

ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

Аветисян Виктор Казарович

УДК 621.941:787.4:539

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗЕРКАЛА ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ  
СОВМЕЩЕННЫМ ПРОЦЕССОМ РАСТАЧИВАНИЯ И ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО  
ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Специальность: 05.20.03 - Эксплуатация, восстановление и  
ремонт сельскохозяйственной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков 1993 г.

037.3



00330644 (K)

Работа выполнена на кафедре " Ремонт  
института механизации и электрификации сельского хозяйства

Научный руководитель

- кандидат технических наук,  
доцент Сидашенко А.И.

Научный консультант

- кандидат технических наук,  
профессор Ермолов Л.С.

Официальные оппоненты

- Член-корреспондент ИА Украин-  
ны, заслуженный деятель науки  
и техники Украины, доктор  
технических наук, профессор  
Анилович В.Я.

- кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии  
металлов и материаловедения  
ХАДИ Коломиец В.В.

Ведущее предприятие

- Областное производственное  
объединение Харьковагротех-  
ника

Защита диссертации состоится "30" декабря 1993 г.  
в 10 час 00 мин на заседании специализированного Совета  
К 120.38.01 Харьковского института механизации и электрификации  
сельского хозяйства - адрес: 310078, г. Харьков-78, ул. Артема,  
44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.  
Автореферат разослан "24" ноября 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета

Ермолов Л.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Долговечность двигателя в значительной степени зависит от износа деталей цилиндро-поршневой группы, в частности, гильз цилиндров, определяющих в значительной мере его ресурс.

Стоимость гильз цилиндров, заменяемых ежегодно для поддержания работоспособности только тракторных и комбайновых двигателей превышает 30 млн. рублей (по ценам 1991 г.). Из общего количества расходуемых гильз цилиндров повторно используется менее 11 %. В этой связи следует, что массовое и высококачественное восстановление гильз цилиндров - задача большой важности.

Актуальность применения комбинированного способа обработки гильз цилиндров и проводимых исследований подтверждается тем, что эта работа по нашему предложению включена в Государственную программу повышения надежности и эксплуатационных показателей машин и оборудования для АПК за счет прогрессивных технологий по Министерству машиностроения военно-промышленного комплекса и конверсии.

Цель работы. Разработка технологии восстановления зеркала цилиндров совмещенным процессом растачивания и поверхностного пластического деформирования (ППД), позволяющая значительно повысить качество восстановления и производительность процесса.

Объект исследования. Технология восстановления зеркала цилиндров двигателей Д-37, Д-144 и их модификаций совмещенным процессом растачивания и поверхностного пластического деформирования (ППД).

Научная новизна. Разработан шпиндель, комбинированная головка специальной конструкции для восстановления зеркала цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД и устройство для крепе-

ния их при восстановлении.

Получена аналитическая зависимость для расчета динамической жесткости шпинделя с комбинированной головкой, позволяющая, при конструировании оснастки, прогнозировать точность обработки цилиндров.

Установлены условия получения износостойкого слоя на поверхности цилиндров при ППД.

Предложен способ восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров автотракторных двигателей (а.с. № 1555100).

Практическая ценность. Разработана технология восстановления цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД. Разработанная оснастка и выбранные оптимальные режимы обработки позволяют повысить производительность процесса в 7-8 раз и значительно повысить качество восстановления цилиндров. Износ цилиндров в рядовой эксплуатации, восстановленных предлагаемым способом, в 1,5 раза меньше по сравнению с восстановленными растачиванием с последующим хонингованием.

