ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ УКРАЇНИ В ГАЛУЗІ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ 2021 р.

Висунута Вченою радою Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

- Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України
- Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»
- Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
- АТ «Укрзалізниця»
- ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «ПРОГРЕС» імені академіка О.Г. Івченка»

А В Т О Р И

МОРДЮК Богдан Миколайович – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, зав. відділу «Фізичні основи інженерії поверхні» Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

ЛУГОВСЬКИЙ Олександр Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка» Механіко-машинобудівного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЛОЧКОВ Ілля Миколайович – кандидат технічних наук, Учений секретар Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

ЛИННИК Георгій Олегович – кандидат технічних наук, заступник начальника департаменту «Колії і споруди» АТ «Укрзалізниця»

ПРОКОПЕНКО Георгій Іванович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу «Фізичні основи інженерії поверхні» Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України.

ВОЛОШКО Світлана Михайлівна – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри «Фізика металів» Інституту матеріалознавства та зварювання КПІ ім. Ігоря Сікорського

СОЛОВЕЙ Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, с. н. с., провідний науковий співробітник відділу «Міцність зварних конструкцій» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

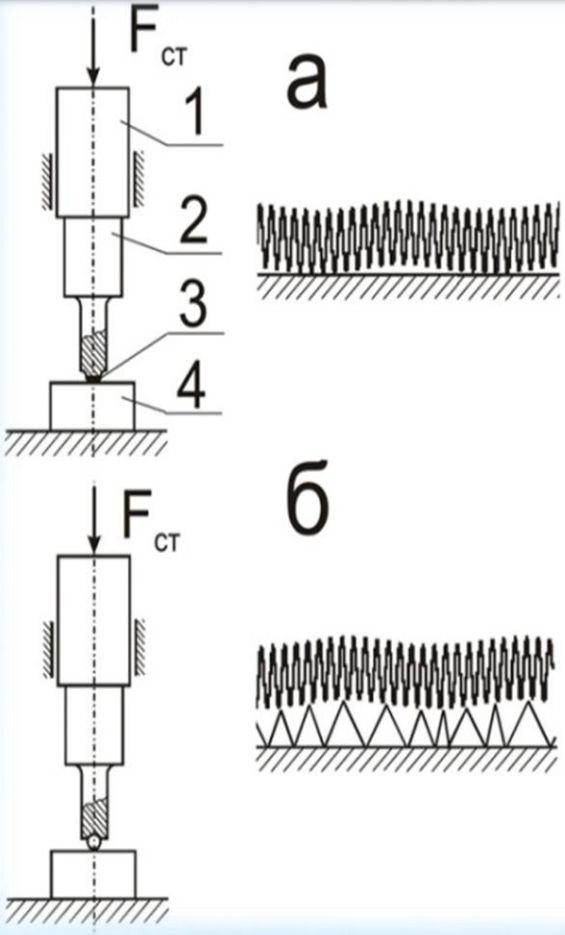
ПОДОБНИЙ Олександр Віталійович – заступник директора, головний інженер ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка».

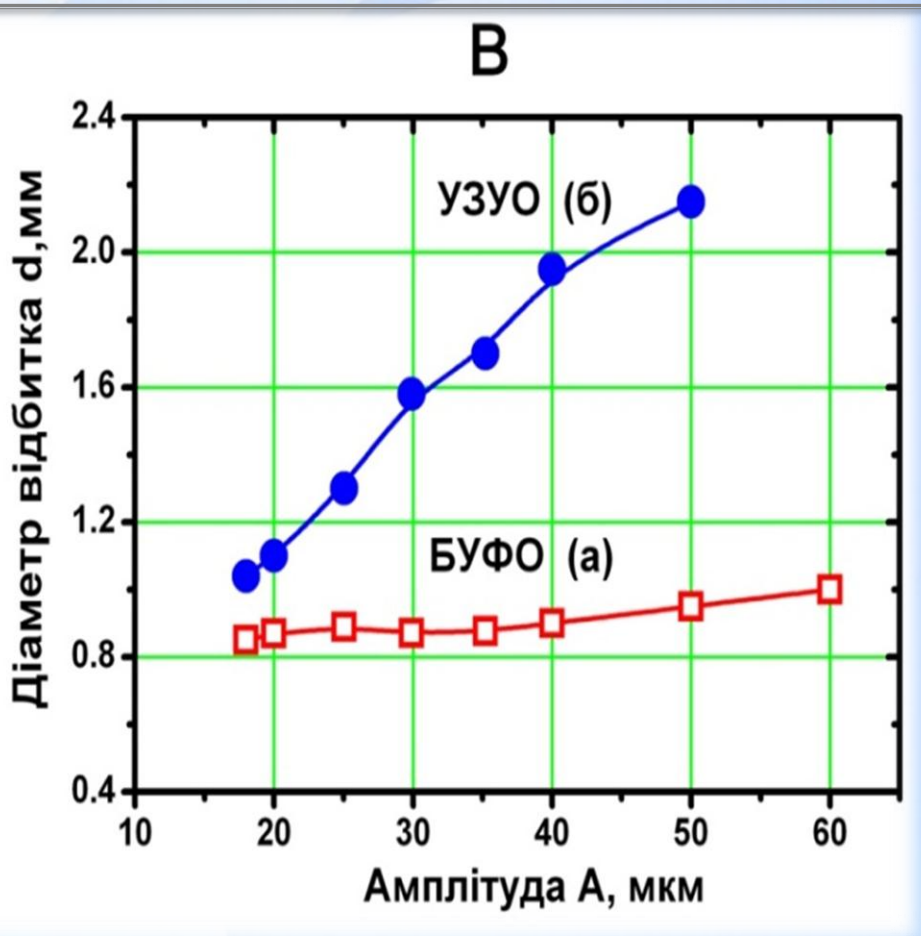
НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

НОВИЗНА РОБОТИ

1. Запропоновано нові способи ультразвукового оброблення матеріалів у рідкому і твердому станах. Багатократне ударне оброблення металевих поверхонь, спричинене ультразвуковими пристроями, дозволяє підвищити надійність і безпеку виробів і споруд.
2. Показано, що інтенсивні вимушені коливання ударників (кульок, стрижнів) з високою частотою (~1…3кГц) у невеликому зазорі (0,01…0,05 мм) призводять до суттєвої пластичної деформації поверхневого шару металу за короткий час.
3. Створено наукові основи нового способу зміцнення і релаксаційної обробки металевих поверхонь.
4. Проведено систематичні дослідження природи процесів, що відбуваються при УЗУО. Вперше побудовані фізичні моделі, які пов'язують збільшення густини дислокацій і точкових дефектів із зміцненням, зниженням деформуючих зусиль, аномальним масоперенесенням атомів, а також із релаксацією та перерозподілом залишкових напружень.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДОМОГО І НОВОГО СПОСОБІВ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ

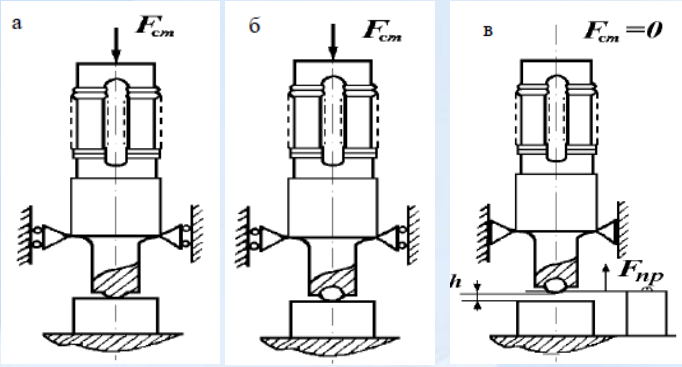




а – **БУФО**; **б** – **УЗУО**: **1** – ультразвуковий випромінювач, **2** – ступінчастий концентратор коливань, **3** – деформуючий елемент, **4** – зразок (виріб). **в** – залежність діаметру відбитку кульки від амплітуди ультразвукових коливань для обох типів обробки.

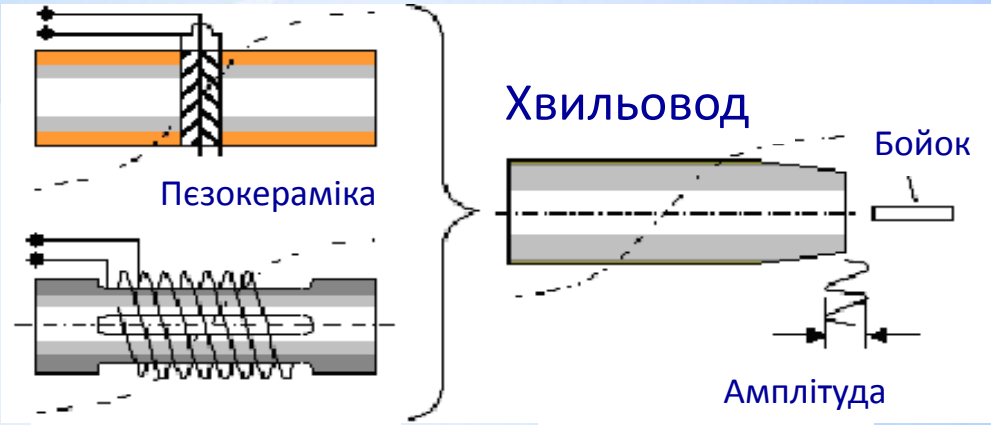
ВИСОКОЧАСТОТНА УДАРНА ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ – УЗУО (ВМП)

Схеми ВМП (УЗУО, УЗФО)



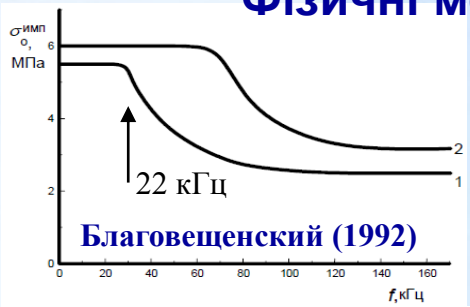
Схеми ультразвукової ударної обробки з жорстким кріпленням деформуючого елемента до УЗ інструмента (а) та з ударним елементом (б, в) притисненим всією акустичною системою до зразка (деталі) (б) та фіксуючою пружиною до УЗ горна для утримання фіксованого зазору *h* (в)

Мордвінцева, Муханов (1966); Крилов, Поліщук (1970); К.Графф (1971); Прокопенко (1974); Статніков (1975); Вагапов, Рубаник (1979); Панін – УЗФО (2004)

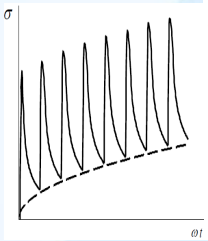


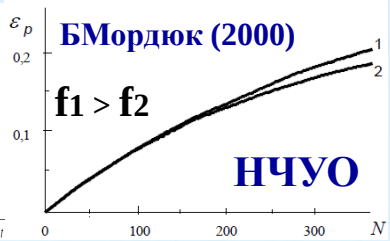
Магнітостриктор **Мікроструктура**

Фізичні моделі



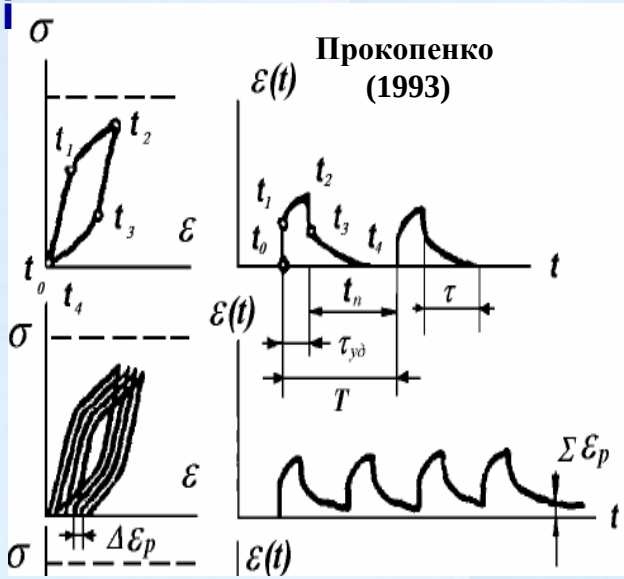
Благовещенский (1992)





БМордюк (2000)

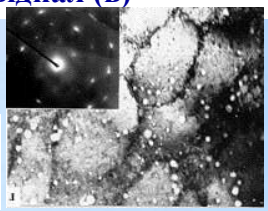
НЧУО



Прокопенко (1993)

Прокопенко (1977)

Структура ВТ-22 після відпалу (а), УЗУО (б), УЗУО+відпал (в)



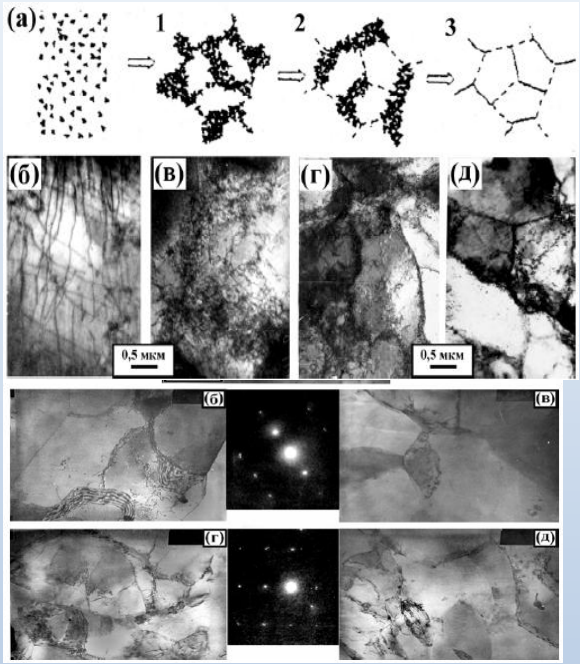
БМордюк(2000)

