

Г. А. Ташкинов,
кафедра ремонта машин.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ МЕТОДОМ ОТПЕЧАТКОВ

Наиболее сложным агрегатом дизельных двигателей тракторов является топливная аппаратура. От исправности ее во многом зависит надежность и экономичность работы дизельного двигателя.

Наиболее ответственными деталями дизельной топливной аппаратуры являются прецизионные пары: плунжер и гильза, нагнетательный клапан и гнездо, корпус распылителя и игла. Давление впрыска топлива, точность дозировки, продолжительность впрыска в основном обеспечиваются плунжерными парами насоса.

Практикой и многими эксплуатационными испытаниями дизельных тракторов установлено, что срок службы плунжерных пар топливной аппаратуры колеблется в очень широких пределах. Наряду с примерами безотказной работы топливной аппаратуры в течение 5—6 тысяч часов имеются многочисленные случаи изнашивания плунжерных пар в течение 200—300 часов работы.

Автором настоящей статьи проведено исследование износа плунжерных пар топливного насоса трактора ДТ-54. Задачей исследования являлось выявление основных факторов, влияющих на износ при работе топливного насоса.

Для вскрытия закономерностей изнашивания плунжерных пар важно было установить правильные способы оценки или критерии износа.

Известно, что возможность рациональной работы любой детали определяется не только величиной износа, но и характером геометрических изменений истирающейся поверхности. Зача-

стью сама картина распределения износа по поверхности трения дает достаточное количество данных для определения причин износа и выбора эффективных способов его снижения.

Способов определения износа, т. е. определения потери материала изнашиваемых деталей, существует много. Одним из часто применяемых способов является взвешивание изнашиваемой детали до и после испытания, что позволяет вычислить износ по потере веса детали. Этот способ дает усредненную картину износа и называется интегральным. Приемлемые результаты этим способом могут быть получены только при равномерном износе всей трущейся поверхности.

К интегральным способам оценки износа относятся также способы определения количества продуктов износа в смазочном масле на основе химического анализа пробы масла или с помощью «меченых атомов».

При способе «меченых атомов» о количестве металла в масле судят не на основе химического анализа, а по интенсивности излучения радиоактивного элемента, попадающего в масло с продуктами износа.

Интегральные способы дают сравнительную картину износа деталей при различных условиях испытаний. Определить величину износа и его расположение на поверхности трения с помощью интегральных способов невозможно.

Распространенным способом измерения износа является микрометраж. Основными недостатками микрометража являются трудность замера детали в процессе ее изнашивания в точно определенном месте, а также невозможность определения линейного износа с каждой стороны детали.

Измерение износа с помощью профилографа возможно только в пределах высоты начальных микронеровностей поверхности. Замер высоты неровностей несколько раз на одном и том же участке поверхности затруднителен. Большим недостатком профилографирования является малая величина обмеряемого участка.

В силу указанных недостатков перечисленных способов измерения износа, а также благодаря специфичности износа плунжерных пар, характеризующегося его местным расположением на небольшом участке рабочих поверхностей и малыми величинами, измеряемыми микронами и долями микрона, обычные методы измерения износа в нашем исследовании были неприемлемы.

Прецизионные детали топливной аппаратуры изготовлены с очень высокой точностью. Достаточно сказать, что диаметрально-

ный зазор между плунжером и гильзой равен 1—2 микронам. Чистота поверхностей этих деталей должна соответствовать 12-му классу с максимальной высотой шероховатостей 0,2 микрона.

В связи с этим в исследовании был применен один из самых новых и точных методов определения линейного износа (износа, измеряемого по нормали к изнашиваемой поверхности) — метод отпечатков.

Сущность метода отпечатков заключается в нанесении путем вдавливания на поверхность детали отпечатка правильной геометрической формы, по размерам которого можно вычислить его глубину. Для этого важно, чтобы один из размеров нанесенного отпечатка закономерно уменьшался по глубине.

Суживающееся углубление может быть получено путем вдавливания в деталь наконечника в виде пирамиды, конуса или путем вырезания лунки определенного сечения. По изменению одного из размеров, соотношение которого с глубиной заранее известно, можно определить величину линейного износа детали.

Наибольшее распространение для нанесения отпечатков получила алмазная пирамида с квадратным основанием. Путем измерения диагоналей нанесенного отпечатка вычисляют расстояние от изнашиваемой поверхности до дна отпечатка. По мере изнашивания поверхности изменяются и размеры отпечатка, т. е. диагонали отпечатка и его глубина (фиг. 1).