Реализация результатов исследования. Результаты работы внедрены в Богодуховском районном арендном предприятии по производственному и материально-техническому обеспечению предприятий, организаций и хозяйств АПК и в Старосалтовском РТП Харьковской области.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на конференциях профессорско-преподавательского состава ХИМЭСХ (1983-1992 г.г.). Полная оснастка для восстановления зеркала цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД демонстрировалась на ВДНХ СССР в 1985 году, где получила бронзовую медаль.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано семь работ, получено авторское свидетельство.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников и приложения. Работа изложена на **175** страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков, 8 таблиц, библиографий из 134 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Состояние вопроса, цель и задачи исследований. Анализ применяемых способов восстановления гильз цилиндров, которых приведен в первой главе, показал, что большинство из них либо трудоемки, либо дороги, или не удовлетворяют предъявляемым требованиям по качеству и износостойкости. Для повышения долговечности цилиндров двигателей в настоящее время существуют различные методы: конструктивные, эксплуатационные, технологические. Автором предложено технологическое решение этой задачи.

Основой при разработке предлагаемой технологии служили работы ученых Папшева Д.Д., Шнейдера Б.Г., Рыбакова Д.Ю., Проскуракова В.Г.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

1. Разработать теоретические положения достижения высокого качества восстановления зеркала цилиндров.

2. Разработать способ восстановления зеркала цилиндров и технологическую оснастку для реализации разработанного способа.

3. Провести экспериментальную проверку и доводку способа с целью определения оптимальных режимов обработки.

4. Провести стендовые и эксплуатационные испытания цилиндров, восстановленных разработанным способом.

5. Внедрить разработанную технологию на ремонтных предприятиях и дать технико-экономическую оценку эффективности предлагаемой технологии восстановления цилиндров двигателей.

2. Теоретическое обоснование технологического процесса восстановления зеркала цилиндров и параметров его режима. Наибольшее влияние на точность формы восстановленной поверхности зеркала цилиндров оказывает погрешность обработки, обусловленная упругими деформациями от сил резания. Характерной особенностью поверхности цилиндров является её неравномерный износ как по длине, так и по диаметру. Непрерывное изменение глубины резания вызывает колебание величины и направления усилия растачивания, которое, в свою очередь, приводит к изменению величины упругих перемещений звеньев технологической системы: станок-припособление - инструмент - деталь. Эти перемещения составляют основной источник возникновения погрешностей формы восстановленных цилиндров. Основным фактором, влияющим на погрешность формы, физико-механические свойства и шероховатость поверхности, является жесткость технологической системы. Технологические системы, в зависимости от их жесткости по-разному сопротивляются действию на них сил резания и ПДД. При одинаковых силах и в конструктивно одинаковых системах перемещения могут получаться различными, ввиду различной жесткости систем. Общий метод определения жесткости технологической системы заключается в установлении наибольшей величины суммарного перемещения режущей кромки инструмента относительно детали при действии определенной силы резания. Модель вибраций шпинделя с комбинированной головкой может быть представлена в виде однопролетной балки (рис. I) на шарнирных опорах под действием нагрузки, определяемой силой, действующей на резец при растачивании цилиндров.

Схема сил, действующих на шпиндель с головкой

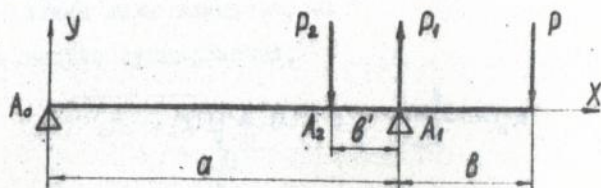


Рис. I

Наибольшее влияние на перемещение шпинделя с комбинированной головкой оказывает радиальная составляющая усилия растачивания. Для расчетов использовали максимальную величину усилий растачивания, равную

$$P_{\max} = 37,8 \cdot V^{-0,07} \cdot S^{0,69} \cdot t_{\max}^{0,74},$$

где  $V$  - максимальная скорость растачивания, м/мин;

$S$  - оптимальная подача, мм/об;

$t_{\max}$  - максимальная глубина растачивания, мм.

Затем определяли величину  $\delta_{\max}$  по формуле

$$\delta_{\max} = 0,175 \frac{K_o \cdot C \cdot \varepsilon}{t_{\max}},$$

где  $K_o$  - коэффициент сжатия;

$C$  - линейный эксцентриситет, мм;

$\varepsilon$  - относительный эксцентриситет эллипса (вследствие неравномерного изнашивания цилиндров по диаметру);

$t_{\max}$  - максимальная глубина растачивания, мм.

