

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621
doi: 10.30987/2782-5957-2026-2-24-30

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ВИБРОУДАРНЫМ МЕТОДОМ

Эль Дакдуки Ахмад Мохамад

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
el_dakdoukia81@mail.ru

Аннотация

В статье для повышения качества и эксплуатационных свойств коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания предложен способ упрочнения поверхностным пластическим деформированием методом виброударной обработки (ВиУО) стальными шариками. Разработана технологическая схема реализации метода. Проведены экспериментальные исследования, показывающие эффективность его применения для повышения качества и усталостной прочности коленчатых валов. Снижение в местах галтелей шероховатости поверхности до $Ra=0,08$ мкм и полное исчезновение остаточных

рисок после шлифования и полирования валов как геометрических концентраторов напряжений и мест зарождения усталостных микротрещин, оказывают существенное влияние на повышение усталостной прочности коленчатых валов. Установлено, что стабилизирующий эффект, сопровождающий процесс упрочнения этим методом, является одним из основных факторов, обеспечивающих снижение коробления коленчатых валов и повышение их усталостной прочности.

Ключевые слова: коленчатый вал, коробление, обработка, упрочнение, прочность.

Ссылка для цитирования:

Эль Дакдуки Ахмад Мохамад. Повышение качества и эксплуатационных свойств коленчатых валов виброударным методом / Эль Дакдуки Ахмад Мохамад // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 2. – С. 24-30. doi: 10.30987/2782-5957-2026-2-24-30.

Original article
Open Access Article

IMPROVEMENT OF QUALITY AND OPERATIONAL PROPERTIES OF CRANKSHAFTS BY VIBRATION-IMPACT METHOD

El Dakduki Ahmad Mohamad

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
el_dakdoukia81@mail.ru

Abstract

In the paper, to improve the quality and operational properties of internal combustion engine crankshafts, a method of hardening by surface plastic deformation by means of shock-vibrating machining (ShBM) with steel balls is proposed. The manufacturing scheme to implement the method is developed. Experimental studies are conducted showing the effectiveness of its use to improve the quality and structural strength of crankshafts. The reduction of surface roughness to $Ra=0.08$ microns in fillets and the com-

plete disappearance of residual ridges after grinding and polishing shafts as geometric stress concentrators and places of fatigue microcracks have a significant effect on increasing the fatigue strength of crankshafts. It is found out that the stabilizing effect accompanying hardening by this method is one of the main factors ensuring a reduction in crankshaft distortion and an increase in their fatigue strength.

Keywords: crankshaft, distortion, machining, hardening, strength.

Reference for citing:

El Dakduki AhM. Improvement of quality and operational properties of crankshafts by vibration-impact method. Transport Engineering. 2026;2:24-30. doi: 10.30987/2782-5957-2026-2-24-30.

Введение

Повышение надёжности и долговечность изделий автомобильной и тракторной техники является одной из основных задач отечественного машиностроения. Особое место среди таких изделий занимают коленчатые валы (КВ) двигателей внутреннего сгорания, отличающиеся сложной конфигурацией и изменяющимися размерами поперечного сечения.

Применяемые на сегодняшний день для повышения качества и эксплуатационных свойств коленчатых валов методы поверхностного пластического деформирования, такие как обкатка и чеканка позволяют лишь частично решить эту задачу, связанную с повышением износостойкости и усталостной прочности галтелей коренных и шатунных шеек, являющихся наиболее нагруженными элементами в процессе эксплуатации вала [1–7]. Одна из основных проблем заключается в том, что обработка коленчатых валов этими методами приводит к их короблению и как следствие к увеличению биения коренных шеек и снижению прочности и надёжности работы валов. Анализ причин коробления валов после обработки этими методами обусловлен развитием в локальных зонах

контакта инструмента с деталью больших статических усилий, приводящих к упрочнению обрабатываемых поверхностей на значительную по величине глубину и к макродеформации вала в целом из-за формирования больших остаточных напряжений, для исправления которых применяют дополнительные операции правки.

Широкие и универсальные возможности вибрационной обработки деталей ВиУО из различных материалов и формы, как показано в работах [8–10], позволяет рассматривать его в качестве одного из эффективных путей решения вышеуказанной проблемы. Отличительной особенностью ВиУО является возможность проводить отделочную и упрочняющую объёмную обработку деталей в отожженном и закаленном состоянии, с применением рабочих сред в виде стальных металлических шариков из ШХ15 различного размера, применении простого по конструкции технологического оборудования.

