

УДК 629.1.013:621.9.048

Э. С. САВЕНКО, Н. В. САВЕНКОВ, Л. Р. КОВАЛЁВА

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Аннотация. В статье изложен метод восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи. Определена степень влияния электрических параметров этого процесса на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия и объема упрочняющей химико-термической обработки. Для реализации рассматриваемого метода необходимо располагать точной информацией о величине и характере распределения износа поршневых пальцев и их рабочих поверхностей. Соответствующие исследования проводились по поршневым пальцам ремонтного фонда дизельных и искровых моторов грузовых автомобилей. По отношению к известным методам восстановления, например – термообработке и раздаче жестким пуансоном, рассматриваемый в статье процесс характеризуется меньшими остаточными напряжениями, более высоким качеством и экономичностью.

Ключевые слова: восстановление, поршневой палец, электрогидравлическая раздача, износ, ремонтный размер, пластическое деформирование металла, электромагнитная энергия, энергия взрывчатых веществ.

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача создания и повсеместного внедрения принципиально новой техники и материалов заключается в экономии сырья и топливно-энергетических ресурсов, а также во вторичном использовании материальных ресурсов. В связи с этим большое значение имеет разработка прогрессивных технологических процессов, в особенности процессов восстановления деталей массового производства. К последним относится поршневой палец автомобильных двигателей. Только в автомобильной промышленности ежегодно изготавливается свыше 50 млн поршневых пальцев диаметром 20...58 мм, длиной 45...114 мм и массой 0,100...1,750 кг [1].

Существующие способы восстановления поршневых пальцев – шлифование до ремонтного размера, нанесение гальванопокрытия, раздача жестким пуансоном и гидротермическая раздача – в ряде случаев отличаются сложностью процесса, низкой производительностью, значительными расходами тепловой и электрической энергии.

Ни один из указанных технологических процессов, по различным причинам, невозможно применить для восстановления всех видов поршневых пальцев. Эти процессы не в полной мере отвечают требованиям специализированного производства и вследствие этого не находят широкого промышленного применения.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В настоящее время получило развитие применение высокоэнергетического способа пластического деформирования металла с использованием энергии высоковольтного импульсного разряда в жидкости – электрогидравлический эффект, а на его основе электрогидравлической обработки.

Целью работы является повышение эффективности восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи.

Задачи работы:

- исследовать и установить законы распределения износов поршневых пальцев ДВС;
- установить степень влияния электрических параметров процесса электрогидравлической раздачи на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия и объема упрочняющей химико-термической обработки.

Анализ существующих технологий восстановления поршневых пальцев ДВС показал, что существующие способы восстановления поршневых пальцев, в ряде случаев, отличаются сложностью процесса, низкой производительностью, значительными расходами тепловой и электрической энергии. Ни один из существующих способов не является универсальным и по различным причинам неприемлем для восстановления всех видов поршневых пальцев.

Анализ особенностей электрогидравлической обработки установил, что этот процесс является одним из перспективных способов восстановления поршневых пальцев ДВС. Данным способом возможно восстановление поршневых пальцев всех видов двигателей, из любого материала и при любой геометрии внутреннего сечения.

Поршневой палец двигателя внутреннего сгорания подвергается воздействию нагрузок, вызванных давлением газов и инерцией массы поршня и колец. Характер нагрузки переменный, ударный.

Ресурс, надежность и долговечность кинематических пар «поршневой палец – втулка» и «поршневой палец – поршень» определяется износостойкостью их рабочих поверхностей. В процессе работы к этим поверхностям смазка, в основной массе конструкций, подается разбрызгиванием. Несмотря на то, что моторное масло подвергается фильтрации, в нем в виде отдельных частиц встречается абразив. В связи с указанными условиями смазки рабочие поверхности пальцев работают в условиях граничного трения.

Изучение микрорельефа изнашиваемой поверхности поршневых пальцев показывает, что гладкая в целом поверхность покрыта отдельными рисками шириной менее 1 мкм, образовавшимися в результате попадания свободных абразивных частиц. Поверхность пальца в местах сопряжения с втулкой, как правило, блестящая; встречаются участки легкого цвета побежалости. Все это указывает на то, что рабочие поверхности поршневого пальца подвергаются нормальному износу, который по классификации Б. И. Костецкого может быть отнесен к окислительному. Сопутствующим видом износа поршневого пальца является абразивный, образуемый в результате попадания отдельных абразивных частиц между трущимися поверхностями.

