НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

НТУ «ХПІ»

Серія двигунів і агрегати для спеціальної техніки

Автори розробки

Бєлов Микола Львович, к.т.н., генеральний директор ДП «Завод ім. В.О. Малишева»
Гончаров Віктор Григорович, к.т.н., генеральний директор приватної науково-дослідної виробничо-комерційної фірми «ТАВІ»
Демиденко Віктор Іванович, керівник цеху ДП «Завод ім. В.О. Малишева» «Укроборонпром» України
Д'яченко Світлана Степанівна, д.т.н., проф., професор кафедри Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
Кравченко Сергій Олександрович, к.т.н., ст. н. с. НТУ «ХПІ»
Посвятенко Едуард Карпович, д.т.н., проф., професор кафедри Національного транспортного університету
Ткачук Микола Анатолійович, д.т.н., проф., завідувач кафедри НТУ «ХПІ»
Шейко Олександр Іванович, головний інженер ДП «Завод ім. В.О. Малишева»
Шпаковський Володимир Васильович, д.т.н., проф., професор кафедри НТУ «ХПІ»

Актуальність проблеми

Об'єкти спеціальної техніки працюють у важких умовах експлуатації. На деталі та агрегати одночасно здійснюється вплив багатьох чинників - високих і неоднорідно розподілених напружень, циклічних навантажень, які викликають втому матеріалу деталей, високі температури та тертя, результатом якого є підвищений знос контактуючих поверхонь, вплив агресивного середовища тощо. Тому при виробництві спеціальної техніки необхідний пошук і застосування таких технологій, які дозволили би хоча б частково вирішити ці завдання.

З урахуванням цих чинників створення, виробництво та ремонт двигунів та агрегатів для спеціальної техніки із застосуванням нових технологій, що не здійснюють високого температурного впливу на деталі при зміцненні, значно підвищує їхній ресурс, довговічність та навантажувальні режими. Це дає можливість підвищити конкурентоспроможність української машинобудівної продукції на світовому ринку та становить актуальну проблему для вітчизняної науки та промисловості.

Мета роботи

Мета - розробка науково-технічних основ підвищення ресурсу та забезпечення міцності, довговічності, технічних і тактико-технічних характеристик (ТХ і ТТХ) серії двигунів і агрегатів для спеціальної техніки за рахунок розробки та застосування технологій дискретного зміцнення робочих поверхонь чавунних і сталевих деталей, зміцнення поверхонь алюмінієвих деталей гальвано-плазмовим методом (корундування), створення комплексної технології (яка об'єднує переваги перших двох), способу іонного бомбардування (ІБ), а також серійне виробництво двигунів і агрегатів для спеціальної техніки із підвищеними ТХ і ТТХ.

Завдання роботи:

1) запропонувати нові методи формування твердих зносостійких поверхонь алюмінієвих, чавунних і сталевих деталей (гальвано-плазмове перетворення і дискретне зміцнення, поверхневе пластичне деформування та іонне бомбардування) як альтернативу стандартним технологіям поверхневого зміцнення;
2) провести теоретичні дослідження ефективності використання розроблених технологій при виготовленні та ремонті двигунів і агрегатів спеціальної техніки;
3) проаналізувати зміну структури і властивостей приповерхневих шарів матеріалів при зміцненні поверхні і оптимізувати їх режими для отримання необхідних експлуатаційних характеристик об'єктів;
4) дослідити процеси і стани в парі взаємодіючих тіл, оброблених за пропонованими технологіями;
5) розробити і виготовити устаткування і оснащення для реалізації розроблених проектно-технологічних рішень;
6) організувати серійне виробництво двигунів та агрегатів для спеціальної техніки (військові мащини, тепловози, установки автономного живлення тощо).

Наукова новизна роботи

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній на основі теоретико-множинного підходу запропоновані нові концепція і методи підвищення ресурсу серії двигунів і агрегатів спеціальної техніки на базі нових технологій зміцнення поверхонь деталей, а також у вирішенні таких фундаментальних і прикладних завдань.

1. Розроблено **теоретичні основи** узагальненого параметричного моделювання складних механічних систем, методи аналізу фізико-механічних процесів і синтезу конструктивних параметрів та нових технологій зміцнення для забезпечення підвищеного ресурсу двигунів і агрегатів спеціальної техніки.
2. Розроблено **метод обґрунтування параметрів зон гальвано-плазмового перетворення** алюмінієвої поверхні і зон **дискретного зміцнення** високонавантажених поверхонь чавунних і сталевих деталей на основі результатів лабораторних досліджень мікроструктури металу, мікротвердості, жорсткості, триботехнічних параметрів і втомної міцності.
3. Запропоновані і обґрунтовані **нові методи зміцнення на основі пластичного деформування** поверхневих шарів матеріалу.
4. Розроблені **нові методи зміцнення** шляхом **іонного бомбардування** поверхні деталей та створення на поверхні композиції із наноструктурними елементами.
5. Науково **обґрунтовані матеріали, режими і параметри** технологій зміцнення, які лягли в основу прийняття проектно-технологічних рішень при виробництві та ремонті серії двигунів та агрегатів для спецтехніки із високими ТХ і ТТХ.

Практична цінність роботи

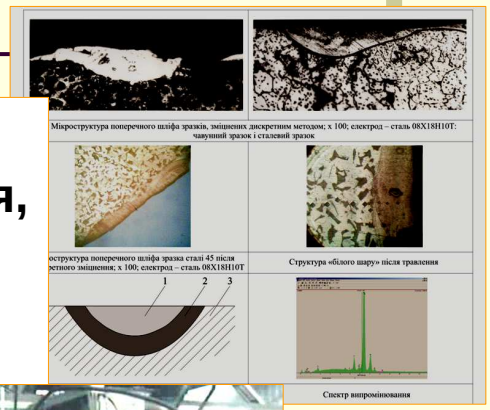
Практична цінність роботи полягає в розробці принципово нових технічних рішень щодо забезпечення високих ТХ і ТТХ спецтехніки, а на цій основі:

1. Розроблена та впроваджена у виробництво (виготовлення й ремонт) спецтехніки гама методів зміцнення, які, порівняно із традиційними, дають змогу суттєво (у 2-4 рази) підвищити ресурс, міцність та довговічність, знизити у 2-3 рази втрати на тертя і зношування.

