

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

Т.В. Вигерина, ст. преподаватель (ПГУ)

Аннотация

В работе приведены исследования усталостной прочности и износостойкости шеек стальных и чугуновых коленчатых валов автомобильных двигателей, восстановленных наплавкой и напылением. По результатам исследований выбраны материалы и разработаны процессы для восстановления коленчатых валов. Предложенные технические решения прошли промышленную апробацию в условиях ремонтного завода.

In the article the researches of fatigue durability and wear resistance of spindles of steel and iron crankshafts of the automobile engines restored by overlaying welding and spraying are given. According to the results of the research the materials are chosen and processes are developed for restoration of the crankshafts. The offered technical decisions have passed industrial approbation in the conditions of a repair factory.

Введение

Основными требованиями, предъявляемыми к коленчатому валу современных двигателей, являются точность геометрических параметров рабочих поверхностей, а также высокие износостойкость и усталостная прочность.

При эксплуатации коленчатых валов сопротивление их усталости снижается на 25-30% [1, 2], неизбежно появляется износ коренных и шатунных шеек. Наиболее доступными и экономически обоснованными способами восстановления стальных коленчатых валов при износе и наличии продольных трещин длиной не более 10-12 мм и глубиной до 3 мм вне зоны галтелей и масляных каналов являются наплавка шеек легированными материалами и последующая механическая обработка, которые позволяют получать высокую износостойкость, но значительно снижают сопротивление усталости. Таким образом, получая требуемую износостойкость шеек при нанесении покрытий, необходимо сохранить усталостную прочность детали. Для восстановления коленчатых валов из высокопрочного чугуна целесообразно использовать напыление.

Цель работы – выбор материалов и разработка процессов восстановления чугуновых и стальных коленчатых валов с обеспечением их нормативной послеремонтной наработки.

Методики и оборудование

Образцы для исследования износостойкости покрытий получали следующим образом. Коренные шейки выбракованного стального коленчатого вала (материал – сталь 45) наплавляли в защитной среде [Ag + (20–30 % CO₂)], а на шейки утильного вала из высокопрочного чугуна ВЧ50 наносили покрытие плазменным на-

пылением. Затем на круглошлифовальном и полировальном станках шейки чугуновых валов обрабатывали до диаметра 70_{-0,019}, а шейки стальных валов – до диаметра 64_{-0,019}. Шероховатость поверхностей составляла Ra 0,32–0,63 мкм. В заключение из обработанных шеек вырезали на токарном станке образцы цилиндрической формы высотой 15 мм.

Интенсивность изнашивания определяли на машине трения СМЦ-2 по схеме «диск – колодка» путем измерения массовой интенсивности изнашивания по ГОСТ 17364. В качестве контртела использовали вкладыши коренных подшипников коленчатого вала, из которых вырезали фрагменты размерами 12×12 мм. Биметаллические вкладыши представляют собой стальную основу, плакированную алюминиевым сплавом АО20-1. В качестве смазки исследуемой пары трения использовали масло индустриальное И-20А (ГОСТ 8581-78). Масло вводили в зону трения без давления путем частичного погружения образцов в масляную ванну. С целью интенсификации изнашивания в масло добавляли абразивные частицы SiO₂ и Al₂O₃ размером менее 30 мкм (0,5 % по массе). Скорость скольжения составляла 2,68 м/с для стальных образцов и 2,93 м/с – для чугуновых. Давление на трущихся поверхностях было определено из условия прочности материала вкладыша и составляло 9 МПа.

Восстановление валов производится после исчерпания ими межремонтного ресурса. Микроструктура их материала отличается от микроструктуры материала новых валов наличием большего количества дефектов, которые могут служить источником зарождения усталостных трещин и снизить усталостную прочность детали. Поэтому образцы для усталостных испытаний, изготовленные из стали 45, перед наплавкой подвергались предварительному циклическому нагружению.

Число циклов нагружения $N = 1,8 \cdot 10^5$, амплитуда переменных нагружений $\sigma_a = 120$ МПа. Исследования проводились в области многоциклового усталости по методикам, предложенным в работе [3].

Усталостные испытания проводились на машине УКИ-10М, которая позволяла задавать образцу необходимые переменные напряжения с одновременной регистрацией числа циклов в любой момент испытаний. Разрушение образца приводило к остановке машины и счётчика, что позволяло определить число циклов, предшествующих излому.