Целью настоящей работы являлось экспериментальная проверка эффективности влияния ВиУО на повышение качества и эксплуатационных свойств коленчатых валов малой жесткости.

Технологическая система ВиУО коленчатых валов

Для реализации ВиУО коленчатых валов в НИИ «Вибротехнология» ДГТУ разработана технологическая виброустановка, кинематическая схема которой представлена на рис. 1.

Виброустановка состоит из станины 1 и виброплатформы с U-образной рабочей камерой 3, установленной на пружинах 2.

Рабочая камера выполнена с габаритными размерами соизмеримыми или превышающими габаритные размеры подвергаемого обработке коленчатого вала. Колебания рабочей камеры, с определённой величиной амплитуды и частоты, сообщаются ей через платформу от вибровозбудителя 9.

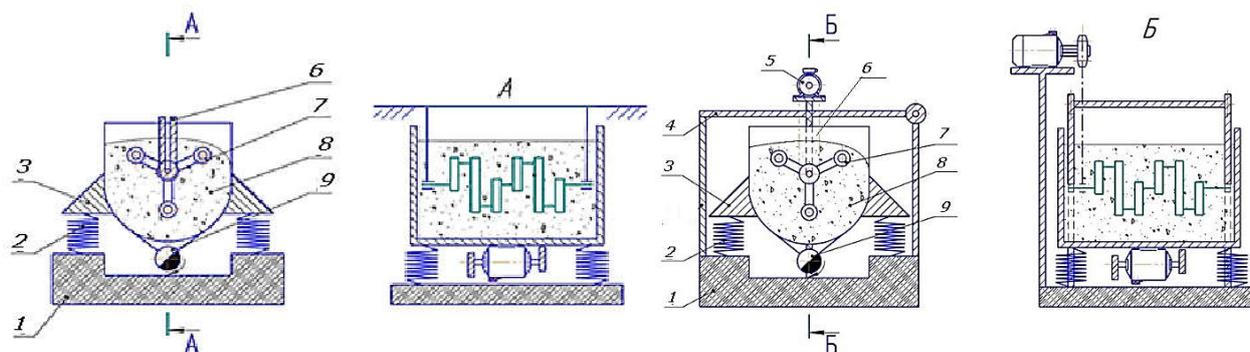


Рис. 1. Схемы виброударной обработки коленчатых валов
Fig. 1. Schemes of vibro-impact treatment of KV

Коленчатый вал 7 устанавливается в рабочую камеру на специальных ложементках 4 на уровне условной оси вращения массы рабочей среды 8, состоящей из металлических шариков. В процессе обработки коленчатый вал совершает вращательное движение под воздействием рабо-

чей среды осуществляет низко частотные колебания, передаваемые ей от стенок рабочей камеры 3. Для интенсификации обработки коленчатому валу могут дополнительно сообщаться вращательное движение от автономного привода 5.

Методика исследований

Основной задачей исследований являлось оценка влияния виброударного упрочнения на коробление и усталостную прочность коленчатых валов. Исследования выполнялись на натурных коленчатых валах, изготовленных из стали 45 с твердостью после отжига 180...228 НВ, имеющих шатунные шейки (ШШ) диаметром 38 мм закаленные ТВЧ на глубину 2...4 мм до 52...65 HRC, галтели радиусом 2...3,2 мм с параметром шероховатости $R_a = 1,6$ мкм. Упрочнение КВ проводилось на виброустановке с объемом рабочей камеры 50 дм³. Рабочая среда – смесь закаленных полированных шариков диаметром 3...6 мм из стали ШХ15 (60...62 HRC). Режимы обработки: амплитуда вибраций 3 мм; частота вибрации 25 Гц, время обработки 20 мин.

Контроль коробления выходных шеек валов до и после упрочнения проводился по схеме, приведенной на рис. 2, индикатором с точностью 1 мкм. Базирование валов осуществлялось по коренным шейкам вала.

Для исследования влияния процесса ВиУО на усталость КВ использовался стенд с симметричным циклом нагружения, обеспечивающий высокую стабильность амплитуды колебаний рычага и нагружения объекта испытаний за счет применения эксцентрикового привода. Перед испытанием на усталостную прочность проводился внешний осмотр зон галтелей и отверстий под смазку для выявления дефектов обусловленных предварительной термо-механической обработкой КВ, а также замерялись диаметры коренных и шатунных шеек, толщина щек, радиусы галтелей и твердость щек и шеек. За критерий выхода из строя КВ принимался момент выхода на поверхность макротрещины усталости ($l = 30$ мкм) в зоне галтели ШШ, после чего испытание прекращалось и фиксировался выход вала из строя. По этому критерию проводилась оценка усталостной долговечности КВ в зависимости от величины нагрузки.

