційній матриці та матриці спеціального профілю, при різних коефіцієнтах тертя та різних товщинах стінок для різних матеріалів. Характери розподілу вказаних величин для сталі 10 при коефіцієнті тертя 0,08 приведено на рис.6–9.

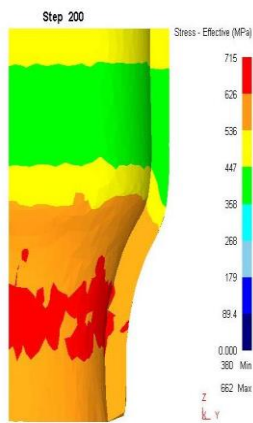


Рис.6 – Розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$

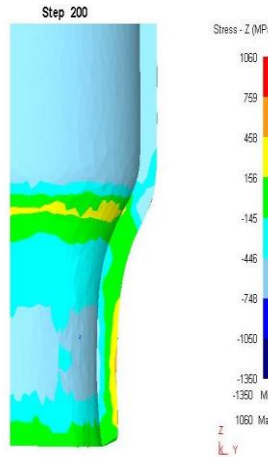


Рис.7 – Розподіл осевих напружень  $\sigma_z$

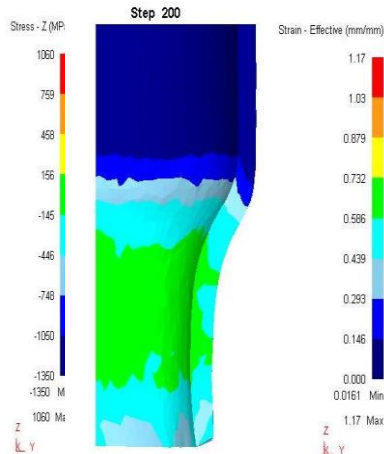


Рис. 8 – Розподіл інтенсивності деформації  $\epsilon_i$

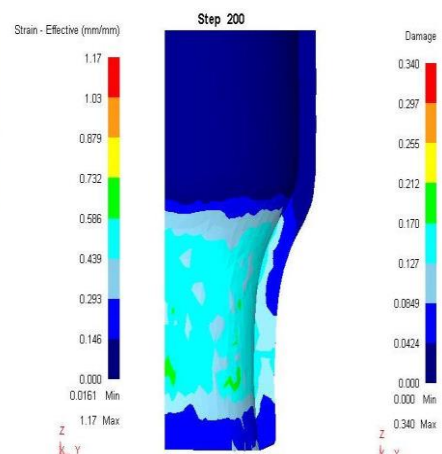


Рис.9 – Розподіл ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi_i$

### Висновки:

1. Методом скінченних елементів, за допомогою програмного середовища «DEFORM», встановлено оптимальні геометричні параметри матриці спеціального профілю для обтиснення трубчастих заготовок з горловиною із найбільш поширених матеріалів при різних значеннях коефіцієнту тертя. Для вказаного процесу, який характеризується постійним радіусом скруглення матриці, товщиною матеріалу, найбільш ефективним з точки зору зниження зусилля обтиску є матриця спеціального профілю з параметрами:  $dk = 10\text{мм}$ ,  $t = 4\text{мм}$ .

2. Здійснено порівняльний аналіз впливу геометричних параметрів матриці спеціального

профілю з традиційною матрицею на енерго - силові параметри процесу:  $\sigma_i$ ,  $\sigma_z$ ,  $\epsilon_i$ . Виявлено, що вказані величини, для процесу обтиснення в матрицях спеціального профілю, менші ніж при традиційному обтисненні в середньому 7-13%.

3. Виявлено причини зниження зусилля обтиснення, які зумовлені зменшенням площі контакту матеріалу інструменту та матеріалу деталі.

В результаті проведення чисельних експериментів виявлено, що допустимий коефіцієнт обтиснення для сталі 10 - Коб. = 2,02; для Д16 - Коб. = 2,37; для 03X16H15M3 - Коб. = 1,96.