Для построения кривой усталости проводились испытания на девяти образцах [4]. Первый образец испытывали при амплитуде напряжений $\sigma_a = (0,7-0,8) \cdot \sigma_b$ (σ_b – предел прочности материала) и на графике отмечалась точка, соответствующая напряжениям и числу циклов до разрушения образца. Остальные восемь образцов испытывали при меньшей амплитуде напряжений. Если образец достигал 10^7 циклов нагружения и не ломался, его испытания прекращались, а на графике ставилась точка со стрелкой, показывающей, что образец может работать и дальше. Последующие образцы испытывали в интервале напряжений $\sigma_{a1} + 50$ МПа, где σ_{a1} – амплитуда переменных напряжений образца, достигнувшего 10^7 циклов нагружения, и не сломавшегося.

Для образцов, наплавленных одним и тем же материалом на разных режимах, интервал испытаний определялся на основании сведений уже построенной кривой усталости, а количество испытаний уменьшалось до четырех. После построения кривых усталости и определения предела выносливости σ_{-1} , для подтверждения корректности испытаний проводился параллельный эксперимент при напряжениях, равных пределу выносливости. В качестве предела выносливости σ_{-1} при симметричном цикле нагружения принимали то наибольшее значение амплитуды переменных напряжений, при котором образцы не ломаются до базы испытания, равной 10^7 циклов [5].

Основная часть

Для восстановления стальных коленчатых валов была предложена наплавка проволокой Св-08Х13 в среде защитных газов с последующим поверхностным пластическим деформированием (ППД). Твердость покрытия, полученного наплавкой проволокой Св-08Х13, составляет HRC 20–22. Микроструктура покрытия представляет собой ферритно-мартенситную смесь с мелкодисперсными включениями карбидов хрома. Сплавы с подобной структурой при низком содержании углерода имеют способность к значительному увеличению твердости, прочности и износостойкости в результате наклепа материала (при его пластическом деформировании со зна-

чительной степенью деформации). Путем ППД материала этих покрытий их износостойкость повышается на 25–30 %. При этом в поверхностном слое покрытия образуется текстура с повышенной концентрацией дефектов кристаллической решетки, что повышает прочность материала.

После обкатывания покрытия роликом твердость покрытия увеличивается до HRC 35–38, которая ниже твердости поверхности стали 45 после закалки ТВЧ (HRC 48–55). Однако твердость материала, работающего в паре с антифрикционным покрытием из алюминиевого сплава, не должна превышать HRC 45 [6]. Наши исследования (рис. 1) подтверждают, что интенсивность изнашивания образцов, наплавленных проволокой Св-08Х13 с последующим ППД, меньше интенсивности

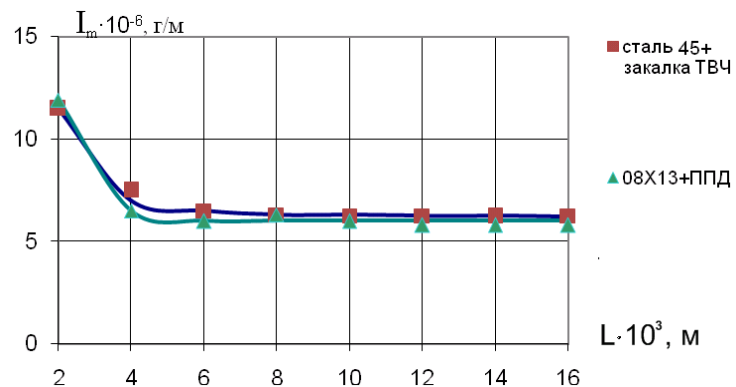


Рисунок 1. Зависимость интенсивности изнашивания образцов I_m , прошедших упрочняющую обработку, от пути трения L

изнашивания закаленных образцов из стали 45.

Структурное состояние износостойкого наплавленного материала в основном определяется его составом, однако влияние оказывает также и режим наплавки. Увеличение силы сварочного тока и уменьшение скорости подачи наплавочной проволоки приводят к увеличению длительности существования ванночки жидкого металла и уменьшению скорости охлаждения наплавленного металла, что увеличивает размеры кристаллизующихся фаз. Скорость охлаждения оказывает влияние на остаточные внутренние напряжения, возникающие в наплавленном покрытии, т. е. режимы наплавки должны быть регламентированы с целью предотвращения ухудшения свойств наплавленного металла.