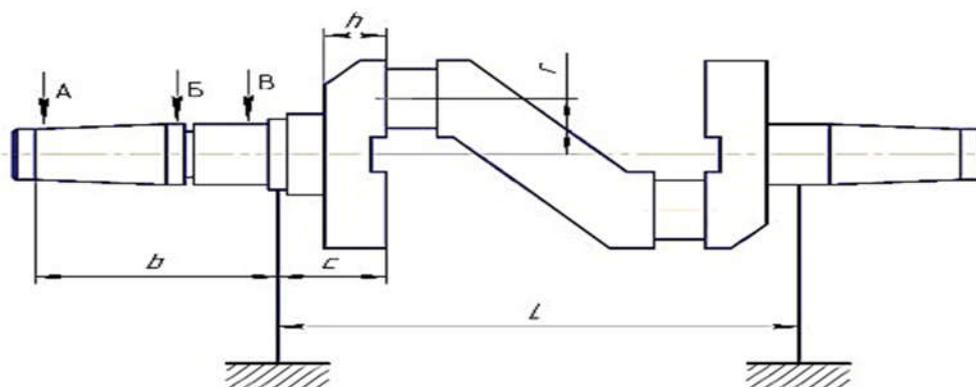


Рис. 2. Схема контроля коробления коленчатых валов
Fig. 2. Scheme control of warpage of the KV

Результаты исследований и их анализ

В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований макродеформации коленчатых валов после Ви-

УО, а на рисунке 3 в сравнении с применяемыми методами ППД.

Average actual values of crankshafts distortion

Состояние КВ	Величина коробления, мм в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
До упрочнения	0,03	0,02	0,01
После упрочнения ВиУО	0,02	0,01	0,005

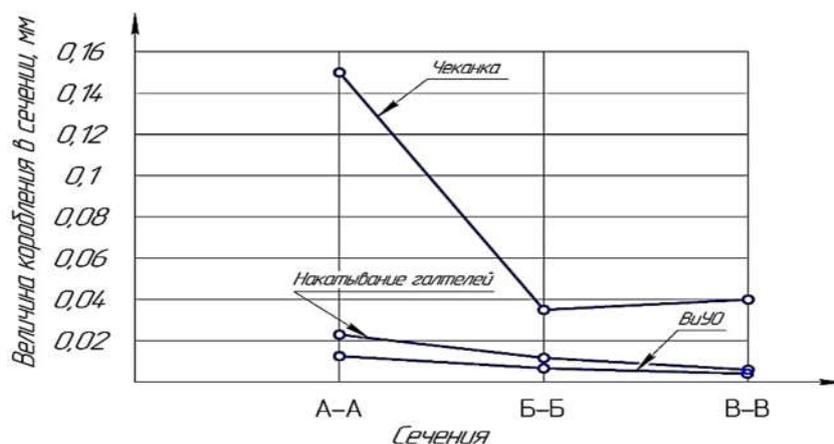


Рис. 3. Влияние различных методов упрочнения ППД на коробление коленчатых валов
 Fig. 3. The influence of various methods of strengthening the PPD on the warping of the KV

Экспериментальные исследования показали, что достигаемый в процессе ВиУО эффект снижения коробления является следствием равномерности упрочнения поверхностей коленчатого вала. При ВиУО происходит скругление острых кромок на всех элементах вала, исчезают риски после шлифования

Стендовые усталостные испытания были проведены на 4 валах согласно вышеизложенной методике. Серийные (исходные) КВ и валы, подвергнутые виброударному упрочнению, сравнивались по изгибающему моменту. Результаты испытаний приведены в табл. 2 и проиллюстрированы на рис. 4.

Установлено, что процесс виброупрочнения, позволяющий проводить обработку валов одновременно по всей поверхности, дает максимальное увеличение усталостной прочности до 17 %. При этом величина среднего изгибающего момента (разрушалось 6 шатунных шеек) равна $29 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а упрочненного вала в пределах $(33 \dots 34) \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Такой разброс значений получился вследствие отклонений составляющих исходной структуры металла, различного

напряженного состояния в элементах конструкции коленчатого вала, созданного в процессе механической обработки и правок, малым количеством валов, прошедших стендовые испытания.