Коэффициент сжатия и линейный эксцентриситет определяли по формулам

$$K_0 = \frac{b_*}{a_*} \quad ; \quad \epsilon = \sqrt{a_*^2 - b_*^2},$$

где  $a_*$  - большая полуось эллипса изношенного цилиндра, мм;

$b_*$  - малая полуось изношенного эллипса цилиндра, мм.

Относительный эксцентриситет эллипса определяется соотношением

$$\delta = \sqrt{1 - \frac{b_*^2}{a_*^2}}.$$

Перемещение режущей кройки инструмента под действием радиальной составляющей силы резания имеет вид

$$y(x, t) = y_{\text{стат}}(x) + y_{\text{дин.}}(x, t),$$

где  $y_{\text{стат}}(x)$  - статический прогиб, мм;

$y_{\text{дин.}}(x, t)$  - динамический прогиб, мм.

Статический прогиб шпинделя с комбинированной головкой определяется по формуле:

$$y_{\text{стат.}} = \frac{2 P_{\max}}{\pi^4 \mu d^2} \alpha^3 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi m x_2}{\alpha} \sin \frac{\pi m x}{\alpha}}{m^4},$$

где  $P_{\max}$  - максимальная величина радиальной составляющей силы растачивания, Н;

$\mu$  - погонная масса вала шпинделя с комбинированной головкой, Н/м;

$\alpha$  - расстояние от начала вала шпинделя до шариков для поверхностного пластического деформирования, м;

$x$  - половина длины вала шпинделя, м;

$x_2$  - длина вала шпинделя, м;

$m$  - индекс суммирования;

$$d^2 = \frac{E I}{\mu} ;$$

$E$  - модуль упругости материала вала шпинделя, Н/м<sup>2</sup>;

$I$  - момент инерции сечения вала, м<sup>4</sup>.

Для резонансного значения в точке, соответствующей пучности амплитуды, динамический прогиб равен

$$y_{\text{дин}}^{\text{рез.}} = \frac{\delta_{\text{max}}}{\gamma} y_{\text{стат.}}$$

где  $\gamma$  - коэффициент внутреннего трения материала вала.

Метод расчета прогибов вала шпинделя с комбинированной головкой позволяет выбирать его конструктивные параметры с целью получения достаточно высокой жесткости, а следовательно и высокой точности обработки цилиндров. Выполненные расчеты в статическом и динамическом режимах работы шпинделя с комбинированной головкой показали, что резонансные режимы характеризуются существенно большей амплитудой колебаний в сравнении со статической и поэтому являются нежелательными, в связи с возможностью больших отклонений точности геометрии обработанной поверхности от технических требований. Уменьшение динамической составляющей общего смещения шпинделя в рабочем режиме было достигнуто путем увеличения резонансной частоты колебаний на порядок по сравнению с рабочей (внутренней) частотой колебаний, за счет ужесточения вала

шпинделя с головкой в приемлемых пределах, в результате чего амплитуда колебаний в рабочем режиме стала близка к статической деформации.

Выполненные расчеты показывают, что рабочая частота колебания  $\omega = 251,2 \text{ с}^{-1}$ , резонансная частота колебаний  $\omega_{\text{рез}} = 35 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$ , амплитуда колебаний шпинделя с головкой в рабочем режиме  $\psi_{\text{дин}} = 59,2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$ , статическая деформация  $\psi_{\text{ст}} = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$ .

3. Программа и методика экспериментальных исследований. В третьей главе программа экспериментальных исследований предусматривала:

1. Разработку, изготовление и исследование шпинделя с комбинированной головкой.

2. Разработку, изготовление и исследование устройства для крепления цилиндров при их восстановлении.

3. Исследование геометрических параметров и физико-механических свойств восстановленной поверхности цилиндров:

погрешности формы (овальность, конусность, отклонение размера);

шероховатости;

микротвердости;

остаточных напряжений скатия.

4. Исследование процесса приработки и изнашивания цилиндров (стендовые испытания).