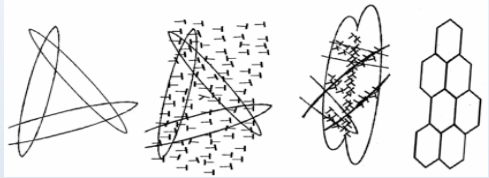
Структура Cu після УЗУО

МЕХАНІЗМИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПРИ УЗУО

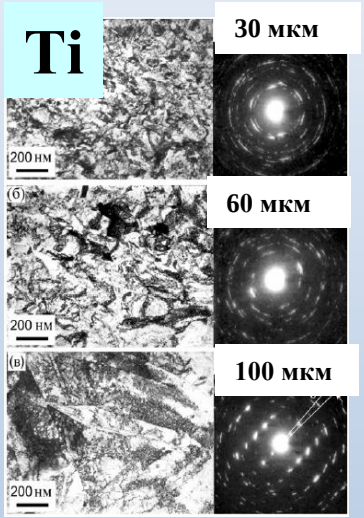
Fe

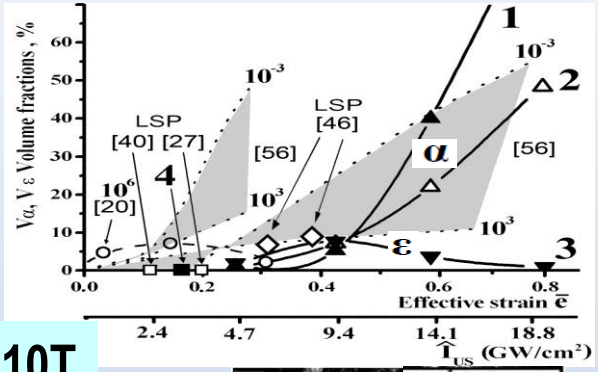
Al



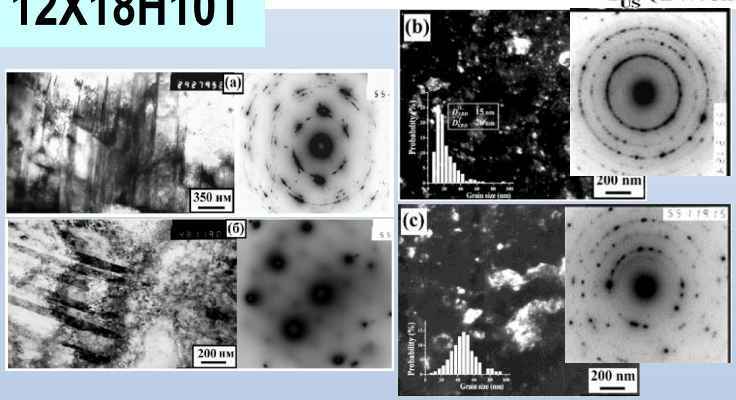


Ti





12Х18Н10Т

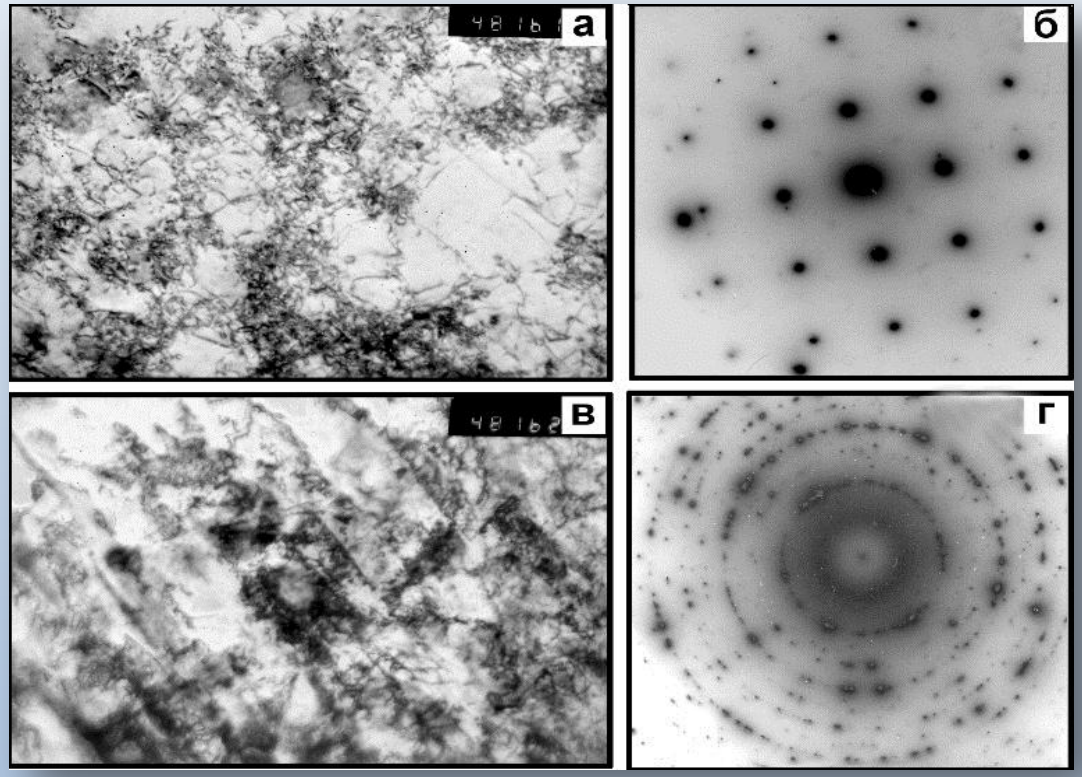


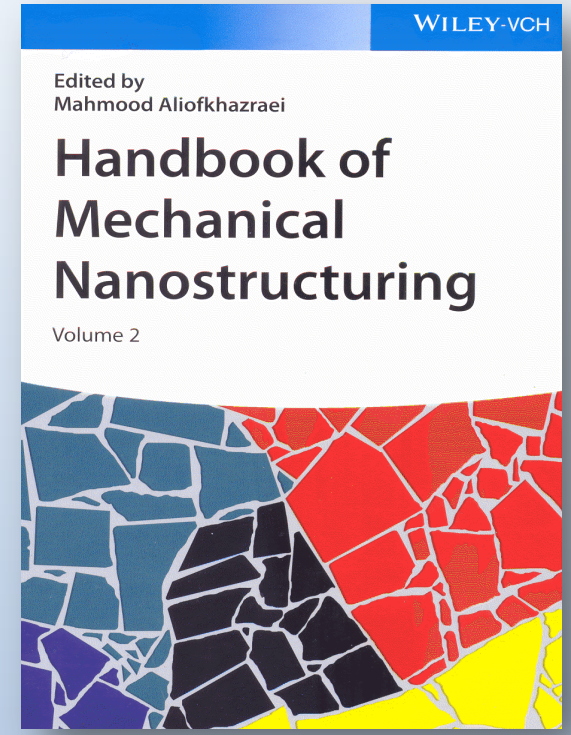
Встановлено, що структуроутворення в металевих матеріалах з великою кількістю систем ковзання (ОЦК – α-Fe) та високими значеннями енергії дефектів пакування (ГЦК – Al) проходить переважно за **дислокаційними механізмами** та зводиться до формування розорієнтованих комірчастих структур за умов динамічної рекристалізації (динамічного повернення).

Встановлено, що в матеріалах з обмеженою рухливістю дислокацій за рахунок низької кількості систем ковзання (ГЩУ – Ti, Zr), або низького значення енергії дефектів пакування (ГЦК – аустенітні сталі), або великої різниці в розмірах атомів та впорядкованої атомної будови багатокомпонентних сплавів (метастабільні ОЦК-сплави Ti, Zr) для акомодації деформаційних напружень при УЗУО необхідне залучення додаткових механізмів, в тому числі **двійникування та/або фазових перетворень**.

ТЕМ ЗОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА КАРТИНИ ЕЛЕКТРОННОЇ ДИФРАКЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ СТАЛІ СТ3

а, б - у вихідному стані та після УЗУО (ступінь деформації ~ 70% (в, г).





Г.І. Прокопенко, Б.М. Мордюк, М.О. Васильєв, С.М. Волошко
«Фізичні основи ультразвукового ударного зміцнення металевих поверхонь»

***B.N. Mordyuk, G.I. Prokopenko*. Ultrasonic Impact Treatment – an effective method for nanostructuring the surface layers of metallic materials // Handbook of mechanical nanostructuring (M. Aliofkhazraei, Ed.), Wiley-VCH. –2015. – P. 417-434.**

АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УЗУО

Втома, зношування і корозія - основні фактори, що впливають на ресурс деталей, виробів, конструкцій і споруд. Головне завдання інженерії поверхні – підвищення експлуатаційних властивостей промислової продукції за рахунок розробок та впровадження нових технологій

ПАТ «КРЮКІВСЬКИЙ ВАГОНОБУДІВНИЙ ЗАВОД»

«Для повышения усталостной выносливости тележек пассажирских вагонов ПАО «КВСЗ», совместно с ИЭС им. Е.О. Патона и Институтом металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, были проведены исследования по упрочнению околошовных зон элементов тележки методом высокочастотной механической проковки (УЗУО). Получены положительные результаты.

Для промышленного внедрения данной технологии в производстве необходимо определение технически обоснованных и инструментально измеряемых критериев качества обработки. Также требуется создание надежного промышленного образца установки для высокочастотной проковки».

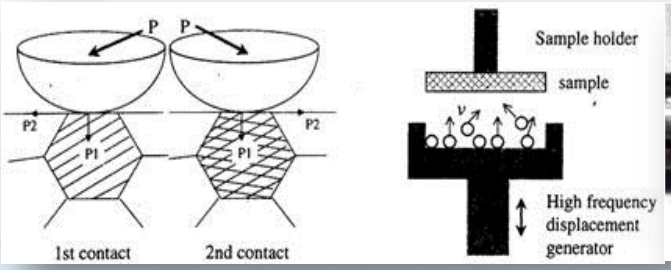
Председатель Наблюдательного Совета –
Президент общества ПАО «КВСЗ» В.И. Приходько

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ТА УЗО ДЕТАЛЕЙ АВІАБУДУВАННЯ

Одним з головних напрямків по супроводу двигунів в експлуатації є їх безперервне вдосконалення за показниками надійності та ресурсу, підвищення споживчих властивостей шляхом впровадження перевірених заходів при різних видах ремонту відповідно до встановлених сертифікаційних правил.

Отримала подальший розвиток технологія поверхневого зміцнення деталей за допомогою потужного ультразвуку, що дозволяє підвищити межу їх утомної міцності до 30 %. Спосіб ультразвукової обробки деталей складної форми **вперше** запатентував саме І.А. Стебельков з ДП ЗМКБ “Івченко - Прогрес” (1974)**.**

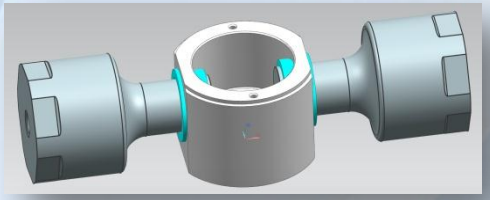
Оброблення кульками в УЗ стакані

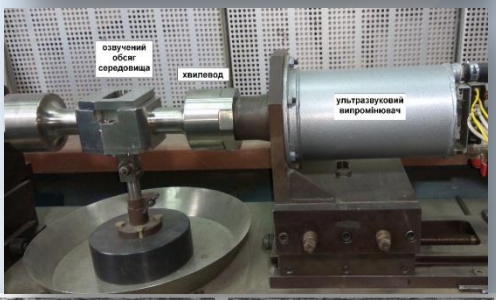


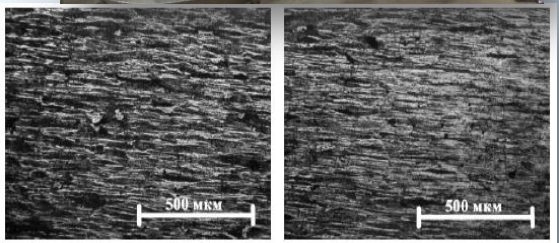
Наразі загальновідома та використовувана у світі як: Surface mechanical attrition treatment **(SMAT)**

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА РЕСУРСУ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ І ВИРОБІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ УЛЬТРАЗВУКОВОЮ ОБРОБКОЮ

– 3Д модель і установка з стрижневими хвилеводами в робочій камері, що створює озвучений об’єм середовища, при зміцненні лопаток.