Литературные источники не содержат исчерпывающих сведений о величине и характере распределения износа поршневых пальцев. Поэтому данный вопрос требовал дополнительного изучения, т.к. для разработки нового технологического процесса восстановления поршневых пальцев необходимо было располагать точной информацией о величине и характере распределения износа их рабочих поверхностей.

Для получения такой информации были проведены соответствующие исследования на Головном предприятии 2-го Донецкого производственного объединения «Авторемонт».

Исследования проводились по поршневым пальцам к дизельным моторам ЯМЗ-236, 238, 240; А-01А, А-1; КамАЗ – 740, ЗИЛ – 645, ГАЗ-560, 562, СМД-14, 60, 62, 64; Д-21, 37, 40, 48, 50, 65М, 65Н и искровым моторам ЗИЛ- 508, 509, ЗМЗ – 406, 405, 409, 512, УМЗ-421.

Первичная информация для изучения распределения характера износа поршневых пальцев производилась путем выборочного изучения состояния ремонтного фонда. При этом обеспечивалась случайность и представительность выборки, состоящей из 100 поршневых пальцев. По количественному составу выборка состояла из деталей двигателей, которые по техническому состоянию требуют капитального ремонта, а их средний возраст в выборке был не менее чем средний возраст двигателей в эксплуатации и не более амортизационного.

В соответствии с ГОСТ 14846-84 устанавливаются четыре пояса измерения износа наружного диаметра поршневого пальца по его длине. Два – в местах сопряжения с поршнем, два – в местах сопряжения с втулкой верхней головки шатуна (рис. 1). Например, для поршневого пальца двигателя ЗИЛ-508 пояса измерений установлены на расстоянии $L_1 = 16$ мм, $L_2 = 32$ мм, $L_3 = 50$ мм, и $L_4 = 68$ мм от торца пальца. В каждом поясе замеры производились в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (А и В). Точность измерений составляла $\pm 0,001$ мм и обеспечивалась миниметром с индикаторной головкой ИГП, ГОСТ 6933-72.

Определялись числовые характеристики износа: средняя арифметическая величина, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, асимметрия, эксцесс, коэффициент вариации. Анализ распределения износа производился по законам: Стьюдента, Максвелла, Рэлея, Пирсона, Вейбулла, нормальному, логарифмически нормальному, Лапласа-Шарлье и по распределениям показательному, гамма, бэ́та и равномерному.

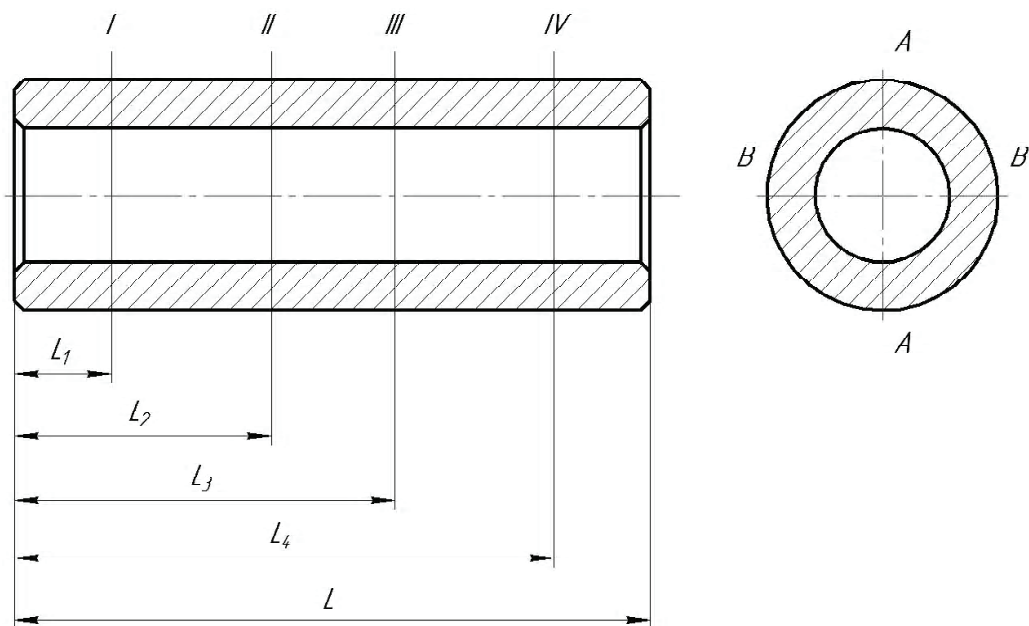


Рисунок 1 – Схема измерения износа наружного диаметра поршневого пальца по его длине: А-А; В-В – направление измерения; I, II, III, IV – пояса измерений; $L_1 = 1/2 L_{\text{ВП}}$; $L_2 = L/2 - 1/4 L_{\text{ГШ}}$; $L_3 = L/2 - 1/4 L_{\text{ГШ}}$; $L_4 = L - 1/2 L_{\text{ВП}}$; $L_{\text{ВП}}$ – длина бобышки поршня; $L_{\text{ГШ}}$ – ширина верхней головки шатуна.

