



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2024, ТОМ 20, НОМЕР 1, 15–24

EDN: THWWAI

УДК 629.1.013:621.9.048

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Э. С. Савенко¹, С. А. Матвиенко², В. В. Симонов³, Н. Н. Беланов⁴, А. Г. Гудолин⁵

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,

286128, г. о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

E-mail: ¹ e.s.savenko@donnasa.ru, ² s.a.matvienko@donnasa.ru, ³ simonov.v.v-aah-23a@donnasa.ru,

⁴ belanov.a.v-zaahu-56b@donnasa.ru, ⁵ gudolin.a.g-zaah-54a@donnasa.ru

Получена 04 марта 2024; принята 22 марта 2024.

Аннотация. В статье описан метод восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи. 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. Определена зависимость от условий химико-термической обработки поршневых пальцев разработан технологический процесс восстановления. Разработан технологический процесс восстановления разовых патронов для процесса электрогидравлической раздачи. Рассчитаны основные режимы процесса электрогидравлической раздачи. Спроектирован участок восстановления поршневых пальцев и других видов деталей. Представлены технологические схемы восстановления цилиндрических деталей автомобилей. Расчетным методом определены режимы и параметры процесса электрогидравлической раздачи поршневых пальцев с сохранением их усталостной долговечности, статической прочности и износостойкости.

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

TECHNOLOGY OF APPLYING THE METHOD OF ELECTROHYDRAULIC DISPLAY FOR PARTS RESTORATION

Eduard Savenko¹, Sergey Matvienko², Vladislav Simonov³, Nikolay Belanov⁴,
Alexander Gudolin⁵

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2.

E-mail: ¹ e.s.savenko@donnasa.ru, ² s.a.matvienko@donnasa.ru, ³ simonov.v.v-aah-23a@donnasa.ru,

⁴ belanov.a.v-zaahu-56b@donnasa.ru, ⁵ gudolin.a.g-zaah-54a@donnasa.ru

Received 04 March 2024; accepted 22 March 2024.

Abstract. The article describes a method for restoring piston pins of internal combustion engines through the use of an electro-hydraulic distribution method. An analysis of the features of electrohydraulic treatment has established that this process is one of the promising methods for restoring piston pins of internal combustion engines. This method makes it possible to restore piston pins of all types of engines, from any material and with any internal cross-section geometry. The dependence on the conditions of chemical and



thermal treatment of piston pins has been determined and a technological recovery process has been developed. A technological process has been developed for the recovery of disposable cartridges for the electrohydraulic dispensing process. The main modes of the electrohydraulic distribution process are calculated. A section for the restoration of piston pins and other types of parts has been designed. Technological schemes for restoring cylindrical car parts are presented. The calculation method was used to determine the modes and parameters of the process of electrohydraulic expansion of piston pins while maintaining their fatigue life, static strength and wear resistance.

Keywords: restoration, piston pin, electrohydraulic expansion, wear, repair size, electric discharge, plastic deformation of metal, electromagnetic energy, energy of explosives.

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 [1–11]. В связи с этим большое значение имеет разработка прогрессивных технологических процессов, в особенности процессов восстановления деталей массового производства [12–17]. К таким 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 0,1–1,750 кг. [18].

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 [1, 8, 12, 13, 17–20]. Ни один из существующих способов не является универсальным и по различным причинам неприменим 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.

Актуальность, цель и задачи исследования

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:

- определить зависимость от условий химико-термической обработки поршневых пальцев, разработать технологический процесс восстановления;
- разработать технологический процесс восстановления разовых патронов для процесса электрогидравлической раздачи;
- рассчитать основные режимы процесса электрогидравлической раздачи;
- спроектировать участок восстановления поршневых пальцев и других видов деталей;
- представить технологические схемы восстановления цилиндрических деталей автомобилей.

Основной материал

Поршневой палец двигателя внутреннего сгорания подвергается воздействию нагрузок, вызванных давлением газов и инерцией массы поршня и колец. Характер нагрузки – переменный, ударный [21–24].

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 [25–28].

На основании анализа исследований определены оптимальные условия электрогидравлической раздачи поршневых пальцев, которые были приняты в качестве определяющих характеристик при разработке технологии их восстановления. Технология восстановления поршневых пальцев ДВС зависит от химико-термической обработки их поверхностей. При химико-термической обработке только наружной поверхности технологический процесс восстановления поршневых пальцев состоит из трех маршрутов:

1. Изготовление патрона разового действия.
2. Подготовка поршневого пальца и его электрогидравлическая раздача.
3. Механическая обработка поршневых пальцев.