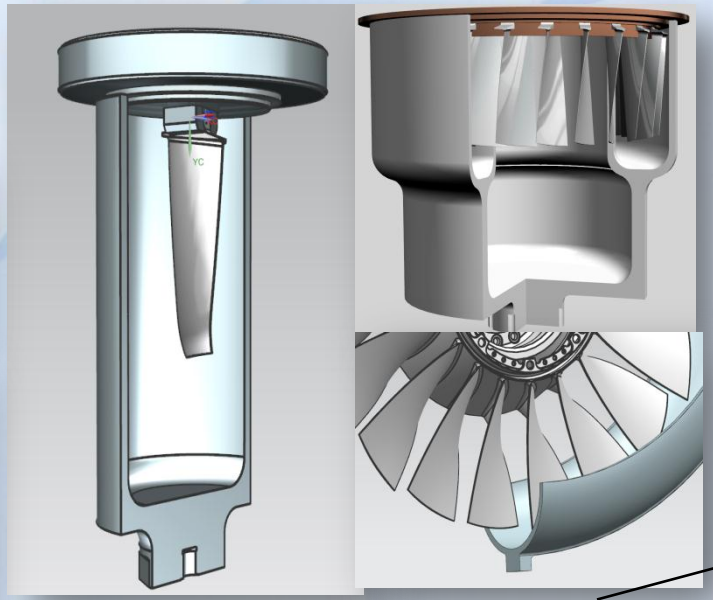


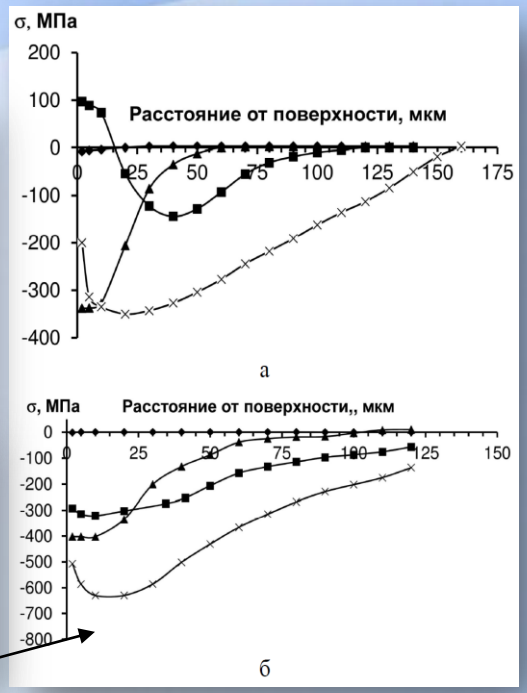


а б

Аеродинамічні поверхні пера лопатки після високошвидкісного фрезерування, термічного оброблення, ручного полірування та УЗ зміцнення стальними кульками: спинка (а), корито (б).

Оболонкові хвилеводи (показані в перетинах) з прикладами оброблювальних деталей





Епюри напружень стиснення в поверхневому шарі спинки (а) та в перехідній зоні (б) лопаток компресора високого тиску зі сплаву ЭП718-ИД після фрезерування та термічного оброблення (♦); фрезерування (■); полірування (▲); та ультразвукового оброблення (х).

1. Поверхнева ультразвукова обробка деталей ГТД дозволяє збільшити їх втомну міцність на 15 ... 25%. УЗО (резонансні розміри хвилеводів обирають відповідно до розмірів деталей) може бути застосовано для обробки валів, дисків, шестерень і інших деталей машин, що зазнають циклічних навантажень.

2. Збільшення втомної міцності деталей обумовлено утворенням стискаючих напружень під дією ударів кульок, кінетичну енергію яким передає стінка хвилеводу, що коливається з ультразвуковою частотою.

РОЗРОБКА НОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБЛАДНАННЯ

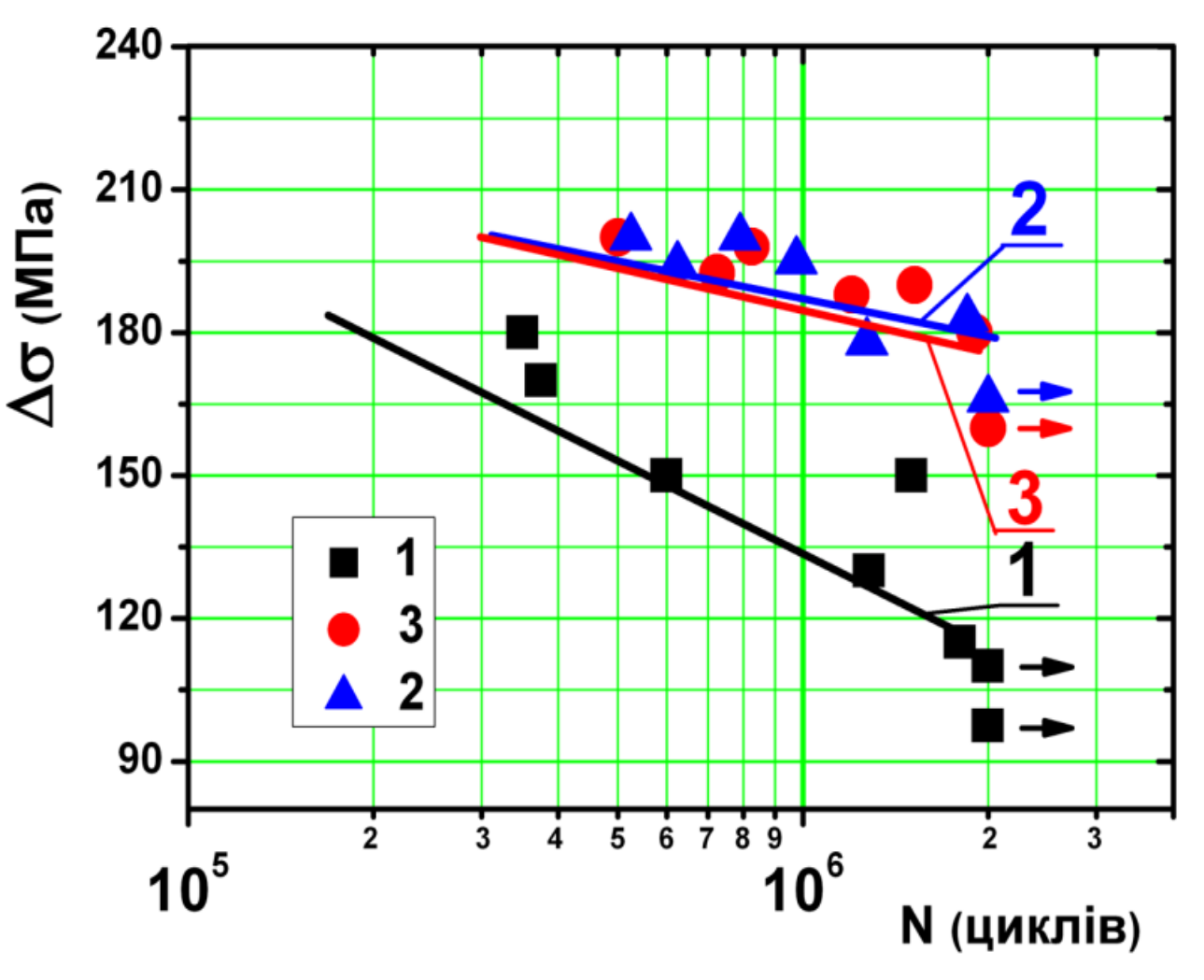
Здійснена розробка і виготовлення ультразвукових генераторів з потужними випромінювачами на п’єзокераміці і цифровим регулюванням електричних параметрів УЗГ.

Розробки захищені багатьма патентами в Україні та за кордоном і призначені для використання в технологіях УЗУО, БУФО, УЗО, зварювання пластмас, подрібнення порошкових матеріалів, а також в різноманітних ультразвукових кавітаційних технологіях.

Патент України № 109975

Диплом переможцям конкурсу “ Винахід року 2016 ” у номінації:
“ПРИСТРОЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ”

РЕЗУЛЬТАТИ ВТОМНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЗРАЗКІВ СТ3, ОБРОБЛЕНИХ ПО ОДНАКОВИМ РЕЖИМАМ УЗУО РІЗНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ



1 – вихідний стан після зварювання;
2 – обробка інструментом з магнітострикційним випромінювачем ультразвуку;
3 – обробка інструментом з п'єзокерамічним випромінювачем.

РІЗНІ МОДИФІКАЦІЇ РОЗРОБЛЕНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЄЮ УЗУО (ВМП)

USTREAT-1.0 (2006 р.)

USTREAT-2.0 (2010 р.)

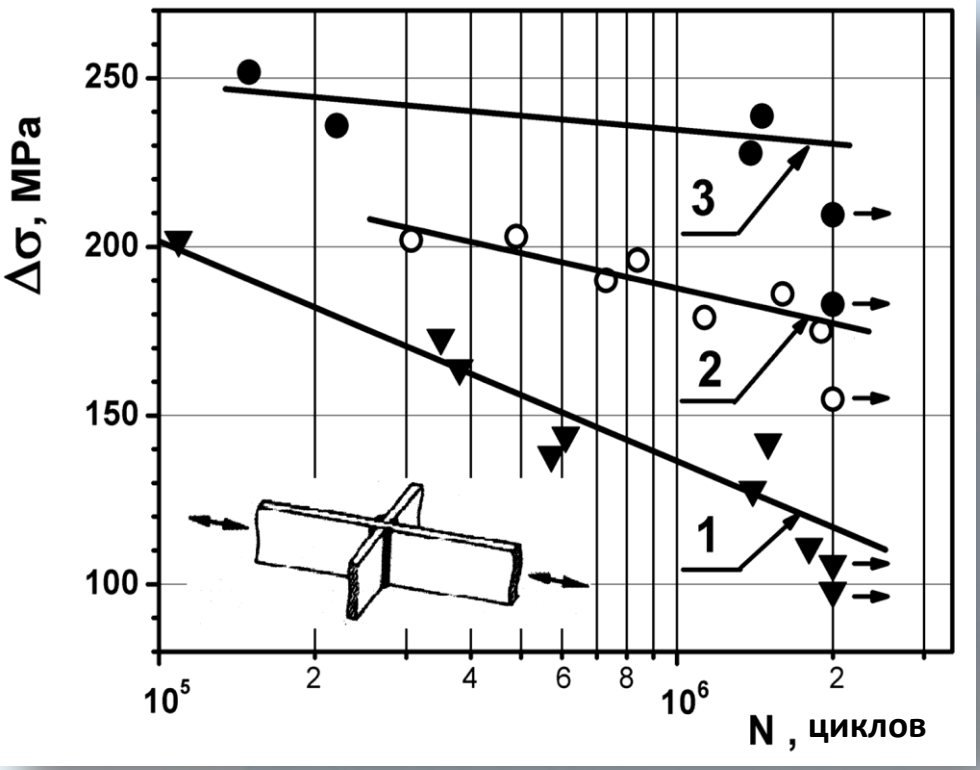
USTREAT-3.0 (2013 р.)

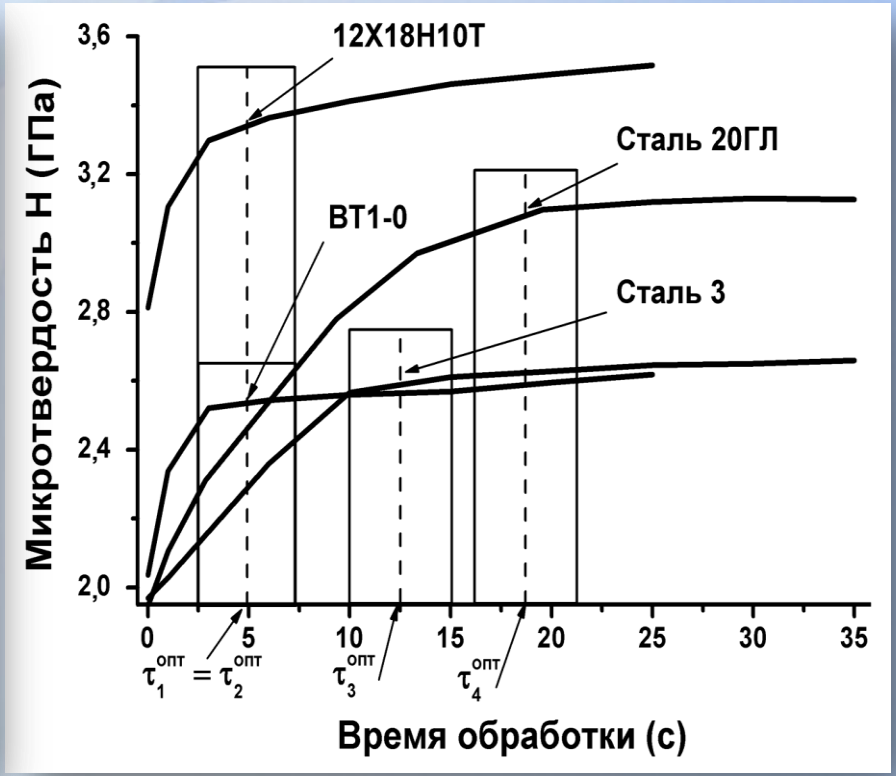
USTREAT-4.0 (2017 р.)