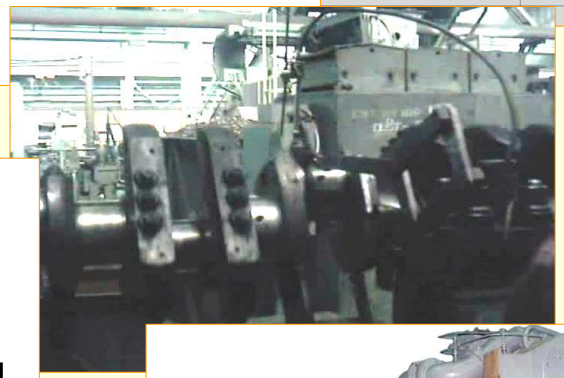
2. Запропоновані методи відрізняються від відомих способами і режимами перетворення поверхні. У результаті це дає ефект одночасного поліпшення трибомеханічних характеристик пар тертя, зокрема, порівняно із традиційними, збільшується не тільки твердість, але і міцність матеріалу деталей.

3. Застосування запропонованої технології дискретного зміцнення, наприклад, для колінчастих валів форсованих двигунів, підвищує їх ресурс на 40% з одночасним зменшенням витрат на їх виробництво до 70%. При корундуванні поверхні алюмінієвих поршнів ресурс циліндро-поршневої групи збільшується в 3...4 рази. Рівень конструктивної міцності виробів при зміцненні іонним бомбардуванням дає приріст механічних характеристик до 40 %. Подібні ефекти - і для інших видів військової та цивільної техніки.

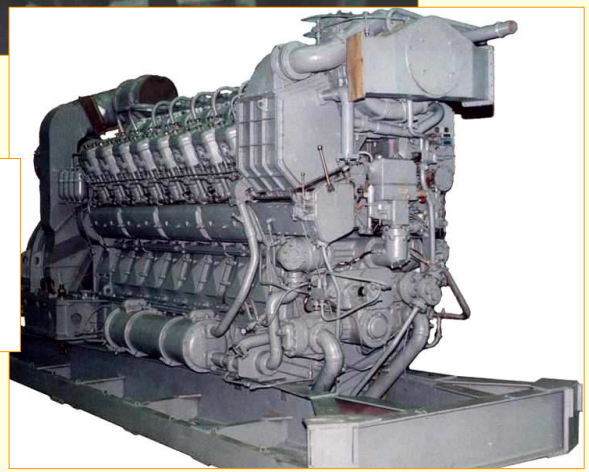
Ідеї та етапи роботи



На етапі розробки – перейти від традиційних методів зміцнення до нових: дискретне зміцнення, гальвано-плазмове перетворення поверхні, комбіноване дискретно-континуальне зміцнення, пластичне деформування та іонне бомбардування поверхні.



На етапі підготовки виробництва – розробити нові проектно-технологічні рішення для підвищення ТХ і ТТХ двигунів і агрегатів для спеціальної техніки.



На етапі виробництва – упровадити та організувати серійне виробництво двигунів і спеціальної техніки.

Теоретичні розробки

Теоретико-множинний підхід до генерування моделей фізико-механічних процесів і станів складних та надскладних механічних систем: ТХ і ТТХ об'єктів *T* описуються за допомогою множини узагальнених параметрів *P:*

Задача аналізу: $T = T(P)$

Задача синтезу: $P = P(T)$

Множина моделей: R – реальний об'єкт; M – математична модель; N – числова модель; E – експериментальна модель:

$$L_R(u_R, P_R, f, t) = 0 \qquad L_M(u_M, P_M, f, t) = 0$$

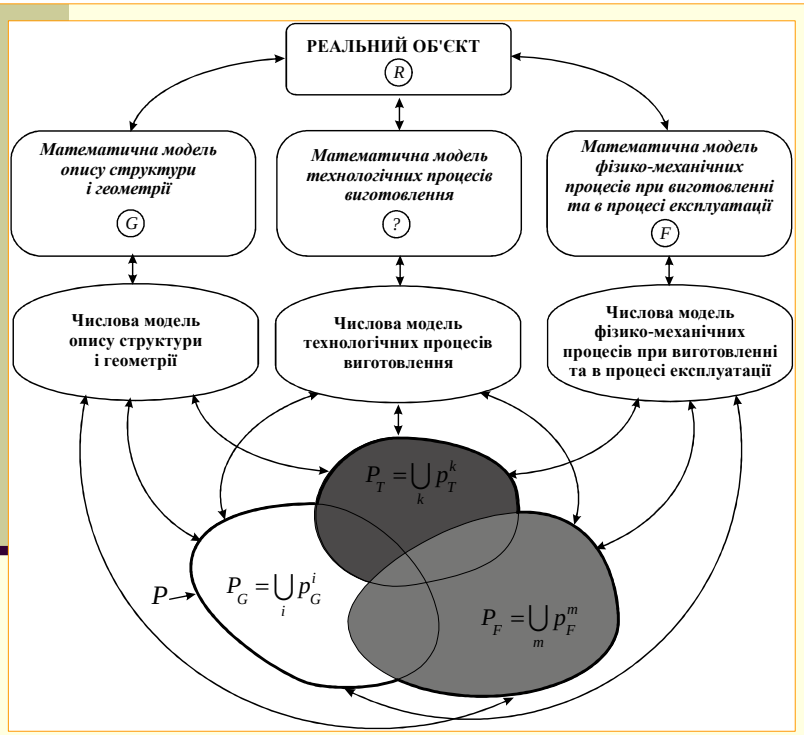
$$L_E(u_E, P_E, f, t) = 0 \qquad L_N(u_N, P_N, f, t) = 0$$

