

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НИЖНЕЙ ГОЛОВКИ «КОЛОТЫХ» ШАТУНОВ

¹Валентин Павлович Лялякин, доктор технических наук,
главный специалист, профессор, e-mail: Valral-1938@mail.ru;

¹Александр Юрьевич Костюков, кандидат технических
наук, ведущий научный сотрудник;

²Игорь Иванович Даниличев, технический директор

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

²Мотортехнология, Москва, Российская Федерация

Реферат. Современные высокоточные станки для механической обработки базовых деталей двигателя позволяют проводить качественное восстановление широкой номенклатуры различных деталей машин и механизмов. Рассмотрели восстановление шатуна – одной из базовых и наиболее многочисленных деталей шатунно-поршневой группы. (Цель исследования) Проанализировать возможности различных технологий для восстановления «колотых» шатунов и дать технологические предложения по их восстановлению для компании «Мотортехнология». (Материалы и методы) Выбрали объект исследования – «колотый» шатун двигателя Cummins как один из наиболее массовых двигателей, используемых на автомобилях КА МАЗ. Предложили для восстановления нижней головки «колотого» шатуна использовать технологию электроискровой обработки, с помощью которой возможно получить новый слой с прогнозируемыми характеристиками в зависимости от параметров искрового разряда, состава электродного материала, материала обрабатываемой детали и других факторов. Отметили, что полученное покрытие будет иметь отличные от материала основы свойства, которыми можно управлять в широких пределах и обеспечивать требуемые качества: повышенную микротвердость, износостойкость, жаростойкость. Определили, что важным достоинством технологии электроискровой обработки служит отсутствие значительного теплового влияния на деталь в процессе обработки, поэтому исключена тепловая остаточная деформация детали. (Результаты и обсуждение) Представили данные об эффективности восстановления «колотых» шатунов с применением электроискровой технологии как самостоятельного технологического процесса, так и при использовании различных комбинированных покрытий. (Выводы) Для улучшения физико-механических свойств покрытия при восстановлении «колотых» шатунов с износом более 100 микрон целесообразно восстанавливать их комбинированным способом, где первый слой – электроискровое покрытие, вторым слоем может быть газодинамика, металлополимеры или электрохимический способ нанесения покрытия.

Ключевые слова: «колотый» шатун, нижняя головка шатуна, восстановление, электроискровая обработка, номинальный размер, газодинамическая обработка, электрохимическая обработка.

Для цитирования: Лялякин В.П., Костюков А.Ю., Даниличев И.И. Восстановление нижней головки «колотых» шатунов // Технический сервис машин. 2021. Т. 59. N4(145). С. 111-118. DOI 10.22314/2618-8287-2021-59-4-111-118

RESTORATION OF THE LOWER HEAD OF "CHIPPED" CONNECTING RODS

¹*Valentin P. Lyalyakin, Dr.Sc.(Eng.), chief specialist, professor;*

¹*Alexander Yu. Kostyukov, Ph.D.(Eng.), leading researcher;*

²*Igor I. Danilichev, technical director*

¹*Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation*

²*Motortechonology, Moscow, Russian Federation*

Abstract. *Modern high-precision machines for machining basic engine parts allow for high-quality restoration of a wide range of various machine parts and mechanisms. The article considers the restoration of the connecting rod, one of the basic and most numerous parts of the connecting rod – piston group. (Research purpose) The research purpose is in analyzing the possibilities of various technologies for the restoration of "chipped" connecting rods and giving technological proposals for their restoration for the company "Motortechonology". (Materials and methods) The research object is the "chipped" connecting rod of the Cummins engine as one of the most massive engines used on KAMAZ vehicles. It was proposed to use electric spark processing technology to restore the lower head of the "chipped" connecting rod. It is possible to obtain a new layer with predictable characteristics depending on the parameters of the spark discharge, the composition of the electrode material, the material of the work piece and other factors. The resulting coating will have properties different from the base material, which can be controlled within a wide range and provide the required qualities, such as increased microhardness, wear resistance, heat resistance. The important advantage of the electric spark processing technology is the absence of a significant thermal effect on the part during processing, therefore, thermal residual deformation of the part is excluded. (Results and discussion) The article presents the data on the effectiveness of the restoration of "chipped" connecting rods with the use of electric spark technology as an independent technological process, and when using various combined coatings. (Conclusions) To improve the physical and mechanical properties of the coating when restoring "chipped" connecting rods with a wear of more than 100 micrometers, it is advisable to restore them in a combined way, where the first layer is an electric spark coating, the second layer can be gas dynamics, metal polymers or an electrochemical coating method.*

