

Клименко Леонід Павлович (1951 р.н.). Ректор Миколаївської філії НаУКМА, кандидат технічних наук, доцент. У 1974 р. закінчив з відзнакою Миколаївський кораблебудівний інститут (тепер УДМТУ). У 1980 р. захистив кандидатську дисертацію по надійності та довговічності двигунів. Має більше 60 наукових робіт, з них 6 видані за кордоном, 20 винаходів, учасник ВДНГ СРСР та УРСР, лауреат міжнародних виставок та ярмарків, лауреат премії Ленінського комсомолу України в галузі науки і техніки.



УДК 621.434 : 621.891.00462

Клименко Л.П.

Про причини зносу, шляхи підвищення ресурсу та відновлення деталей газорозподільного механізму двигунів ВАЗ

В технічній літературі та періодиці регулярно з'являються статті, присвячені підвищеним зносам деталей газорозподільного механізму двигунів ВАЗ. Але й досі ця проблема залишається відкритою.

Для з'ясування причин підвищених зносів були проведені такі роботи:

1. вивчена структура та механічні властивості матеріалу розподільних валів та важелів приводу клапанів;
2. вивчені закономірності зносу кулачків розподільних валів, важелів приводу клапанів та їх макрогеометрія;
3. визначені причини підвищення зносів кулачків та важелів;
4. розроблена технологія відновлення зношених деталей та конструкція малогабаритних пристроїв для їх механічної обробки;
5. проведені довгострокові експлуатаційні випробування відновлених деталей.

Розглянемо докладніше кожний з етапів роботи.

Дослідження структури чавуну розподільних валів проводилися на шліфах, вирізаних перпендикулярно до осі вала в середній частині кулачка. Шліфи вивчалися на

металографічному мікроскопі моделі MMP-2P при збільшенні 100 і 400 разів в нетравленому вигляді, та після травлення 4% розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

За даними металографічного аналізу, в структурі загартованого шару кулачка вала спостерігається мартенсит і включення рівномірно розподіленого графіту глобулярної форми середніх розмірів. Включення вільного фериту і цементиту практично відсутні. У структурі серцевини спостерігається графіт аналогічної форми та металева матриця у вигляді сорбітоподібного перліту. Макроаналіз структури показує, що товщина загартованого шару кулачка максимальна біля його вершини і досягає 4-5 мм. Твердість загартованого шару у перевіренних валів знаходиться у межах 53-56 HRC, серцевини – 25-30 HRC. Шорсткість робочих поверхонь кулачків не нижче Ra J 0,63 мкм. Структура та твердість говорять про добру якість розподільних валів.

При дослідженні структури та твердості важелів приводу клапанів виявлено, що їх твердість знаходиться в межах 25-32 HRC, що значно нижче потрібних.

Мікрометраж та зовнішній огляд зношених деталей виявляє надто нерівномірний знос кулачків розподільного вала. На одному валу є кулачки з максимальним зносом 0,05 та 5 мм, з одним або декількома зношеними кулачками. Немає закономірності в порядковому номері зношених кулачків.

Але частіше всього зношуються кулачки приводу впускних клапанів № 2-3, 6-7. Сильні зноси вала сполучаються з сильними зносами важелів приводу клапанів, але зустрічаються випадки і превалювання зносу однієї з деталей. Підвищення зносу супроводжується порушенням макрогеометрії робочих поверхонь, їх огранкою. Для пояснення причин нерівномірного зносу досліджувалась структура та твердість в зоні виробки та у незношеного кулачка того ж вала. Твердість та структура кулачків з катастрофічним та малим зносом практично не відрізняється. Це дозволяє шукати причину зносу не в розподільному валі.

Важелі приводів клапанів за якістю також аналогічні між собою. Вид робочої поверхні валів та важелів перед початком утворення огранки показує, що на поверхні тертя почали утворюватись осередки мікроскоплювання та задирки поверхонь, що труться. Шукати причину в поганому підводі мастила не слід, так як тертя граничне, а не гідродинамічне, і для нормальної роботи було б достатньо подавати значно менше мастила, ніж подається. Пуски двигуна приводять, в основному, до зносу опорних шийок вала, які працюють в гідродинамічному режимі тертя.