Патрон разового действия изготавливают в следующей последовательности:

- а) на литейной машине из полиэтилена 18503–020 ГОСТ 16337-77 литьем под давлением 4,5–6,0 МПа при $t^{\circ}=180\pm 5^{\circ}\text{C}$ в металлической разъемной прессформе отливают изолятор для восстанавливаемого поршневого пальца. Допустимо повторное применение полиэтилена использованных при ЭГР изоляторов;
- б) нарезают ножницами алюминиевую проволоку диаметром 0,7 мм длиной на 15–20 мм больше длины поршневого пальца;
- в) проволоку устанавливают в изолятор патрона на всю его длину. Концы проволоки подгибают за кромки изолятора.

Поршневой палец подвергается мойке в моечной машине составом из лобомиды при $t^{\circ}=90\text{--}95^{\circ}\text{C}$. В вымытые и просушенные поршневые пальцы вставляется электровзрывной патрон разового действия.

Поршневые пальцы в сборе с электровзрывным патроном устанавливают в гнезда поворотного стола технологического узла ЭГУ. Одновременно устанавливаются 12 поршневых пальцев. Поочередная ЭГР установленных поршневых пальцев осуществляется при оптимальном режиме напряжения « u » и емкости « c », зависящем от геометрических размеров пальца, марки стали, из которой он изготовлен, и применяемой при этом термической обработки. Так, например, для раздачи поршневых пальцев двигателя ЗИЛ-5301, изготовленных из стали 45, используются следующие режимы: напряжение $u = 37$ кВ, емкость $c = 6$ мкФ, а из стали 15Х – напряжение $u = 40$ кВ, емкость $c = 6$ мкФ.

Для получения поршневых пальцев номинального размера необходимо увеличение наружного диаметра на 0,2 мм. Контроль увеличения наружного диаметра осуществляется калибром – скобой. При необеспечении увеличения наружного диаметра на 0,2 мм, поршневые пальцы подвергают повторной раздаче. Контроль на отсутствие трещин осуществляется дефектоскопом.

Механическую обработку поршневых пальцев по наружному диаметру осуществляют на бесцентрово-шлифовальном станке модели ЭШ 1 840 и полировальном станке.

Прошлифованные и отполированные поршневые пальцы на пневмодлинномере мод. ДПЗ17 распределяют на пять размерных групп с интервалом 0,002 мм и маркируют цветными красками.

При химико-термической обработке наружной и внутренней поверхности поршневых пальцев ДВС к вышеизложенным маршрутам технологии добавляется еще один маршрут – термическая обработка, которая заключается в отжиге пальцев до ЭГР, закалке и отпуске после раздачи [29–33].

Так, поршневые пальцы двигателя ГАЗ-2217 «соболь», изготовленные из стали 12ХН и подвергнутые химико-термической обработке по наружной и внутренней поверхностям, отжигают в электропечи при $t = 810^{\circ}\text{C}$ в течение 3-х часов с последующим охлаждением с печью. В целях защиты поверхностей поршневых пальцев от окисления их помещают в герметичный контейнер с чугунными опилками. Розданные поршневые пальцы нагревают 10 минут в термопечи при $t = 790\text{--}810^{\circ}\text{C}$ и подвергают закалке охлаждением в масле. Отпуск закаленных поршневых пальцев осуществляют нагревом при $t = 160\text{--}180^{\circ}\text{C}$ в термопечи в течение 15 минут и охлаждением на воздухе.

Внедрение технологии восстановления поршневых пальцев ДВС. Предлагается создать специализированный участок (рис. 1) по восстановлению поршневых пальцев. Он состоит из автоматизированной электрогидравлической установки и пресса для литья электроизоляционных патронов. Имеется механический участок, состоящий из бесцентрово-шлифовального и полировального станков.