В результате расчетов по каждому поясу измерения поршневых пальцев были получены числовые характеристики износа, выдвинута гипотеза закона распределения износа и произведен расчет его соответствия по критерию согласия Пирсона χ^2 .

Анализ принятых при эксперименте законов распределения показывает, что в основном износы рабочих поверхностей поршневых пальцев распределяются по нормальному закону и закону Лапласа-Шарлье.

Износ поршневых пальцев, характер его распределения зависит от большого числа взаимно независимых, случайных величин (состояние дорог, почвенно-климатические условия, состояние и возраст двигателя, квалификация водителя, качество технического обслуживания и ремонта и т. д.), влияние которых на полную величину износа сравнительно мало. В этом случае, согласно теории Ляпунова, величина износа детали будет иметь распределение, близкое к нормальному. Экспериментальные исследования подтверждают это предположение, а имеющиеся отклонения от нормального закона обусловлены условиями эксплуатации и влиянием случайных величин.

На рис. 2 представлены теоретические и эмпирические графики распределения износа поршневого пальца двигателя ЗИЛ-508 по I поясу измерений, которые соответствуют нормальному закону распределения. Анализ вычисленных величин износа поршневых пальцев ДВС, приведенных на рис. 3, показывает, что износ поршневых пальцев зависит от типа двигателя, материала, из которого он изготовлен, а также вида применяемой при изготовлении термической обработки. Износ поршневого пальца по длине не равномерен. Величина износа максимальна в местах сопряжения с поршнем и минимальна в области сопряжения с втулкой верхней головки шатуна. Поршневые пальцы искровых двигателей имеют вдвое больший износ, чем дизельных. В поршневых пальцах дизелей, изготавливаемых из стали 12ХНЗА, средняя величина износа составляет 0,01...0,02 мм, а максимальная 0,03...0,04 мм. В поршневых пальцах искровых двигателей, изготавливаемых в основном из стали 45, средняя величина износа составляет 0,03...0,04 мм, а максимальная – 0,05...0,06 мм. Величина износа зависит от марки применяемого материала. При одинаковых геометрических параметрах величина износа поршневых пальцев из углеродистой стали вдвое больше, чем у пальцев из легированной стали. Максимальные величины износа поршневых пальцев составляют 0,10...0,35 % от наружного диаметра и их можно устранить с помощью пластического деформирования – раздачей.

С целью обеспечения восстановления всех видов поршневых пальцев необходимо произвести разработку технологии восстановления на примере деталей, имеющих максимальный износ и наибольшее многообразие применяемого материала. Выбор способа восстановления поршневого пальца зависит от геометрических параметров изделия, материала, из которого он изготовлен, и вида применяемой при этом термообработки.

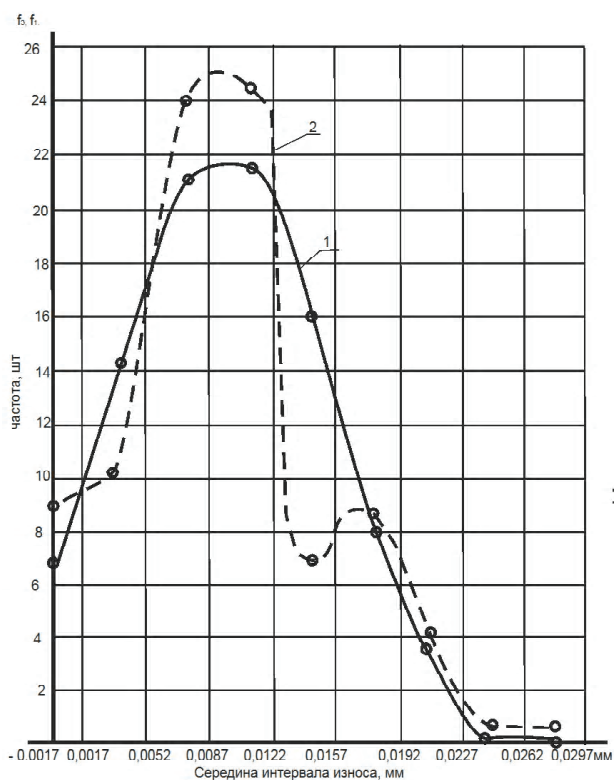


Рисунок 2 – Характеристика распределения износов поршневого пальца двигателя ЗИЛ-508 по первому поясу измерения: 1 – теоретическая кривая распределения; 2 – эмпирическая кривая распределения.