В результате наклепа, под влиянием контактного давления преимущественная ориентация структурных составляющих в радиальном направлении изменяется на ориентацию вдоль обрабатываемой поверхности, что с увеличением плотности дислокаций с $0,566 \cdot 10^7$ до $0,712 \cdot 10^9$ см⁻² препятствуют росту усталостных трещин. Перемещающиеся дислокации задерживаются, если встречают на своем пути препятствия в виде других дислокаций, границ зерен или стенок кристаллов, что объясняет повышение усталостной

прочности после ППД и подтверждается экспериментальными данными, приведенными на рис. 2.

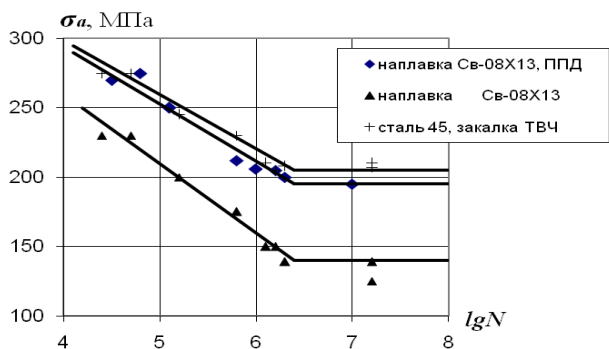


Рисунок 2. Кривые усталости образцов: упрочненных закалкой ТВЧ, наплавленных без упрочнения, наплавленных с упрочнением ППД:

σ_a – амплитуда переменных напряжений; N – число циклов нагружения до разрушения образца

Способность материала к деформационному упрочнению зависит в большой степени от его структуры. Влияние содержания углерода в стали на твердость ее поверхностного слоя после ППД роликами в

условиях, обеспечивающих максимальный прирост твердости, изучено в работе [7]. С увеличением содержания углерода в сталях пропорционально снижается и прирост твердости, несмотря на повышение усилия прижатия инструмента к заготовке. Использование для наплавки в среде защитных газов проволоки Св-08Х13 обеспечивает предел выносливости при консольном нагружении образцов 205 МПа и интенсивность изнашивания упрочненных поверхностей $5,5 \cdot 10^{-6}$ г/м (с коэффициентом корреляции интенсивности изнашивания и усталостной прочности $-0,798$).

Были разработаны процессы восстановления коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна и стали (табл. 1).

Для оценки качества восстановления по разработанным технологиям был восстановлен стальной коленчатый вал с использованием дуговой наплавки в среде защитного газа [Ar + (20–30 % CO₂)] проволокой 1,6Св-08Х13. Режим нанесения покрытия: сила тока 205 А, напряжение 30 В; расход смеси защитных газов 30 л/мин; вылет электродной проволоки 13–17 мм; скорость ее подачи 194 м/ч; полярность тока – обратная. В качестве источника питания использовали выпрямитель ВС-300 с жесткой вольт-амперной характери-

Таблица 1. Технологические процессы восстановления коленчатых валов

Наименование операций (оборудование)	Содержание операций при восстановлении коленчатых валов	
	ЗМЗ-53-11	ГАЗ-52-04
Очистная (погружная машина)	Очистка восстанавливаемых деталей от эксплуатационных асфальтосмолистых загрязнений	
Дефектационная (магнитный дефектоскоп МЭД-2)	Осмотр, определение места расположения и размеров трещин и принятие решения о целесообразности восстановления детали	
Слесарная (верстак)	Нанесение меток на щеках против отверстий масляных каналов и установка заглушек из асбеста	
Наплавочная (выпрямитель ВС-300, вращатель)	–	Наплавка шеек в среде защитных газов
Дробеструйная (дробеструйная камера заводская)	Подготовка поверхностей под напыление зернами электрокорунда белого размером 0,3–0,8 мм	–
Напыление	Нанесение покрытий на шейки	–
Токарно-винторезная (станок мод. 1А625)	–	Черновая обработка шеек
Правильная (пресс гидравлический мод. ПА-413)	–	Правка восстанавливаемых валов
Токарно-винторезная (станок мод. 1А625)	–	Чистовая обработка шеек
Шлифовальная (круглошлифовальный станок мод. ЗВ423)	Шлифование коренных и шатунных шеек	
Токарно-винторезная (станок мод. 1К620)	–	Обкатывание роликами шеек и галтелей
Полировальная (станок мод. СШ-4285)	Полирование коренных и шатунных шеек	
Очистная (струйная машина)	Очистка восстановленных деталей от технологических загрязнений	
Контрольная (верстак)	Измерение диаметров шеек, отклонения от соосности коренных шеек, радиуса и угловое расположение кривошипов, длин шеек и их расположение по длине вала, биение торцовых поверхностей, биение хвостовика относительно оси вращения вала	