Можна припустити, що перевантаження вузла тертя

по контактних тисках та пов'язані з цим катастрофічні зноси розподільного вала обумовлені двома причинами:

1. завищеною жорсткістю клапанних пружин;
2. невідповідністю властивостей моторного масла, що застосовується, тискам, що розвиваються на поверхнях тертя.

На користь цієї гіпотези говорить й підвищений знос кулачків приводу впускних клапанів. Так як маса їх більша, ніж у впускних, та відповідно більші сили інерції та контактні тиски на поверхні тертя.

Встановити причину зносу вала, варіюючи жорсткістю клапанних пружин доволі просто. Для цього необхідно знати необхідну жорсткість, яка забезпечує нерозривність ланцюга деталей газорозподільного механізму на максимально можливій частоті обертів колінчатого вала. Такою частотою, з урахуванням 10% перевищення, є 6000 об./хв. Динамічний розрахунок механізму приводу впускного клапана (як більш масивного) показує, що для нормальної роботи достатнє максимальне зусилля пружини біля 100 Н. На клапан же встановлені дві пружини, зусиллям 300 та 150 Н, що значно перевищує необхідне. Крім того, жорсткість пружин клапанів на одному двигуні значно відрізняється одна від одної (табл. 1).

Як бачимо з таблиці, на одному двигуні встановлені пружини з різною жорсткістю. Аналіз жорсткості пружин інших двигунів дає аналогічну картину. У тих випадках, коли дві більш жорсткі пружини потрапляють на впускний клапан, вірогідність зносу кулачка розподільного вала найбільша. З урахуванням сил інерції контактний тиск між розподільвалом та важелем приводу клапана доходить до $2 \cdot 10^5$ Н/м. Про більшу долю жорсткості пружин в загальному тиску на розподільний вал говорить і характер його зносу: кулачок сильно зношується як на ділянці відкриття клапана (коли долається опір пружин та сили інерції), так і на ділянці закриття клапана (коли тиск на розподільний вал дорівнює зусиллю пружин мінус сили інерції). Додаткові контактні тиски виникають із-за наявності зазору між валом та важелем і ударом кулачка по важелю. Тут особливо небезпечна наявність підвищеного зазору.

З урахуванням цих міркувань проведені експлуатаційні випробування двигунів ВАЗ 2101, 21011, 2103, 2105 та 2106 при роботі тільки з однією пружиною.

Загалом під наглядом (спостереженням) знаходилося

біля 50 двигунів протягом 15 років. За цей період автомобілі мали пробіг від 30 до 250 тис. км. Випадків катастрофічних зносів розподільних валів та важелів не було відмічено. Згину клапанів, прогоряння їх та інших небажаних наслідків не спостерігалось. При цьому встановлено, що клапани починають обертатися та знос торця стержня клапана рівномірний, сідла клапана також у кращому стані. Знизилася знос ланцюга і ремня приводу та шумність роботи двигуна. При роботі двигуна з однією пружиною клапана необхідна установка цілісної нижньої тарілки пружини (замість двох).