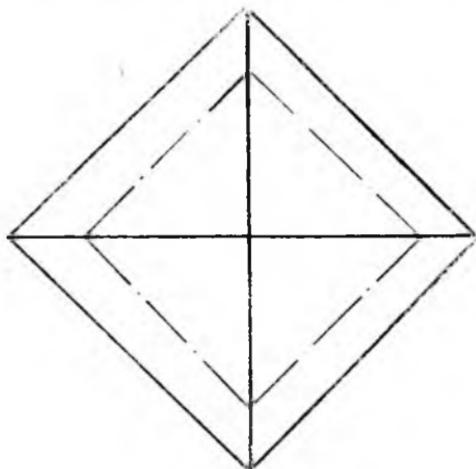
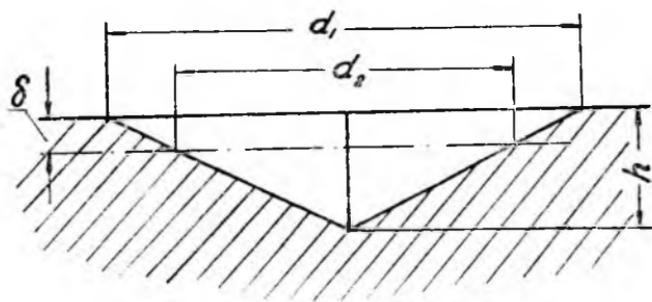
Как видно (фиг. 1) глубина износа $\delta = \frac{d_1 - d_2}{m}$, где $m = \frac{d_1}{h}$ отношение длины диагонали отпечатка к его глубине.

При использовании метода отпечатков были учтены присущие ему особенности, основными из которых являются следующие:

1. Образование вспучивания металла по краям отпечатка.
2. Упругая обратная деформация («упругое восстановление»), происходящая после снятия нагрузки с алмазной пирамиды.

Нанесение отпечатка на изнашиваемую поверхность детали путем вдавливания алмазного наконечника вызывает образование на поверхности детали вокруг отпечатка «вспучивания» (возвышения).

Высота вспучивания металла по краям отпечатка для различных металлов различна и должна быть заранее известна. Игнорирование вспучивания при измерении износа снижает точность метода отпечатков.



Фиг. 1.

В специальной литературе описаны существующие методы для определения высоты вспучивания по краям отпечатков. Высота вспучивания определяется интерференционным методом (В. К. Григорович), с помощью оптиметра-профилографа (Ф. С. Савицкий и др.) или по кривым интенсивности уменьшения длины диагонали отпечатка в период специальной приработки для устранения вспучивания (Е. А. Чудаков и С. Е. Островская) [1].

Первые два метода определения высоты вспучивания требуют дорогостоящего оборудования и специальных экспериментов. Метод Е. А. Чудакова требует затраты большого количества времени для ручной приработки вспучивания и для многократных замеров отпечатков в процессе приработки.

При исследовании износа плунжерных пар нами была разработана простая методика определения высоты вспучивания, сущность которой заключается в следующем.

На поверхность исследуемой детали наносятся отпечатки алмазной пирамидой. Деталь с нанесенными отпечатками подвергается изнашиванию в течение некоторого времени, необходимого для полного снятия вспучивания. В полном снятии вспучивания легко убедиться по изменению характера поверхности вокруг отпечатка.

После снятия вспучивания производится замер диагонали отпечатка и рядом со старым (первым), утратившим вспучивание, отпечатком наносится новый (второй) отпечаток, длина диагонали которого немедленно замеряется. Деталь подвергается дальнейшему изнашиванию до полного снятия вспучивания со второго отпечатка. При следующем контроле производится замер диагоналей обоих отпечатков и определение глубины износа. Износ, определенный по второму отпечатку, получается больше, чем износ, определенный по первому отпечатку. Это объясняется тем, что изменение размеров второго отпечатка произошло как за счет снятия вспучивания с поверхности детали, так и за счет ее износа. Износ, определенный по изменению размеров первого отпечатка, является действительным износом детали. Разность износов, определенная по второму и первому отпечатку, соответствует искомой высоте вспучивания.

Схема определения вспучивания описанным методом приведена на фиг. 2.