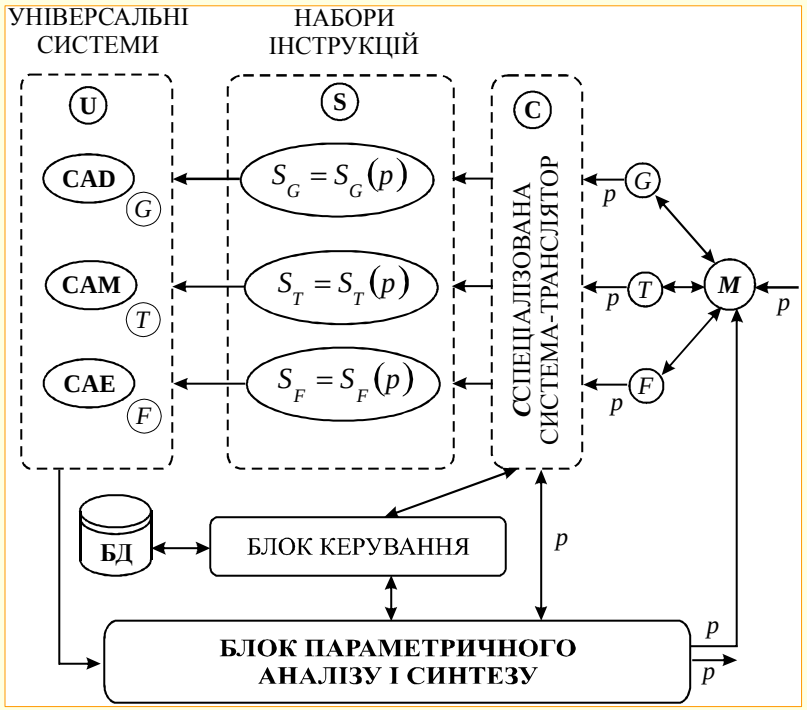
Формалізація задач розрахунково-експериментальної верифікації та оптимізації проектно-технологічних рішень:

$$P_N^*, f_N^* : I(u_N - u_E) \le \varepsilon \qquad P^{**} : T(P^{**}) \to \max$$

Числове моделювання

Скінченно-елементні моделі елементів складних механічних систем: технологія автоматизованої генерації і параметризованого опису:

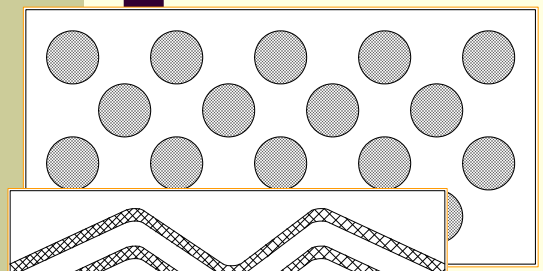


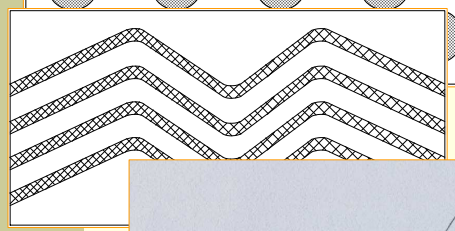


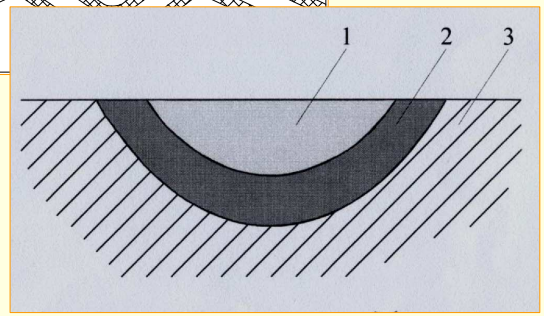
Формування узагальненого параметричного простору віртуальної моделі досліджуваного об'єкта

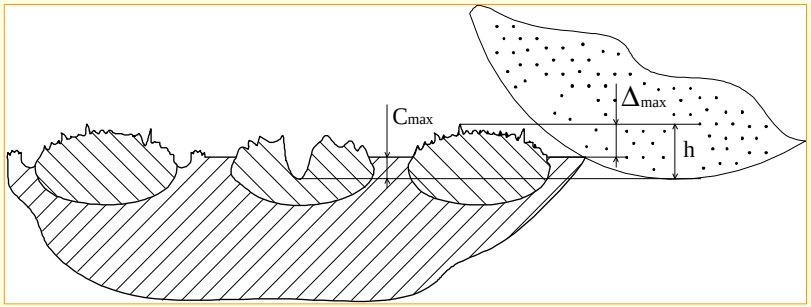
Запропонована структура спеціалізованих інтегрованих систем аналізу і синтезу