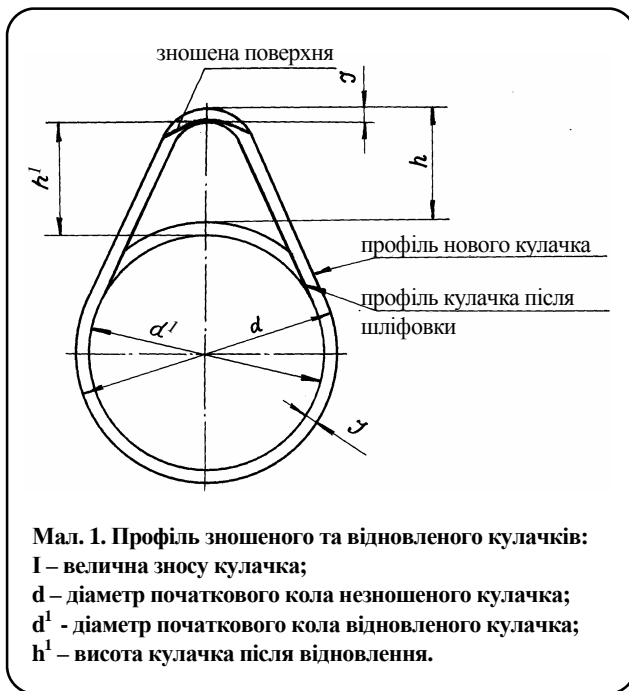
Проведені розрахунки динаміки та великий досвід роботи двигунів усіх моделей з однією пружиною дозволяє рекомендувати його для широкого впровадження. Єдиний супротивник цього рішення є так званий "втик" клапанів, який можливий при розгоні двигунів до великих обертів. Мій досвід та досвід інших (про що свідчить велика кількість повідомлень) заперечує цій можливості. Та це й маловірогідно, так як за даними самого ВАЗу двигуни на частотах більше 6000 об./хв. практично ніколи не працюють, та це й неприпустимо. Крім того, на двигунах ВАЗ 2105 в поршнях зроблені спеціальні проточки, які повністю виключають зустріч клапанів з поршнем, а у двигунів ВАЗ 21011 та 2106 поршень має проточку, що зменшує вірогідність зустрічі клапана з поршнем, у двигунів ВАЗ 2103 та 2106, крім того, поршень ще й опущений в блоці.

З метою відновлення деталей газорозподільного механізму, що вийшли з ладу, була розроблена спеціальна технологія та устаткування, які можуть знайти застосування в умовах будь-якої станції технічного обслуговування, навіть у пунктах обслуговування, або колективу ентузіастів. Відновлювалися розподільні вали та важелі приводу клапанів з максимальними зносами до 1,5-2 мм.

Технологія відновлення розподільних валів полягає у наступному. При зносі кулачків до 1 мм здійснювалось їх еквідістантне перешліфування (мал. 1) на спеціальному обладнанні. При такому перешліфуванні здійснюється збереження усіх параметрів кулачка: висота підйому ($h^1=h$) та фаз газорозподілу. Твердість кулачка не змінюється, так як глибина загартованого шару значно більше шару металу, який знімається при шліфуванні. Остаточною обробкою було фосфатування кулачків в розчині солей фосфорної кислоти при

Таблиця 1. Зусилля стиснення пружин в гранично робочому стані та зноси кулачків розподільного вала.

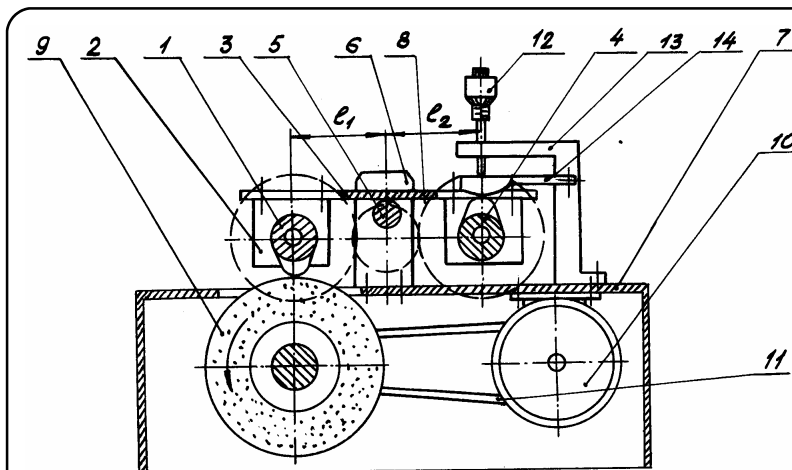
Номер кулачка	1	2	3	4	5	6	7	8
Зусилля стиснення зовнішньої пружини, Н	445	460	480	460	455	485	490	470
Зусилля стиснення внутрішньої пружини, Н	280	270	260	290	285	265	262	290
Сумарне зусилля, Н	625	630	640	650	640	670	652	660
Знос кулачка, мм	0,02	0,05	0,25	0,04	0,03	1,72	0,07	0,52



температурі 100°C протягом 15-18 хвилин. Опірні шийки ізолювались клейкою стрічкою "Свема".

