

## ОСНОВНИ НАПРЯМКИ ПОЛІПШЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ІЗ АУСТЕНИТНИХ СТАЛЕЙ

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

*Аксьом П.А.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна

*Будяк Р.В.*, кандидат технічних наук, Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна

## MAIN DIRECTIONS OF IMPROVING WORKABILITY OF DETAILS OF TRANSPORT AUSTENITIC STEELS

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

*Aksom P.A.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine

*Budiak R.V.*, Ph.D., Winnica Narodowy Uniwersytet Rolny, Vinnitsa, Ukraine

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

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

*Аксьом П.А.*, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

*Будяк Р.В.*, кандидат технических наук, Винницкий национальный аграрный университет, Винница, Украина

### Постановка проблеми.

Важливою властивістю заліза є поліморфізм (алотропія), тобто наявність двох модифікацій Fe $\alpha$  (фериту) і Fe $\gamma$ (аустеніту). Аустеніт – це твердий розчин вуглецю у залізі, має гранецентровану решітку (ГЦК) з великими міжатомними порядками (період  $a = 3,66$  нм при температурі 911 °С), розчинність вуглецю 2,14% та густиною 8,0 – 8,1 г/см<sup>3</sup>. Аустеніт стійкий в інтервалі температур 911 – 1392 °С [1].

Аустенітні сталі належать до окремого структурного класу, де через зниження критичних точок A1 і A3 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 A2 (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 ( $\sigma = 500 – 800$  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, зубків ковшів екскаваторів, стрілочних переводів залізничних рейок, деталей каменедробарок, газових турбін транспортних силових установок, турбін реактивних двигунів, турбокомпресорів, деталей і апаратури для роботи з високими тисками у хімічній промисловості, в атомних реакторах і, в перспективі, у термоядерних реакторах (рис. 1).

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. [2].



*а*



*б*



*в*



*г*



*д*

*Рисунок 1 – Приклади використання високомарганцевих аустенітних сталей: а – ланка гусениці транспортних машин; б – зубок ковша екскаватора; в – стрілочний перевід залізничних рейок; г – деталі виконавчих органів камнедробарок; д – фрагмент броні легкої транспортної машини спеціального призначення*

**Мета дослідження** – полягала у пошуку основних напрямків поліпшення оброблюваності деталей засобів транспорту.

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 малопридатні для вирішення завдання дослідження, оскільки можуть змінюватись у вузькому діапазоні в залежності від вимог до процесу. Дія мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) на ефективність останнього має певні резерви 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, частково виконує роботу останнього [2]. Вивчалась також дія МОР рослинного походження на оброблюваність аустенітних сталей.

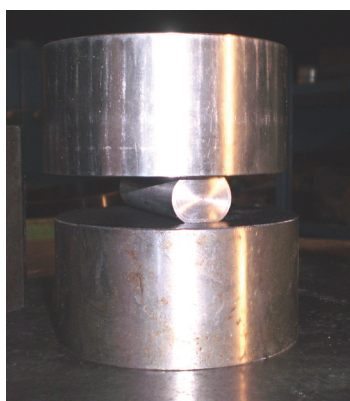
#### **Методика та результати досліджень.**

У наших експериментах використовувались наступні марки аустенітних немагнітних сталей: 12Х15Г9НД (АІSІ 201); 08Х18Н10 (АІSІ 304); 110Г13Л (А128), а також для порівняння магнітна неіржавіюча сталь 40Х13 (АІSІ 420) мартенситного класу.

Високу зносостійкість має високомарганцева сталь 110Г13Л, що містить 1,0 ... 1,3% С та 11 ... 15% Мп і належить до аустенітного класу. Ця сталь застосовується для виготовлення деталей, що працюють на знос в умовах тертя, ковзання та високих навантажень і ударів. Структура сталі 110Г13Л після лиття – аустеніт та надлишкові карбіди, що знижують міцність та в'язкість сталі. Тому литі вироби загартовують від 1100 °С у воді. За такого нагріву карбіди розчиняють і сталь після гартування має аустенітну структуру з наступними механічними характеристиками:  $\sigma_s = 800 \dots 900$  МПа,  $\sigma_{02} = 310 \dots 350$  МПа,  $\delta = 15 \dots 25\%$ ,  $\psi = 20 \dots 30\%$ ,  $HB = 180 \dots 200$ .