ЗМІННІ УДАРНІ ГОЛОВКИ З РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ І ДІАМЕТРОМ СТРИЖНЕВИХ БОЙКІВ ІЗ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ШХ15

ОСНОВНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Зміцнення поверхні металів та підвищення втомної довговічності зварних з'єднань після УЗУО



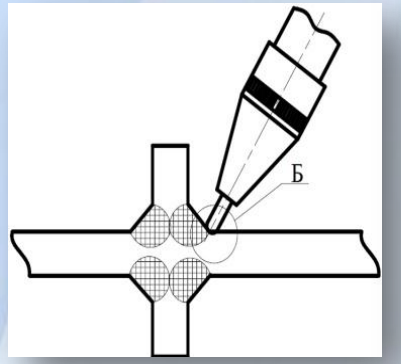


Втомні випробування зварних зразків:
1 – вихідний, після зварювання; 2 – після УЗУО;
3 – додаткова обробка ділянок швів з виявленими дефектами зварювання

Швидке зміцнення та насичення величини мікротвердості із зростанням тривалості УЗУО

УЗУО відрізняється від традиційних методів ударної обробки (пневмодинамічної, дробоструменевої та інших) високою продуктивністю і рекордним підвищенням втомної міцності зварних з’єднань різноманітних конструкцій, при поліпшенні умов праці операторів (зниження шуму і шкідливих вібрацій)

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ВИКОНАННЯ (ПРОДУКТИВНОСТІ) УЗУО НА МІКРОТВЕРДІСТЬ МЕТАЛУ ЗОНИ ПРОКОВУВАННЯ



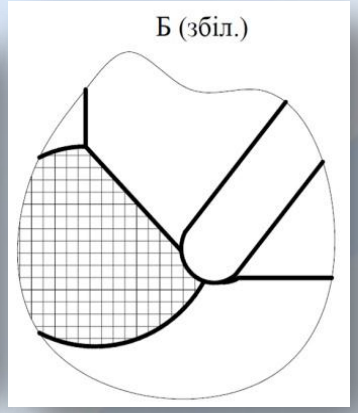
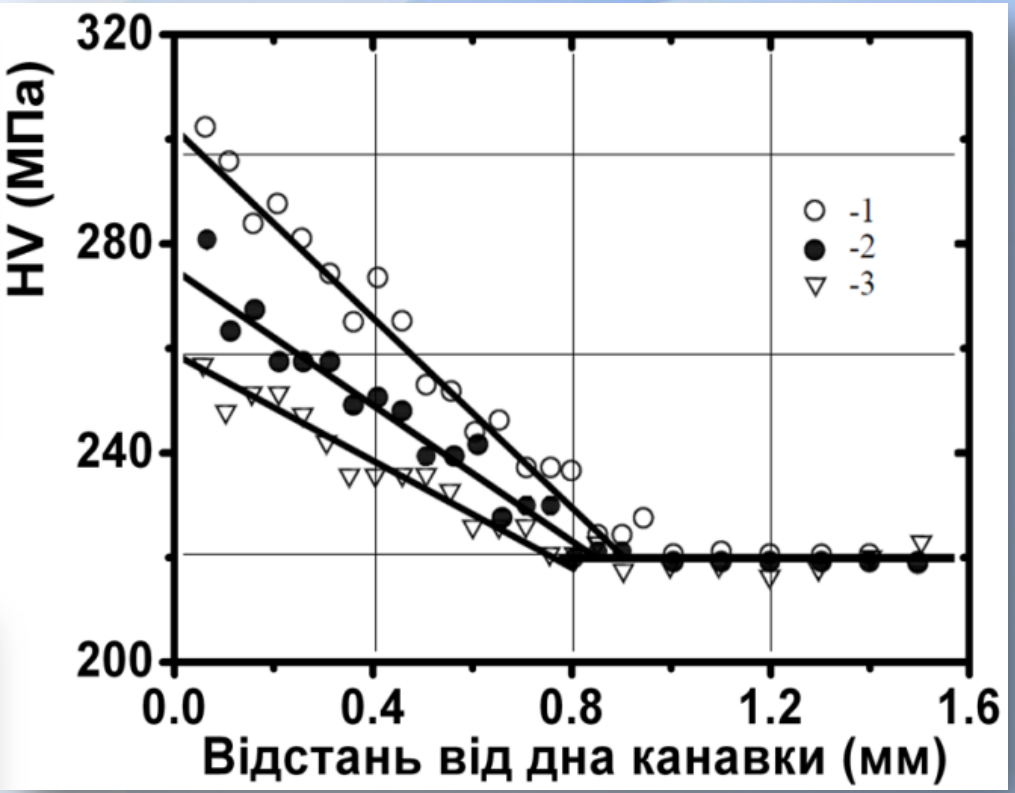


Схема зміцнення високочастотного механічного проковування (ВМП) зварних з'єднань

Зразки таврового зварного з'єднання після зварювання (а) та після ВМП з характерною канавкою в перехідній зоні сплавлення (б).

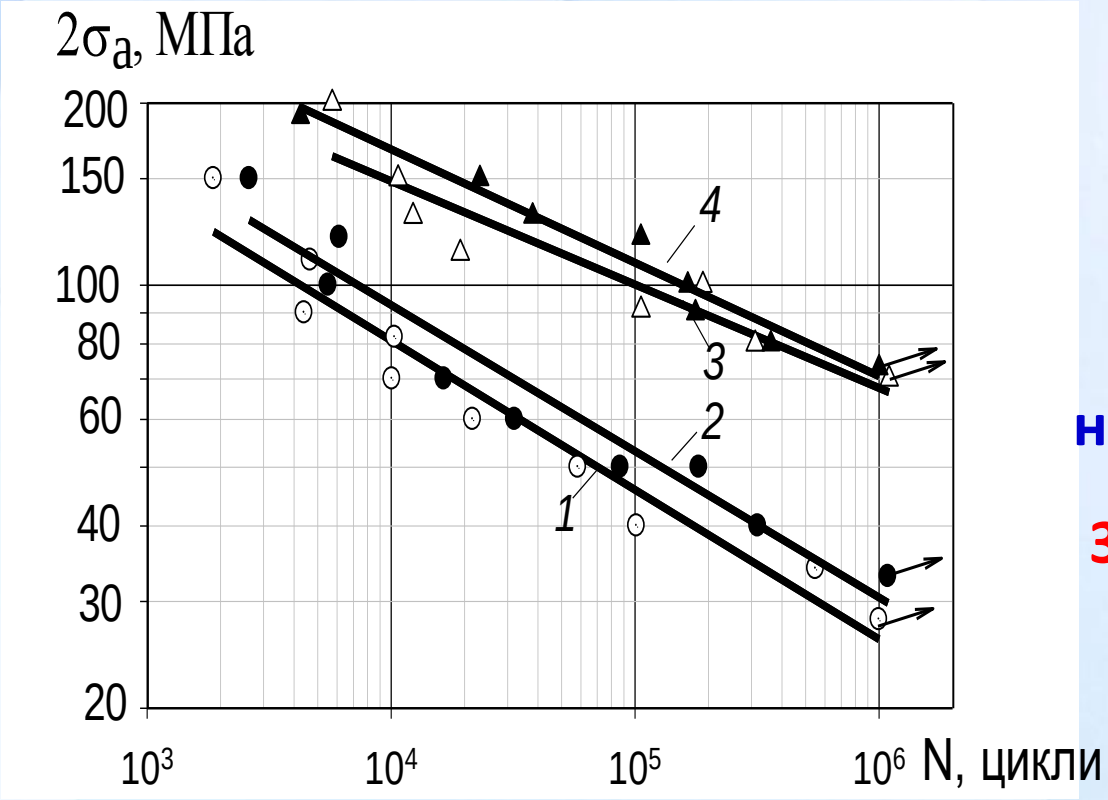


Профілі мікротвердості поперечного перерізу зразка від відстані від дна канавки вглиб металу в залежності від, швидкості зміцнення методом ВМП (1, 2, 3 –1, 5 і 10 мм/с, відповідно.

Показано, що оцінку продуктивності обробки ВМП можна проводити за результатами вимірювання мікротвердості пластичнодеформованого шару металу зони проковування.

ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ ВТОМИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АМГ6 ТЕХНОЛОГІЄЮ УЗУО

Фотографія зразка напускового з'єднання для випробувань на втому



Криві втоми напускових з'єднань сплаву АМг6 товщиною δ = 2 мм:

1 і 2 - початковий стан з напуском 2δ і 5δ відповідно;

3 і 4 - після УЗУО з напуском 2δ і 5δ відповідно.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЧАСУ ОБРОБКИ ПЕВНИХ ДІЛЯНОК ВИРОБІВ

При УЗУО існує оптимальний час обробки одиниці площі або довжини шву $t_{опт}$ для кожного матеріалу при постійних величинах ***A***, $f_{уд}$, ***D*** и ***m***,

де ***A*** – амплітуда коливань, $f_{уд}$ – частота ударів,

D – діаметр бойка, ***m*** – його маса.

Визначивши площу поверхні або довжину ділянки зварного шву, який треба обробити, можна розрахувати загальний час обробки ***T***.

Патент України № 108188 "Спосіб ультразвукової ударної обробки зварних з'єднань металоконструкцій"

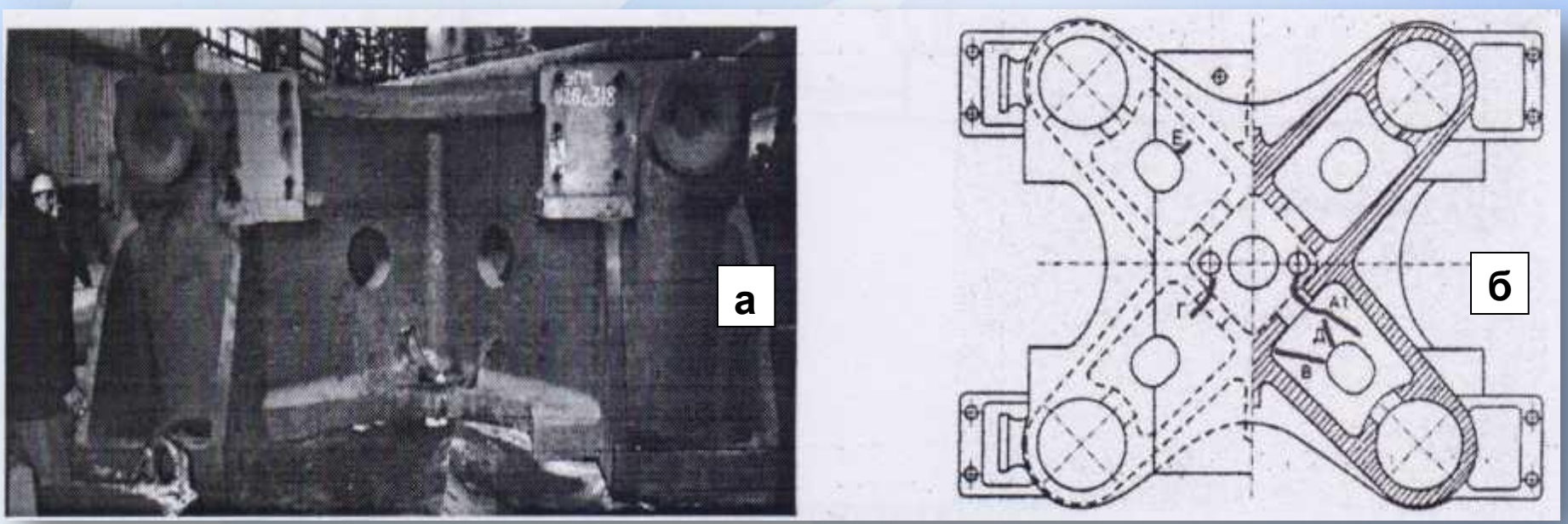
БЕЗ АБРАЗИВНА УЛЬТРАЗВУКОВА ФІНІШНА ОБРОБКА (БУФО) ВИСОКОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ – АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦІЙНОМУ ОБКОЧУВАННЮ КУЛЬКАМИ АБО РОЛИКАМИ

Обробка круглих деталей методом БУФО. Ультразвуковий інструмент приєднано до супорту токарного станку.

Загальній вигляд обладнання для БУФО

ПРИКЛАДИ ПРОМИСЛОВОГО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЗУО

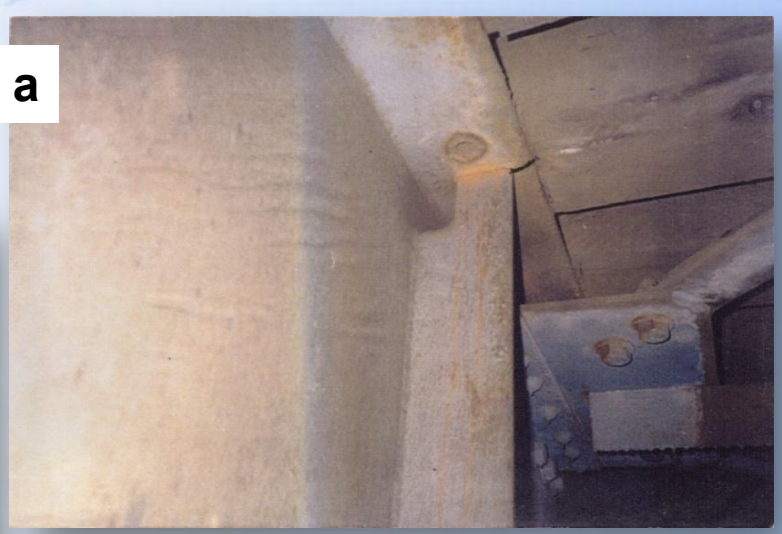
РЕМОНТ СТАНИНИ ПРЕСУ ПОТУЖНІСТЮ 10 ТИСЯЧ ТОН ЗАВАРЮВАННЯМ ТРІЩИН З НАСТУПНОЮ УЗУО



Станина пресу зусиллям 10000 тс (а) і місце розташування тріщин (б) довжиною до 4 м, які утворилися під час тривалої її експлуатації (сталь 35Л, маса 108 т). Етапи ремонтних робіт: усунення та заварювання тріщин + УЗУО ремонтних швів. Місце впровадження: Нижньодніпровський трубний завод (м. Дніпро, 2001 р.). Станина пресу відслужила гарантійний строк після ремонту 5 років, а загалом пропрацювала понад 10 років.

РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАНІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

РЕМОНТ ЗАЛІЗНИЧНОГО МОСТУ Ч/Р ВОРСКЛА ЛІНІЇ КИЇВ-ХАРКІВ



Тріщина втоми у верхньому поясі поздовжньої балки в місці стику вертикального ребра жорсткості (а) та місця закріплення модернізованих зварюванням вертикальних ребер жорсткості до нижніх поясів головних балок після зміцнення технологією УЗУО (б)

ВИЯВЛЕННЯ, УСУНЕННЯ ТА ЗАВАРЮВАННЯ ТРІЩИН ВТОМИ В ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТАХ З ПОСЛІДУЮЧИМ ЗМІЦНЕННЯМ РЕМОНТНИХ ШВІВ УЗУО

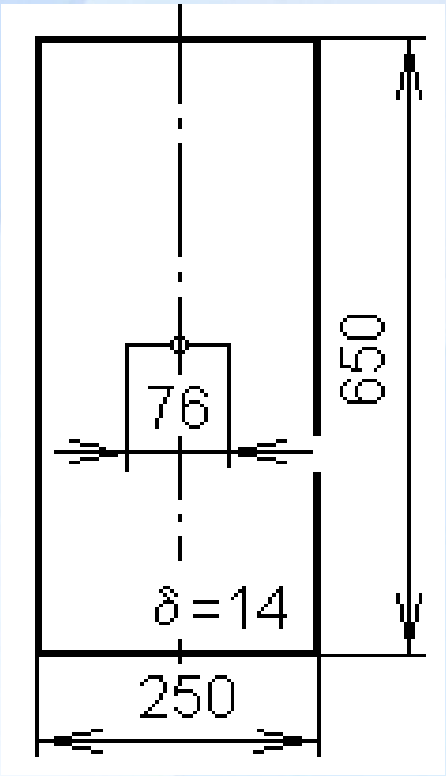
Виявлена тріщина

Видалення тріщини. Підготовка до

Тріщина після заварювання

Зміцнення ремонтних швів УЗУО

ВТОМНІ ВИПРОБУВАННЯ ЗРАЗКІВ СТАЛІ Ст3сп



Ескіз зразка для втомних випробувань.

Таблиця 1. Залежність коефіцієнту збільшення довговічності $К_д$ від способу гальмування тріщини (**σ_{max} = 150 МПа**).

№	Спосіб гальмування тріщини	N, циклів	$К_д$
1	Вихідний стан	35000	1
2	Висвердлювання отворів Ǿ 23мм	52200	1,45
3	Встановлення в отвори високоміцних болтів Ǿ22мм з натягом 20 тс.	730550	20,87
4	Ремонт тріщини заварюванням	1450000	41,43
5	Ремонт тріщини заварюванням з наступною ВМП	2000000	57,14

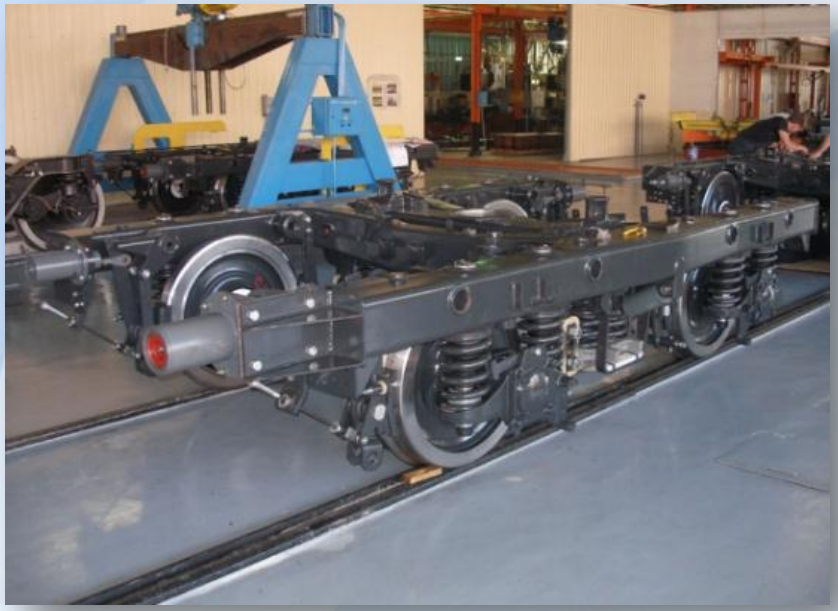
РЕМОНТНІ ТА ПРОФІЛАКТИЧНІ РОБОТИ НА МОСТАХ

Використання УЗУО для обробки завареної тріщини на залізничному мості у м. Києві

Обробка зварних швів мосту в штаті Іллінойс (США) – Канадська фірма Integrity Testing Laboratory Inc. (Project P210 IMP NASU, 2005)

ТЕХНОЛОГІЇ УЗУО В ТРАНСПОРТНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Випробувальний стенд



Переваги технології УЗУО у порівнянні з традиційним відпалом

Без УЗУО
Злам макету візка в зоні зварювання

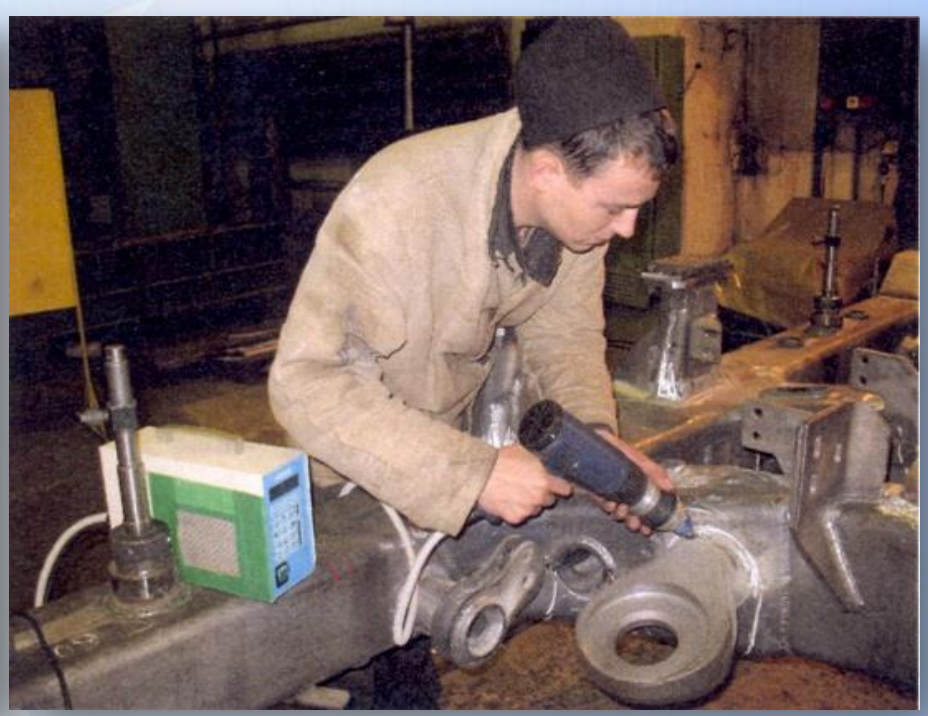
Після УЗУО Злам макету віддалі від шва

Випробовування натурних елементів візків вагонів (макетів) показали збільшення втомної довговічності в 2,5 рази

Зміна довговічності макетів візків залізничних вагонів при знакозмінних навантаженнях(до руйнування)	
Матеріал і попередня обробка макетів	Зміна довговічності, %
Ст 20 без відпалу	**100**
Ст 20 відпал	**143**
Ст 20 без відпалу, УЗУО (ВМП) швів	**255**

ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЗНИЖЕННЯ СТРОКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЗКІВ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

а



б

Обробка зварних швів візка вагону за технологією ВМП.
а – тріщина в зварному з’єднанні кронштейна кріплення двигуна, яка утворилася в процесі експлуатації; б – обробка швів установкою USTREAT – 2.0

ЗАСТОСУВАННЯ УЗУО НА ПрАТ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ЕЛЕКТРОВОЗОРЕМОНТНИЙ ЗАВОД»

Тріщина в рамі кузова локомотива серії ВЛ80с №1782

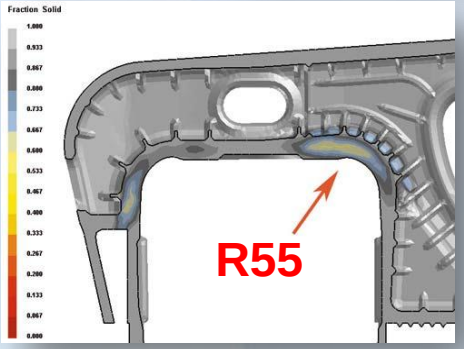
УЗУО зварного з’єднання усуненої тріщини

ЗМІЦНЕННЯ БОКОВОЇ РАМИ ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ ТЕХНОЛОГІЄЮ УЗУО НА КРЕМЕНЧУЦЬКОМУ СТАЛЕЛИВАРНОМУ ЗАВОДІ

Злам бокової рами вантажного вагону

Обробка бокової рами в цеху заводу

Галтель R55 після обробки



Живучість оброблених рам (час між появою тріщини і зламом) зросла на 23%

Циклічна довговічність бокових рам після УЗУО зросла в середньому від $2{,}176 \cdot 10^6$ до $3{,}565 \cdot 10^6$

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ НА ВТОМУ РАМ БОКОВИХ (КРЕСЛ. 7020.00.002-0)

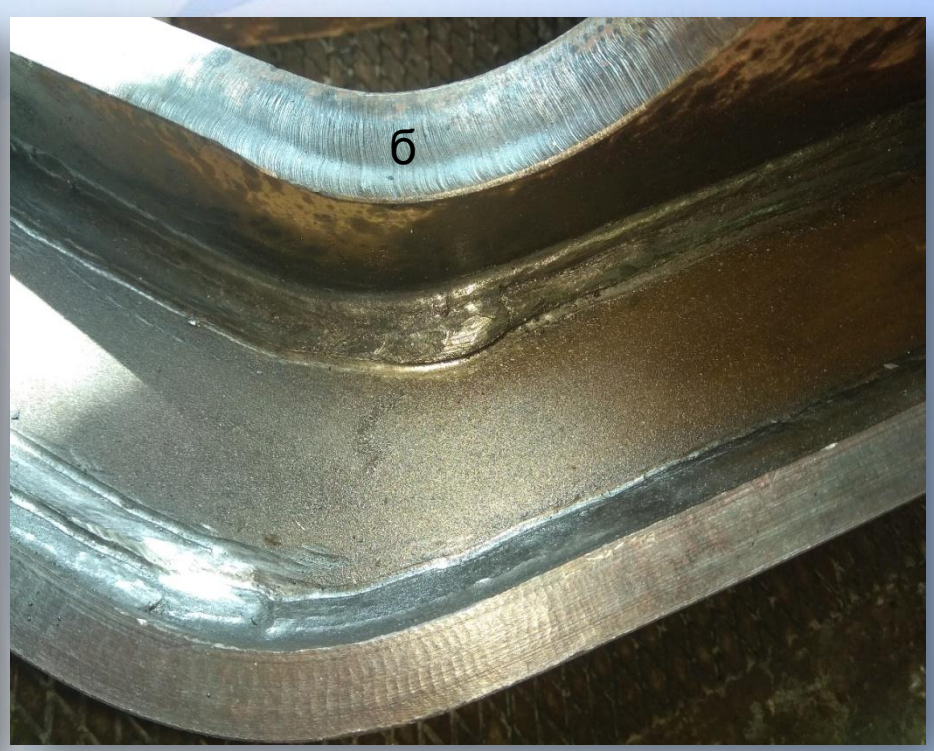
Номер деталі	Фактична маса деталі, кг	Навантаження циклу, кН (тс)			Кількість циклів		Місце та характер руйнування	Відносна живучість $(N_р - N_{тр})/N_р$, %
		макси-мальна P_{max}	міні-мальна P_{min}	амплітудна $P_а$	до появи тріщини, вздовж якої відбулося руйнування, $N_{тр}$	до руйнування $N_р$		
750018	412	614 (62)	118 (12)	245 (25)	2 087 000	2 176 000	Похилий пояс	4,09
7600	412	614 (62)	118 (12)	245 (25)	2 770 000	3 272 000	Нижній кут ресорного отвору	15,34
7798	416	614 (62)	118 (12)	245 (25)	2 737 000	3 565 000	Похилий пояс	23,23

Допустиме число циклів до руйнування $[N_р] = 0{,}345 \cdot 10^6$ циклів навантаження

РОЗРОБКА ІЕЗ ім. Є.О. ПАТОНА ЗВАРЕНИХ РАМ КОЛІСНИХ ПАР ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Тестова машинаZDM200pu

Ділянки рами, зміцненої УЗУО



<u>Методика випробувань:</u> Цикл навантаження від 12 до 62 тс до руйнування).

