

## ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ІЗ АУСТЕНИТНИХ СТАЛЕЙ

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Аксом П.А., аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна

### FEATURES OF PROCESSING OF DETAILS OF TRANSPORT AUSTENITIC STEELS

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Aksom P.A., Doctoral Student, National Transport University, Kyiv, Ukraine

### ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Посвятенко Э.К., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Аксом П.А., аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми.

Як відомо [1], аустенітні сталі належать до окремого структурного класу, де через зниження критичних точок  $A_1$  і  $A_3$  аустенітна область на діаграмі стану простягається до кімнатних температур і нижче. Отже, це високовуглецеві сталі, леговані значною кількістю марганцю, наприклад, сталь Гатфільда (110Г13Л), комплексно леговані хромонікелеві маловуглецеві (12Х18Н10Т та ін.) і середньовуглецеві сталі (40Х14Н14В2М, 60Х22Н8Г2АМБФ тощо), або маломагнітні та немагнітні сталі спеціального призначення. Паралельно високе легування аустенітних сталей призводить до зниження критичної точки  $A_2$  (точки Кюрі), при якій парамагнітний стан матеріалу при охолодженні переходить у феромагнітний стан. Таким чином, сталі аустенітного класу при звичайних і низьких температурах є немагнітними. Аустеніт має твердість порядку 170 – 200 НВ, досить високу міцність ( $\sigma_s = 500 - 800$  МПа) і надзвичайно високу пластичність ( $\delta \approx 50\%$ ;  $\psi \approx 60\%$ ). Поєднання високих значень зносостійкості і в'язкості аустеніту з достатньою міцністю забезпечує необхідну довговічність виробів з високовуглецевих аустенітних сталей за умови абразивного зношування, посиленого ударними навантаженнями. Тому сталі типу 110Г13Л використовують при виготовленні траків гусеничних машин (рис. 1), зубків ковшів екскаваторів, стрілочних переводів залізничних рейок, деталей каменедробарок тощо.



Рисунок 1 – Трак гусеничних машин (сталь 110Г13Л)

З іншого боку, мало- та середньовуглецеві аустенітні сталі є корозійностійкими та жаростійкими. При цьому висока корозійна стійкість досягається за рахунок утворення тонкої міцної оксидної плівки на поверхні сталі при забезпеченні доброго зчеплення плівки з основним металом. Введення у сталь великої кількості хрому ( $\geq 13\%$ ) викликає пасивацію останньої, тобто припинення електрохімічної корозії (атмосферної, ґрунтової, під впливом водних розчинів кислот лугів та солей). У жаростійкі сталі крім хрому додають також кремній та алюміній, що утворюють щільну плівку оксиду, яка перешкоджає проникненню кисню вглиб металу і припиняє корозію. Жаростійкі та жароміцні сталі використовуються у побутовій техніці, хімічному обладнанні, хірургічному інструменті, лопатках парових і газових турбін, клапанах дизелів, деталях реактивних двигунів та ін.

Разом з тим, загальним недоліком сталей аустенітного структурного класу є їхня низька оброблюваність лезовим та абразивним різальним інструментом. Нами висунута *гіпотеза*, що пояснює це явище. Оскільки ще з часів І.А. Тіме і О.М. Розенберга до теперішнього часу різання металів аргументовано ідентифікується як процес глибоких пластичних деформацій, головним чином, простого зсуву, то аустенітні сталі у зонах стружкоутворення та контакту мають пройти усі стадії цього процесу від початку до руйнування. Але, оскільки сталі даного класу є високопластичними і, водночас міцними, то процес їхнього різання є надзвичайно напруженим. Про це, зокрема, можна судити зі значень коефіцієнта усадки стружки, якій квазикількісно характеризує процес, і може зазвичай сягати значень 5 і більших.

Визначення мети та завдань дослідження.

Враховуючи те, що вироби із аустенітних сталей широко застосовують у різних галузях машинобудування, зокрема, при виготовленні і ремонті деталей засобів транспорту, нами була сформульована *мета* даного дослідження як пошук і розвиток напрямків підвищення оброблюваності аустенітних сталей найбільш ефективними методами.