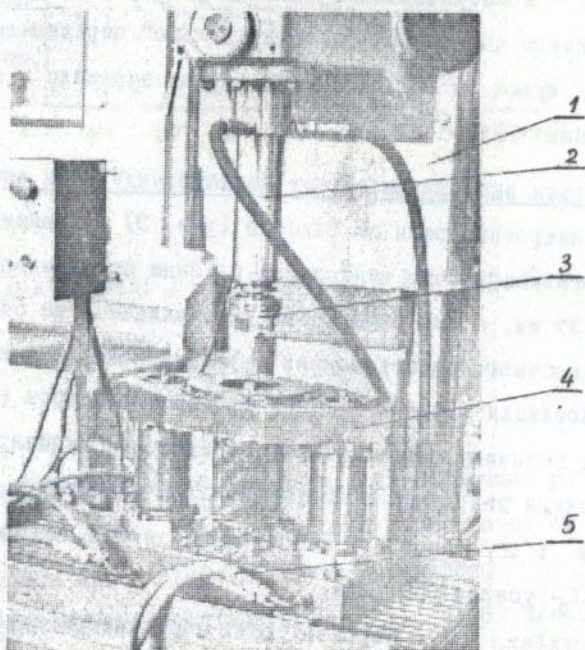
5. Эксплуатационные испытания двигателей с цилиндрами, восстановленными по предлагаемой и существующей технологиям.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка (рис. 2) на базе вертикального одношпиндельного отделочно-расточного станка модели 2Е78П, оснащенная шпинделем с ком-

бинированной головкой специальной конструкции, работающее от гидростанции. Определение овальности, конусности, отклонение размера производилось нутромером НИ 100-160 ГОСТ 868-82 с индикаторной головкой часового типа 2ИГМ ГОСТ 9696-61 с ценой деления 0,002 мм.

Шероховатость обработанной поверхности измеряли профилометром-профилографом модели 201. Профилограммы обрабатывались на приборе ПОБД-12.

Общий вид экспериментальной установки



- 1 - вертикально-расточной станок;
- 2 - шпиндель специальной конструкции;
- 3 - комбинированная головка специальной конструкции;
- 4 - устройство для крепления цилиндров специальной конструкции;
- 5 - шланги высокого давления.

Микротвердость и глубину наклепа определяли микротвердомером ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450-76. Металлографический анализ производился на микроскопе МИМ-8 в соответствии с ГОСТ 10243-75. Внутренние напряжения изучались по методике Н.Н.Давиденкова.

Сравнительные стендовые испытания цилиндров проводились на двигателях Д-144 на обкаточно-тормозном стенде КИ-2118. При стендовых и эксплуатационных испытаниях на двигатель устанавливали два цилиндра, восстановленные растачиванием с последующим хонингованием и два - восстановленные совмещенным процессом растачивания и ППД. Износ сопряжения "цилиндр-кольцо" определяли методом вырезанных лунок по ГОСТ 17534-72. Лунки нарезали и измеряли с помощью прибора УПОИ-6 (965).

#### 4. Результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Исследования микротвердости по глубине (рис. 3) в зависимости от усилия ППД показывают, что наибольшая глубина проникновения ППД составляет 0,35 мм, а микротвердость увеличивается на 64 % при усилии поверхностного пластического деформирования 2,5 МПа.

Для установления степени влияния основных факторов и их взаимодействия на величину шероховатости поверхности цилиндров был реализован полный факторный эксперимент ПФЭ<sup>3</sup>. Значения исследуемых факторов :  $x_1$  - скорость растачивания и ППД, м/мин;  $x_2$  - подача, мм/об;  $x_3$  - усилие ППД, МПа.

Функция отклика  $y$  - шероховатость поверхности цилиндров  $R_a$ , мкм.