Кількість циклів до утворення тріщини втоми - 8,8 млн. циклів

Кількість циклів до руйнування - 12,2 млн. циклів.

Порівняння з литими рамами: руйнування литих рам відбувається від 1,2 до 3,5 млн. циклів при аналогічному навантаженні.

ПІДПРИЄМСТВА, ДЕ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УЗУО

- ПАТ “ Крюківський вагонобудівний завод ” – релаксаційна обробка бокових панелей корпусів і візків пасажирських вагонів, рам візків вантажних вагонів для гірничо-збагачувальних комбінатів.
- ТОВ “ Інструментальний завод ” – УЗУО зварних швів візків вагонів метро.
- ПАТ “ Кременчуцький сталеливарний завод ” – УЗУО галтелей рами бокової вантажних вагонів.
- АТ “ Укрзалізниця ” – ремонтно-відновлювані роботи по ліквідації втомних пошкоджень мостів, шляхопроводів і елементів зварних конструкцій рухомого складу залізничного транспорту.
- ПАО «ЛУКОЙЛ-Одеський НПЗ» - резервуари для зберігання нафти об’ємом 10000 м^3 (усунення дефектів в зварних швах нижнього поясу) та на інших підприємствах.

ОСНОВНІ ВІДПОВІДАЛЬНІ ДЕТАЛІ, СПОРУДИ І ЗВАРНІ КОНСТРУКЦІЇ, ДЛЯ ЯКИХ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЗУО ДАЄ НАЙВИЩИЙ ЕФЕКТ У ПОДОВЖЕННІ СТРОКУ СЛУЖБИ ТА БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

- **Відповідальні деталі продукції авіабудування.**

Лопатки газо-турбінних авіадвигунів, компресорів та ін.

- **Залізничні мости, шляхопроводи та естакади.**

На залізницях України експлуатується 929 металевих мостів загальною довжиною біля 74 км, Із зазначених металевих прогонових будов 298 - вважаються дефектними.

- **Об'єкти рухомого складу залізничного транспорту на стадії виготовлення.**

Візки пасажирських вагонів і метрополітену.

Вагони високошвидкісних поїздів.

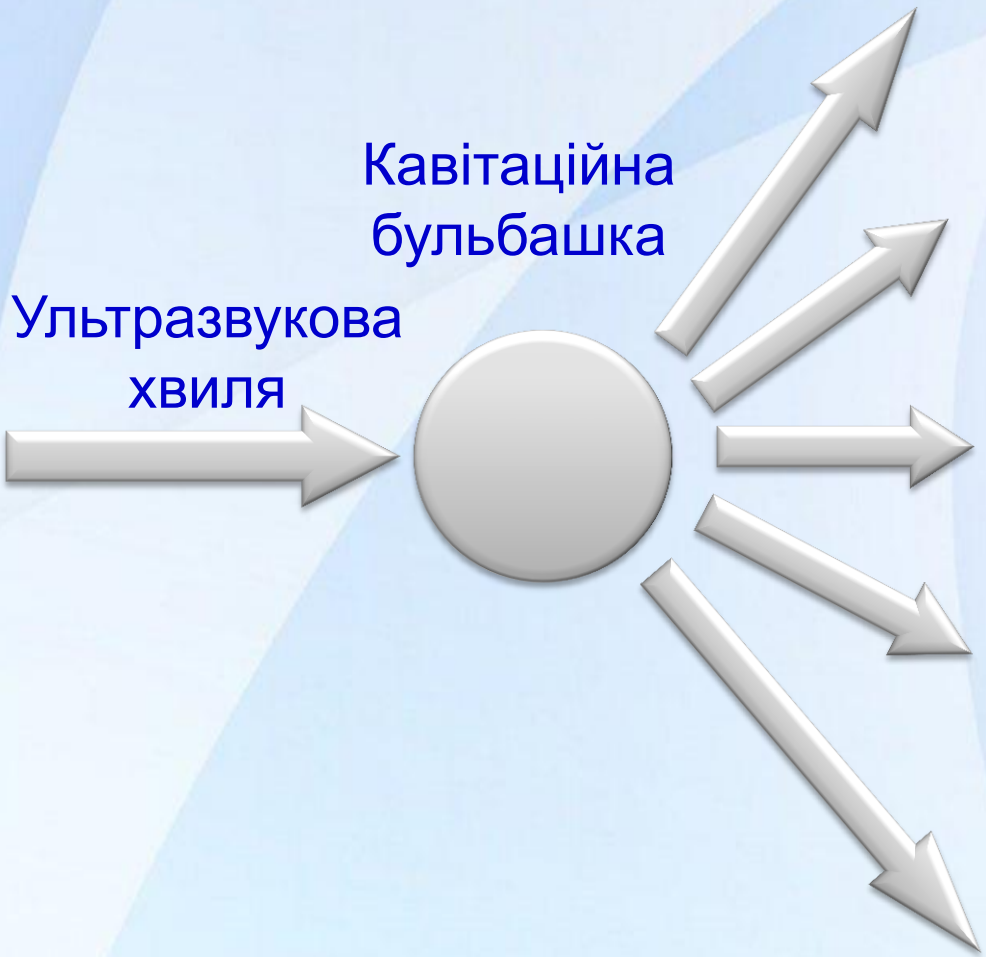
Ливарні вироби (рама бокова колісної пари вантажних вагонів).

- **Ремонтно–відновлювані роботи різноманітних зварних конструкцій.**

Усунення втомних тріщин заварюванням + УЗУО (корпуси локомотивів, надресорні балки вантажних вагонів для гірничозбагачувальних комбінатів, вібропресове обладнання, резервуари для зберігання нафти тощо).

УЛЬТРАЗВУКОВІ КАВІТАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ РІЗНОМАНІТНИХ РІДИН

ЕФЕКТИ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ ЯВИЩЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КАВІТАЦІЇ



Локальне підвищення температури до 1000 ˚С

Інтенсивні мікротечії

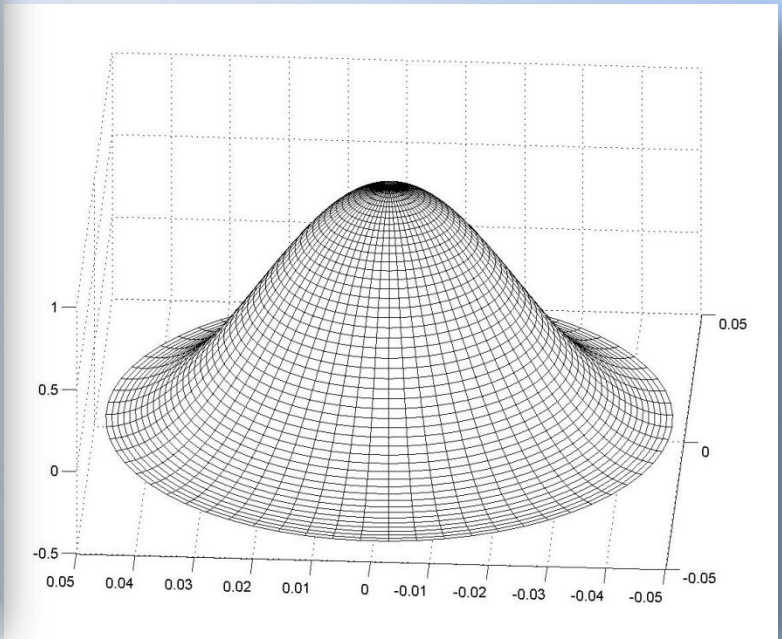
Ударні хвилі

Кумулятивні струмені

Локальне підвищення тиску до 1000 МПа

КАВІТАЦІЙНА КАМЕРА ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ З П’ЄЗОКЕРАМІЧНИМИ ВИПРОМІНЮВАЧАМИ УЛЬТРАЗВУКУ

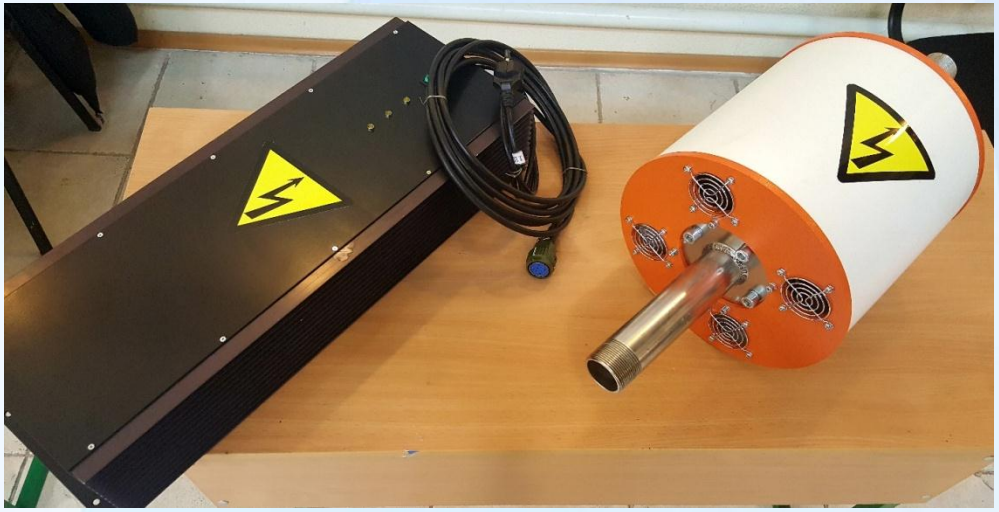
Концентрація енергії ультразвуку в кавітаційній камері у вигляді трубчастого вібратора

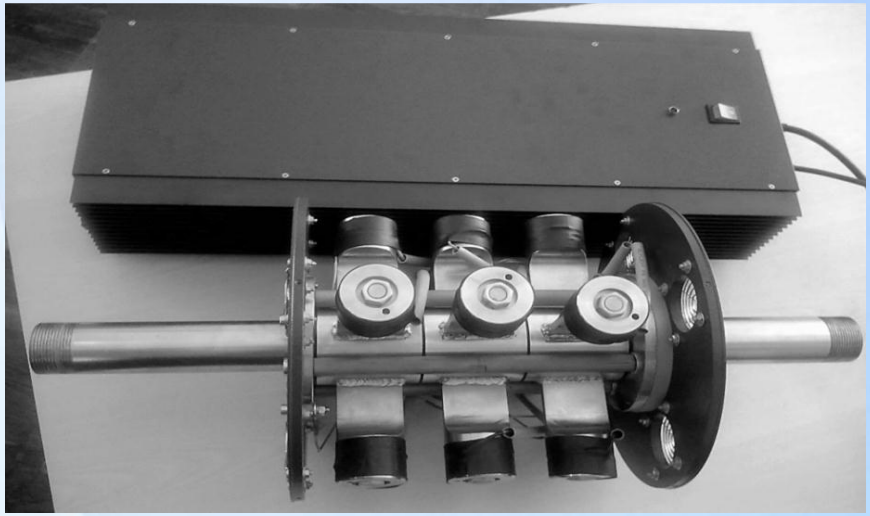


УЛЬТРАЗВУКОВЕ КАВІТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ РІДИН В ПОТОЦІ

Ультразвуковий проточний кавітатор USS-400

Ультразвуковий проточний кавітатор USS-1200





УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ПРОТОЧНИЙ КАВІТАЦІЙНИЙ ФІЛЬТР З ЕФЕКТОМ САМОРЕГЕНЕРАЦІЇ

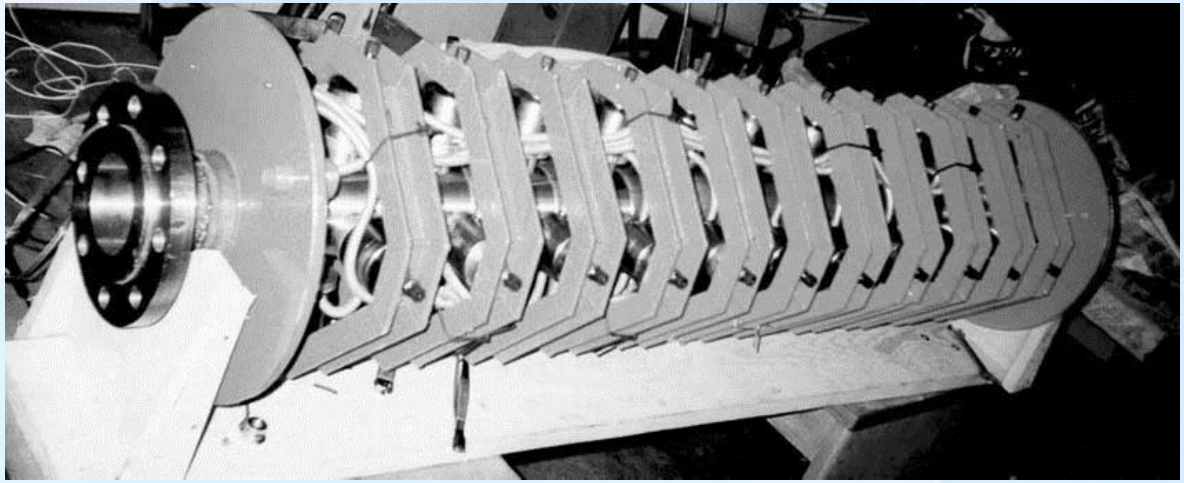
(Де використовується?)