Ці напрямки у загальному відомі, а основні з них полягають у попередньому впливові на геометрію та матеріал інструменту, режими різання, середовище та оброблюваний матеріал. Перші два, на нашу думку, малопридатні для вирішення завдання дослідження, оскільки можуть змінюватись у вузькому діапазоні в залежності від вимог до процесу. Дія МОР на ефективність останнього добре вивчена і має невеликі резерви, хіба що за рахунок екологічно чистих масел рослинного походження. Тому нами вивчалась попередня дія на аустенітні сталі холодного пластичного деформування (ХПД). Методи термічного і хіміко-термічного впливу були відкинуті, як такі, що підвищують межу міцності оброблюваного матеріалу, хоча знижують пластичність останнього. Навпаки, попереднє ХПД як процес фізично споріднений з різанням, має частково виконувати його роботу [2].

Спрощену фізичну модель дії ХПД на зону стружкоутворення можна подати у такому вигляді. При обробці незміцненого матеріалу вся робота пластичного деформування у зоні стружкоутворення виконується різальним інструментом. Кількісно вона визначається площею *ОАСД* діаграми деформування (рис. 2).

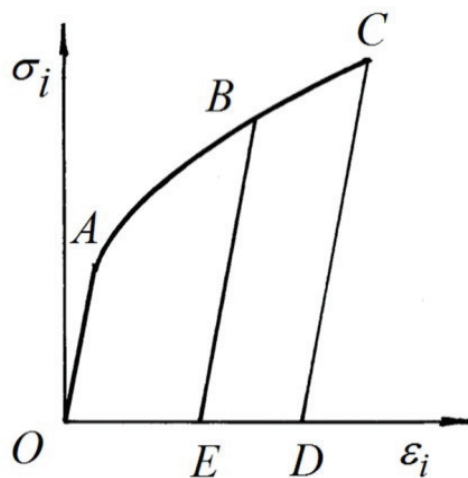


Рисунок 2 – Діаграма деформування при різанні незміцненої (*ОАСД*) і зміцненої (*ВСДЕ*) аустенітної сталі

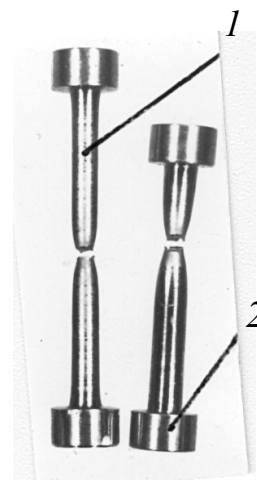


Рисунок 3 – Розірвані зразки із незміцненої (1) та зміцненої ХПД (2) сталі 12Х18Н10Т

При попередньому ХПД частину цієї роботи виконує деформуючий інструмент (площа  $OABE$ ), а на роботу різання залишиться та частина загальної деформації, що дорівнює площі фігури  $ВСДЕ$ . Таким чином, ХПД оброблюваного матеріалу значно зменшує питому роботу пластичної деформації, що спричиняє зниження коефіцієнту усадки стружки, сил та температури різання, а також зміну напружено-деформованого стану (НДС) зони стружкоутворення і контактних явищ на передній та задній поверхнях різального інструменту (PI) у бік послаблення останніх [3].

Експериментальна перевірка фізичної моделі ХПД на зону стружкоутворення при різанні сталей аустенітного структурного класу була проведена за схемою вільного ортогонального різання сталей AISI 201 (аналог 12X15Г9НД); AISI 304 (аналог 08X18Н10); 12X18Н10Т; 110Г13Л швидкорізальним PI. Сталь AISI 420 (аналог 40X13) як нержавіюча мартенситного класу служила в експериментах контрольною. Попереднє ХПД здійснювалось одновісним стиском, деформуючим протягуванням, вигладжуванням, наклепуванням дробом та ударним інструментом.

Рисунок 3 ілюструє різке зниження пластичності попередньо аустенізованої з температур 1100 – 1150 °С з охолодженням у воді сталі 12X18Н10Т при застосуванні ХПД. Відносне видовження при цьому зменшується з 50 до 18%, а межа текучості зростає з 230 до 700 МПа.