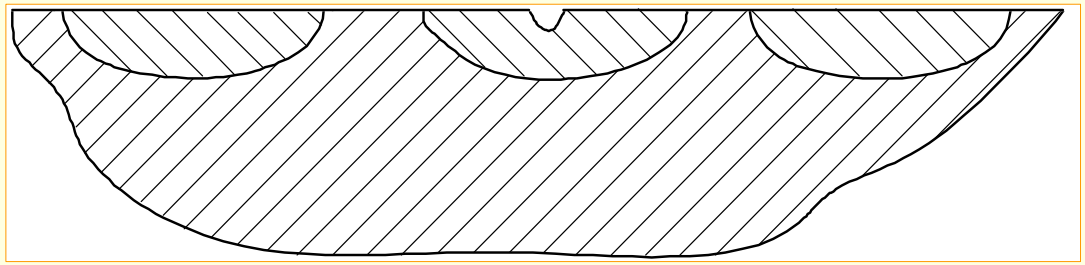
Суть методу дискретного зміцнення









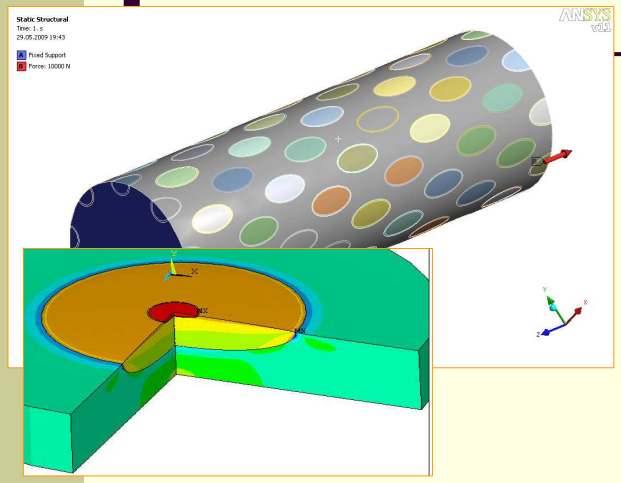


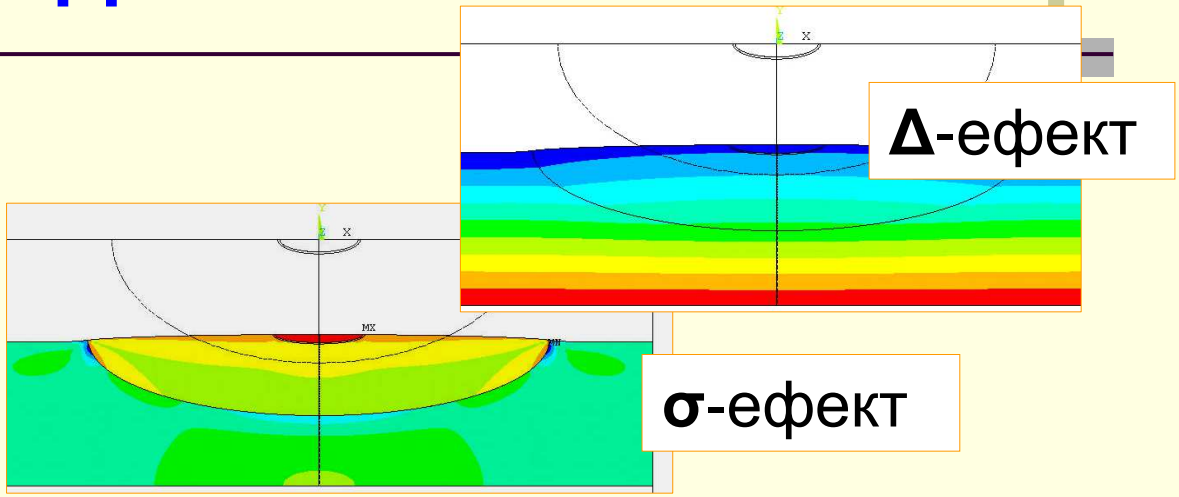
Для усунення **недоліків** пропонується замість **традиційного** континуального застосувати дискретне зміцнення шляхом індентування архіпелагу зон дискретного зміцнення на поверхню деталей машин **за допомогою електроіскрового легування:**

1- зона дискретного зміцнення (високолегований матеріал);

2- перехідна зона; 3- основний матеріал (матриця)