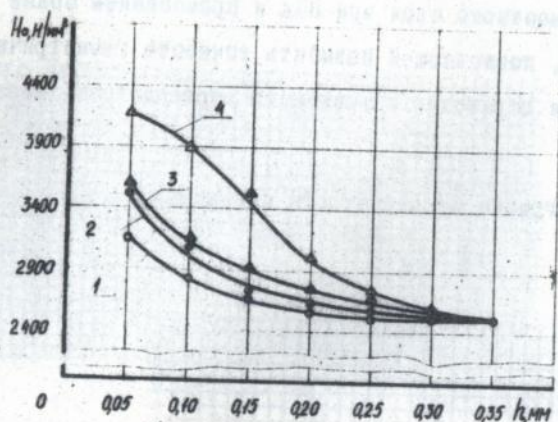
Исследуемый процесс описывается уравнением регрессии

$$y = 0,33 + 0,0075 x_1 + 0,005 x_2 - 0,0175 x_3 - 0,005 x_{13} - 0,005 x_{123}$$

Наибольшее влияние на исследуемый параметр оказывает усилие

ППД.

## Изменение микротвердости по глубине цилиндра



при усилии ППД: 1 - 1,0 МПа; 2 - 1,5 МПа; 3 - 2,0 МПа;  
4 - 2,5 МПа

Рис. 3

Экспериментально установлено, что наилучшие результаты по шероховатости (рис. 4 а) и точности геометрической формы цилиндров получены при следующих режимах процесса.

Скорость растачивания и ППД  $V = 395,64$  м/мин (1200 об/мин).

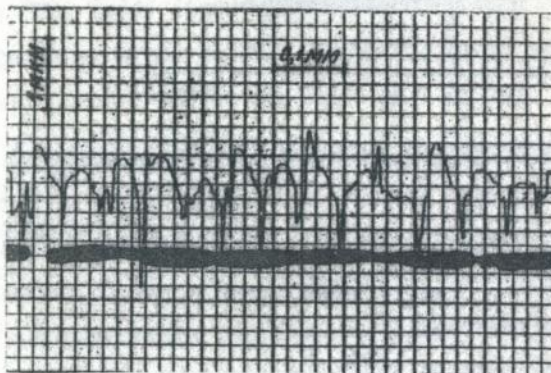
Подача  $S = 0,05$  мм/об.

Величина усилия ППД  $P = 2,5$  МПа.

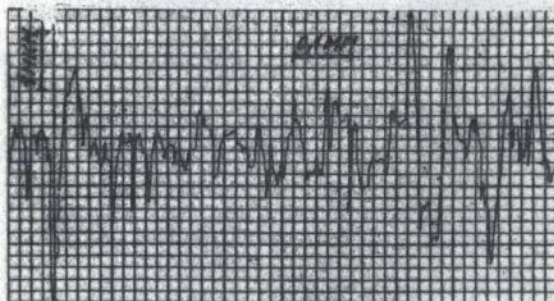
Шероховатость поверхности при этом лежит в пределах  $R_a = 0,32$  мкм, а овальность и конусность не более 0,02 мм. При стендовых испытаниях износ цилиндров, восстановленных предлагаемым спосо-

бом, по сравнению с восстановленными растачиванием с хонингованием, уменьшился в 1,7 раза. Уменьшение износа можно объяснить упрочнением поверхностного слоя при ППД и применением более современной оснастки, позволяющей повысить точность геометрической формы цилиндров при обработке и уменьшить шероховатость поверхности.

#### Профилограммы шероховатости цилиндров



а) - расточенного с совмещенных процессом ППД



б) - расточенного с последующим хонингованием

Рис. 4

Металлографический анализ (рис. 5) также указывает на упрочнение поверхностного слоя цилиндров, восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД.

При определении и сравнении величин остаточных напряжений I-го рода, тангенциальных и осевых в хонингованных и восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД видно, что у цилиндров, восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД на внутренней поверхности преобладают сжимающие напряжения, а в хонингованных - растягивающие.