Установлено у процесі проведення експериментів, що деформуюче протягування деталей типу втулок і гільз призводить до утворення корисних позитивних залишкових напружень 1-го роду у поверхневому шарі товщиною до 1,5 – 2 мм. Різальне протягування дає протилежний ефект, що полягає у виникненні шкідливих негативних залишкових напружень у поверхневому шарі товщиною до 0,2 мм. При деформуюче-різальному протягуванні домінує перший процес (рис. 4).

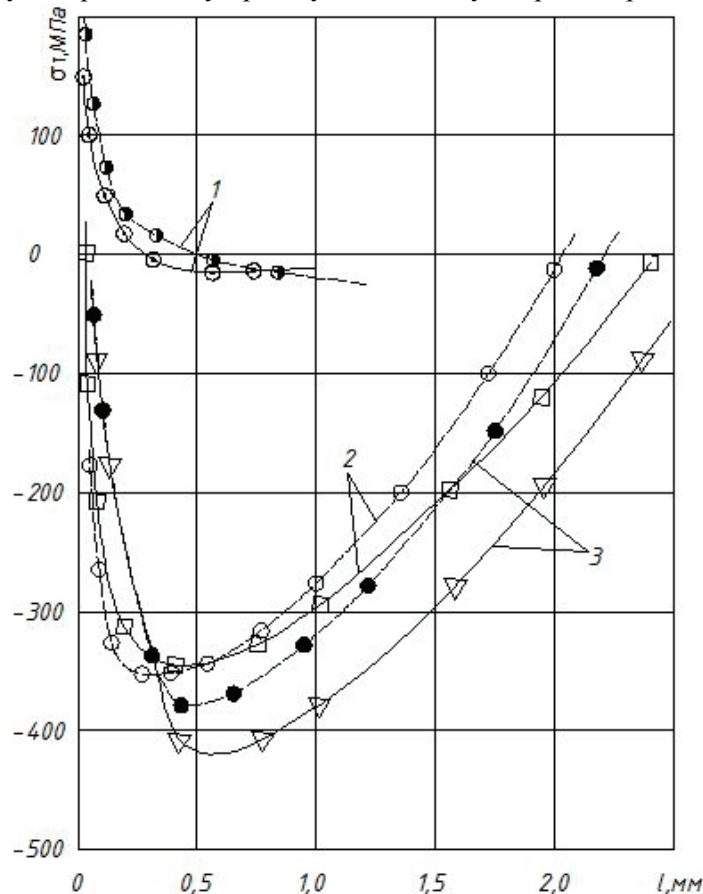


Рисунок 4 – Розподіл тангенціальних залишкових напружень  $\sigma_\tau$  за товщиною стінок  $l$  у втулках зі сталей AISI 420 (штрихові криві) і 12X18Н10Т (суцільні криві), оброблених ріжучим (1), деформуючим (2) і деформуючо-ріжучим (3) протягуванням ( $a=0,2$  мм;  $\Sigma \varepsilon = 2,1$  мм; припуск різання на сторону рівний 0,2 мм)

На рисунку 5 показано процес формування стружки у канавці протяжки при різанні незміцненої ( $HV$  1950 – 1980 МПа; позиції  $a - e$ ) та попередньо зміцненої ХПД ( $HV$  2800 – 2900 МПа; позиції  $ж - м$ ) сталі 12X18Н10Т. У даному випадку попереднє ХПД дозволяє підвищити допустиму довжину протягування на 70% (табл. 1, рис.6).