ЭГУ состоит из технологического узла и генератора импульсов тока. Техническая характеристика установки:

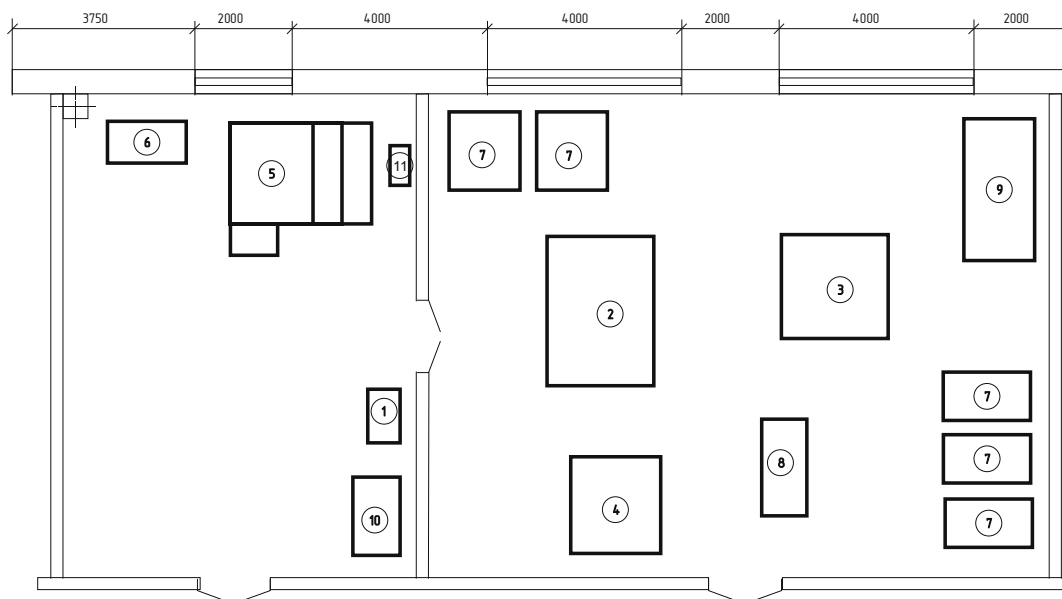


Рисунок 1 – Планировка участка по восстановлению поршневых пальцев: 1 – пульт управления; 2 – выпрямитель-трансформатор масляный; 3 – блок накопления энергии; 4 – технологический узел; 5 – пресс для изготовления технологических электроизоляционных патронов; 6 – столик; 7 – контейнер тарный; 8 – технологическая скоба; 9 – верстак слесарный; 10 – стол; 11 – электролит.

Производительность – до 30 деталей в час.

Потребляемая мощность – 25 кВт.

Емкость конденсаторной батареи – 9 мкФ.

Рабочее напряжение – 25–50 кВ.

Запасенная энергия конденсаторной батареи – до 12 кДж.

Вес установки – 6 040 кг.

Занимаемая площадь – 11 м².

В комплект установки включен пресс собственного производства для изготовления электроизоляционных патронов. Пресс состоит из сварной станины с двумя гидроцилиндрами – верхним и нижним, рабочего цилиндра, электронагревателей, размещенных вокруг него. Верхний гидроцилиндр перемещает шток, создающий давление в рабочем цилиндре прессы, в котором электронагревателями разогревают полиэтилен, выдавливая его в разъемную прессформу, прижимаемую нижним гидроцилиндром.

Для обеспечения электробезопасности при выполнении работ по восстановлению поршневых пальцев пульт управления ЭГУ вынесен в отдельное помещение. Дверь, соединяющая помещения, в которых размещены ЭГУ и пульт управления, электроблокирована, что не позволяет рабочему находиться рядом с работающей

установкой. Контроль за работой ЭГУ осуществляется оператором через специальное смотровое окно.

Система автоматики установки включает автоматическое управление технологическим узлом, управление работой генератора импульса тока, а также контроль за параметрами разрядной цепи.

Электрогидравлическая раздача повышает производительность труда и экономическую эффективность при восстановлении поршневых пальцев по сравнению с существующими способами восстановления и не ухудшает их показателей прочности и износостойкости. Это позволяет рекомендовать указанный метод и для восстановления других деталей.

Так, этот метод был использован для восстановления посадочных мест под подшипники трубы полуоси автомобиля ЗИЛ-433110. Восстановление производилось с помощью подвижного электрода, который настраивался периодически под каждое посадочное место. Глухая заглушка с противоположной стороны создала герметическую полость, заполняемую водой, и служила вторым электродом (рис. 2). Разряд подводился через подвижный электрод. В связи с тем, что разрядный промежуток составлял 20 мм,

а диаметр трубы 50 мм, применяли один электрод без инициирования разряда. Величина раздачи трубы полуоси по наружному диаметру в местах под подшипники составляла 0,5–1,0 мм.