Увеличение усталостной прочности КВ получено за счет наклепа поверхностного слоя галтелей, шеек, щек - снижения шероховатости, увеличения микротвердости металла, создания остаточных напряжений сжатия взамен растягивающих. При этом в местах перехода металла из закаленного состояния в сырое в районе галтелей после ВиО снижается градиент остаточных напряжений. Благоприятно изменяется напряженное состояние вала и во всем объеме за счет стабилизирующего эффекта при виброобработке.

Следует отметить, что снижение в местах галтелей шероховатости поверхности до $R_a = 0,08 \text{ мкм}$ и полное исчезновение остаточных рисков после шлифования и полирования валов как геометрических концентраторов напряжений и мест зарождения усталостных микротрещин, оказывают существенное влияние на повышение усталостной прочности коленчатых валов.

Results of fatigue tests of crankshafts

Состояние КВ	№ шатунной шейки	Изгибающий момент: Нм $\times 10^4$	Число циклов до разрушения	Результат испытания	Средний изгибающий момент Нм $\times 10^4$	Повышение усталостной прочности %
Не упрочнённый	4	32	2.343600	Разрушился	29	0
	3	28	10^7	прошел базу		
	1	30	1822080	разрушился		
	2	28	10^7	прошел базу		
Упрочнённый ВиУО	1	36	748200	Разрушился	34	17
	4	32	10^7	прошел базу		
	3	34	10^7	прошел базу		
	4	36	507000	Разрушился		
Упрочнённый ВиУО	4	32	2.337480	прошел базу	33	14
	3	34	10^7	прошел базу		
	1	32	1526760	прошел базу		
	2	34	8211840	Разрушился		
Упрочнённый ВиУО	1	30	10^7	прошел базу	34	17
	2	32	10^7	прошел базу		
	3	34	10^7	прошел базу		
	4	38	1403400	Разрушился		

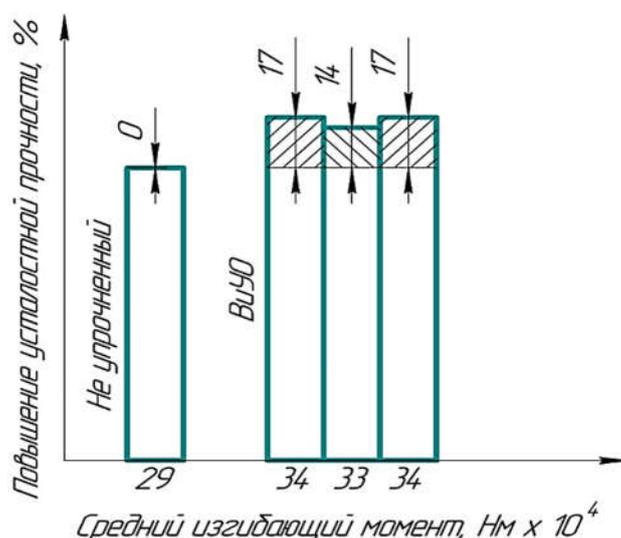


Рис.4. Усталостная прочность коленчатых валов после ВиУО

Fig. 4. Fatigue strength of the KV after VUIO

Заклучение

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– метод виброударного упрочнения и предложенная для его реализации технологическая система является эффективным

способом повышения качества и эксплуатационных свойств коленчатых валов, особенно валов малой жесткости;

– сопровождающий процесс упрочнения этим методом стабилизирующий эффект является одним из основных фак-

торов, обеспечивающих снижение коробления коленчатых валов и повышение их усталостной прочности

– рассеивание полученных данных изгибающего момента на КВ показывает,

что необходимо в дальнейшем обрабатывать режимы процесса с учетом возможных изменений физико-механических свойств металла различных партий валов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайдес, С. А. Влияние поверхностного пластического деформирования на качество валов / С. А. Зайдес, В. Н. Емельянов. Иркутск : Изд-во Иркутск. национ. иссл. техн. ун-та, 2017. 380 с.
2. Сидякин, Ю. И. Повышение циклической прочности галтелей ступенчатых валов обкаткой роликами или шариками / Ю. И. Сидякин, Д. А. Бочаров // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 5 № 8 (56). С. 37-40.
3. Лебедев, В. А. Технология динамических методов поверхностного пластического деформирования / В. А. Лебедев. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2006. 183 с.
4. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей / А. П. Бабичев, П. Д. Мотренко Л. К. Гиллеспи [и др.]. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2010. 289 с.
5. Копылов, Ю. Р. Виброударное упрочнение / Ю. Р. Копылов. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1999. 386 с.
6. Lebedev, V.A. Energy State of a Plastically Deformed Surface Layer / V.A. Lebedev, A.V. Ki-