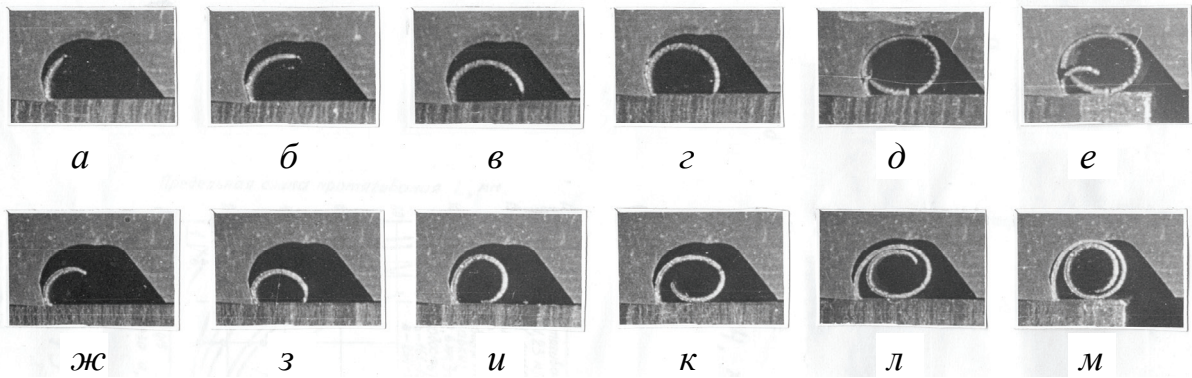


Рисунок 5 – Стадії формування валика стружки при протягуванні незміцненої (а – е) та зміцненої (ж – м) сталі 12Х18Н10Т. Глибина стружкової канавки 4,8 мм

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта заповнення стружкової канавки  $I/K$  для сталі 12Х18Н10Т у незміцненому та зміцненому ХПД стані

Оброблювальна сталь		Канавка для стружки		Коефіцієнт заповнення канавки $I/K$ при товщині зрізу $a_z$ , мм					
Марка	Твердість $HV$ , МПа	Глибина, мм	Активна площа, $мм^2$	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
12Х18Н10Т	950–1980	1,2	1,1	0,34	0,33	0,31	—	—	—
		2,6	5,3	0,33	0,34	0,30	0,29	0,27	—
		3,6	10,2	—	0,30	0,29	0,27	0,26	0,25
		4,8	18,1	—	—	0,27	0,26	0,25	0,24
	2800–2900	1,2	1,1	0,48	0,44	0,43	—	—	—
		2,6	5,3	0,45	0,43	0,40	0,38	0,36	—
		3,6	10,2	—	0,41	0,38	0,36	0,35	0,34
		4,8	18,1	—	—	0,37	0,35	0,33	0,32

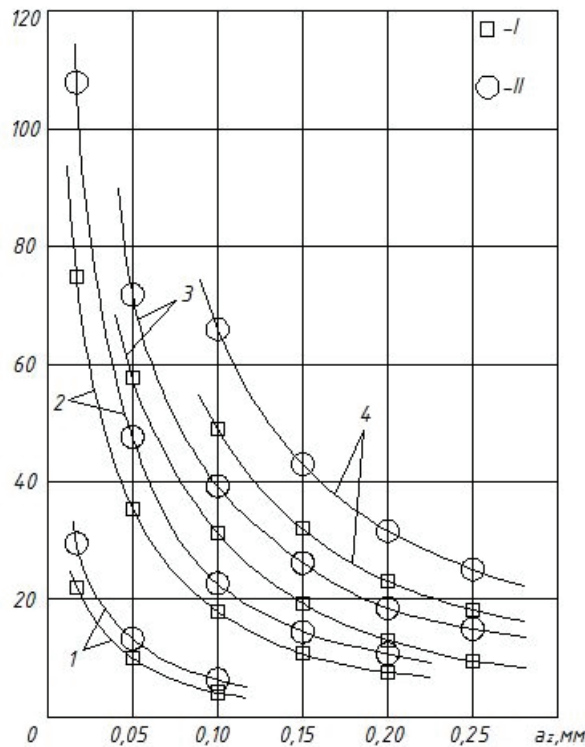


Рисунок 6 – Залежності граничної довжини протягування  $L$  від товщини зрізу  $a_z$  при протягуванні сталі 12Х18Н10Т протяжкою (сталь Р18;  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\alpha = 3^\circ$ ; МОР – сульфифрезол) при  $v = 1,25$  м/хв.: I –  $HV = 1950 - 1980$  МПа; II –  $HV = 2800 - 2900$  МПа; 1 –  $h = 1,2$  мм; 2 –  $h = 2,6$  мм; 3 –  $h = 3,6$  мм; 4 –  $h = 4,8$  мм.

