

потребують якісного палива й регулярного технічного догляду. Унаслідок того, що паливо не омиває впускні клапани, швидко утворюється нагар, який може знижувати потужність і викликати нестійку роботу двигуна. Також характерні проблеми з детонацією при використанні неякісного бензину та складність ремонту через наявність високотискових елементів.

Отже, інжекторні двигуни (MPI) є простими, дешевими та надійними у повсякденній експлуатації, однак поступаються сучасним системам прямого впорскування за економічністю, потужністю та екологічністю. Двигуни з прямим впорскуванням (GDI, FSI, TSI) забезпечують кращу ефективність і відповідають сучасним екологічним вимогам, проте потребують якісного обслуговування й пального. Вибір між цими системами залежить від пріоритетів користувача: надійність і простота — за інжектором, економічність і потужність — за GDI.

Література:

1. Bosch Automotive Handbook, 10th Edition. – Robert Bosch GmbH, 2018. – P. 512–518.
2. Zhao, F., Lai, M. C., Harrington, D. L. *Automotive Gasoline Direct-Injection Engines*. – SAE International, 2002. – 352 p.
3. Heywood, J. B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 2nd ed. McGraw-Hill Education, 2018. – P. 678–685.
4. Van Basshuysen, R., Schäfer, F. *Internal Combustion Engine Handbook*. SAE International, 2016. – P. 245–252.
5. Reif, K. *Gasoline Engine Management: Systems and Components*. Springer Vieweg, 2014. P. 78–82.
6. Stone, R. *Introduction to Internal Combustion Engines*. 4th ed. Palgrave Macmillan, 2012. P. 189–195.
7. Kalghatgi, G. "Deposits in Gasoline Direct Injection Engines". *Fuel*. 2018. Vol. 228. P. 457–462.
8. Порівняння систем впорскування MPI та GDI. АвтоПро. URL: <https://autopro.ua/articles/mpi-vs-gdi>
9. Технічні характеристики двигунів VW TSI. Volkswagen AG. URL: <https://www.volkswagen.de/models/golf>
10. Ціни на запчастини для GDI. Exist.ua, 2024. URL: <https://exist.ua>
11. Технічні характеристики двигунів VW TSI. Volkswagen AG. URL: <https://www.volkswagen.de/models/golf>
12. Ford Motor Company. *EcoBoost Engine Technology White Paper*. 2023. URL: <https://www.ford.com/ecoboost>

УДК 621.891

Р.В. Нечипоренко, О.О. Ничик, Т.В. Яцків

(Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя)

ВІБРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ АВТОМОБІЛЯ

R.V. Nechiporenko, O.O. Nychyk, T.V. Yatskiv

VIBROELECTROMECHANICAL STRENGTHENING OF FRICTION SURFACES OF HEAVY-LOADED VEHICLE TRIBO-COUPPLINGS

Забезпечення високих параметрів точності та якості робочих поверхонь тертя деталей трибоспряжень автомобіля при їх тривалій експлуатації можливе при

використанні сучасних прогресивних методів формоутворення робочого профілю поверхні. Зміцнюючі методи, які приміняються при виготовленні деталей трибоспряджень автомобілів та формоутворення їх поверхонь – обкатування роликми і кульками, віброобробка, електромеханічна обробка – не забезпечують одночасного одержання високого ступеня зміцнення матеріалу поверхневого шару і регулярного мікрорельєфу. Крім цього, перелічені методи мають ряд недоліків: при обкатуванні і віброобробці, незалежно від виду робочого деформуючого інструменту, одержуються відносно малий рівень поверхневого зміцнення матеріалу деталі, яка зумовлена холодною пластичною деформацією; незначний діапазон зміни глибини сліду деформуючого інструменту при віброобробці внаслідок появи пере наклепу металу; при електромеханічній обробці неможливо регулювати мікрорельєфом оброблюючої поверхні, внаслідок одержання значної неоднорідності структури поверхневого шару матеріалу. Для усунення вказаних недоліків запропоновано віброелектромеханічний спосіб вигладжування робочих поверхонь деталей трибоспряджень, принципова схема якого показана на рисунку 1.

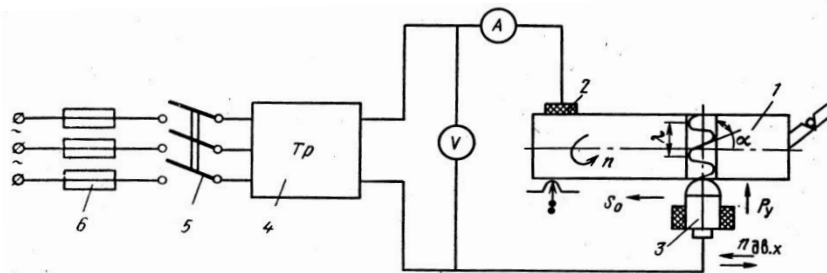


Рисунок 1. Принципова схема віброелектромеханічного вигладжування поверхонь деталей. 1 – деталь (вал), циліндрична поверхня якої підлягає вигладжуванню; 2 – контактні щітки; 3 – робочий вигладжувальний інструмент; 4 - понижуючий трансформатор.