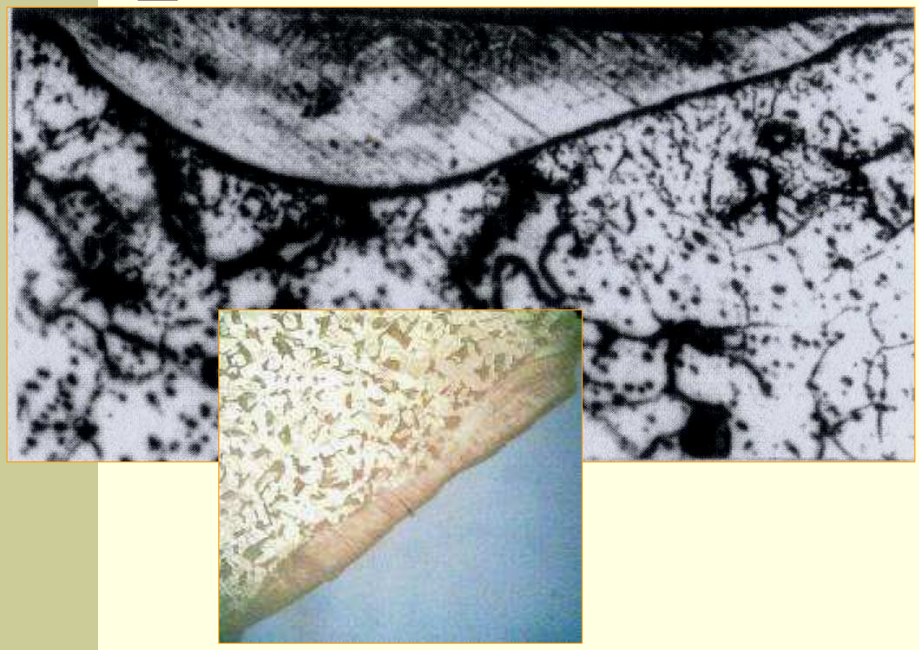
Результати числового моделювання

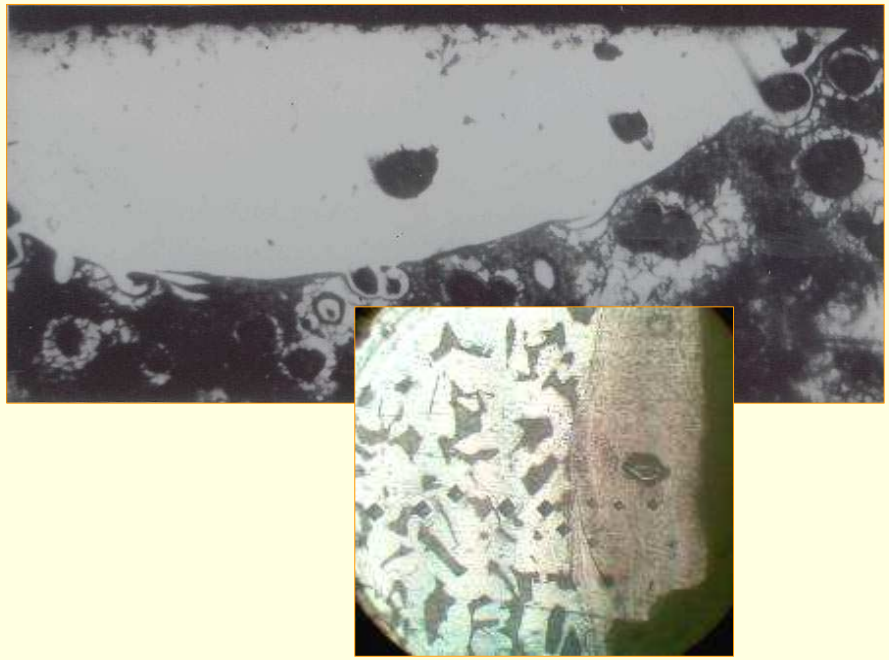




Аналіз напружено-деформованого стану зразків після дискретного зміцнення продемонстрував, що при навантаженні контактним тиском поверхня деталі набуває хвилястого нанопрофілю. При цьому навантаження, тертя та зношування відбуваються через матеріал зони дискретного зміцнення, а в області матеріалу матриці шляхом самоорганізації з'являються зони змащування та видалення мікрочасток зношеного матеріалу. Це – т.з. Δ-ефект. Інший, σ-ефект, полягає у підвищенні міцності за рахунок міграції високих напружень у зони дискретного зміцнення, матеріал яких володіє вищими механічними характеристиками. У результаті – одночасне зростання ресурсу, міцності та зниження втрат енергії.

Результати лабораторних досліджень

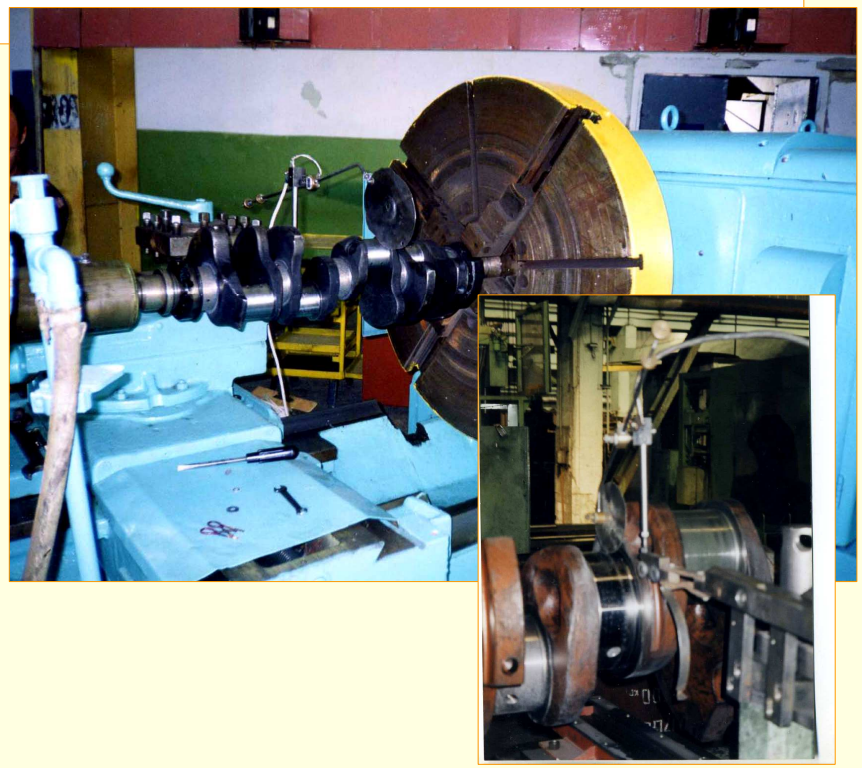




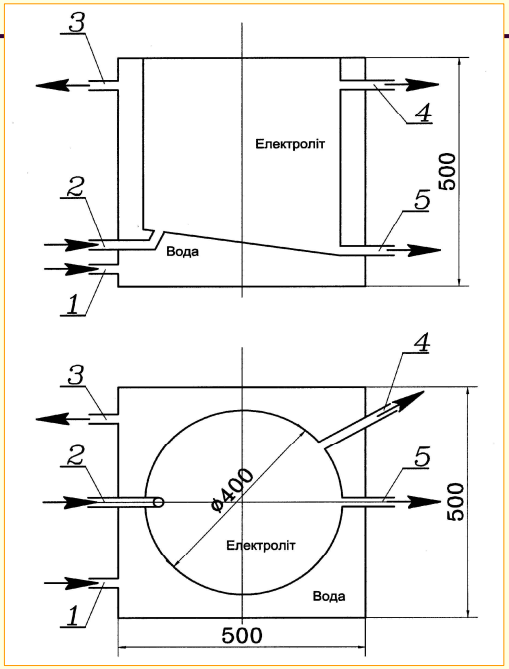
Металографічний аналіз зразків після дискретного зміцнення показав, що в поверхневому шарі дослідних зразків чітко виявляється дискретна зона, яка різко відрізняється від основного матеріалу. Вона має вигляд світлої блискучої плями т.з. «білий» шар. Його товщина - 200-400 мкм, а мікротвердість перевищує мікротвердість основного металу і коливається в межах 500-1000 МПа.

Результати промислових випробувань

Проведено випробування двигунів та інших виробів, деталі яких оброблені за запропонованою технологією, у ДП “Завод імені Малишева”, ВАТ «Ізюмський тепловозоремонтний завод», ВАТ «Краматорський завод важких верстатів», ДП МОУ «ХАРЗ 110», у депо «Основа» ДП «Укрзалізниця».