### **Висновки.**

Холодне пластичне деформування незалежно від кінематичної схеми останнього дозволяє різко підвищити оброблюваність сталей аустенітного структурного класу різанням. Викликане попереднім ХПД зміцнення оброблюваного матеріалу приводить до збільшення опору зсуву на початковій границі зони стружкоутворення, звуження цієї зони у 5 – 10 разів та збільшення кута зсуву на 5 – 15°. Довжина контакту стружки з передньою поверхнею інструменту при цьому знижується у 2 – 3 рази, коефіцієнт тертя – у 1,8 – 2,3 рази, а коефіцієнт усадки стружки з 4,5 – 5 до 1,8 – 2. Ступінь заповнення стружкових канавок протяжок зростає з 0,3 – 0,4 до 0,5 – 0,6.

Технологію обробки виробів із аустенітних сталей слід побудувати наступним чином: ХПД за будь-якою кінематичною схемою – обробка різанням лезовим або абразивним інструментом – повернення початкових властивостей матеріалу (зносо- та жаростійкість, жароміцність та ін.) відпусканням.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матеріалознавство: Підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дошчекіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. За ред. проф. С.С. Дяченко. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 440 с.
2. Посвятенко Е.К. Механіка процесу різання пластичних металів після холодного деформаційного зміцнення / Е.К. Посвятенко // Резание и инструмент в технологических системах. – 1995–1996. – Вып.50. – С. 149–154.
3. Посвятенко Е.К. Особливості механіки різання металів, зміцнених холодною деформацією / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, Р.В. Будяк // Резание и инструмент в технологических системах. – 2012. – Вып.81. – С. 238–248.

### REFERENCES

1. Diachenko S.S., Doshchekina I.V., Movlian A.O., Pleshakov E.I. Materialoznavstvo. [Materials science]. Kharkiv, KhNADU, 2007. 440 p. (Ukr).
2. Posviatenko E.K. Mekhanika protseku rizannia plastychnikh metaliv pislia kholosnogo sermatsiinogo zmitsnennia [Mechanics of cutting ductile metals after cold hardening]. Rezanie I instrument v tekhnologicheskikh sistemakh [Cutting and tool in technological systems], 1995–1996. issue 50, pp. 149–154.
3. Posviatenko E.K., Posviatenko N.I., Budiak R.V. Osoblivosti mekhaniki rizannia materialiv, zmitsnennikh kholodnoiu deformatsieiu [Features mechanics of cutting materials reinforced with cold deformation]. Rezanie I instrument v tekhnologicheskikh sistemakh [Cutting and tool in technological systems]. 2012, issue 81, pp. 238–248.

### РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К. Особливості обробки деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

В статті запропоновано використовувати попереднє холодне пластичне деформування деталей із аустенітних сталей для покращення їх оброблюваності різанням.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси механічної обробки.

Мета роботи – пошук и розвиток напрямків підвищення оброблюваності аустенітних сталей найбільш ефективними методами.

Метод дослідження – теоретико-експериментальне вивчення механіки комбінованої деформуюче-різальної обробки деталей із аустенітних сталей.

Холодне пластичне деформування (ХПД) незалежно від способу останнього дозволяє різко підвищити оброблюваність аустенітних сталей різанням. Попереднє ХПД оброблюваного матеріалу призводить до підвищення опору зсуву на початковій межі зони стружкоутворення, звужування цієї зони в 5 – 10 разів і підвищення кута зсуву на 5 – 15°. Довжина контакту стружки з передньою поверхнею інструменту знижується у 2 – 3 рази, коефіцієнт тертя – у 1,8 – 2,3 рази, коефіцієнт усадки стружки – з 4,5 до 1,8 – 2. У поверхневому шарі деталей товщиною до 2 мм виникають позитивні стискаючі залишкові напруження.



Результати дослідження, описані у статті, можуть використовуватись у технологіях виготовлення деталей транспортних засобів із аустенітних сталей.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкту дослідження – створення високоефективних комбінованих процесів механічної обробки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХОЛОДНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, АУСТЕНІТНІ СТАЛІ, ОБРОБКА РІЗАННЯМ, ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ.

#### ABSTRACT

Posviatenko E.K., Aksom P.A. Features of processing of details of transport austenitic steels. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

The paper proposed to use the pre-cold plastic deformation of parts of the austenitic steels to improve their machinability.