УЛЬТРАЗВУКОВЕ КАВІТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ПЛАСТОВОЇ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ

Ультразвукова проточна кавітаційна установка, що встановлена на нафтодобувній свердловині НГВУ “Чернігівнафтогаз” нафтового родовища в м. Прилуки

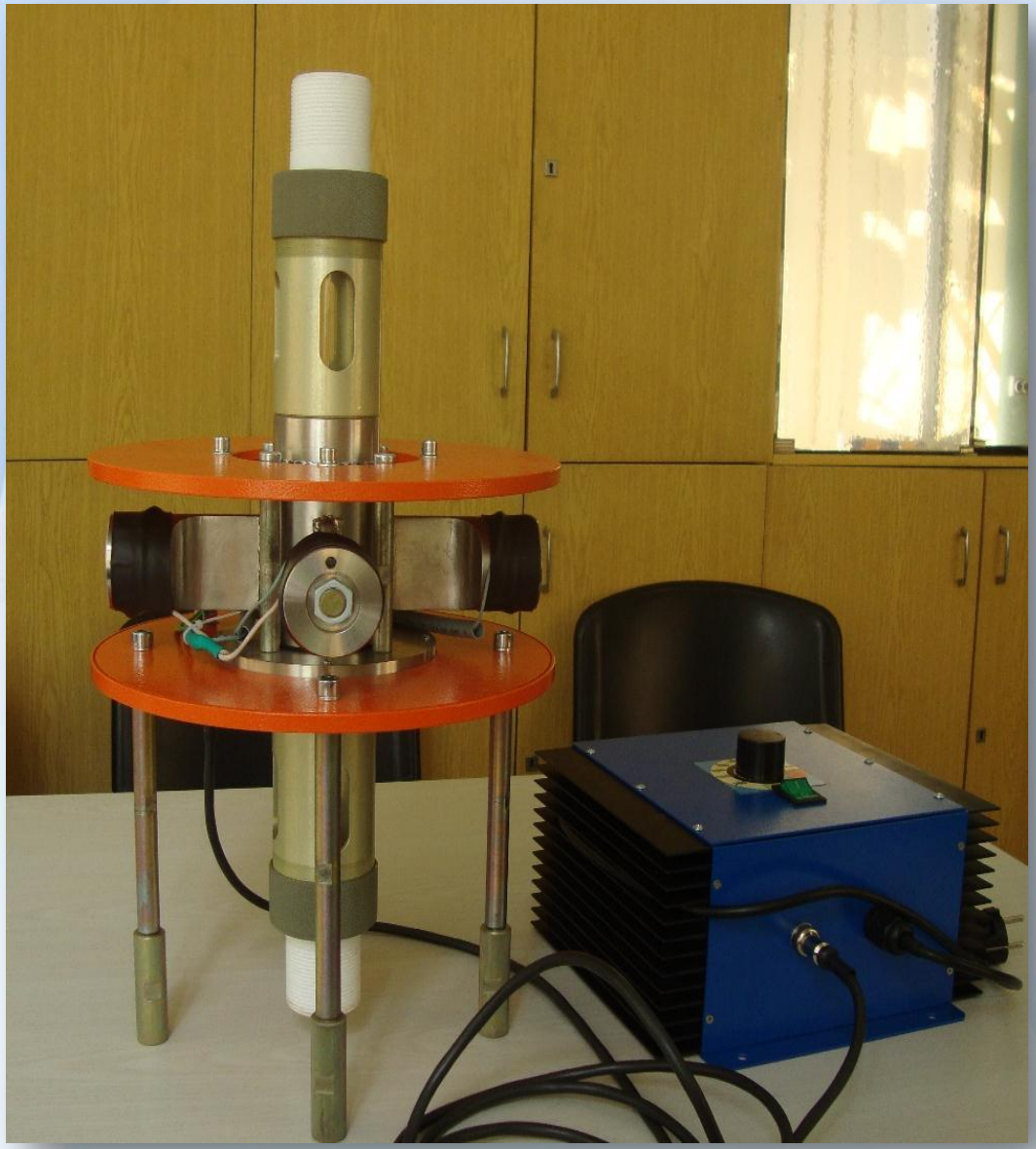
ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПЛАСТОВОЇ ВОДИ (ЗА ДАНИМИ ЛАБОРАТОРІЇ НГВУ “ЧЕРНІГІВНАФТОГАЗ”)

Показники	До ультразвукової установки	Після ультразвукової установки
Хлор, мг/л	251075	138294
Іони заліза, мг/л	97,7	94,9
Вільний CO_2, мг/л	431,2	202,4
Нафтопродукти,мг/л	4	3
Кількість механічних домішок, мг/л	66	47
Кількість завислих речовин, мг/л	156	148
Ca, мг/л	21543	11523
Mg, мг/л	2280	2584



Потужність 2,2 кВт

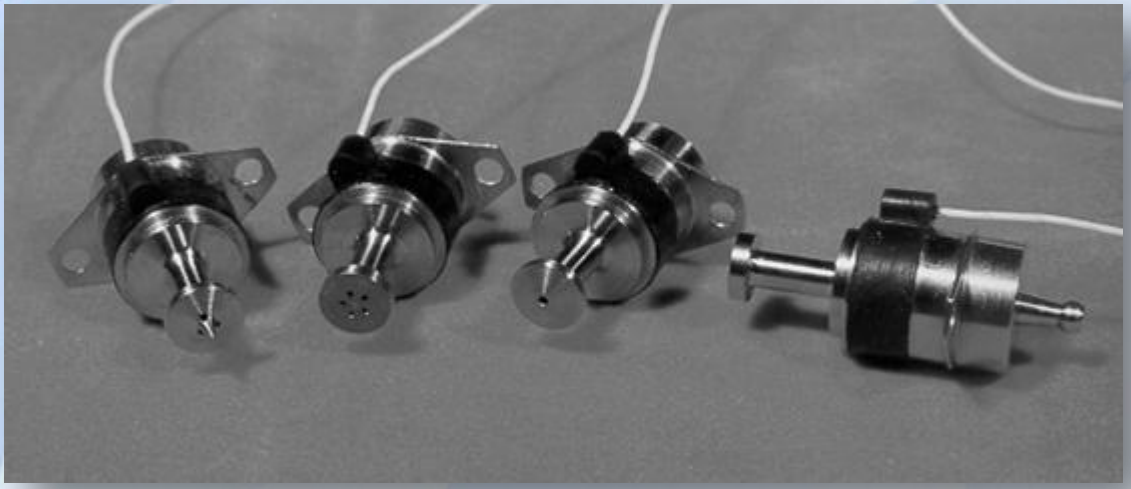
УЛЬТРАЗВУКОВІ КАВІТАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ



Ультразвукове кавітаційне обладнання для отримання особливо чистих екстрактів лікарських рослин в фармацевтичній промисловості

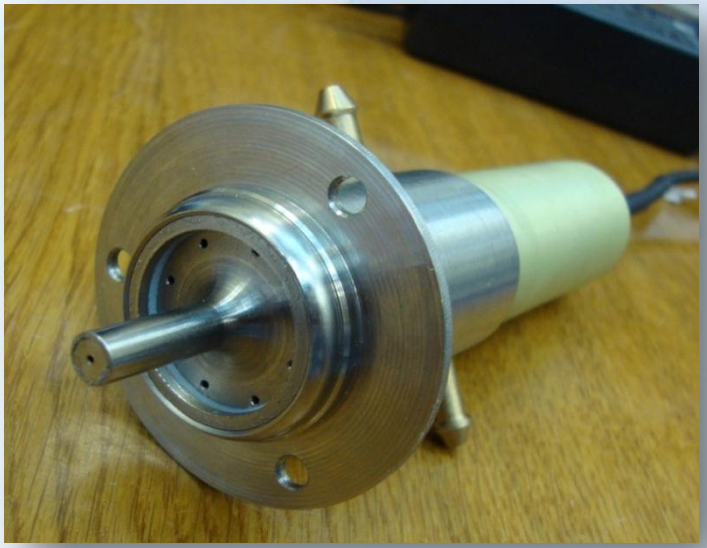
ГРУПА ПАТЕНТІВ, ПРИСВЯЧЕНИХ ОБРОБЦІ РІДИНИ ПОТУЖНИМ УЛЬТРАЗВУКОМ, БУЛА ВИЗНАНА ПЕРЕМОЖЦЕМ ВСЕУКРАЇНСЬКОГО КОНКУРСУ «ВИНАХІД РОКУ - 2016»

УЛЬТРАЗВУКОВЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПИЛЕННЯ В ТОНКОМУ ШАРІ



Малогабаритні ультразвукові диспергатори для систем впорскування палива в двигуни внутрішнього згоряння

Диспергатор до мехатронних систем штучного мікроклімату



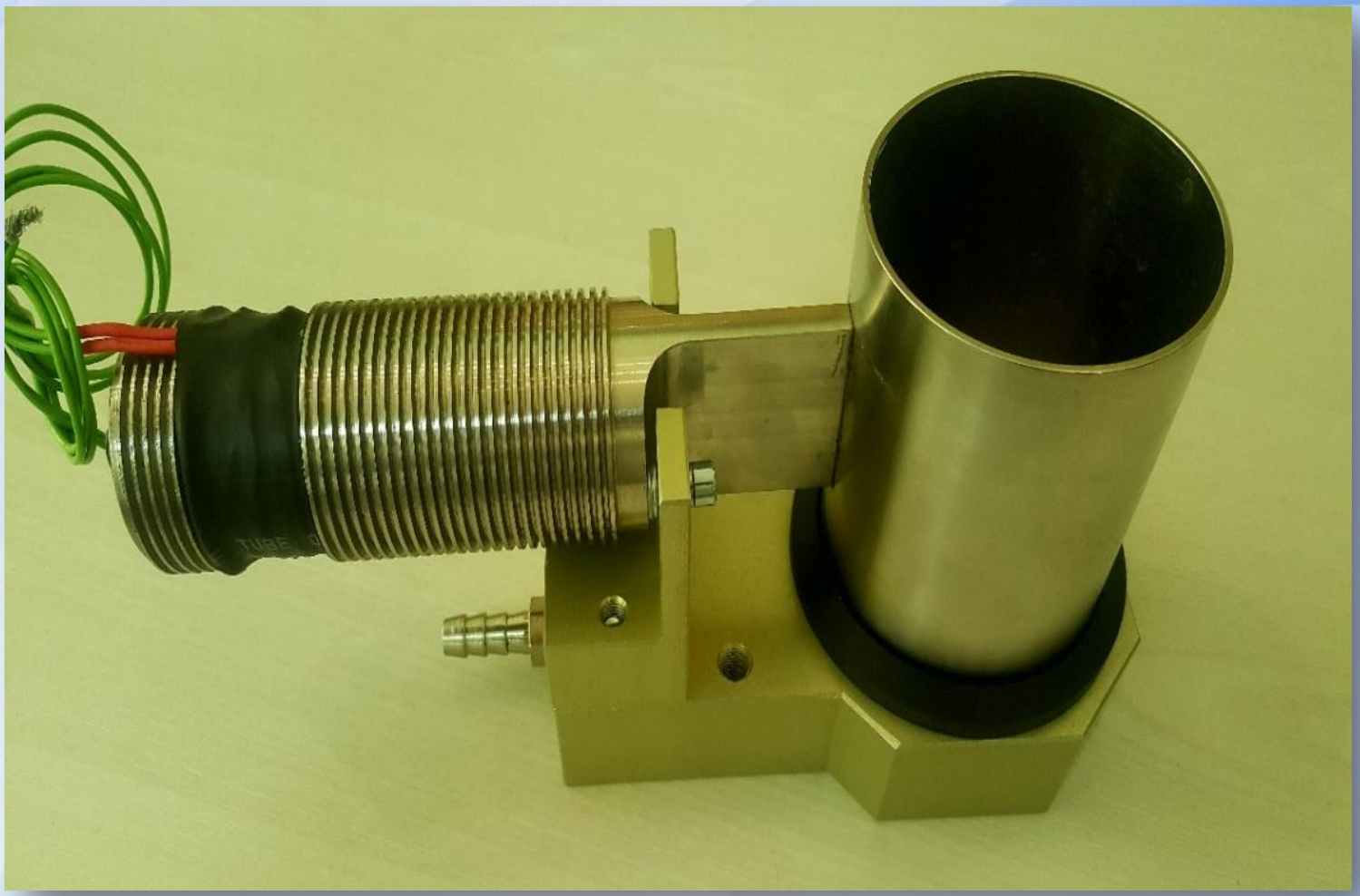
Диспергатор з пневматичним охолодженням та формуванням факелу аерозолю