Способом ЭГР восстанавливают не только стальные, но и чугунные детали. Так, проводилось восстановление крышки подшипников ведущего вала коробки передач автомобиля ЗИЛ-5301, изготовленной из ковкого чугуна КЧ-35-10. Крышка имеет износ по наружной поверхности в месте установки выжимного подшипника. Раздача осуществлялась в ванне с водой на величину 0,5–0,9 мм. Восстановлению подвергались также чугунные кольца ГМП ЛАЗ-52528. Такая раздача осуществлялась в специальной

прессформе помощью постоянного электрода (рис. 4). Осуществлялась осадка юбки поршня в специальной прессформе постоянным электродом (рис. 5).

Раздача гильзы цилиндров № 5301-1002020 по наружному диаметру в местах изношенных поясков для их восстановления и одновременного уплотнения рабочей внутренней поверхности детали за счет ударной волны с целью повышения ее износостойкости. Раздача осуществлялась в специальной прессформе (рис. 3) с постоянным электродом.

Приведенные примеры подтверждают большие технологические возможности восстановления деталей способом ЭГР.

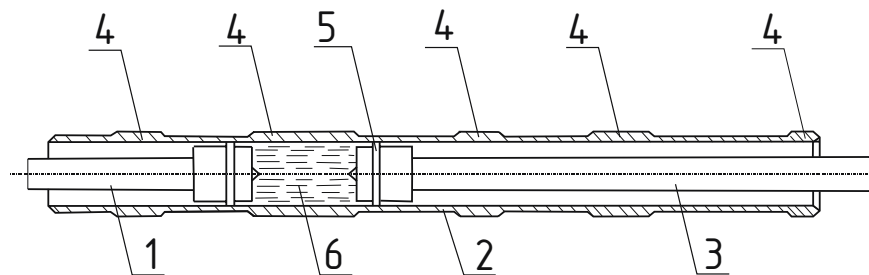


Рисунок 2 – Схема восстановления шейки трубы полуоси, с помощью электрогидравлического эффекта: 1 – отрицательный электрод; 2 – труба полуоси; 3 – положительный электрод; 4 – восстанавливаемая шейка; 5 – электроизоляционное и уплотнительное кольцо; 6 – камера.

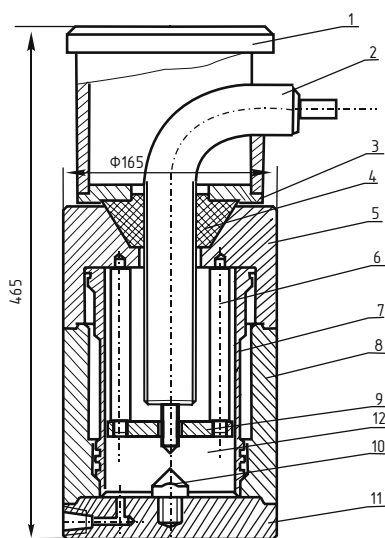


Рисунок 3 – Приспособление для раздачи гильзы цилиндра двигателя ЗИЛ-5301: 1 – стакан; 2 – электрод; 3 – фланец; 4 – гайка; 5 – крышка; 6 – стойка; 7 – гильза цилиндра; 8 – обойма; 9 – отражатель; 10 – электрод; 11 – основание; 12 – камера.

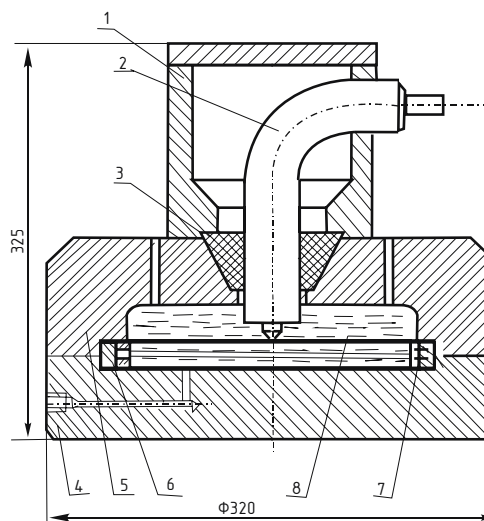


Рисунок 4 – Приспособление для раздачи колец ГМП: 1 – стакан; 2 – электрод; 3 – гайка; 4 – камера; 5 – крышка; 6 – обойма; 7 – обрабатываемая деталь; 8 – камера.