Object of the study – technologies of processes machining.

Purpose of the study – search and development of ways to increase the workability of austenitic steels the most effective methods

Method of the study – theoretical and experimental study of the mechanics combined deforming-cutting machining of austenitic steels.

Cold plastic deformation regardless of the method of deformation can dramatically improve the workability of austenitic steels cutting. Pre cold plastic deformation of the processed material increases the shear resistance at the initial boundary of chip area, the zone restriction is 5 - 10 times and increase the shear angle of 5 – 15 °. Chip contact length with the front surface of the tool is reduced in 2 - 3 times the coefficient of friction – 1,8 – 2.3 times, shrinkage ratio chip – from 4,5 – 5 to 1,8 – 2 parts surface layer thickness to 2 mm arise positive compressive residual stresses.

The results of the article can be used in the technologies of the manufacture of parts of vehicles of austenitic steels.

Forecast assumptions about the object of study – the creating highly combined machining processes.

KEY WORDS: COLD PLASTIC DEFORMATION, AUSTENITIC STEEL, MACHINING, VEHICLES.

#### РЕФЕРАТ

Посвятенко Э.К. Особенности обработки деталей средств транспорта из аустенитных сталей / Э.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

В статье предложено использовать предварительное холодное пластическое деформирование деталей из аустенитных сталей для улучшения их обрабатываемости резанием.

Объект исследования – технологические процессы механической обработки.

Цель работы – поиск и развитие направлений повышения обрабатываемости аустенитных сталей наиболее эффективными методами.

Метод исследования – теоретико-экспериментальное изучение механики комбинированной деформирующе-режущей обработки деталей из аустенитных сталей.

Холодное пластическое деформирование (ХПД) независимо от способа последнего позволяет резко повысить обрабатываемость аустенитных сталей резанием. Предварительное ХПД обрабатываемого материала приводит к повышению сопротивления сдвигу на начальной границе зоны стружкообразования, сужения этой зоны в 5 – 10 раз и увеличения угла сдвига на 5 – 15°. Длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента снижается в 2 – 3 раза, коэффициент трения – в 1,8 – 2,3 раза, коэффициент усадки стружки – с 4,5 – 5 до 1,8 – 2. В поверхностном слое деталей толщиной до 2 мм возникают позитивные сжимающие остаточные напряжения.

Результаты исследования, описанные в статье, могут быть использованы в технологиях изготовления деталей транспортных средств из аустенитных сталей.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – создание высокоэффективных комбинированных процессов механической обработки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ХОЛОДНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ, АУСТЕНИТНЫЕ СТАЛИ, ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ, ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА.

АВТОРИ:

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри "Виробництво, ремонт та матеріалознавство", e-mail: natali1963@ukr.net, +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1 к. 101а

Аксьом Петро Андрійович, аспірант, Національний транспортний університет, кафедра "Виробництво, ремонт та матеріалознавство", e-mail: aksom@mail.ru, +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1 к. 101а

AUTHOR:

Posviatenko Eduard K., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, e-mail: natali1963@ukr.net, +380442808203, Ukraine, Kyiv, st. Suvorova, 1, r. 101a

Aksom Petr A., Doctoral Student, National Transport University, department of production, repair and materials science, e-mail: aksom@mail.ru, +380442808203, Ukraine, Kyiv, st. Suvorova, 1, r. 101a

АВТОРЫ:

Посвятенко Э.К., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры "Производство", ремонт и материаловедение", e-mail: natali1963@ukr.net, +380442808203, Украина, 01010, м. Киев, вул. Суворова, 1 к. 101а

Аксьом Петр Андреевич, аспирант, Национальный транспортный университет, кафедра "Производство", ремонт и материаловедение", e-mail: aksom@mail.ru, +380442808203, Украина, 01010, м. Киев, вул. Суворова, 1 к. 101а

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ляшенко Б.А. доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії "Зміцнення поверхні елементів конструкції" Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWER:

Liashenko B.A., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Head of the Laboratory "Strengthening the surface of the structure" Institute for Strength named after G.S. Pisarenko NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Mateichik V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of Environment and Safety, Kyiv, Ukraine.