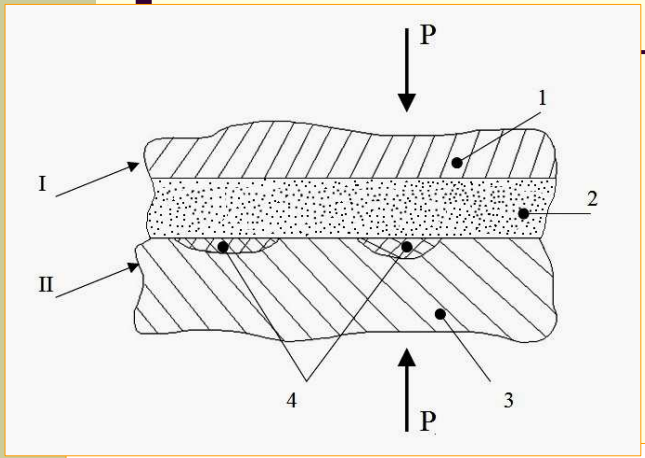


Суть методу гальвано-плазмового перетворення (корундування)

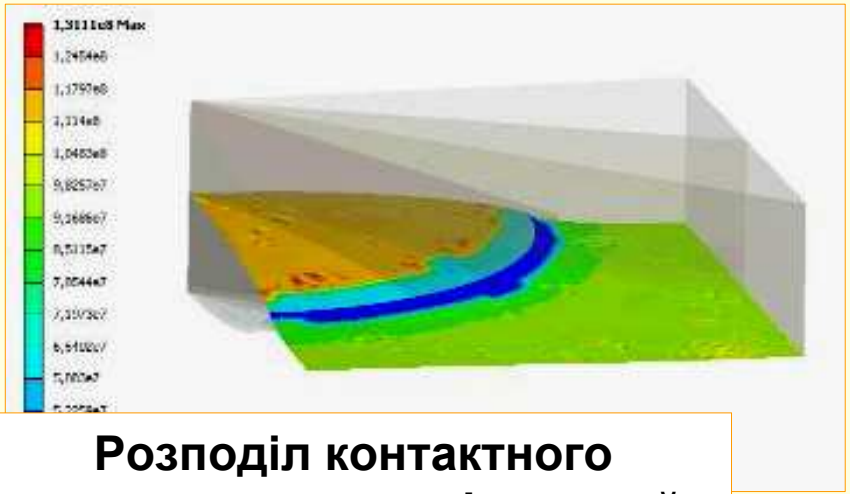


В електролітичній ванні обробка в гальваностатичному режимі ведеться при напрузі до 250 В і щільності струму близько $2 \cdot 10^3$ А/м^2. Керамічний шар в основному складається з твердофазних розчинів окислів α-Al_2O_3 і γ- Al_2O_3, які представляють (60–70) % та інших окисних сполук елементів, які входять до складу сплаву й електроліту. Структура α- Al_2O_3 має більше високу твердість, ніж структура γ – Al_2O_3, і більш високу зносостійкість.

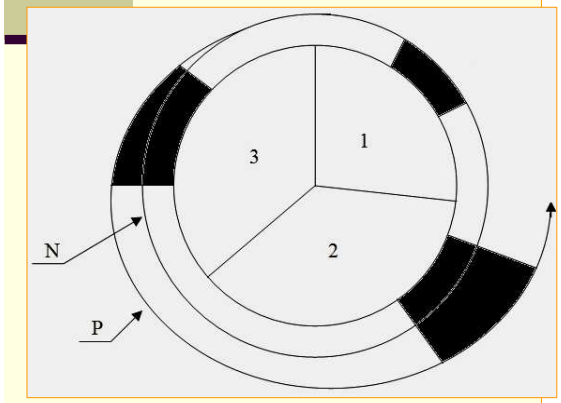
Результати числового дослідження комбінованого зміцнення



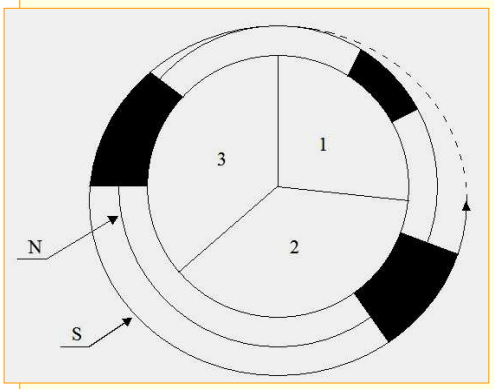
Деталі I, II оброблені методами корундування та дискретного зміцнення



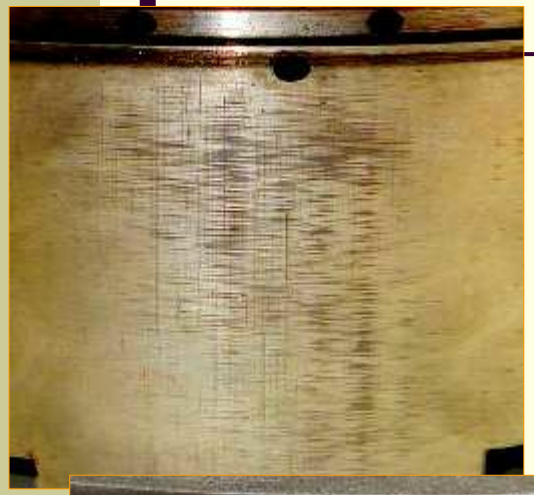
Розподіл контактного тиску у сполученні деталей