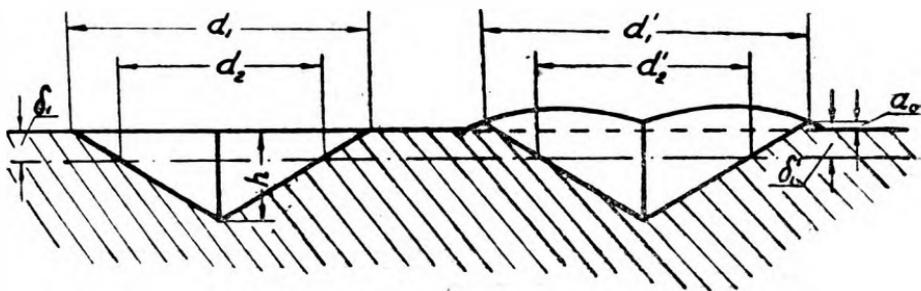
Высота вспучивания $a_0 = \delta_1^1 - \delta_1$

Причем $\delta_1^1 = \frac{d_1^1 - d_2^1}{m}$ — износ и вспучивание, измеренные по второму отпечатку;

$\delta_1 = \frac{d_1 - d_2}{m}$ — действительный износ, замеренный по первому отпечатку.

Исследования, проведенные по указанной методике, показали, что вспучивание у концов диагоналей отпечатков для стали ХВГ равно 2,5—4 процентам глубины отпечатка и почти совпадает с данными, полученными интерференционным методом [1].

Следует отметить, что определение вспучивания достаточно провести на нескольких отпечатках, нанесенных на исследуемых деталях или образцах, изготовленных из деталей. При дальнейшем исследовании необходимо только учитывать вспучивание при определении износа. Как показали исследования, вспученные участки поверхности детали, занимающие незначительную площадь, имеют малую высоту и изнашиваются очень быстро,



Фиг. 2.

в начальный период испытаний, не искажая картину нарастания износа.

Второй особенностью метода отпечатков является некоторое искажение формы отпечатка по сравнению с формой алмазной пирамиды (наконечника). Алмазная пирамида выполнена так, что длина диагонали d ее основания в 7 раз больше высоты пирамиды h . Таким образом, глубина отпечатка, полученного от вдавливания пирамиды, должна быть в 7 раз меньше диагонали отпечатка. В связи с упругим восстановлением отпечатка после удаления пирамиды отношение $m = \frac{d}{h}$ несколько отличается от теоретического. Для закаленных сталей m в среднем равно 8, что и было принято в наших исследованиях.

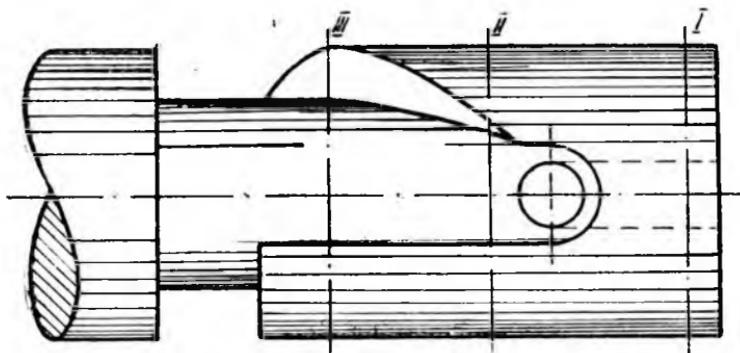
Нанесение и измерение отпечатков на исследуемых плунжерах производилось на приборе для испытания на микротвердость марки ПМТ-3, конструкции лауреатов Сталинской премии проф. М. М. Хрущева и кандидата технических наук Е. С. Беркович.

Прибор ПМТ-3 представляет собой совокупность микроскопа, снабженного окулярмикрометром для измерения изображения, с механизмом нагружения — приспособлением для нанесения отпечатков [2, 3].

Применение метода отпечатков для определения износа возможно при соблюдении следующих условий:

1. Нанесения отпечатков на заранее выбранных местах поверхности изнашиваемой детали.
2. Установления точных координат отпечатков в целях их быстрого отыскания для измерения в процессе изнашивания.
3. Точного измерения отпечатков.

Отпечатки наносились через 15 градусов по окружности головки плунжера в трех поясах (фиг. 3).



Фиг. 3.

Таким образом, на рабочем участке плунжера длиной 13 мм и диаметром 8,5 мм наносилось 72 отпечатка, что позволило выявить картину расположения износа на изнашиваемой поверхности.