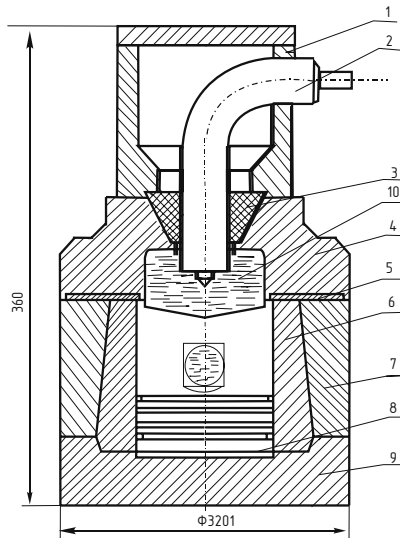


Рисунок 5 – Приспособление для осадки головки: 1 – стакан; 2 – электрод; 3 – гайка; 4 – крышка; 5 – прокладка; 6 – обойма; 7 – контейнер; 8 – прокладка; 9 – плита основания; 10 – камера.

Выводы

1. Определена зависимость от условий химико-термической обработки поршневых пальцев, разработан технологический процесс восстановления.
2. Разработан технологический процесс восстановления разовых патронов для процесса электрогидравлической раздачи.
3. Рассчитаны основные режимы процесса электрогидравлической раздачи.
4. Представлены технологические схемы восстановления цилиндрических деталей автомобилей методом электрогидравлической раздачи.
5. Разработана технология восстановления поршневых пальцев ДВС способом электрогидравлической раздачи.
6. Спроектирован участок восстановления поршневых пальцев и других видов деталей.

Литература

1. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group / O. Saraiev, I. Saraieva, I. Gritsuk [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2020. – № 2020-01-2022. – P. 1–9.
2. Агеев, М. С. Застосування комбінованих технологій відновлення для підвищення ресурсу деталей засобів транспорту / М. С. Агеев, І. В. Грицук, Е. К. Соловйх. – Текст : непосредственный // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ). – 2020. – Випуск 194. – С. 81–92.
3. Allmaier, H. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems / H. Allmaier, D. E. Sander, F. M. Reich. – Текст : непосредственный // World Tribology Congress. – Torino. – 2013. – P. 117.
4. Quantification of wear by comparison of surface topography data / G. Vorlaufer, S. Ilincic, F. Franek [et al.]. – Текст : непосредственный // Encyclopedia of tribology. – 2012. – № 967. – P. 4087–4093.
5. Goenka, P. K. A Review of Engine Bearing Analysis Methods at General Motors / P. K. Goenka, R. S. Paranjpe. – Текст : непосредственный // SAE Technical paper. – 2020. – № 920489. – P. 67–75.
6. Corrosion sensing coatings for steel and aluminum alloys / H. Wheat, G. Liu, A. Alonzo [et al.]. – Текст : непосредственный // The Proceedings of the 21 International Offshore and Polar Engineering. – 2011. – Volume 4. – P. 362–368.

References

1. Saraiev, O.; Saraieva, I.; Gritsuk, I. [et al.]. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2020. – № 2020-01-2022. – P. 1–9.
2. Ageev, M. S.; Hrytsuk, I. V.; Solovykh, E. K. Application of combined recovery technologies to increase the resource of parts of means of transport. – Text : direct. – In: *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDUZT)*. – 2020. – Issue 194. – P. 81–92. (in Russian)
3. Allmaier H.; Sander, D. E.; Reich, F. M. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems. – Text : direct. – In: *World Tribology Congress*. – Torino. – 2013. – P. 117.
4. Vorlaufer, G.; Ilincic, S.; Franek, F. [et al.]. Quantification of wear by comparison of surface topography data. – Text : direct. – In: *Encyclopedia of tribology*. – 2012. – № 967. – P. 4087–4093.
5. Goenka, P. K.; Paranjpe, R. S. A Review of Engine Bearing Analysis Methods at General Motors. – Text : direct. – In: *SAE Technical paper*. – 2020. – № 920489. – P. 67–75.
6. Wheat, H.; Liu, G.; Alonzo, A. [et al.]. Corrosion sensing coatings for steel and aluminum alloys. – Text : direct. – In: *The Proceedings of the 21 International Offshore and Polar Engineering*. – 2011. – Volume 4. – P. 362–368.
7. Gierl, C.; Harrer, B.; Danninger, H. [et al.]. X-ray computed tomography for quantification of secondary