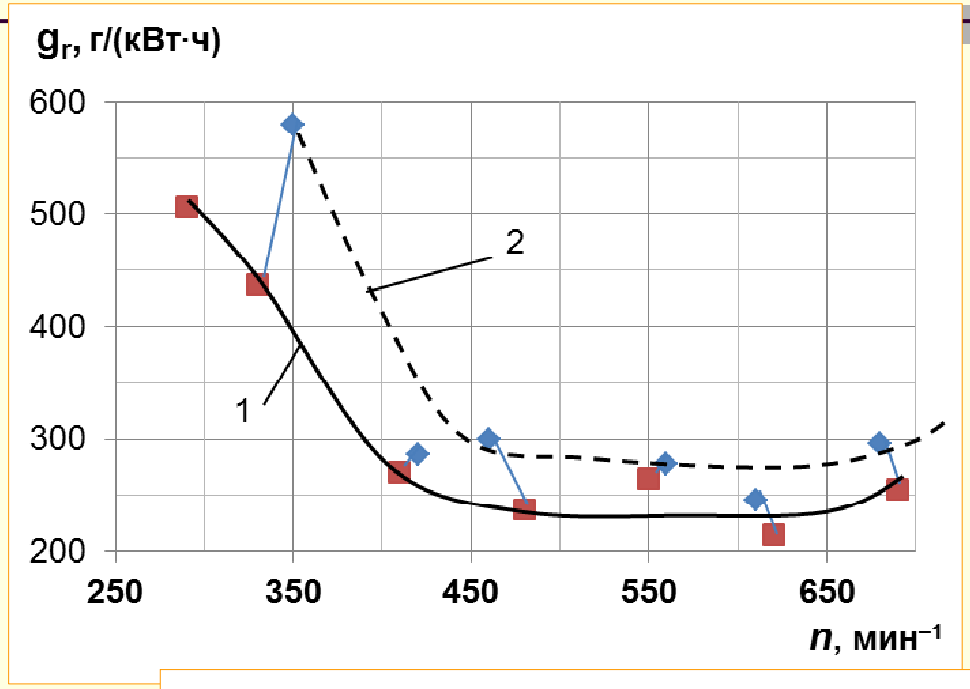
Механізми прогресуючого (зліва) розвитку процесів контакту, тертя і зношування (1,2,3) - за традиційними технологіями - та їхньої стабілізації (справа) – за умови застосування запропонованих технологій



Результати промислових випробувань

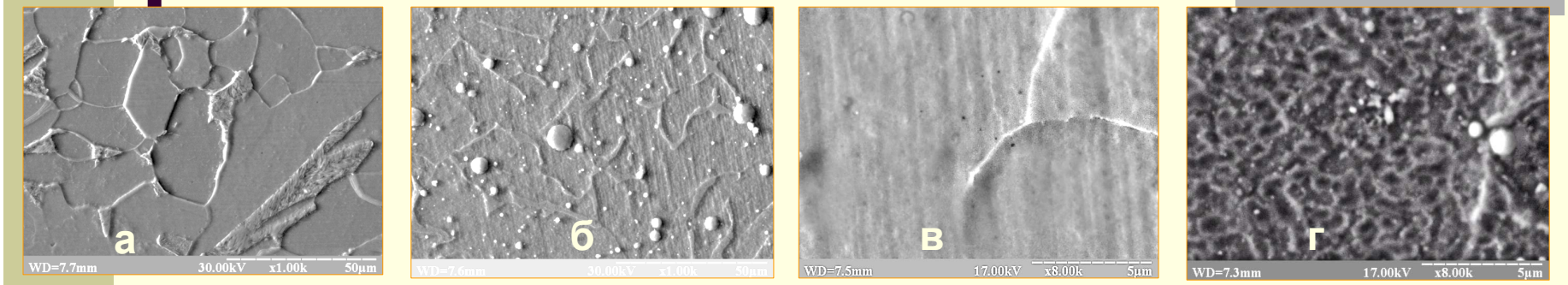


Стінка поршня до та після корундування



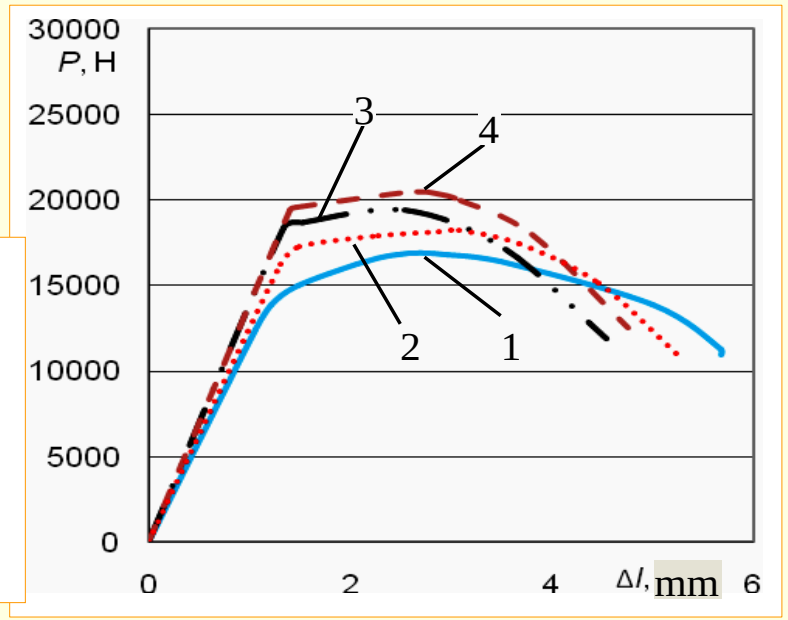
Питома реостатна (тягова) витрата палива дизелів тепловозів ЧМЕ-3:
1 - з поршнями з корундовим шаром після експлуатації протягом 115 тис. мотогодин;
2 - серійні дизелі з новою ЦПГ

Суть та переваги методу іонного бомбардування



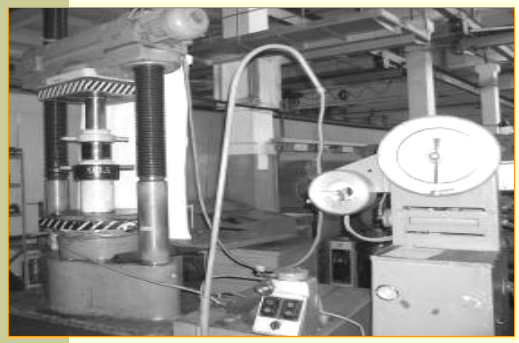
Мікроструктура відпаленої сталі 20 до (а, в) і після (б, г) ІБ (скануюча електронна мікроскопія); а, б – х500; в, г – х10000