УЛЬТРАЗВУКОВІ ДИСПЕРГАТОРИ

Диспергатор для отримання дрібнодисперсних порошків металів (резонансна частота 33 кГц, продуктивність до 90 мл/хв., дисперсність порошку 15…30 мкм)

Ультразвуковий диспергатор з можливістю зміни форми факелу розпилення у складі мехатронних систем зрошування в сільському господарстві (продуктивність до 2,5 л/хв., дисперсність аерозолю 15…30 мкм)

УЛЬТРАЗВУКОВІ ДИСПЕРГАТОРИ



Ультразвуковий диспергатор для отримання аерозолю у складі мехатронних систем опріснення, отримання сухого молока та пектинового порошку (продуктивність до 4л/хв., дисперсність аерозолю 15…30 мкм)

МОБІЛЬНІ УЛЬТРАЗВУКОВІ КАВІТАЦІЙНІ АПАРАТИ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ РІДИН

РУЧНІ УЛЬТРАЗВУКОВІ АПАРАТИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Розробка НТУУ “ КПІ ім. Ігоря Сікорського ”

Використання:
Легка промисловість,
Сільське господарство

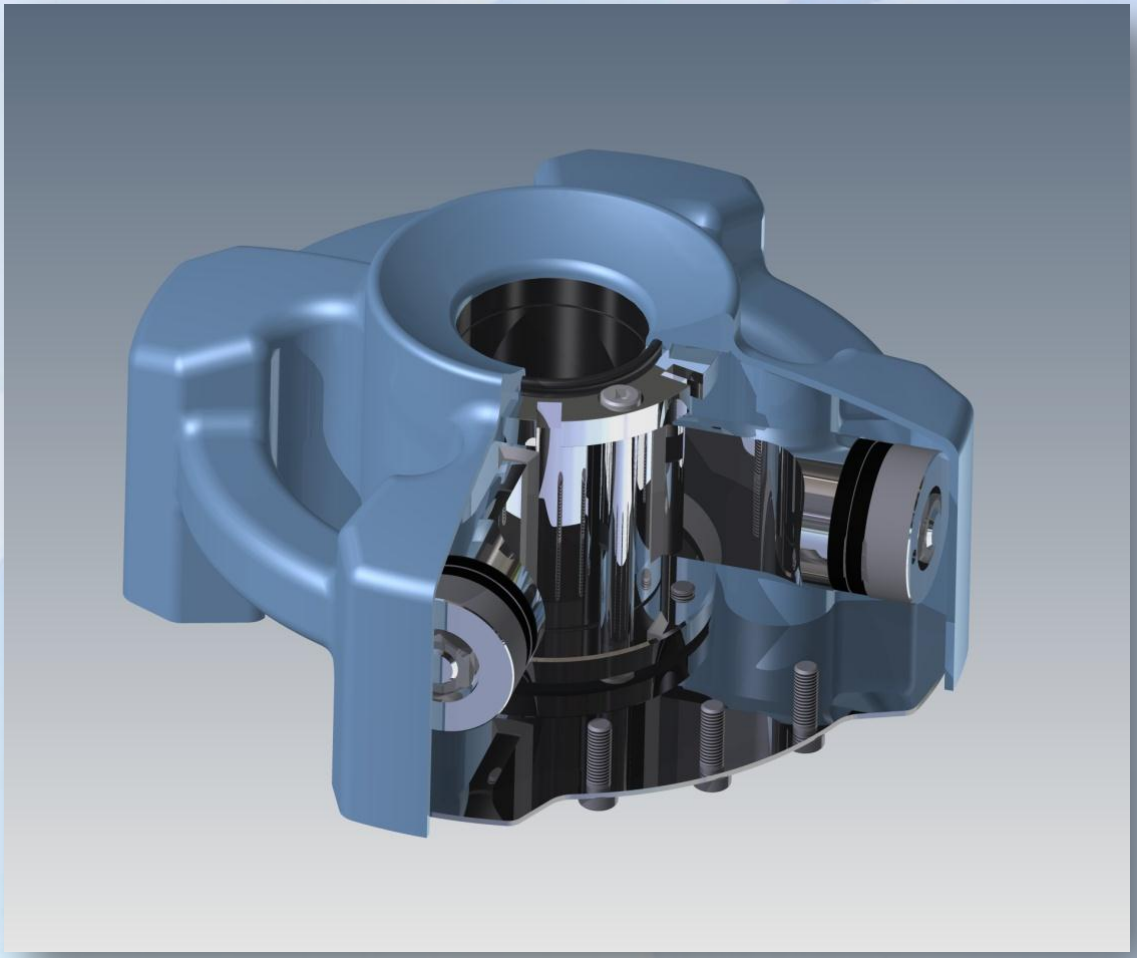
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БОРОТЬБИ З ІНКРУСТАЦІЄЮ НА ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХНЯХ

Комплекти ультразвукової апаратури “Пік-1” та “Пік-2”

Дослідна експлуатація розроблених приладів на існуючій тепломережі показала, що навіть на значній відстані від ультразвукового перетворювача відбувається суттєве зменшення відкладень на теплообмінних поверхнях.

Старі тверді відкладення відпадають від металевих поверхонь, а ті що не відпали – розрихлюються і поступово руйнуються.

УЛЬТРАЗВУКОВЕ КАВІТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОЛЬОВИХ ШПИТАЛІВ



Ультразвуковий кавітаційний прилад для знезараження та очищення медичного інструментарію

ПІДПРИЄМСТВА, ДЕ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ КАВІТАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І УЛЬТРАЗВУКОВЕ ОБЛАДНАННЯ - 1

- ДП ПАТ «Оболонь» - «Красилівське» - впроваджено запатентовану технологію насичення рідини газами за рахунок ультразвукового дрібнодисперсного розпилення рідини в газове середовище;
- ТОВ НМЦ «Медінтех» - впроваджено запатентовану розробку ультразвукового інгалятора з дозованим розпиленням в тонкому шарі та ультразвуковий масажний вібратор;
- ТОВ «Агрохім Групп», ТОВ «ЕНЕРГОМЕХКОМПЛЕКТ» та ТОВ «Джала Голд» - впроваджені проточні ультразвукові кавітатори різної продуктивності для отримання гумінових добрив, на базі КАС та апарат для ультразвукового екстрагування з метою отримання особливо чистих екстрактів лікарських рослин;
- « Центр мікрохірургії ока» - впроваджено розробку ультразвукового факоемульсфікатора для проведення операцій на очах людини;
- АТ «Квазар» - впроваджено лінію по ультразвуковому кавітаційному очищенню електронних плат та ультразвукового розпилення для нанесення на оптичні елементи просвітлюючих покриттів;

ПІДПРИЄМСТВА, ДЕ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ КАВІТАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І УЛЬТРАЗВУКОВЕ ОБЛАДНАННЯ - 2

- Корпорація «Сварог Вест Груп» - впроваджено ультразвуковий кавітаційний апарат для холодного знезараження та гомогенізації молока, а також ультразвукові розпилювачі добрив зі змінним кутом розкриття факелу розпилу для мехатронної системи зрошування;
- НГВУ «Чернігівнафтогаз» - впроваджено ультразвуковий проточний кавітаційний апарат для боротьби з інкрустацією на трубах для закачування агресивної пластової води;
- ПП «Кондитерський дім «Санкруа» - впроваджено технологію та обладнання для активації хлібопекарських дріжджів при виробництві хлібобулочної продукції;
- ПАТ «Дрогобицький завод автомобільних кранів» - впроваджено ультразвукове кавітаційне обладнання для регенерації мастильно-охолоджуючих рідин;
- ТОВ «Продсервіс – ІР» - впроваджено спосіб та обладнання для вилучення пектину з яблучних вичавок;
- Інститут хімії поверхні НАН України ім. О.О. Чуйка - впроваджено систему ультразвукового розпилення з метою нанесення покриттів в умовах високих температур.

МІЖНАРОДНЕ ВИЗНАННЯ

Зарубіжні патенти:

Патент США № 6 467 321
Патент Канади № 2 348 834
Патент США № 8 747 732
Патент Японії № 5 779 230
Патент РФ № 2 540 600

Участь у симпозіумах ультразвукової промислової асоціації США (1994,1997, 1998, 2000, 2002 рр.)

З 1994 року різні аспекти технології УЗУО (Ultrasonic Impact Treatment) були представлені на 8 сесіях Міжнародного Інституту Зварювання науковцями України і Канади, а технологія рекомендована в 2008 році 13-й комісією МІС для використання в зварювальному виробництві.

Авіадвигуни, розроблені ДП «Івченко-Прогрес», застосовуються на 66-х типах літальних апаратів. Тисячі двигунів експлуатуються в більш ніж 100 країнах світу. Переважна більшість деталей авіадвигунів (лопатки турбін та ін.) проходять поверхневе зміцнення в тому числі з викорстанням ультразвуку

ВИКОНАНІ МІЖНАРОДНІ ПРОЕКТИ

- 1996 – 1997 – Программа INCO COPERNICUS *“The Development of New Ultrasonic assisted Processes in Metallurgy and Machinery”* .
- 1998 – Партнерский проект STCU - P015 *“The Development of super elastic Materials for Ultrasonic Horns”.*
- 1999 – Партнерский проект STCU - P024 “*The Development of improved Technology and Equipment for UIT of Welded Joints and Constructions*”.
- 2000 – 2001 - Проект STCU - NN32 “*The Development of New Method for Materials Processing using Ultrasonic Field in Microgravity*”.
- 2002 – Проект STCU – 2354 “*Development of Ultrasonic Technologies for Manufacturing of the New Composite Materials with Adjustable Coefficient of Thermal Expansion*”.
- 2005 – Партнерский проект STCU - P210 “*Development of equipment for ultrasonic impact treatment of metals and studies of the equipment efficiency*”.

Загальній обсяг фінансування – 380 тис. дол. США

ВИСНОВКИ - 1

- Проведено дослідження фізичних процесів, які відбуваються при інтенсивній пластичній деформації поверхні металевих матеріалів при УЗУО. Вони поєднують складні структурно-фазові перетворення, які призводять до нано структуризації поверхневих шарів, механо-хімічні реакції, аномальне масоперенесення, динамічну рекристалізацію тощо.

- Виконано комплекс експериментальних і теоретичних досліджень, який дозволяє прогнозувати збільшення ресурсу зварних металоконструкцій при застосуванні УЗУО як на стадії виготовлення, так і після тривалої експлуатації з урахуванням впливу кліматичних чинників, наявності технологічних непроварів, поверхневих пошкоджень незначної глибини та інших.

- Обґрунтована ефективність застосування ремонтно-відновлювальних робіт зварюванням з наступним зміцненням ремонтних швів УЗУО, що дозволяє повністю відновити цілісність і несучу здатність та гарантовано продовжити призначений при проектуванні термін служби виробів і споруд, які містять тріщини втоми.

ВИСНОВКИ - 2

- Розроблено і виготовлено обладнання для без абразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО), яке дозволяє отримати граничне зниження шорсткості поверхні деталей машинобудування, підвищення зносостійкості, корозійної стійкості та втомної міцності та можливість обробки високоміцних і загартованих матеріалів.

- Ультразвукове зварювання пластмас і металів: застосування в різних галузях промисловості – легкої, харчової, у виробництві електронної техніки та ін., при підвищенні якості продукції та продуктивності, а також для покращення умов праці.

- За рахунок розробленого та дослідженого обладнання для ультразвукової кавітаційної обробки рідин вдалося підвищити ефективність технологічних процесів диспергування, безреагентного знезараження, дегазації, екстрагування, розпилення, створення стійких емульсій, що не розшаровуються, активування рідин і т.п.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

В роботі представлені багаторічні дослідження вітчизняної школи акустиків, металофізиків і машинобудівників у важливому науково-технічному напрямі щодо впливу потужного ультразвуку на механічні та фізичні властивості речовин в твердому і рідкому станах.

Ці дослідження призвели до створення вітчизняної ультразвукової апаратури та нових технологічних процесів, впроваджених в машинобудуванні, будівниц-тві відповідальних споруд, сільському господарстві, медицині тощо з отриманням економічного ефекту понад 200 млн. грн. (і надалі понад 50 млн. грн. на рік)

Роботи авторського колективу визнані світовим науково-технічним співтовариством, про що свідчать високі науково-метричні дані представленої роботи, національні та зарубіжні патенти.

Статистичні дані

- Кількість публікацій - 402, в тому числі 11 монографій, 2 нормативних документи, 389 статей (63 - у закордонних виданнях).
- Загальна кількість посилань на публікації авторів згідно з базою даних Scopus складає 1418, індекс Гірша *h* = 20; згідно з базою даних Google Scholar загальна кількість посилань - 2881, *h* = 27.
- Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 120 патентами (20 з них - діючі, в тому числі 2 патентами США, патент Канади, патент РФ, патент Японії).
- За даною тематикою захищено 5 докторських та 15 кандидатських дисертацій.

CHANGING THE WORLD OF MEDICINE AND INDUSTRY THROUGH ULTRASONICS (ULTRASONIC INDUSTRY ASSOCIATION, USA)

ДЯКУЄМО
ЗА
УВАГУ !