7. X-ray computed tomography for quantification of secondary pore structures in PM steels / C. Gierl, B. Harrer, H. Danninger [et al.]. – Текст : непосредственный // *Powder Metallurgy Progress*. – 2011. – Volume 11, № 1–2. – P. 85–89.
8. Dey, A. Model prediction and experimental validation of porosity in metal spray deposit / A. Dey, S. Koria, R. Dube. – Текст : непосредственный // *Powder Metallurgy Progress*. – 2007. – Volume 50, № 4. – P. 359–366.
9. Michio, Tomie. Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting / Tomie Michio, Abf Nobuyuki. – Текст : непосредственный // *Trans JWRI*. – 1992. – Volume 21, № 2. – P. 229–300.
10. Jinshu Rechuli, Gu Jianfeng. Heat Treat / Gu Jianfeng Jinshu Rechuli. – Текст : непосредственный // *Metals*. – 2013. – № 2. – P. 1–9.
11. Woods, M. The Solution of the Elrod Algorithm for a Dynamically Loaded Journal Bearings Using Multigrid Techniques / M. Woods, D. E. Brewe. – Текст : непосредственный // *Tribology Transactions*. – 1990. – Volume 112. – P. 52–59.
12. Vincent, B. Cavitation in dynamically loaded journal bearings using mobility method / B. Vincent, P. Maspeyrot, J. Frene. – Текст : непосредственный // *Wear*. – 1996. – Volume 193. – P. 155–162.
13. Ageev, M. Performance of Protective Compound Coating for HIIY Niobium Alloy. Evaluated by Thermo-Cyclic Creep Test Method / M. Ageev, V. Lyashenko, Zheng-xian Li. – Текст : непосредственный // *Science Magazine Materials Protection, Periodical, Chinese*. – 2017. – № 50(2). – P. 15–19.
14. Дослідження процесу імпульсного іонного вакуумного термоциклічного азотування у плазмі пульсуючого тліючого розряду / М. С. Агєєв, І. В. Грицук, А. В. Рутковський [та ін.]. – Текст : непосредственный // *Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету»*. Технічні науки. – 2020. – № 6(291). – С. 107–116.
15. Исследование процесса вакуумного термоциклического азотирования в плазме пульсирующего тлеющего разряда. Построение математической модели процесса / А. В. Дудан, М. С. Агєєв, А. В. Рутковський [и др.]. – Текст : непосредственный // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение и машиностроение*. – 2020. – № 4. – С. 40–48.
16. Method For Determination Of Liquefied Gas Fuel Consumption And Harmful Emissions Of Vehicles / I. Gritsuk, V. Mateichyk, V. Volkov [et al.]. – Текст : непосредственный // *Transport Means Engineering - Operation, Fuels And Safety. Seria: Mechanical Engineering (Inymieria Mechaniczna)*. – 2022. – P. 37–44.
17. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger / A. Golovan, I. Gritsuk, V. Popeliuk [et al.]. – Текст : непосредственный // *SAE International Journal of Engines*. – 2020. – № 13(1), 03-13-01-0001. – P. 1–12.
18. Bykov, I. A.; Kuznetsov, T. A. Manufacturing of piston pin blanks in the automotive industry. – Текст : direct. – In: *Automotive production*. – 1984. – № 1. – P. 4–7. (in Russian)
19. Ahieiev, M.; Gritsuk, I.; Litikova, A. [et al.]. Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair pore structures in PM steels. – Text : direct. – In: *Powder Metallurgy Progress*. – 2011. – Volume 11, № 1–2. – P. 85–89.
8. Dey, A.; Koria, S.; Dube, R. Model prediction and experimental validation of porosity in metal spray deposit. – Text : direct. – In: *Powder Metallurgy Progress*. – 2007. – Volume 50, № 4. – P. 359–366.
9. Tomie, Michio; Nobuyuki, Abf. Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting. – Text : direct. – In: *Trans JWRI*. – 1992. – Volume 21, № 2. – P. 229–300.
10. Gu Jianfeng, Jinshu Rechuli. Heat Treat. – Text : direct. – In: *Metals*. – 2013. – №2. – P. 1–9.
11. Woods, M.; Brewe, D. E. The Solution of the Elrod Algorithm for a Dynamically Loaded Journal Bearings Using Multigrid Techniques. – Text : direct. – In: *Tribology Transactions*. – 1990. – Volume 112. – P. 52–59.
12. Vincent, B.; Maspeyrot, P.; Frene, J. Cavitation in dynamically loaded journal bearings using mobility method. – Text : direct. – In: *Wear*. – 1996. – Volume 193. – P. 155–162.
13. Ageev, M.; Lyashenko, B.; Zheng-xian, Li. Performance of Protective Compound Coating for HIIY Niobium Alloy. Evaluated by Thermo-Cyclic Creep Test Method. – Text : direct. – In: *Science Magazine Materials Protection, Periodical, Chinese*. – 2017. – № 50(2). – P. 15–19.
14. Ageev, M. S.; Gritsuk, I. V.; Rutkovsky, A. V. [et al.]. Investigation of the process of pulsed ion vacuum thermocyclic nitriding in plasma of a pulsating molten discharge. – Text : direct. – In: *Scientific journal «Bulletin of Khmelnytsky National University». Technical sciences*. – 2020. – № 6(291). – P. 107–116. (in Ukrainian)
15. Dudan, A. V.; Ageev, M. S.; Rutkovsky, A. V. [et al.]. Study of the process of vacuum thermocyclic nitriding in the plasma of a pulsating glow discharge. Construction of a mathematical model of the process. – Text : direct. – In: *Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science. Mechanical Science and Engineering*. – 2020. – № 4. – P. 40–48. (in Russian)
16. Gritsuk, I.; Mateichyk, V.; Volkov, V. [et al.]. Method For Determination Of Liquefied Gas Fuel Consumption And Harmful Emissions Of Vehicles. – Text : direct. – In: *Transport Means Engineering - Operation, Fuels And Safety. Seria: Mechanical Engineering (Inymieria Mechaniczna)*. – 2022. – P. 37–44.
17. Golovan, A.; Gritsuk, I.; Popeliuk, V. [et al.]. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger. – Text : direct. – In: *SAE International Journal of Engines*. – 2020. – № 13(1), 03-13-01-0001. – P. 1–12.
18. Bykov, I. A.; Kuznetsov, T. A. Manufacturing of piston pin blanks in the automotive industry. – Text : direct. – In: *Automotive production*. – 1984. – № 1. – P. 4–7. (in Russian)
19. Ahieiev, M.; Gritsuk, I.; Litikova, A. [et al.]. Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair

18. 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.
19. Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair Technologies / M. Ahieiev, I. Gritsuk, A. Litikova [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2021. – № 2021-01-5100. – P. 1–17.
20. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas -Diesel Engines / E. Belousov, A. Marchenko, I. Gritsuk [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2020. – № 2020-01-2107. – P. 1–13.
21. 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.
22. 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.
23. Влияние параметров способа электрогидравлической раздачи на эффективность деформации и изменение физических свойств поршневых пальцев ДВС / Э. С. Савенко, Д. Д. Гаевой, Д. В. Филимонов [и др.]. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2023. – Том 19, № 4. – 175–182 с. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-4/st_05_savenko_gaevoy_filimonov_savelyev_shkilnyuk.pdf (дата обращения: 09.01.2024).
24. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools / H. Pegel, L. Langstadtler, M. Herrmann [et. al.]. – Текст : электронный // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 190. – 6 p. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf (дата обращения: 17.12.2023).
25. 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. – 2000. – P. 558–561.
26. Chace, W. G. Classification of Wire Explosions / W. G. Chace, M. A. Levine. – Текст : непосредственный // Journal of Applied Physics. – 1960. – № 31. – P. 1298.
27. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems) / D. Gritsuk, V. Pohorletskyi, M. Mateichyk [et. al.]. – Текст : непосредственный // SAE International. – 2020. – № 2020-01-2031. – P. 1–14.
28. Improving Fuel Economy of Spark Ignition Engines Applying the Combined Method of Power Regulation / Y. Gutarevych, V. Mateichyk, J. Matijoius [et. al.]. – Текст : непосредственный // Energies. – 2020. – Volume 13(5). – P. 1–19.
29. Kuric, I.; Gorobchenko, O.; Litikova, O. [et. al.]. Research of vehicle control informative functioning capacity. – Текст : direct. – In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Volume 776. – P. 1–11.
30. Tsiunan, M. P.; Mateichyk, V.; Smieszek, M. [et al.]. The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator. – Текст : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2020. – № 2020-01-2142. – P. 1–15.
- Technologies. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2021. – № 2021-01-5100. – P. 1–17.
20. Belousov, E.; Marchenko, A.; Gritsuk, I. [et al.]. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas -Diesel Engines. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2020. – № 2020-01-2107. – P. 1–13.
21. Polupanov, F. P.; Balan, K. G.; Ponomarenko, V. N. Electrohydraulic effect in repair business. – Text : direct. – In: *Technology in agriculture*. – 1972. – № 12. – P. 72–74. (in Russian)
22. Kaspariants, A. G.; Kakuevitsky, V. A. Use of the electrohydraulic effect to restore piston pins. – Text : direct. – In: *Automobile transport*. – 1982. – № 8. – P. 103–106. (in Russian)
23. Savenko, E. S.; Gaevoy, D. D.; Filimonov, D. V. [et al.]. Influence of parameters of the electrohydraulic distribution method on the efficiency of deformation and changes in the physical properties of piston pins of internal combustion engines. – Text : electronic. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2023. – Volume 19, № 4. – P. 175–182. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-4/st_05_savenko_gaevoy_filimonov_savelyev_shkilnyuk.pdf (date of access: 09.01.2024). (in Russian)
24. Pegel, H.; Langstadtler, L.; Herrmann, M. [et. al.]. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools. – Text : electronic. – In: *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – № 190. – 6 p. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf (date of access: 17.12.2023).
25. Zhutchkov, A. I.; Zinoviev, N. T.; Filatov, G. P. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid. – Text : direct. – In: *Plasma physics and plasma technology : III International Conference*. – 2000. – P. 558–561.
26. Chace, W. G.; Levine, W. G. Classification of Wire Explosions. – Text : direct. – In: *Journal of Applied Physics*. – 1960. – № 31. – P. 1298.
27. Gritsuk, D.; Pohorletskyi, V.; Mateichyk, M. [et. al.]. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). – Text : direct. – In: *SAE International*. – 2020. – № 2020-01-2031. – P. 1–14.
28. Gutarevych, Y.; V. Mateichyk, J. Matijoius [et. al.]. Improving Fuel Economy of Spark Ignition Engines Applying the Combined Method of Power Regulation. – Text : direct. – In: *Energies*. – 2020. – Volume 13(5). – P. 1–19.