З метою одночасного одержання високого ступеня зміцнення поверхневого шару матеріалу поверхні і регулярного мікрорельєфу на ній, обробка розігрітого металу вище температури фазових перетворень проводиться інструментом, якому крім руху подачі додатково надається зворотньо-поступальний рух вздовж осі оброблюючої деталі з великою частотою і малою амплітудою з використанням спеціальної віброголовки. За рахунок складної кінематики руху робочого інструмента і великої кількості регулюючих параметрів при обробці, появляється можливість точного регулювання в широких границях основних геометричних характеристик поверхні: радіус закруглення виступів і впадин, кут нахилу виступів; крок виступів.

Траєкторія руху робочого інструмента являє собою синусоїду з амплітудою e і кроком λ який залежить від співвідношення n подв.ходів / n_3 . Таким чином робочий інструмент описує велику кількість зміщених оду від другої синусоїд, які утворюють сітку розміри якої залежать від співвідношення n подв.ходів, n_3 , s_0 , e . Канавки сітки пересікаються під певним кутом α з нерівностями вихідної поверхні, які являють собою гвинтові виступи з малим кутом нахилу і не великим кроком. Кут сітки α характеризується співвідношенням n подв.ходів / n_3 і в значній мірі визначає характер пластичної деформації матеріалу поверхні деталі – напрям зминання металу виступів вихідної поверхні під інструментом і його деформуючу дію. Змінюючи величину кута сітки α можна регулювати залишкову деформацію і висоту нерівностей, які утворюються на поверхні деталі. Геометричні характеристики отриманого мікрорельєфа поверхні при віброелектромеханічному зміцненні залежать від параметрів режимів обробки: частота обертання заготовки n_3 , діаметра заготовки d_3 , подачі s_0 , числа подвійних ходів n подв.ходів, амплітуди e , радіусу інструмента R , радіального зусилля P . За рахунок складної кінематики руху робочого інструмента і великої кількості регулюючих параметрів обробки, в порівнянні з іншими способами чистової обробки різанням і

тиском, появляється можливість більш тонко і в широких межах регулювати, при одному і тому ж самому класі шорсткості поверхні, наступні геометричні характеристики: радіус заокруглення виступів і впадин отриманого профілю r , кут нахилу утворюючої виступів β , крок виступів s .

На рисунку 2 показано профілографи поверхонь деталей оброблених чистовим точінням, електромеханічним і віброелектромеханічним вигладжуванням.

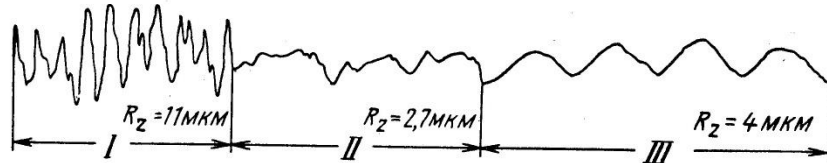


Рисунок 2. Профілографи поверхонь деталей після чистового точіння (а), електромеханічного (б) та віброелектромеханічного (в) вигладжування.

Із рисунка 2 видно, що при точінні і електромеханічному вигладжуванні одержується хаотичний мікрорельєф поверхні деталі, а при віброелектромеханічному вигладжуванні – регулярний мікрорельєф поверхні з великими значеннями радіуса r і малими значеннями кута β .

В таблиці приведені значення режимів електромеханічного вигладжування (ЕМВ) та віброелектровигладжування (ВЕМВ) поверхонь зразків із сталі 45.

Вид обробки поверхні	Сила струму, А	Радіальне зусилля, кгс	Частота обертання заготовки, об/хв	Подача робочого інструменту, мм/об	Амплітуда коливання робочого інструменту, мм	Число подвійних ходів робочого інструменту протягом однієї хв.	Число робочих ходів інструменту
ЕМВ	520	25	100	0,23			1
ВЕМВ	520	25	100	0,23	1	1400	1

Як показали металографічні дослідження структури матеріалу поверхневих шарів деталі при віброелектромеханічному вигладжуванні, внаслідок складної переддеформації металу, значно збільшується інтенсивність пластичної деформації, підвищується дисперсність і однорідність структури матеріалу, що суттєво впливає на зносостійкість деталей та їх довговічність.

Ефективність примінення методу віброелектромеханічного вигладжування поверхонь деталей підтверджена лабораторними і стендовими дослідженнями пальців хрестовин карданного валу. Зміцнення матеріалу поверхневих шарів з приміненням даного методу збільшило довговічність пальців хрестовин карданного валу в 1,3...1,7 разів.