Keywords: *"chipped" connecting rod, lower connecting rod head, restoration, electric spark treatment, nominal size, gas dynamic treatment, electrochemical treatment.*

For citation: *Lyalyakin V.P., Kostyukov A. Yu., Danilichev I.I. Vosstanovleniye nizhney golovki «kolotykh» shatunov [Restoration of the lower head of "chipped" connecting rods]. Tekhnicheskiiy servis mashin. 2021. Vol. 59. N4(145). 111-118. (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2021-59-4-111-118*

Введение. Специалисты ООО «ТЦ ДВС» группы компаний «Мотортехнология» при ремонте двигателей нацелены на применение самых современ-

ных технологий с использованием высокоточного оборудования. На производственных участках компании внедрены такие технологии восстановления, как активированная дуговая металлизация (установка АДМ-10), газодинамическое напыление (установка Димет 405), электроискровая обработка (установка БИГ-5). Предприятие располагает парком современных высокоточных станков для механической обработки базовых деталей двигателя, таких как блок цилиндров, коленчатый вал, шатуны и т. д. Данное оборудование и передовые технологии позволяют проводить качественное восстановление широкой номенклатуры различных деталей машин и механизмов. Рассмотрим восстановление одной из базовых и наиболее многочисленных деталей шатунно-поршневой группы.

Шатун – деталь, соединяющая коленчатый вал с поршнем, основное назначение шатуна заключается в преобразовании поступательных движений поршня во вращательные движения коленчатого вала. При работе двигателя, шатун испытывает на себе переменные циклические нагрузки, которые достигают значительных величин, в связи с этим из-за напряженных условий работы эта деталь должна отличаться высокой надежностью, долговечностью и износостойкостью. Знакопеременные нагрузки на сжатие и растяжение приводят к износу и деформации отверстий верхней и нижней головки шатуна, а также к накоплению внутренних напряжений. Изнасы шатунов вызывают изменение размеров сопрягаемых деталей, проворачивание вкладышей, изменение степени сжатия, снижение эффективной мощности, увеличение расхода топлива и, как результат, ресурсный отказ двигателя. Стабильность размера нижней головки шатуна в процессе эксплуатации служит одним из условий надежности работы шатуна [1].

Для обеспечения надежной работы двигателя шатун должен обладать высокой прочностью, которая достигается изготовлением его из качественного материала, жесткой конструкцией, иметь минимальные зазоры. При его производстве необходимо соблюдать технологии изготовления, сборки и эксплуатации. Для изготовления шатунов применяют в основном стали марганцовистые, хромистые, хромоникелевые, хромомолибденовые с содержанием углерода 0,3-0,45%. Шатуны производятся двумя способами: штамповкой из высокопрочной стали или литьем из чугуна. В дизелях применяются шатуны, изготовленные из легированной стали методомковки или горячей штамповки. Для восприятия возникающих динамических нагрузок и более прочного сцепления в стыке нижней головки шатуна (НГШ) с крышкой делают косой стык по треугольным или прямоугольным шлицам [2].

Стандартным видом ремонта шатунов можно назвать ремонт отверстия нижней головки при небольшом отклонении его размера от исходного (номинального) значения. Суть этой операции сводится к тому, что диаметр отверстия восстанавливается до номинального размера, заданного заводом-изготовителем двигателя. Ремонтные (увеличенные по наружному радиусу) шатунные вкладыши для подавляющего большинства двигателей не предусмотрены и промышленно не выпускаются. Поэтому ремонт НГШ производится следующим образом: крышку шатуна занижают, обрабатывая плоскости разьема на плоскошлифовальном станке, затем шатун собирают, затянув крепежные гайки надлежащим моментом, и растачивают НГШ в установленный заводом размер, базируясь от верхней головки шатуна для обеспечения соосности (должна быть в пределах 0,02-0,03 мм на расстоянии 100 мм) при сохранении межосевого расстояния. Так делается в случае НГШ с плоским разъемом.