стикой. Частота вращения вала при наплавке составляла 1,5-2,0 мин⁻¹. Толщина наплавленного покрытия составляла 2,0-2,2 мм.

ППД галтелей шатунных и коренных шеек коленчатого вала выполняли с помощью специального приспособления, установленного в резцедержателе токарного станка 16К20. Коленчатый вал при обкатывании шатунных шеек устанавливали в центросместителях передней и задней бабок, а при обработке коренных шеек – в центрах. Силу прижатия ролика определяли с помощью индикатора часового типа ИЧ-10, используя тарировочный график.

ППД цилиндрической части наплавленных и обработанных шеек коленчатого вала осуществляли с помощью приспособления, приведенного на рис. 3.



Рисунок 3. Приспособление для обкатывания цилиндрической части шеек коленчатого вала

Для создания расчетного контактного давления на всей поверхности шейки небольшой силой на поверхности ролика выполнены четыре деформирующих гребня, радиус рабочей поверхности которых составляет 0,7 мм. При обработке ролику придадут движение подачи вдоль оси заготовки.

Был восстановлен также коленчатый вал, изготовленный из высокопрочного чугуна ВЧ50. Восстановительное покрытие наносили плазменным напылением смеси порошков: самофлюсующегося ПГ-10Н-01, железного ПЖ-5М, медного ПМС-1 и никель-алюминиевого ПТ-НА-01. Режим напыления: сила тока – 325 А, расход плазмообразующего газа (аргона) – 25 л/мин, расстояние от сопла до напыляемой по-

верхности – 150 мм, гранулометрический состав порошка – 100-160 мкм, диаметр сопла плазменной горелки – 5,5 мм. Использование приведенного состава порошков и режима напыления обеспечило интенсивность изнашивания материала покрытия 4,1·10⁻⁶ г/м.

Для оценки технических решений, используемых в процессе восстановления валов, были проведены испытания двигателей с восстановленными деталями, одной из которых являлся коленчатый вал, восстановленный по одной из технологий, приведенных выше.

Двигатели ЗМЗ-53-11 и ГАЗ-52-04 обкатывали и испытывали на обкаточно-тормозном стенде КИ-5543 с целью определения стабильности качества ремонта согласно РК РБ 00918241.003-94 и РК РБ 00918241.017-98, соответственно. Стенд оборудован устройствами для измерения расхода топлива с погрешностью ± 1,0 %. Температура воды на выходе из двигателя поддерживалась в пределах 75-90°С. Температура картерного масла не превышала 100°С. Испытания проводили на бензине Н-80 ГОСТ 31077-2002 и масле М-8А, М-8В или М-10В ГОСТ 10541-78, залитом в картер двигателя.

Затем на этом же обкаточно-тормозном стенде были проведены испытания двигателей длительностью 60 ч. Качество восстановления коленчатых валов оценивали интенсивностью изнашивания шеек и отсутствием усталостных изменений. Для увеличения интенсивности изнашивания в масло двигателя добавляли мелкодисперсный абразив (менее 50 мкм) Al₂O₃, SiO₂ содержанием 0,5 % по массе. Во время испытаний двигателей их останавливали, разбирали, осматривали коленчатые валы на предмет наличия дефектов, измеряли износ шеек, затем двигатели собирали и продолжали испытания. Число циклов нагружения на обкаточном стенде во время испытаний составляло 7,7·10⁶ циклов, что сопоставимо с базовым числом циклов нагружения на кривой усталости, равном 10⁷. Отсутствие трещин на восстановленных шейках вала после полного цикла испытаний позволяет судить об удовлетворительном восстановлении коленчатого вала.