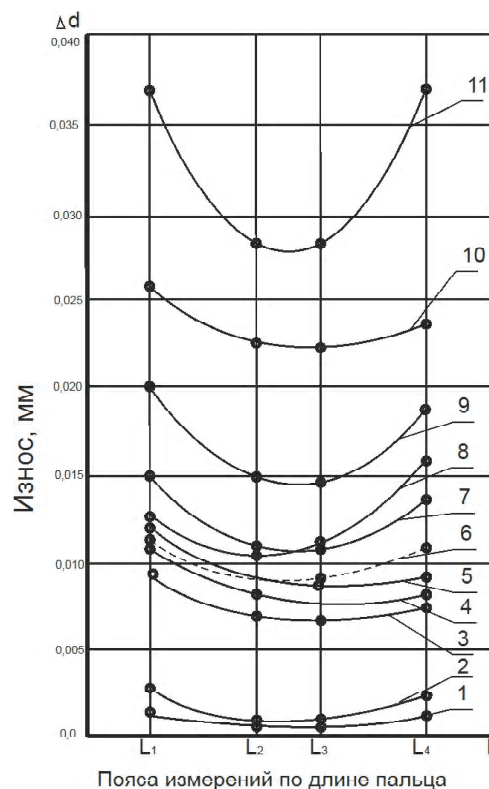


Рисунок 3 – Характер и величина износа поршневых пальцев ДВС (при поступлении на ремонт): 1 – ЯМЗ-236; 238, 240; 2 – СМД-62; 3 – ЗИЛ-645; 4 – КамАЗ-740; 5 – Д-30; 6 – 48, 65 Д-37 (сталь 15Х); 7 – ГАЗ-560, ЗИЛ-508; 8 – ЗМЗ-406, 9 – ЗИЛ-509; 10 – ЗМЗ-402; 11 – УМЗ-421 (сталь 45).

Все поршневые пальцы ДВС имеют одинаковую конструкцию, представляют собой полый цилиндр, имеющий износостойкую наружную поверхность, и отличаются геометрическими параметрами – материалом и применяемой термообработкой.

Шлифование поршневого пальца ремонтного (уменьшенного против номинального) размера обеспечивает удаление рисок, царапин, задиров, макронеровностей поверхности. Однако дальнейшее использование таких поршневых пальцев требует наличия поршней с уменьшенными размерами отверстий бобышек, которые промышленностью в настоящее время не выпускаются. По этой причине этот способ восстановления поршневых пальцев не применяется.

Проведенный анализ поршневых пальцев показывает, что величина износов и геометрические параметры пальцев позволяют производить их восстановление с использованием способа электрогидравлической раздачи (ЭГР). Этим способом можно восстановить поршневые пальцы, изготовленные из любого материала и имеющие стенки любой толщины. Наличие внутренней ступенчатой поверхности пальца не является препятствием для проведения этого процесса.

Данные высокоэнергетические способы характеризуются не только количеством затрачиваемой энергии, но и высокой скоростью деформации, влияющей как на поведение металлов в процессе деформирования, так и на их физико-механические свойства. Отличительной особенностью этих способов является невысокая стоимость потребляемой энергии, простота оснастки, высокая эффективность воздействия на изделие [2]. Физика явления заключается в том, что практически несжимаемая жидкость с большой скоростью раздвигается во все стороны от линии разряда и создает ударную волну. При установке заготовки с матрицей перед ударной волной последняя передает свою энергию, в результате чего заготовка деформируется, принимая форму матрицы [3]. При электрогидравлической обработке тепловое воздействие на объекты практически отсутствует, а воздействие на изделие передается через жидкую среду. Важным фактором электрогидравлической обработки является нагружение изделия по всей поверхности заготовки при деформировании, что дает возмож-

ность обеспечивать относительные скорости частиц заготовки ниже критических и исключить тем самым возможность разрушения металла. Электрогидравлическая раздача осуществляется за счет ударной волны, созданной электрическим разрядом в определенных условиях на спецустановке, принципиальная схема которой представлена на рис. 4. Установка работает следующим образом. Батарея статических конденсаторов через зарядное устройство и выпрямитель-трансформатор накапливает электрическую энергию. В момент достижения требуемой величины энергии формирующее устройство замыкает разрядную цепь и между рабочими электродами происходит высоковольтный пробой – создается плазменный шнур, расширение которого в объеме жидкости вызывает образование ударной волны.