Длина диагоналей отпечатков, нанесенных на плунжеры, равнялась 30—60 микронам, в зависимости от нагрузки на наконечник, выбираемой из ожидаемого износа. Отпечатки имели глубину 4—8 микрон, были невидимы невооруженным глазом, а высота вспучивания вокруг отпечатков не превосходила высоту шероховатостей поверхности.

Для нанесения отпечатков по поясам и окружности головки плунжера, отыскания их для измерения после изнашивания была изготовлена специальная делительная головка. Делительная головка с установленным плунжером помещалась на предметном столике прибора ПМТ-3. Поворотом столика плунжер подводился под алмазный наконечник или объектив микроскопа. С помощью микрометрических винтов столика плунжер устанавливался под объектив тем или иным поясом с точностью до 0,01 мм. Поворот плунжера в делительной головке позволял наносить отпечатки по окружности через каждые 15°.

Установочные штифты на подошве делительной головки давали возможность крепить ее на столике всегда в строго определенном положении и точно знать координаты отпечатков относительно объектива.

Измерение длины диагонали отпечатка на приборе ПМТ-3 производилось окулярным микроскопом, цена деления которого равна 0,309 микрона. В этом случае определение величины износа соответствовало точности порядка 4 сотых микрона, а от-

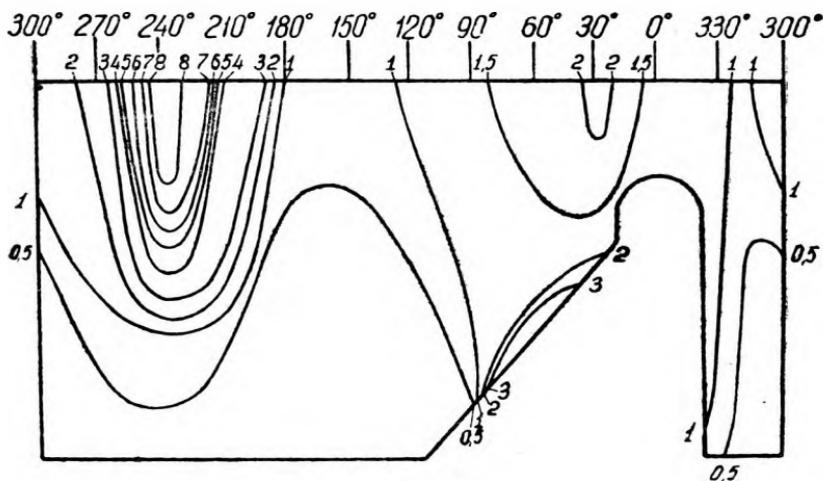
носительная ошибка измерения отпечатков при условии их износа на полную глубину составляла не более 1 процента.

Таким образом, применение метода отпечатков позволило производить определение линейного износа прецизионных деталей с точностью, превышающей точность при обычных методах измерений.

Определение износа методом отпечатков позволило получить картину распределения износа на рабочей поверхности плунжера, объяснить причины местного износа плунжерных пар, проследить увеличение износа по времени в зависимости от условий изнашивания.

Измерение износа гильз методом отпечатков требовало создания специального приспособления для нанесения и измерения отпечатков в отверстии малого диаметра, поэтому износ гильз определялся косвенно, путем гидравлических испытаний.

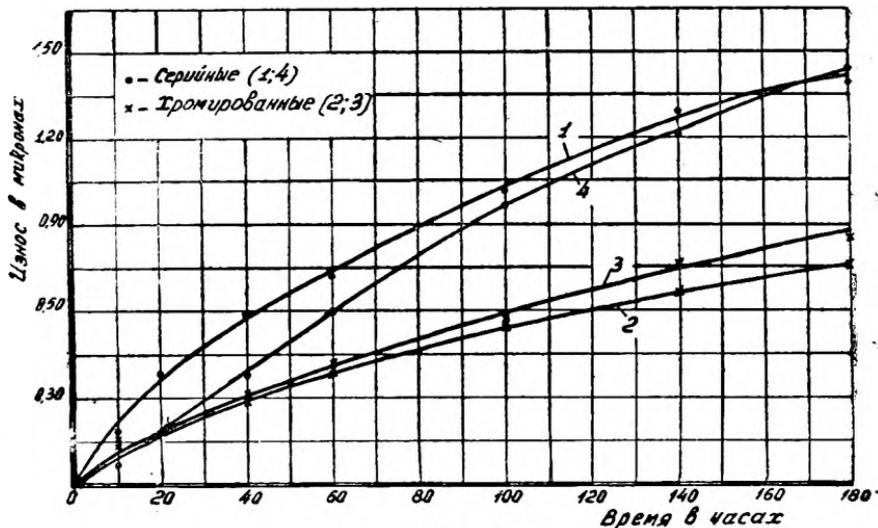
В качестве иллюстрации результатов применения метода отпечатков для измерения износа на фиг. 4 представлен контурный график изношенного плунжера.