В случае с шатунами, имеющими шлицевой разъем НГШ, занижение про-

изводится методом сложной фрезеровки с сохранением конфигурации поверхности разъема. В последнее время на двигателях различных марок применяются разламываемые или колотые шатуны. Шатун отковывается вместе с крышкой единой деталью, проходит полную механическую обработку, далее охлаждается для повышения хрупкости, после чего крышку откалывают от шатуна по канавкам концентраторов напряжений. Таким образом, соприкасающиеся поверхности шатуна и крышки точно подходят друг к другу и соответственно шатуны и крышки в этом случае не взаимозаменяемы [3, 4].

Преимуществом такой конструкции шатунов служит высокая точность отверстия нижней головки, она составляет порядка 0,001-0,002 мм, что значительно превышает точность шатунов, изготовленных традиционными способами. Но при этом считается, что нижняя головка таких шатунов практически неремонтопригодна, так как описанный выше способ ремонта в данном случае не годится, поскольку занизить «колотую» крышку НГШ невозможно. Кроме того, технические требования на ремонт двигателя запрещают использовать для восстановления шатунов термические методы (нагрев шатуна приводит к его деформации). Другие методы восстановления пока не нашли применение при ремонте таких шатунов, и разработка метода восстановления «колотых» шатунов в номинальный размер представляет собой на сегодняшний день актуальную задачу. Помимо сложности их поставки в Россию еще и стоимость одного шатуна двигателя грузового автомобиля в настоящее время достигает 30-40 тыс. рублей.

Цель исследования – проанализировать возможности различных технологий для восстановления «колотых» шатунов и дать технологические предложения по их восстановлению для компании «Мотортехнология».

Для решения поставленной задачи восстановления «колотых» шатунов была предложена технология электроискровой обработки (ЭИО). Технология по восстановлению деталей электроискровой обработкой, разработанная ФНАЦ ВИМ, интересна тем, что позволяет восстанавливать все виды изношенных шатунов и не зависит от способа разделения нижней головки. Данная технология была апробирована ранее при ремонте шатунов двигателей *Raba-MAN* и *Caterpillar* во втором автобусном парке «Мосгортранс» и зарекомендовала себя с положительной стороны [5].

Рекламации по шатунам, восстановленным с применением технологии ЭИО, не поступали.

Материалы и методы. При ЭИО осуществляется воздействие на металлические поверхности в газовой среде короткими (до 1000 мкс) электрическими разрядами с энергией от сотых долей до десятка и более джоулей и частотой обычно до 1000 Гц. При периодическом с определенной частотой контакте электрода (анода) с обрабатываемым изделием (катодом) и его разрыве возникают электрические разряды, создаваемые генератором импульсов. В результате происходит следующее: идут процессы преимущественного разрушения материала электрода (анода) и образования вторичных структур в рабочей его части; осуществляется перенос продуктов эрозии электрода на деталь (катод); на поверхности обрабатываемого изделия протекают микрометаллургические процессы; элементы материала электрода диффундируют в поверхностный слой изделия; поверхность изделия приобретает новый специфичный рельеф (*рис. 1, а*); образуется на поверхности изделия измененный слой (*рис. 1, б*), включающий белый слой, диффузионную зону и зону термического влияния, при этом изменяются свойства поверхностного слоя; формируется поверхностный слой мелкодисперсного состава, вплоть до наноуровня (*рис. 1, в*); происходит изменение размера изделия.