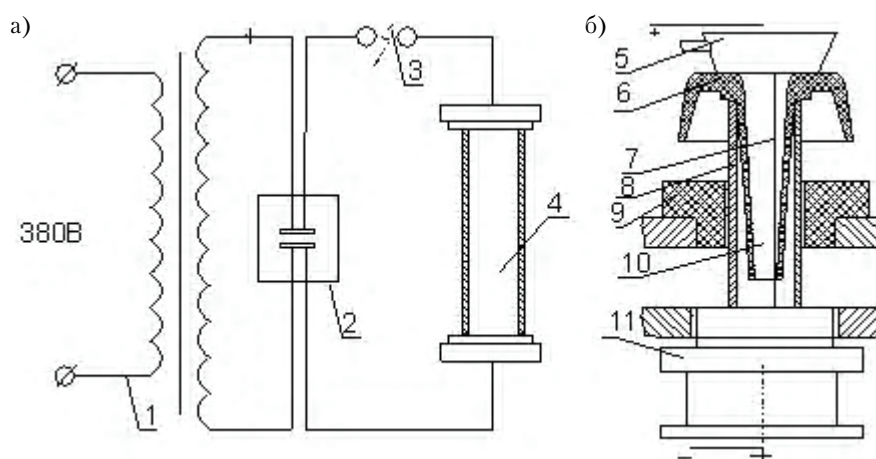


Рисунок 4 – Схема установки и процесса восстановления: а) принципиальная схема электрогидравлической установки: 1 – выпрямительное устройство; 2 – блок накопления энергии; 3 – формирующий промежуток; 4 – технологический узел; б) схема технологического узла при восстановлении поршневого пальца: 5 – подвижный положительный электрод; 6 – патрон; 7 – взрывающаяся проволока; 8 – палец поршневой; 9 – гнезда; 10 – техническая вода; 11 – отрицательный электрод.

Немаловажным фактором, влияющим на пластичность при электрогидравлическом деформировании, является отсутствие контактного трения. Подавляющее число операций обработки металлов давлением осуществляется в условиях соприкосновения обрабатываемого металла с инструментом. При этом частицы деформируемого металла скользят по поверхности инструмента, в результате чего возникают силы контактного трения, являющиеся (в большинстве случаев) вредным фактором для обработки металла. Контактное трение ведет к неоднородной деформации. В каждой точке поверхности контакта появляются касательные напряжения. Распространяясь в глубину деформируемого металла, эти напряжения создают зоны затруднительной деформации и, как следствие, из-за возникающей неоднородности металла (различная степень упрочнения, различная величина зерна и т. д.) резко снижают его пластичность [4, 5, 6].

При электрогидравлической обработке металлов в технологической оснастке отсутствует жесткий пуансон. Его роль выполняет вода или какая-либо другая жидкость. В этом случае отсутствие контактных напряжений приводит к увеличению пластичности металла при деформировании.

ВЫВОД

- Исследованием распределения износов поршневых пальцев ДВС установлено:
 - эмпирическое распределение их износов по наружному диаметру соответствует нормальному закону и закону Лапласа-Шарлье;
 - величина износа по длине пальца не постоянна, максимальна в местах сопряжения с втулкой верхней головки шатуна и составляет по величине 0,10...0,35 % от наружного диаметра.
- Проведенными расчетами величины износа поршневых пальцев выявлено:
 - величина износа поршневых пальцев зависит от материала, из которого он изготовлен: пальцы, изготовленные из легированных сталей, имеют вдвое меньший износ, чем из углеродистой стали;
 - величина износа поршневых пальцев зависит от типа двигателя: пальцы дизельных двигателей имеют вдвое меньший износ, чем исковых.