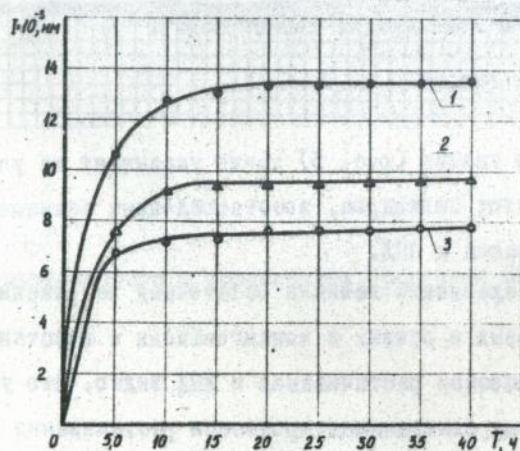
Результаты сорокачасовых стендовых испытаний двигателей показали, что средний износ цилиндров (рис. 6), восстановленных растачиванием с последующим хонингованием составил 13,5 мкм, а

Микроструктура упроченного слоя поверхности цилиндра  
(травлено x 70)



Рис. 5

Зависимость износа цилиндров от времени работы



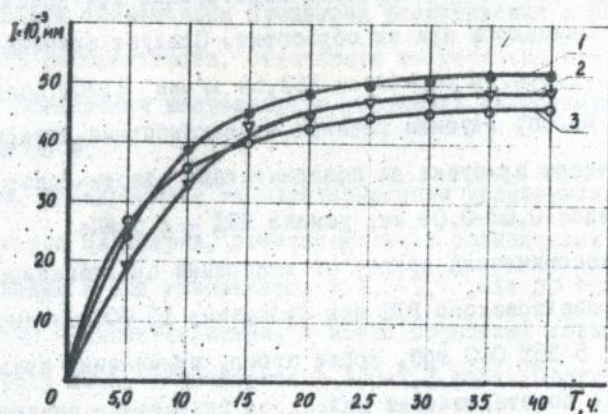
1 - восстановленный растачиванием с последующим хонингованием;  
2 - серийный; 3 - восстановленный совмещенным процессом  
растачивания и ППД

Рис. 6

восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД - 7,7 мкм, что на 53 % меньше, чем износ хонингованных.

Средний износ компрессионных колец (рис. 7), работавших в паре с цилиндрами, восстановленными растачиванием с последующим хонингованием составил - 50,2 мкм, а с цилиндрами, восстановленными совмещенным процессом растачивания и ППД - 45,5 мкм, то-есть во втором случае износ колец в 1,1 раза меньше.

### Зависимость износа колец от времени работы



1 - кольцо, работавшее в паре с цилиндром, восстановленным растачиванием с последующим хонингованием; 2 - с серийным; 3 - восстановленным совмещенным процессом растачивания и ППД.

Рис. 7

Эксплуатационными испытаниями установлено, что износ цилиндров, восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД в 1,5 раза меньше износа цилиндров, восстановленных растачиванием с последующим хонингованием.

## 5. Технологический процесс восстановления цилиндров.

### Рекомендации производству. Экономическая эффективность процесса.

Цилиндры двигателей Д-37, Д-144 и их модификации при ремонте восстанавливаются на один ремонтный размер. Восстановление цилиндра на ремонтный размер заключается в растачивании с одновременным поверхностным пластическим деформированием.

При восстановлении зеркала цилиндров двигателей Д-37, Д-144 для внедрения в производство рекомендуется шпиндель специальной конструкции со съёмными комбинированными головками для растачивания и одновременного ППД. Для повышения точности обработки предлагается устройство специальной конструкции для крепления и центрирования цилиндров при их обработке. Следует применять режим обработки: скорость обработки 395,64 м/мин (1200 об/мин); подача - 0,05 мм/об; глубина резания - межремонтный интервал цилиндров с учетом припуска на поверхностное пластическое деформирование, равное 0,02-0,04 мм; усилие ППД - 2,5 МПа.

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемого процесса для Старосалтовского РТП при программе 10 000 цилиндров в год составит 5 385 000 крб. Кроме этого, применение предлагаемой технологии восстановления цилиндров двигателей позволяет увеличить межремонтный ресурс двигателя. В целом годовой экономический эффект составит 7 219 690 крб., что на один цилиндр составляет, примерно, 722 крб.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Существующие способы восстановления зеркала цилиндров не обеспечивают нормативного послеремонтного ресурса и имеет невысокую производительность процесса. Проведенные исследования показали, что использование технологии восстановления зеркала ци-

цилиндров совмещенным процессом растачивания и поверхностного пластического деформирования позволяет повысить качество восстановления цилиндров и производительность при ремонте в 7-8 раз.