Фиг. 4.

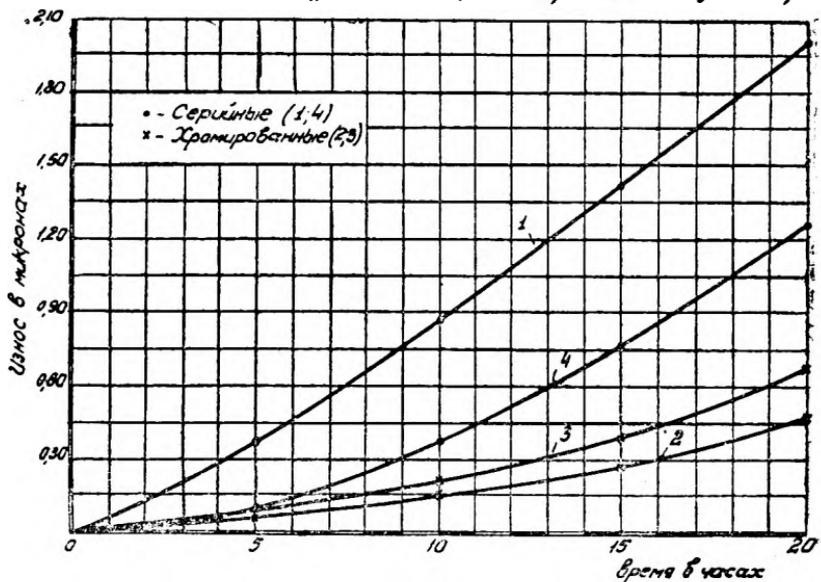
Контурный график представляет собой топографию развернутой поверхности головки плунжера. Цифры на концах кривых указывают величину износа в микронах. Топография поверхности головки плунжера получена путем измерения износа по отпечаткам, нанесенным на головке.

Износ плунжеров в зависимости от времени абразивного изнашивания (размер частиц до 2 мк, 300г на тонну топлива)



Фиг. 5.

Износ плунжеров в зависимости от времени абразивного изнашивания (размер частиц до 30 мк, 150г на тонну топлива)



Фиг. 6.

На фиг. 5 и фиг. 6 приведены кривые нарастания среднего радиального износа плунжерных пар, полученные с помощью измерения отпечатков, нанесенных в первом поясе измерений.

В исследовании было специально проведено изучение влияния отпечатков на состояние прецизионных деталей. Каких-либо изменений в показателях плунжерных пар, полученных в результате нанесения отпечатков, уловить не удалось. Гидравлическая плотность плунжерных пар и характеристики топливного насоса, полученные в одних и тех же условиях до нанесения отпечатков и после их нанесения, были одинаковы.

Таким образом, метод отпечатков применим не только для исследования износа обычных деталей машин, например, шеек валов, цилиндров двигателей, станин станков и т. д. Исследование износа методом отпечатков позволяет с высокой точностью определить величину износа, его нарастание по времени и распределение на изнашиваемых поверхностях таких деталей, как прецизионные детали топливной аппаратуры при ее работе в эксплуатационных условиях. Нанесение на изнашиваемые поверхности отпечатков микроскопических размеров не сказывается на состоянии деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Хрущев и Е. С. Беркович. Точное определение износа деталей машин. Изд. АН СССР, 1953.
 2. М. М. Хрущев и Е. С. Беркович. Приборы ПМТ-2 и ПМТ-3 для испытаний на микротвердость. Изд. АН СССР, 1950.
 3. М. М. Хрущев и Е. С. Беркович. Микротвердость, определяемая методом вдавливания. Изд. АН СССР, 1943.
 4. А. И. Селиванов. Дизельная топливная аппаратура. Сельхозгиз, 1954.
 5. Г. А. Ташкинов. Исследование износа плунжерных пар топливного насоса трактора ДТ-54, М., 1954. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.
-