Пропонується технологія, коли поверхня деталі піддається іонному бомбардуванню (ІБ)



Криві розтягання сталі 18ХГТ:
1 – початковий стан (поліпшення), шліфований зразок;
2 – те ж саме, полірований зразок;
3 – шліфований зразок + ІБ;
4 – шліфований зразок + ІБ + TiN

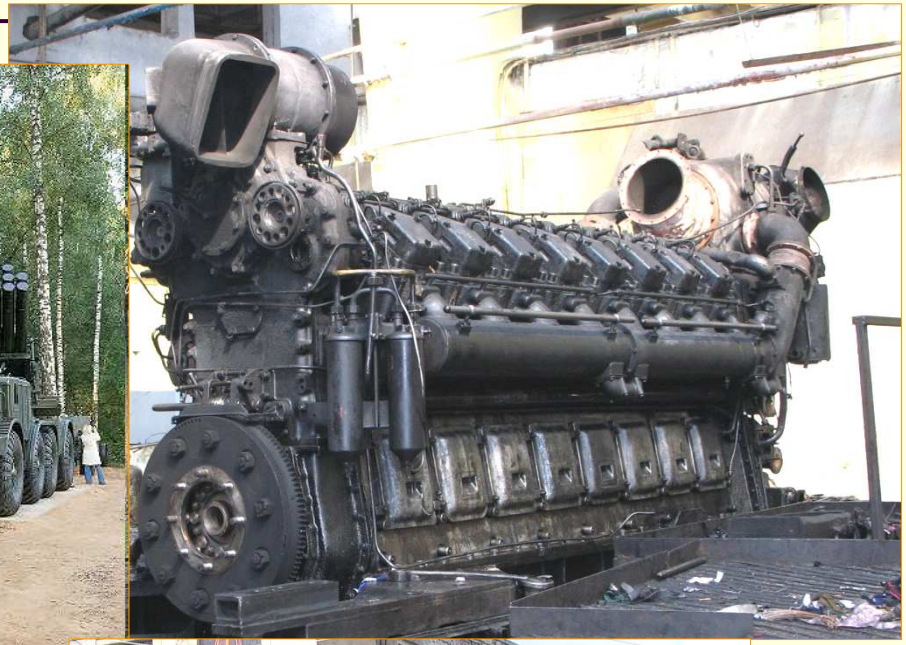
Суть та переваги методу поверхневого пластичного деформування



Сучасні технології холодної пластичної деформації (ХПД) характеризуються процесами формоутворення заготовок, в яких реалізується течія матеріалів із складною реологією в умовах складного навантаження.

Гідроциліндри Ц-100, виготовлені з використанням деформуюче-ріжучого протягання пари "поршень-шатун" після операції загортання, та розріз пари "поршень-шатун" після цієї операції

Впровадження у різних галузях: військова техніка, автономні енергоустановки, транспорт, ...



Серійне виробництво двигунів і агрегатів для спеціальної техніки

Створено й освоєно серійне виробництво низки двигунів для військової та цивільної техніки із підвищеними ТХ і ТТХ, у т.ч. – при ремонті: серій 10Д100, Д80, 5Д49, КамАЗ та інших; а також агрегатів спеціальної техніки: автомобільні двигуни для військової техніки, стволи танкових гармат, тепловозні двигуни, верстати, валки прокатних станів тощо.

Оприлюднення результатів

Матеріали роботи викладені у більш ніж 200 публікаціях, з яких 10 монографій, підручників і навчальних посібників. Отримано 50 патентів і авторських свідоцтв, в т.ч. 5 – міжнародних. Результати оприлюднені в доповідях на 160 конференціях, в 10-ти публікаціях у газетах і журналах, в 7-ми репортажах по телебаченню. Захищено за темою роботи 5 докторських і 35 кандидатських дисертацій. Виконано 12 науково-дослідних робіт, а також 27 господарських договорів та міжнародних грантів.

Економічний ефект

Використання результатів роботи забезпечує підвищення ресурсу роботи машин, механізмів і силових агрегатів спеціальної техніки не менш ніж на 40%.

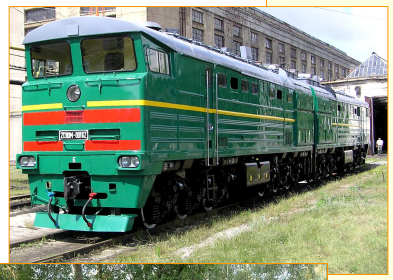
Окремі технічні рішення дають збільшення ресурсу у 2,5-3 рази.

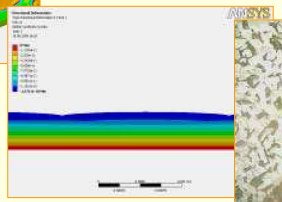
Зростають ТХ і ТТХ двигунів і агрегатів спеціальної техніки.

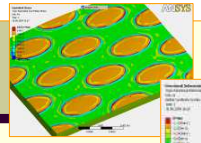
Економічний ефект від роботи складає 970,0 млн. грн. на рік.

Соціально-економічна значимість роботи

- запропоновані методи зміцнення дають **різке підвищення ТХ і ТТХ** у промисловості, енергетиці, на траспорті та у військах;
- здійснюється технологічний прорив із досягненням та перевищенням показників технологій **світового рівня**;
- підвищується **імпортонезалежність**;
- можливість роботи у польових умовах, що особливо важливо для відновлення елементів **військової техніки безпосередньо** у Збройних силах;
- можливість застосування **після будь-якої іншої** попередньої обробки деталей.







НТУ «ХПІ» – 130 років

ДП «Завод ім. В.О. Малишева» – 120 років

Від науки – до впровадження, від досліджень – до серійного виробництва