Такий метод відновлення без наплавки та напилення виключає деформацію вала та забезпечує якість робочої поверхні не гірше, ніж у нового вала.

Пристосування для перешліфування являє собою настільний копіювально-шліфувальний верстат (мал. 2). Розподільний вал, що обробляється, своїми крайніми опірними шийками обертається в двох корпусах 2, які жорстко кріпляться на плиті, що коливається (3). Копір 4 (новий розподільний вал) встановлений аналогічно та симетрично відносно до осі коливання 5. Вісь коливання 5 коливається на шарикових підшипниках в корпусах 6, які закріплені на станині 7. Оброблюваний вал та копір з'єднані між собою зубчатими колесами 8 та узгоджено



Мал. 2. Кінетична схема настільного копіювально-шліфувального верстата.

обертаються вручну за допомогою маховика.

Обробка здійснюється абразивним кругом 9 діаметром 150 мм та шириною 40 мм, який приводиться у дію електродвигуном 10 через клиноремінну передачу 11. Подача здійснюється мікрометричним гвинтом 12, який встановлено на стійці 13 через повзун 14. Для збереження профілю кулачка повзун має сектор такого ж радіуса, що і шліфувальний круг. Переміщення шліфувального круга вздовж осі обертання здійснюється за допомогою цангового затискача. Верстат має такі характеристики:

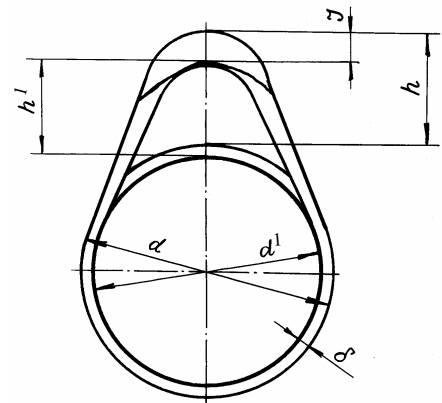
При великих зносах розподільвалу, що доходять до 2 мм, можливе його нееквідістантне перешліфування (мал. 3).

При цьому глибина шару металу початкового кола розподільвалу, що знімається, дорівнює 1 мм і менше, ніж величина зносу (I). Така обробка дозволяє зберегти фази газорозподілу, але знизити параметр "час-переріз" відкриття клапана за рахунок зниження висоти кулачка h

габарити	500x500x400 мм
маса	30 кг
потужність електродвигуна	400 Вт
частота обертання електродвигуна	2900 об./хв.
частота обертання абразивного круга	4500 об./хв.
рід струму	220 В, 50 Гц, I фаза
час обробки одного кулачка зі зносом 1 мм	3-4 хв.

до h^1 .

Але при цьому відбувається зменшення сил інерції та зусиль стиснення пружин і підвищення ресурсу вала. Зростання витрат пального та зниження потужності



Мал. 3. Схема нееквідістантного шліфування розподільвала при значних величинах зносу кулачка.

двигуна виявлено не було.

Ця обробка здійснюється на тому ж копіювально-шліфувальному верстаті (мал. 2), але при зміні співвідношення плечей I_1 та I_2 , як 5:6.

Відновлення важелів приводу клапанів є більш простим завданням. Технологія полягає в наступному: важелі відпалюються при температурі 750-780°C та охолоджуються разом з піччю. (Бажано відпал здійснювати в розплаві солей або ізольовано від повітря для запобігання окислення). Потім важелі згинаються на величину трохи більшу, ніж величина зносу (мал. 4).

Робоча поверхня важеля шліфується до зникнення слідів зносу на спеціальному пристрої (мал. 5).