29. Research of vehicle control informative functioning capacity / I. Kuric, O. Gorobchenko, O. Litikova [et al.]. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume 776. – P. 1–11.
30. The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator / M. P. Tsiuman, V. Mateichyk, M. Smieszek [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2020. – № 2020-01-2142. – P. 1–15.
31. Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller / M. Tkachuk, O. Shut, A. Marchenko [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2021. – № 2021-01-5056. – P. 11.
32. Information system for remote monitoring of vehicle operational efficiency / M. Smieszek, V. Mateichyk, R. Symonenko [et al.]. – Текст : непосредственный // Machine Modeling and Simulations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Volume 1199. – P. 58–71.
33. Intelligent Transportation Systems Applications: Safety and Transfer of Big Transport Data / Yasin Celik, Metin Mutlu, Aydin Ioan Petri [et al.]. – Текст : электронный // Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure : [сайт]. – 2023. – P. 23–32. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3> (дата обращения: 11.12.2023).
31. Tkachuk, M.; Shut, O.; Marchenko, A. [et al.]. Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2021. – № 2021-01-5056. – P. 11
32. Smieszek, M.; Mateichyk, V.; Symonenko, R. [et al.]. Information system for remote monitoring of vehicle operational efficiency. – Text : direct. – In: *Machine Modeling and Simulations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – Volume 1199. – P. 58–71.
33. Celik, Yasin; Mutlu, Metin; Ioan Petri, Aydin [et al.]. Intelligent Transportation Systems Applications: Safety and Transfer of Big Transport Data. – Text : electronic // *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure* : [site]. – 2023. – P. 23–32. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3> (date of access: 10.09.2023).

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

Матвиенко Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Симонов Владислав Витальевич – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Беланов Николай Николаевич – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Гудолин Александр Геннадиевич – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

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

Matvienko Sergey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Simonov Vladislav – master’s student, of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Belanov Nikolay – master’s student, of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Gudolin Alexander – master’s student, of the Department of Automotive Transport, Service and Operation, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.