Як МОР у дослідженні використовувались оливи рослинного походження: ріпакова, соняшникова і льняна, а також сульфозфрезол Р, тобто мінеральна олива з добавкою сірки.

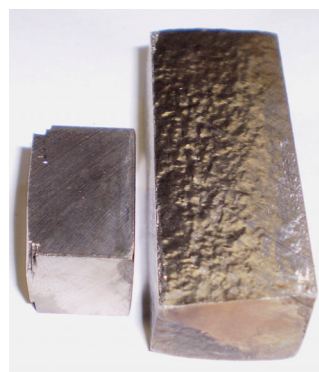
Попереднє ХПД виконувалось як за відомою схемою деформуючого протягування (ДП) [3], так і за розробленою нами схемою поперечного стиску експериментальних зразків (рис. 2). Ця схема застосовувалась у випадку, коли потрібен був великий за обсягом маси експериментальний матеріал. На відміну від одновісного стиску схема поперечного стиску передбачає ХПД не уздовж осі заготовки, а перпендикулярно до неї. Деформування виконувалось на пресі ПММ – 200 (сила до 2000 кН) та горизонтально протяжному верстаті мод 7Б56 (сила тяги до 200 кН).



а



б



в

Рисунок 2 – Схема поперечного стиску (а) та отримані експериментальні зразки зі сталі 12Х15Г9НД (б) і сталі 110Г13Л (в). Зліва на позиціях б і в подані зразки у початковому незміцненому стані

Величина деформації та твердість після поперечного стиску сталей, що досліджувались, подані у табл. 1

Таблиця 1 – Величина деформації та твердість сталей після поперечного стиску

Навантаження стиску, кН	Початкова твердість, HV, ГПа	Твердість після стиску, HV, ГПа	Підвищення (зниження) твердості, %	Початковий діаметр зразка, мм	Товщина зразка після стиску, мм	Деформація, %
Сталь 12X15Г9НД (AISI 201)						
0	3,70	3,70	0	14	14,0	0
300		3,85	4,0		11,2	20,0
450		4,29	15,9		9,9	29,3
600		4,67	26,2		8,5	39,3
750		4,96	34,0		7,8	44,3
Сталь 08X18Н10 (AISI 304)						
0	2,32	2,32	0	20	20,0	0
300		2,95	27,2		16,4	18,0
450		3,15	35,8		14,2	29,0
600		3,60	55,2		12,1	39,5
750		3,85	66,0		10,8	46,0
Сталь 40X13 (AISI 420)						
0	2,14	2,14	0	20	20,0	0
300		2,42	13,1		15,2	24,0
450		2,57	20,1		13,2	34,0
600		2,75	28,5		10,8	46,0
750		3,15	47,2		9,3	53,5
Сталь 110Г13Л (A128)						
0	6,00	6,00	0	21	21,0	0
150		6,39	6,5		21,0	0
300		4,41	-26,5		20,2	4,0
450		4,54	-24,3		18,8	10,5
600		3,85	-35,8		17,5	16,7

Таким чином, схема поперечного стиску забезпечує плавне регулювання деформації зразків із аустенітних сталей до 40 – 50% при зростанні твердості цих сталей до 65%. Проте, у випадку холодного пластичного деформування марганцевої аустенітної сталі відбувається розміцнення останньої на 35%, що потребує подальшого вивчення. Цього потребує також явище з'явлення у всіх без винятку аустенітних сталях магнетизму. Останнє, очевидно, пояснюється структурними перетвореннями, викликаними ХПД.

На рис. 3 подано мікроструктуру сталей 110Г13Л та 08X18Н10 [4] після поперечного стиску та деформуючого протягування відповідно. У обох випадках спостерігається чітко виражена текстура. При чому, у другому випадку текстуруються навіть двійники.