3. Установлено, что результаты электровзрывной обработки восстанавливаемых поршневых пальцев характеризуются следующим:

- снижение остаточных напряжений; интенсификация естественных релаксационных процессов;
- результаты ЭГР сравнимы с термообработкой, но обладают более высоким качеством и экономичностью;

- для получения изделий с определенными физико-механическими свойствами необходимо учитывать направление ударной волны, взаимодействие с полем механических напряжений, изменение формы импульса и формы заготовки в процессе взаимодействия, а также влияние скорости деформации на физико-механические свойства металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков, И. А. Изготовление заготовок поршневых пальцев в автомобильной промышленности / И. А. Быков, Т. А. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Автомобильное производство. – 1984. – № 1. – С. 4–7.
2. Полупанов, Ф. П. Электрогидравлический эффект в ремонтном деле / Ф. П. Полупанов, К. Г. Балан, В. Н. Пономаренко. – Текст : непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 1972. – № 12. – С. 72–74.
3. Каспарьянц, А. Г. Использование электрогидравлического эффекта для восстановления поршневых пальцев. – Текст : непосредственный / А. Г. Каспарьянц, В. А. Какуевичкий // Автомобильный транспорт. – 1982. – № 8. – С. 103–106.
4. Electro hydraulic sheet metal forming with flexible tools / H. Pegel, L. Langstadtler, M. Herrmann [et al.]. – Текст : электронный // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 190. – P. 1–6. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf.
5. Zhutchkov, A. I. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid / A. I. Zhutchkov, N. T. Zinoviev, G. P. Filatov. – Текст : непосредственный // PLASMA PHYSICS AND PLASMA TECHNOLOGY : III International Conference, Minsk, 18–22 September. – 2000. – P. 558–561.
6. Chace, W. G. Classification of Wire Explosions / W. G. Chace, M. A. Levine. – Текст : непосредственный // J. Appl. Phys. – 1960. – № 31. – P. 1298.

Получена 06.04.2021

Е. С. САВЕНКО, Н. В. САВЕНКОВ, Л. Р. КОВАЛЬОВА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ РОЗДАЧІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНІЗМУ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті викладено метод відновлення поршневих пальців двигунів внутрішнього згорання за рахунок застосування способу електрогидравлічної роздачі. Визначено ступінь впливу електричних параметрів цього процесу на величину деформації поршневих пальців залежно від застосованого матеріалу виробу і обсягу зміцнювальної хіміко-термічної обробки. Для реалізації даного методу необхідно мати у своєму розпорядженні точну інформацію про величину і характер розподілу зносу поршневих пальців і їх робочих поверхонь. Відповідні дослідження проводилися за поршневими пальцями ремонтного фонду дизельних і іскрових моторів вантажних автомобілів. По відношенню до відомих методів відновлення, наприклад – термообробки і роздачі жорстким пуансоном, процес характеризується меншими залишковими напруженнями, більш високою якістю і економічністю, що розглядається в статті.

Ключові слова: відновлення, поршневій палець, електрогидравлічна роздача, знос, ремонтний розмір, пластичне деформування металу, електромагнітна енергія, енергія вибухових речовин.

EDUARD SAVENKO, NIKITA SAVENKOV, LILIA KOVALEVA RESEARCH OF THE METHOD OF ELECTROHYDRAULIC DISTRIBUTION WHEN RESTORING PARTS OF CRANK – CONNECTING ROD MECHANISM Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article describes a method for restoring the piston pins of internal combustion engines through the use of the method of electro-hydraulic distribution. The degree of influence of the electrical parameters of this process on the amount of deformation of the piston pins is determined, depending on the material used for the product and the volume of hardening chemical-thermal treatment. To implement the method under consideration, it is necessary to have accurate information about the magnitude and nature of the distribution of wear on the piston pins and their working surfaces. The corresponding studies were carried

out on the piston pins of the repair stock of diesel and spark engines of trucks. In relation to the well-known methods of recovery, for example, heat treatment and distribution with a rigid punch, the process considered in the article is characterized by lower residual stresses, higher quality and efficiency.

Key words: restoration, piston pin, electro-hydraulic expansion, wear, repair size, plastic deformation of metal, electromagnetic energy, energy of explosives.

Савенко Эдуард Станиславович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Савенков Никита Владимирович – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: работа силовых автомобильных установок на неуставившихся режимах.

Ковалёва Лилия Руслановна – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: многоступенчатые трансмиссии грузовых автомобилей.

Савенко Едуард Станіславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технологія ремонту автомобілів.

Савенков Микита Володимирович – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: робота силових автомобільних установок на несталих режимах.

Ковальова Лілія Русланівна – магістрант кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: багатоступінчасті трансмісії вантажних автомобілів.

Savenko Eduard – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: car repair technology.

Savencov Nikita – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operation of power automobile installations in unsteady modes.

Kovaleva Lilia – master's student, Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: multi-stage truck transmissions.