Важіль встановлюється на оправку 3 за допомогою гвинта 6. Оправка має можливість коливатися на переміщення осі 5 за допомогою рукоятки 4, відстань від центра осі 5 до робочої поверхні важеля 26 мм, що забезпечує необхідний профіль. Подача здійснюється за рахунок осі 5 або шліфувального круга.

Після механічної обробки важелі піддаються цементації в твердому карбюризаторі (активоване деревне вугілля) протягом 6 годин при температурі 930-950°C. Потім температура в печі знижується до 750-780°C і здійснюється загартовування важелів у воді з цементаційного нагріву. Для зняття внутрішніх напруг здійснюється відпуск при 200-220°C протягом 1,5-2 годин. Твердість важелів 55-57 HRC. При малих величинах зносу важелі можна не відпалювати та не згинати.

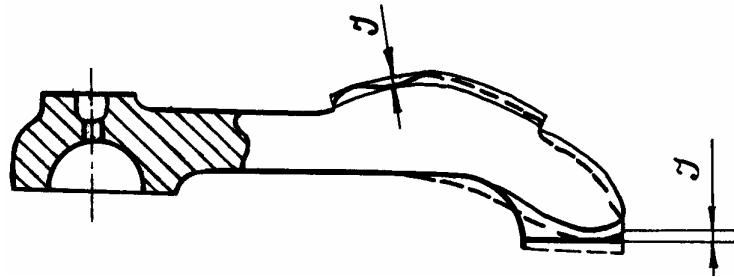
Експлуатаційні випробування відновлювальних валів та важелів при роботі на одну пружину довели, що знос вала не перевищує 0,03-0,04 мм за 100 тис.км пробігу. Зноси важелів ще менші. Випадків підвищених зносів не зафіксовано.

На закінчення можна відмітити.

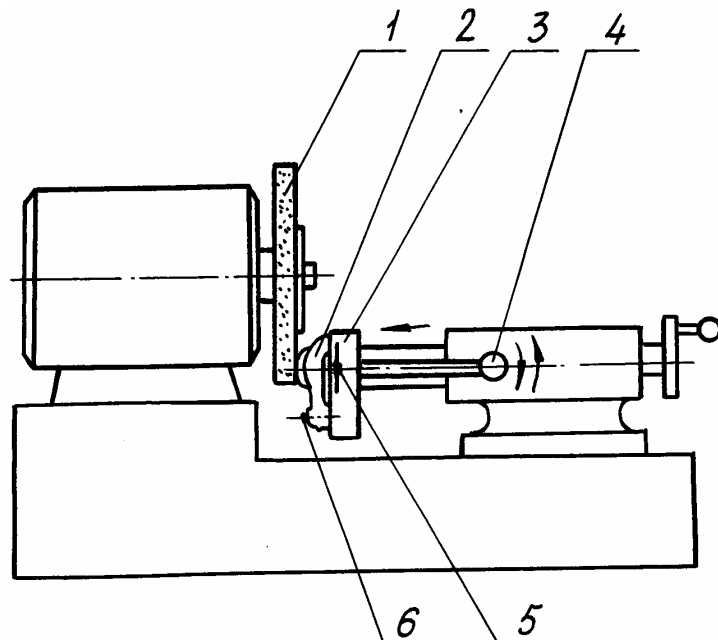
1. Причиною катастрофічних зносів розподільних валів двигунів ВАЗ є завищена жорсткість клапанних пружин, які не відповідають маслу, що застосовується.
2. Експлуатація двигунів ВАЗ з однією пружиною приводу клапанів повністю виключає передчасний знос розподільного вала та важелів приводу

клапанів.

3. Установка тільки однієї пружини приводу клапана дозволяє ВАЗу отримати значну економію металу та знизити втрати по рекламациях.
4. Розроблена проста та доступна технологія відновлення деталей газорозподільного механізму двигунів ВАЗ.



Мал. 4. Схема згину важелів приводу клапанів.



Мал. 5. Пристосування для шліфування важелів приводу клапанів.