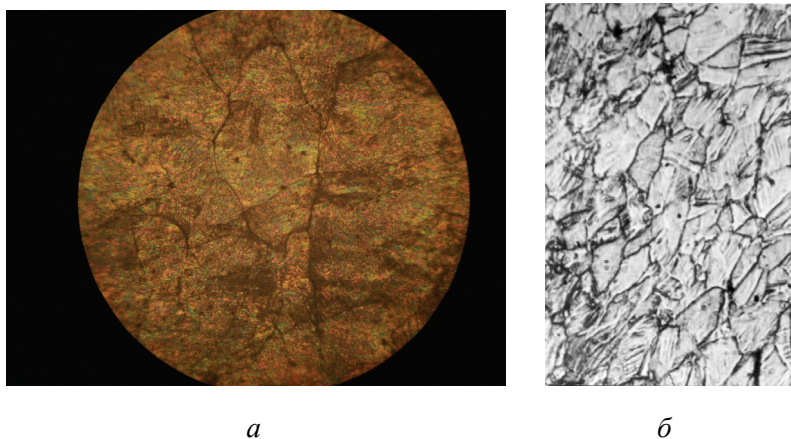


Рисунок 3 – Мікроструктура сталей 110Г13Л (а, після поперечного стиску) та 08X18Н10 (б, після деформуючого протягування). x 200

Попереднє ХПД, як було нами відзначено раніше [2, 5], у поєднанні з використанням сучасних МОР на рослинній основі є потужним засобом поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей. Це видно із рис. 4, де представлені фрагменти процесу стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 12Х15Г9НД, зміцненою поперечним стиском у середовищі ріпакової оливи (а) та сульфозфрезолу Р (б). Поліпшення оброблюваності цієї сталі характеризується зменшенням довжини контакту стружки по передній поверхні інструменту і усадки стружки, а також радіусу завитка останньої [5].



а



б

Рисунок 4 – Фрагменти стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 12Х15Г9НД (AISI 201), зміцненої по схемі поперечного стиску з деформацією 44,3%, у середовищі ріпакової оливи (а) та сульфозфрезолу Р (б). х 5

#### Висновки.

Запропоновано і уперше застосовано новий метод холодного пластичного деформування – поперечний стиск з відповідним обладнанням і оснасткою.

Уперше досліджено фізико-механічні властивості аустенітних сталей після холодного пластичного деформування у порівнянні з їх властивостями у не зміцненому стані.

Проведено серію експериментів з вивченням позитивного впливу ХПД разом з екологічно чистими МОР рослинного походження на оброблюваність аустенітних сталей.

На основі результатів дослідження рекомендовано використовувати у процесах різання МОР на основі екологічно чистих олив: ріпакових, соняшникових та льняних.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матеріалознавство: Підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, 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. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием / Розенберг А.М., Розенберг О.А., Гриценко Э.И., Посвятенко Э.К. – Киев: Наукова думка, 1977. – 188 с.
4. Металлография железа. Т.2 – Структура сталей (с атласом микрофотографий) / Перев. с англ. – М.: Металлургия, 1972. – 284 с.
5. Посвятенко Е.К. Особливості механіки різання матеріалів, 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 protsecu rizannia plastychnikh metaliv pislia kholosnogo sermatsiinogo zmitsnennia [Mechanics of cutting ductile metals after cold hardening]. Rezanie I instrument v

tehnologicheskikh sistemakh [Cutting and tool in technological systems], 1995–1996. issue 50, pp. 149–154. (Rus).

3. Rozenberg A.M., Rozenberg O.A., Grizenko E.I., Posviatenko E.K. Kachestvo poverkhnosti, obrabotannoy deformiruiushchim protiagivaniem [The quality of the surface treated deforming broaching]/ Kiev, Naukova dumka, 1977/ 188 p. (Rus).

4. Metallografiia geleza [Metallographic iron]. T.2. M. Metalurgia. 1972. 284 p. (Ukr)

5. 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 tehnologicheskikh sistemakh [Cutting and tool in technological systems]. 2012, issue 81, pp. 238–248. (Ukr)

## РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К. Основні напрямки поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом, Р.В. Будяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2016. – Вип. 1 (34).