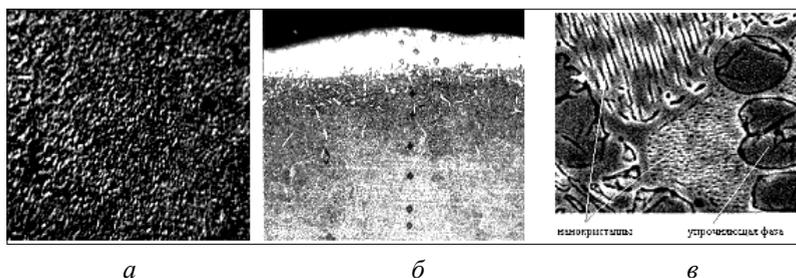


Рис. 1. Изменение рельефа поверхности (а) и структуры поверхностного слоя (б, в): а – вид поверхности, $\times 10$; б – структура поверхностного слоя, $\times 470$; в – структура белого слоя, $\times 50000$

Таким образом, на поверхности детали образуется новый слой, которому в зависимости от параметров искрового разряда, состава электродного материала, материала обрабатываемой детали и других факторов приданы отличные от исходного состояния свойства, управляемые в широких пределах и обеспечивающие требуемые качества: повышенные микротвердость, износостойкость, жаростойкость и другие – при управлении толщиной нанесенного слоя до 1 мм и более.

Важным достоинством ЭИО служит отсутствие значительного теплового влияния на деталь в процессе обработки, что свойственно сварочно-наплавочным способам, поэтому исключена тепловая остаточная деформация детали. Этот метод обладает высокой универсальностью и эффективностью при решении задач машиностроительного и ремонтного производства. Характерная особенность внедряемых технологий заключается в нанесении покрытий на изношенные поверхности под размер, с минимальным съемом нанесенного металла при последующей механической обработке или вообще без этой обработки [6].

Экспериментальные работы проводили на шатунах двигателя *Cummins 6ISBe*. Это один из наиболее массовых двигателей используемый для установки на автомобиль КАМАЗ.

Результаты и обсуждение. Процесс восстановления ЭИО рабочей поверхности НГШ приведен на рисунке 2. В качестве материала электродов при восстановлении НГШ успешно используются медь и сплавы на ее основе, в частности, бронза БрКМц3-1.

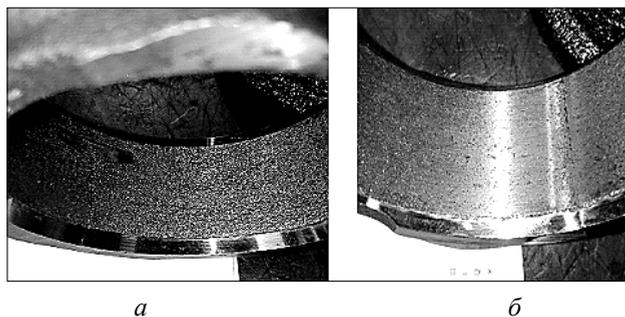


Рис. 2. Колотый шатун двигателя *Cummins*: а – после нанесения слоя бронзы БрКМц3-1; б – после расточки на фрезерном станке

При износе НГШ до 100 мкм при помощи электроискровой установки БИГ-5, используя последовательно электрод БрКМц3-1, $\Phi 3$ мм и электрод М1, $\Phi 5$ мм, на режиме 2 за 15-20 мин возможно нанести покрытие необхо-

димого качества. Полученный припуск 20-30 мкм вполне достаточен для финишной операции хонингования отверстия в номинальный режим. При износе более 100 мкм, покрытие возможно получить несколькими способами. Самый простой – это повторить цикл нанесения покрытия 2-3 раза, нарастив покрытие, достаточное для компенсации износа и припуска на механическую обработку. Но с увеличением толщины покрытия, как правило, снижается его «сплошность», что не всегда допустимо, так как в данном случае ухудшается теплоотвод соединения. Устранить этот недостаток возможно, применив следующий технологический прием. После проведения цикла обработки ЭИО производится напыление порошкового материала (с преобладанием меди) на газодинамической установке типа «ДИМЕТ-405» [7].

Первый электроискровый слой наносят нихромовым или бронзовым электродом сечением 12-20 мм² в ручном режиме с энергией импульса 4,3-10 Дж, длительностью импульса 1000-2000 мкс, амплитудным значением тока импульса 240-280 А и количеством рабочих импульсов в секунду 50-100. Второй слой образуют холодным газодинамическим напылением порошка С-01-11, состоящего преимущественно из меди, с последующей расточкой полученного покрытия до получения требуемых размеров. Это позволяет создать качественное покрытие с высокой прочностью сцепления с основой, т. е. с шатуном. Последующий слой газодинамического покрытия скрывает неровности электроискрового слоя, в данном случае слой ЭИО служит армирующим элементом для газодинамического покрытия, так как обладает значительно большим сопротивлением на сжатие и на срез, чем слой, полученный газодинамикой [8].