- richек, V. D. Sokolov // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016 Procedia Engineering, 2016. Vol. 150. P. 775-781. – DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.106
7. Бабичев, А. П. Вибрационная обработка деталей / А. П. Бабичев. - М.: Машиностроение, 1974. - 136 с.
8. Лебедев В.А., Пастухов Ф.А., Чава М.М., Серга Г.В. Технологические особенности упрочнения коленчатого вала методом виброударной обработки. Перспективные инженерные исследования (Ростов-на-Дону). 2020;20(4):390-396. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-4-390-396>.
9. Лебедев В.А. Классификация и физико-технологические аспекты динамических методов поверхностно-пластической деформации. Вестник Донского государственного технического университета. 2011;11(6):884-891.
10. Бабичев А.П., Попов М.Е., Эль Дакдуки А., Пастухов П.А. Поиск новых технологических методов упрочняющей обработки коленчатых валов. Вестник Донского государственного технического университета. 2015;15(1):68-78.

REFERENCES

1. Zaides SA, Yemelyanov VN. Influence of surface plastic deformation on the quality of shafts. Irkutsk: Irkutsk Publishing House of the National Research Technical University; 2017.
2. Sidiyakin YuI, Bocharov DA. Increasing the cyclic strength of the shafts of stepped shafts by rolling or balling. Izvestia VSTU. 2009;5(8(56)):37-40.
3. Lebedev VA. Technology of dynamic methods of surface plastic deformation. Rostov-on-Don: Publishing Center of DSTU; 2006.
4. Babichev AP, Motrenko PD, Gillespie LK. The use of vibration technologies in the operations of finishing and stripping of parts. Rostov-on-Don: Publishing Center of DSTU; 2010.
5. Kopylov YuR. Vibroimpact hardening. Voronezh: Publishing House of Voronezh State University; 1999.
6. Lebedev VA, Kirichek AV, Sokolov VD. Energy state of a plastically deformed surface layer. Inter-

- national Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016 Procedia Engineering, 2016. p. 775-781. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.106
7. Babichev AP. Vibromechanical treatment. Moscow: Mashinostroenie; 1974.
8. Lebedev VA, Pastukhov FA, Chaava MM, Serga GV. Technological features of crankshaft hardening by vibration shock treatment. Advanced Engineering Research [Internet]. 2020;20(4):390-396. Available from: <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-4-390-396>.
9. Lebedev VA. Classification and physico-technological aspects of dynamic methods of surface plastic deformation. Vestnik of Don State Technical University. 2011;11(6):884-891.
10. Babichev AP, Popov ME, El Dakduki A, Pastukhov PA. Search for new technological methods of hardening treatment of crankshafts. Vestnik of Don State Technical University. 2015;15(1):68-78.

Информация об авторе:

Эль Дакдуки Ахмад Мохамад – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.

El Dakduki Ahmad Mohamad – Postgraduate student at the Department of Mechanical Engineering Technology of Don State Technical University.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 10.11.2025; одобрена после рецензирования 22.12.2025; принята к публикации 27.01.2026. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 10.11.2025; approved after review on 22.12.2025; accepted for publication on 27.01.2026. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.



***Продолжается подписка на научно-технический журнал
«Транспортное машиностроение» на 2026 год***

Подписку на журнал можно оформить в любом почтовом отделении или непосредственно в редакции журнала. Подписные индексы по интернет-каталогу «Пресса по подписке» – Э80859 – https://www.akc.ru/itm/vestnik-bry_anskogo-gosudarstvennogo-tehnic_heskogo-universiteta/ и Объединенному каталогу «Пресса России» – 80859.

Стоимость подписки на минимальный срок – от 4846 руб.

Информация об опубликованных статьях регулярно направляется в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) – <https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=79505>.

Сайт электронной редакции журнала: <https://bstu.editorum.ru/ru/nauka/journal/169/view>

E-mail: trans-eng@tu-bryansk.ru.

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (категория К2) по группам научных специальностей:

- 2.5. Машиностроение (2.5.2; 2.5.3; 2.5.5; 2.5.6; 2.5.8),
- 2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия (2.6.1; 2.6.17),
- 2.9. Транспортные системы (2.9.1; 2.9.3; 2.9.5).