В статті запропоновано і практично реалізовано новий метод холодного пластичного деформування (ХПД) – поперечний стиск.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси механічної обробки.

Мета роботи – пошук основних напрямків поліпшення оброблюваності деталей засобів транспорту.

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

Новий метод ХПД забезпечує плавне регулювання деформації зразків із аустенітних сталей до 40 – 50% при зростанні твердості до 65% . Дослідження мікроструктури з використанням оптичної мікроскопії показало також утворення текстури. Установлено, що використання ХПД призводить до часткової втрати аустенітними сталями парамагнітних властивостей. Найкращим напрямком поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей різанням є попереднє ХПД з поєднанням застосування мастильно-охолоджувальних рідин на основі олів рослинного походження. Про поліпшення оброблюваності свідчать зменшення коефіцієнта усадки стружки, довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструмента, радіус валика стружки.

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 технологічних процесів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ХОЛОДНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, АУСТЕНІТНІ СТАЛІ, МІКРОСТРУКТУРА ПОВЕРХНІ, ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ.

## ABSTRACT

Posviatenko E.K., Aksom P.A., Budiak R.V. Main directions of improving workability of details of transport austenitic steels. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2016. – Issue 1 (34).

The paper proposed and practically realize new method the cold plastic deformation (HPD) – cross-compression.

Object of the study – technologies of processes machining.

Purpose of the study – search main of ways to improve the workability of parts of the austenitic steels of vehicles.

Method of the study – theoretical and experimental study of the mechanics machining of parts of the austenitic steels.

New method HPD provides smooth control strain samples with austenitic steels to 40 - 50% with increasing hardness up to 65%. Research microstructures using optical microscopy also showed the formation of texture. It is established that the use of HPD leads to partial loss of austenitic steel paramagnetic properties. The best direction of improving machinability of austenitic steel parts machining HPD is prior to

the combination use of lubricating fluids based on vegetable oils. Improving workability indicate reduction in the shrinkage of chips, shavings length of contact with the front surface of the tool radius roller chips.

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, MICROSTRUCTURE SURFACE, MACHINING, VEHICLES.

### **РЕФЕРАТ**

Посвятенко Э.К. Основные направления улучшения обрабатываемости деталей из аустенитных сталей / Э.К. Посвятенко, П.А. Аксом, Р.В. Будяк // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2016. – Вып. 1 (34).

В статье предложено и практически реализовано новый метод холодного пластического деформирования (ХПД) – поперечное сжатие.

Объект исследования – технологические процессы механической обработки.

Цель работы – поиск основных направлений улучшения обрабатываемости деталей транспортных средств.

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

Новый метод ХПД обеспечивает плавное регулирование деформации образцов из аустенитных сталей до 40 – 50% при возрастании твердости до 65%. Исследование микроструктуры с использованием оптической микроскопии показало также возникновение текстуры. Установлено, что использование ХПД приводит к частичной утере аустенитными сталями парамагнетизма. Наилучшим направлением улучшения обрабатываемости деталей из аустенитных сталей резанием является предварительное ХПД с одновременным применением смазочно-охлаждающих сред на основе масел растительного происхождения. Об улучшении обрабатываемости свидетельствуют уменьшение коэффициента усадки стружки, длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента, радиуса валика стружки.

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 технологических процессов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ХОЛОДНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ, АУСТЕНИТНЫЕ СТАЛИ, МИКРОСТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ, 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

Аксом 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

Будяк Руслан Володимирович, кандидат технічних наук, Вінницький національний аграрний університет, старший викладач кафедри " Експлуатація машинно-тракторного парку і технічний сервіс", e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com, +380972454448, Україна, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3

### **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

Budiak Ruslan V., Ph.D., Vinnytsia National Agrarian University, senior lecturer, department "Operation tractor fleet and technical service", e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com, +380972454448, Ukraine, Vinnytsia, st. Soniachna, 3

**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

Будяк Руслан Владимирович, кандидат технических наук, Винницкий национальный аграрный университет, старший преподаватель, кафедра "Эксплуатация машино-тракторного парка и технический сервис", e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com, +380972454448, Украина, г. Винница, ул. Солнечная,3.

**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.