Такой же эффект можно получить, используя вместо газодинамика металлополимерные материалы (МПП). Учитывая характерные особенности ЭИО, можно нивелировать недостатки этого способа, компенсируя их применением МПП. Армирование металлом позволяет нанести как достаточно тонкие, так и толстые слои МПП для шатунов, работающих в тяжелых условиях и требующих более высоких механических характеристик. Восстановление НГШ должно осуществляться таким образом, чтобы после механической обработки поверхность детали состояла из отдельных металлических участков, полученных ЭИО, и участков МПП [9].

Варьируя режимы ЭИО можно регулировать соотношение объемов покрытия, полученных ЭИО и МПП. Для шатунов площадь покрытия, полученного ЭИО не должна быть менее 70%. Еще один способ улучшить качество покрытия после восстановления шатуна ЭИО, – положить финишный слой никеля электрохимическим способом. В этом случае возможно получить прочное, практически зеркальное покрытие (рис. 3).



Рис 3. Колотый шатун двигателя Cummins, восстановленный способом ЭИО с последующим (частичным) нанесением никеля электрохимическим способом

На фото изображен колотый шатун *Cummins*, восстановленный ЭИО, часть которого покрыта никелем для визуального сравнения с основой. Электрохимическое покрытие увеличивает площадь соприкосновения вкладыша с нижней головкой шатуна, улучшает теплообмен и придает «товарный вид» поверхности. Этот способ селективного электронатирания применяют для получения металлических покрытий на локальных участках при восстановлении изношенных деталей. Покрытие на детали (катод) получается путем электроосаждения металла с помощью электрода, смоченного электролитом (анод) [10].

Выводы. На примере «колотого» шатуна, который считается невосстанавливаемым, показаны возможности применения способа ЭИО как для самостоятельного решения проблемы восстановления, так и в комплексе с другими технологиями. Таким образом, для создания прочных покрытий толщиной более 100 мкм целесообразно использовать комбинированные методы нанесения покрытий, где первый электроискровый слой покрытия обеспечит хорошую адгезионную прочность и высокую несущую способность, а второй слой покрытия (одной из перечисленных технологий) создает необходимую толщину и плотность покрытия.

Низкая энергоемкость ЭИО, высокий коэффициент использования электрода, универсальность и экологичность метода служит базой для дальнейшего развития этого способа в ремонтном производстве, в том числе и для восстановления «колотых» шатунов.

Библиографический список

1. Задорожний Р.Н. *Совершенствование технологии восстановления шатунов с косым разъемом: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук 05.20.03. М. 2012. 18 с.*
2. Денисов А.С., Кулаков А.Т., Асоян А.Р., Юдин В.М. *Совершенствование технологии ремонта нижней головки шатуна двигателя // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008. N3. С. 12-15.*
3. Хрулев А.Э. *Шатун не терпит суеты // АБС-авто. 2000. N11. С. 25-29.*
4. Иванов В.И., Бурумкулов Ф.Х. *Электроискровое легирование // Ритм машиностроения. 2010. N2. С. 3-7.*
5. Иванов В.И., Костюков А.Ю., Денисов В.А. *Восстановление деталей импортных двигателей во втором автобусном парке Москвы // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. N5. С. 3-10.*
6. Бурумкулов Ф.Х., Величко С.А., Денисов В.А., Задорожний Р.Н. *Современные электроискровые технологии восстановления деталей // Достижение науки и техники в АПК. 2009. N10. С. 49-52.*
7. *Способ восстановления коренных опор блоков двигателей: пат. 2 552613 С1 / Сенин П.В., Раков Н.В., Величко С.А.; заявл. 25.03.2014; опубл. 20.06.2015.*
8. Бурумкулов Ф.Х., Денисов В.А., Костюков А.Ю. *Исследование прочности сцепления электроискровых и газодинамических покрытий // Электронная обработка материалов. 2011. Т. 47. N2. С. 120-125.*
9. Костюков А.Ю. *Применение металлополимерных композиций для ремонтного производства и восстановления деталей машин // Технический сервис машин. 2021. Т 59. N1(142). С. 154-161.*
10. Ившин Я.В., Кайдриков Р.А. *Особенности процесса нанесения покрытий методом селективного электронатирания // Вестник казанского технологического университета. 2013. Т. 16. N8. С. 258-261.*