Для сравнения интенсивности изнашивания шеек, восстановленных с нанесением покрытий и шеек без покрытий, применялись валы, у которых покрытия были нанесены на две коренные и две шатунные шейки, ближайшие к хвостовику. Остальные шейки были без покрытий. Замеры значений линейного износа проводились на шейках с покрытием и без него три раза (табл. 2).

Результаты измерений линейного износа шеек чу-

Таблица 2. Линейный износ шеек (мм на диаметр) коленчатых валов в процессе испытаний

№ замера	Чугунный вал двигателя ЗМЗ-53				Стальной вал двигателя ГАЗ-52			
	шатунные шейки		коренные шейки		шатунные шейки		коренные шейки	
	с покрытием	без покрытия	с покрытием	без покрытия	с покрытием	без покрытия	с покрытием	без покрытия
1	0,020	0,021	0,025	0,025	0,022	0,024	0,021	0,022
2	0,029	0,031	0,032	0,034	0,030	0,035	0,028	0,029
3	0,037	0,037	0,029	0,031	0,035	0,041	0,036	0,039

гунного коленчатого вала показывают, что интенсивность изнашивания шеек, восстановленных нанесением покрытия, не более интенсивности изнашивания шеек без покрытия. При восстановлении шеек стального коленчатого вала их износостойкость превышала на 10-15% износостойкость шеек без покрытия.

Заключение

Для восстановления стальных коленчатых валов с целью обеспечения износостойкости на уровне износостойкости новых валов рекомендуется наплавка проволокой Св-08Х13 в среде защитных газов с последующим упрочнением шеек ППД. Это обеспечивает предел выносливости при консольном нагружении образцов 205 МПа и интенсивность изнашивания упрочненных поверхностей $5,5 \cdot 10^{-6}$ г/м (с коэффициентом корреляции интенсивности изнашивания и усталостной прочности 0,798). Для восстановления чугунных коленчатых валов рекомендован следующий состав порошков: самофлюсующего ПГ-10Н-01, железного ПЖ-5М, медного ПМС-1 и никель-алюминиевого ПТ-НА-01 (10 %), который обеспечивает интенсивность изнашивания покрытия $4,1 \cdot 10^{-6}$ г/м.

ЛИТЕРАТУРА

1. О механизме усталостного разрушения материалов с покрытием / В.Э. Завистовский [и др.] // Физико-химические и механические процессы в компо-

зиционных материалах и конструкциях. – М.: ВИМИ, 1996. – С. 211–213.

2. Сидоров, А.И. Восстановление коленчатых валов тракторных двигателей плазменной наплавкой / А.И. Сидоров, К.А. Ильясов // Сварочное производство. – 1983. – № 4. – С. 38–40.

3. Когаев, В.П. Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособ. для машиностр. спец. вузов / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высш. школа, 1991. – 319 с.

4. Школьник, Л.М. Методика усталостных испытаний: справоч. / Л.М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 304 с.

5. Орлов, П.И. Основы конструирования: справ-метод. пособ. в 2-х кн. / П.И. Орлов; под ред. П.Н. Учаева. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1988, кн. 2 – 445 с.

6. Кравчук, В.С. Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочненных деталей машин и элементов конструкций / В.С. Кравчук, Абу Айаш Юсеф, А.В. Кравчук. – Одесса: Астропринт, 2000. – 160 с.

7. Пшибыльский, В.В. Технология поверхностной пластической обработки / В.В. Пшибыльский. – М.: Металлургия, 1991. – 479 с.

Ботводробитель

Предназначен для предуборочного удаления ботвы картофеля, ее измельчения и разбрасывания по полю.



Основные технические данные

Габаритные размеры	мм	1740x1100x1050
Ширина захвата	м	1,4
Масса	кг	228
Рабочая скорость	км/ч	6-10
Частота вращения рабочего органа	мин ⁻¹	2200

Данная конструкция позволяет повысить полноту уборки картофельной ботвы обеспечением копирования поверхности картофельной грядки.

Изношенные или разрушенные режущие элементы могут быть быстро изготовлены и заменены даже в полевых условиях

По сравнению с аналогами материалоемкость процесса снижается в среднем на 22-27%, энергоемкость – на 13,3%