2. Разработаны конструкция шпинделя с комбинированной головкой и устройство для крепления и центрирования цилиндров, позволяющие реализовать предложенный способ восстановления. Оптимальные параметры технологического процесса: скорость растачивания и ППД  $V = 395,64$  м/мин; подача  $S = 0,05$  мм/об; усилие ППД  $P = 2,5$  МПа; припуски на ППД 0,02-0,04 мм.

3. Лабораторные исследования показали, что восстановление цилиндров совмещенным процессом растачивания и ППД позволяет получить шероховатость, отвечающую техническим требованиям, снимающие остаточные напряжения и увеличить микротвердость поверхности на 64 %.

4. Стендовыми и эксплуатационными испытаниями установлено, что износ цилиндров, восстановленных совмещенным процессом растачивания и ППД уменьшается в 1,5-1,7 раза по сравнению с расточенными и хонингованными, а износ поршневых колец, работавших в паре с ними, уменьшается в 1,0-1,1 раза. Соответственно увеличивается послеремонтный ресурс двигателей.

5. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии и оснастки при программе 10 000 цилиндров в год в Старосалтовском РТП по сравнению с существующей технологией в РТП составит 5,4 млн.крб. Народнохозяйственный экономический эффект, учитывающий увеличение ресурса цилиндров, составит 7,2 млн. крб.

По теме диссертации опубликованы следующие основные печатные работы:

1. В.К. Аветисян, Н.И.Глазьев. Исследование влияния глубины

резания ротационным резцом при растачивании автотракторных гильз на шероховатость поверхности. - В об.н.тр. МИИСП: Восстановление деталей сельскохозяйственной техники индустриальными методами. М., 1983.

2. Н.С.Пилипенко, Н.И.Глазьев, В.К.Аветисян. Устройство для восстановления цилиндров автотракторных двигателей и средства автоматизации процесса. /Проект на ВДН СССР. М., 1984.

3. В.К.Аветисян, Н.И.Глазьев. Исследование влияния скорости и подачи на шероховатость поверхности цилиндров автомобильных двигателей при их растачивании ротационными резцами. В об.н.тр. МИИСП: Прогрессивные технологические способы и процессы восстановления деталей с.-х. техники. М., 1984.

4. В.К.Аветисян, Н.И.Глазьев. Анализ конструкций головок для растачивания и одновременного ПДД цилиндров автотракторных двигателей. В об.н.тр. МИИСП: Технология повышения долговечности деталей. М., 1985.

5. В.К.Аветисян, В.А.Бантковский, Н.И.Глазьев и др. Современные и перспективные способы восстановления деталей сельскохозяйственной техники. Харьков: Ротапринт ВНИИТэлектромаш, 1988.

6. А.с. № 155510 (СССР). Способ восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров автотракторных двигателей /В.К.Аветисян, С.П.Никитин, Н.В.Слоновский, В.Е.Федоренко. Спубл. в Б.И. 1990 № 13.

7. В.К.Аветисян, А.И.Сидашенко, В.М.Монах, А.А.Зборщенко. Разработка технологии ремонта гильз цилиндров двигателя ЗИЛ-130. Инв. № 0290.0 048564, номер гос.регр. 01.86.0 032090.

---

Подп. в печать 26.10.93. Формат 60x84 1/16.

Объем: 1,0 усл.-печ.л., 1,0 уч.-изд.л.

Тираж 100. Заказ 275

---

Редакционно-издательский отдел Харьковского государственного аграрного университета имени В.В.Докучаева. 312131, г.Харьков, п/о "Коммунист-1", учебный городок ХГАУ.

---

Участок оперативной печати ХГАУ





AB 28.578

**AB 28.578**