References

1. Zadorozhniy R.N. *Sovershenstvovaniye tekhnologii vosstanovleniya shatunov s kosym raz'yemom: avtoref. na soisk. uchenoy step. kand. tekhn. nauk 05.20.03 [Improvement of the technology of restoring connecting rods with an oblique connector: abstract of the Ph.D. (Eng.) thesis, 05.20.03]. Moscow. 2012. 18 (In Russian).*
2. Denisov A.S., Kulakov A.T., Asoyan A.R., Yudin V.M. *Sovershenstvovaniye tekhnologii remonta nizhey golovki shatuna dvigatelya [Improvement of the repair technology of the lower connecting rod head of the engine]. Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. 2008. N3. 12-15 (In Russian).*
3. Khrulev A.E. *Shatun ne terpit suyety [The connecting rod does not tolerate fuss]. ABS-avto. 2000. N11. 25-29 (In Russian).*
4. Ivanov V.I., Burumkulov F.Kh. *Elektroiskrovoye legirovaniye [Electric spark alloying]. Ritm mashinostroyeniya. 2010. N2. 3-7 (In Russian).*
5. Ivanov V.I., Kostyukov A.Yu., Denisov V.A. *Vosstanovleniye detaley importnykh dvigateley vo vtorom avtobusnom parke Moskvyy [Restoration of imported engine parts in Moscow's second bus fleet]. Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya. 2013. N5. 3-10 (In Russian).*
6. Burumkulov F.Kh., Velichko S.A., Denisov V.A., Zadorozhniy R.N. *Sovremennyye elektroiskrovyye tekhnologii vosstanovleniya detaley [Modern electric spark technologies for the restoration of parts]. Dostizheniye nauki i tekhniki v APK. 2009. N10. 49-52 (In Russian).*
7. *Sposob vosstanovleniya korennykh opor blokov dvigateley: pat. 2 552613 C1 [Method of restoration of the main supports of engine blocks: patent 2 552613 C1] / Senin P.V., Rakov N.V., Velichko S.A.; appl. 25.03.2014; pub. 20.06.2015 (In Russian).*
8. Burumkulov F.Kh., Denisov V.A., Kostyukov A.Yu. *Issledovaniye prochnosti stsepleniya elektroiskrovyykh i gazodinamicheskikh pokrytiy [Investigation of the adhesion strength of electric spark and gas dynamic coatings]. Elektronnaya obrabotka materialov. 2011. Vol. 47. N2. 120-125 (In Russian).*
9. Kostyukov A.Yu. *Primeneniye metallopolimernykh kompozitsiy dlya remontnogo proizvodstva i vosstanovleniya detaley mashin [Application of metal polymer compositions for repair production and restoration of machine parts]. Tekhnicheskii servis mashin. 2021. Vol. 59. N1(142). 154-161 (In Russian).*
10. Ivshin Ya.V., Kaydrikov R.A. *Osobennosti protsessa naneseniya pokrytiy metodom selektivnogo elektroniraniya [Features of the coating process by selective electron rubbing]. Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. Vol. 16. N8. 258-261 (In Russian).*

Заявленный вклад соавтор

Лялякин В.П. – редактирование, доработка подготовленного варианта статьи;

Костюков А.Ю. – подготовка и написание статьи, выполнение экспериментальных исследований;

Даниличев И.И. – выполнение работ по восстановлению шатунов в условиях предприятия.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Lyalyakin V.P. – editing, revision of the prepared version of the article;

Kostyukov A. Yu. – preparation and writing of the article, execution of experimental studies;

Danilichev I.I. – performance of work on the restoration of connecting rods in the conditions of the enterprise.

All the authors have read and approved the final manuscript.