### Список літератури

1. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка / Ю. А. Аверкиев. Издательство Ростовского университета, 1984. - 288 с.
2. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев., А. Ю. Аверкиев. - М: Машиностроение, 1989. - 304 с.
4. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1985-1987. - 544 с.
5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский. - Ленингр. отд-ние: Машиностроение. 1979. - 520 с.
6. Непершин Р.И. Идеальные процессы обжима и раздачи толстостенных трубных заготовок / Р.И.Непершин //Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. - 2010. - №6. - С.23-29.
7. Кривошеин В.А. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных при исследовании процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками / А.В. Кривошеин // Известия вузов. Машиностроение. - 2011. - № 3. - С. 49-53

### References (transliterated)

1. Averkyyev Yu. A. Kholodnaya shtampovka / Yu. A. Averkyyev. Yzdatel'stvo Rostovskoho unyversyteta, 1984. - 288 p.
2. Averkyyev Yu. A. Tekhnolohyya kholodnoy shtampovky / Yu. A. Averkyyev., A. Yu. Averkyyev. - Moscow: Mashynostroenyey, 1989. - 304 p.
3. Kovka y shtampovka: Spravochnyk: V 4 t. T. 4. Lystovaya shtampovka / Pod red.. A.D. Matveeva; Red. sovet: E.Y. Semenov (pred.) y dr. - Moscow.: Mashynostroenyey, 1985-1987. - 544 p.
4. Romanovskyy V. P. Spravochnyk po kholodnoy shtampovke. 6-e yzd., pererab. y dop. / V. P. Romanovskyy. - Lenynhr. otd-nyey: Mashynostroenyey. 1979. - 520 p.
5. Nepershyn R.Y. Ydeal'nyye protsessy obzhyma y razdachy tolstostennykh trubnykh zahotovok / R.Y.Nepershyn //Kuznechno-shtampovochnoye proyzvodstvo. Obrabotka metallov davlenyem. - 2010. - No 6. - P.23-29.
6. Kryvosheyn V.A. Sravnytel'nyy analiz teoretycheskykh y eksperymental'nykh dannykh pry yssledovanyu protsessa obzhyma v matrytse s kol'tsevymy kanavkamy / A.V. Kryvosheyn // Yzvestyya vuzov. Mashynostroenyey. - 2011. - No 3. - P. 49-53

Надійшла (received) 10.11.2017

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Обтиск вісесиметричних трубчатих заготовок з горловиною в профільованих матрицях / С.Ф. Сабол, В.М. Горностай, К.О. Власенко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №36(1258). – С. 72–76 – Библиогр.: 6 назв.– ISSN 2519-2671

**Обжим осесимметричных трубчатых заготовок с горловиной в профилированных матрицах / С.Ф. Сабол, В.Н. Горностай, К.А. Власенко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №36(1258). – С. 72–76 – Библиогр.: 6 назв.– ISSN 2519-2671

**Burning of axially-shaped tubular billets with a neck in profiled matrices / S. F. Sabol, V.M. Gornostaj, K. A. Vlasenko** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No 36(1258). – P. 72–76. – Bibl.: 6. – ISSN 2519-2671

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Сабол Сергій Францович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (050) 719-30-26; e-mail: sabol1@ukr.net.

**Сабол Сергей Францевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел. : (050) 719-30-26; e-mail: sabol1@ukr.net.

**Sabol Sergey Frantsovych** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute. Igor Sikorsky", associate professor of the Department of Plasticity Mechanics of Materials and Resource-Saving Processes; tel. : (050) 719-30-26; e-mail: sabol1@ukr.net

**Горностай Вадим Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; т. 050-53-58-653

**Горностай Вадим Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов т. 050-53-58-653

**Gornostaj Vadim Mikolajovich** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute. Igor Sikorsky", associate professor of the Department of Plasticity Mechanics of Materials and Resource-Saving Processes; tel 050-53-58-653

**Власенко Костянтин Олександрович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», студент

**Власенко Константин Александрович**, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», студент

**Vlasenko Konstantin Alexandrovich**, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky, student