



РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УСТРАНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ ШИРОКОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКЕ

С. Ю. КРИВЧИКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработаны способы борьбы с деформацией коленчатых валов двигателей легковых автомобилей, вызванной широкослойной наплавкой при их восстановлении. Установлено, что эффективными способами устранения деформации являются предварительный подогрев наплавляемых шеек и (или) приложение осевой растягивающей нагрузки к коленчатому валу в процессе наплавки.

Ключевые слова: дуговая широкослойная наплавка, коленчатые валы, деформация, меры устранения

Для восстановления изношенных коленчатых валов двигателей легковых автомобилей широко применяют различные способы дуговой наплавки. Как показывает практика, наиболее прогрессивным из них является широкослойная наплавка самозащитной порошковой проволокой [1], которая отличается высокой производительностью, стабильностью качества получаемых результатов и обеспечивает рабочий ресурс восстановленного коленчатого вала на уровне нового. Вместе с тем при широкослойной наплавке рабочих поверхностей (коренных и шатунных шеек) происходит их существенный разогрев [2], что вызывает появление деформаций — изменение первоначальной длины коленчатого вала. Согласно конструкторской документации большинство типов коленчатых валов характеризуется базовой длиной l_0 , которая может изменяться лишь в узких пределах ($\pm 0,3$ мм). Поэтому если в результате наплавки значение линейной деформации Δl выходит за рамки указанных допусков, это приводит к появлению повышенного осевого люфта и создает проблемы при установке восстановленного коленчатого вала в двигатель.

Данная работа посвящена разработке способов устранения линейной деформации (укорочения) коленчатых валов при широкослойной наплавке. В качестве объекта исследований выбран пятипорный коленчатый вал, который представляет собой кривошип, состоящий из пяти коренных и четырех шатунных шеек. Такая конструкция коленчатого вала широко применяется во многих двигателях современных легковых автомобилей отечественного и зарубежного производства и отличается лишь геометрией и химическим составом основного металла (среднеуглеродистая легированная сталь или высокопрочный перлитный чугун). Для определения укорочения отдельных конструктивных элементов коленчатого вала (ко-

ренных и шатунных шеек) изготовлены соответствующие цилиндрические образцы-имитаторы. Погрешность измерения всех линейных размеров составляла $\pm 0,05$ мм.

На рис. 1 показано влияние режима широкослойной наплавки на суммарную длину коренной Δl_k и шатунной $\Delta l_{ш}$ групп шеек, а также общую длину коленчатого вала $\Sigma \Delta l$ ($\Sigma \Delta l = \Delta l_k + \Delta l_{ш}$) после наплавки и остывания коленчатого вала до комнатной температуры. Как видно из рисунка, с увеличением тока наплавки I_n разность длин до и после наплавки Δl всех конструктивных элементов и коленчатого вала в целом возрастает и при максимальной производительности процесса наплавки существенно превышает допустимые пределы, установленные для базовой длины l_0 . Кроме того, укорочение коренных шеек Δl_k после наплавки несущественно зависит от I_n . В то же время при одинаковых токах наплавки $\Delta l_{ш}$ значительно больше Δl_k и пропорционально увеличивается с повышением I_n . При этом вклад $\Delta l_{ш}$ в $\Sigma \Delta l$ составляет 73...80 %. Разное влияние I_n на Δl_k и $\Delta l_{ш}$ связано с тем, что шатунные шейки в отличие от коренных изготавливаются пустотелыми, благодаря чему температура их разогрева в процессе

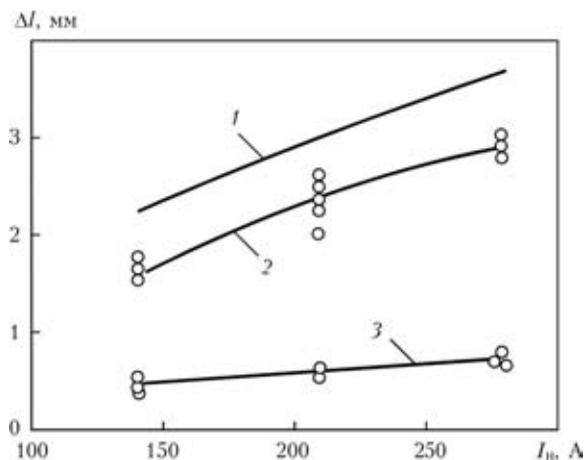


Рис. 1. Влияние тока широкослойной наплавки на изменение длины коленчатого вала и его конструктивных элементов: 1 — $\Sigma \Delta l$; 2 — $\Delta l_{ш}$; 3 — Δl_k



наплавки значительно выше. В результате в кристаллизующейся сварочной ванне и основном металле шатунной шейки создаются благоприятные условия для более полного протекания усадочных процессов.

Применение ремонтных колец. Одним из наиболее простых и доступных способов устранения укорочения коленчатых валов, вызванного наплавкой, является предварительная (перед наплавкой) установка ремонтных колец (рис. 2). При этом толщина каждого кольца должна быть на 0,5...1,0 мм больше $\Sigma\Delta l$, определяемой из рис. 1. Окончательно базовая длина коленчатого вала регулируется путем механической обработки после наплавки. Основным недостатком данного способа является то, что компенсация суммарного укорочения коленчатого вала осуществляется за счет только первой коренной шейки. Таким образом, имеет место осевое смещение отверстий масляных каналов всех групп шеек относительно фиксированного подвода смазки в масляной системе двигателя. В зависимости от величины $\Sigma\Delta l$ это может привести к частичному или полному перекрытию сечения отверстия масляного канала и нарушению подачи смазки к трущимся поверхностям. Как показывает практика, данный способ может быть успешно использован при широкослойной наплавке коленчатых валов относительно небольших размеров (например, коленчатых валов двигателей автомобилей семейства ВАЗ, «Таврия» и т. п.), у которых $\Sigma\Delta l$, как правило, не превышает 1,5 мм.

Применение предварительного подогрева. Одной из отличительных особенностей широкослойной наплавки является то, что относительно узкая жидкая сварочная ванна формируется на всей длине наплавляемой шейки практически одновременно с началом процесса наплавки. В дальнейшем движение фронта сварочной ванны и ее кристаллизация определяются скоростью наплавки (скоростью вращения наплавляемой шейки). В результате после завершения наплавки вся поверхность шейки оказывается покрытой слоем наплавленного металла, ширина которого равна длине шейки. В соответствии с общей теорией деформирования удлинение Δl_t образца при нагреве определяется зависимостью: $\Delta l_t = k l_n \alpha_{cp} \Delta T$ (k — коэффициент пропорциональности; l_n — начальная длина образца; α_{cp} — среднее значение коэффициента линейного расширения металла образца в рассматриваемом температурном интервале; ΔT — разность между температурой нагрева и первоначальной температурой образца), согласно которой если шейку коленчатого вала длиной l_n предварительно (перед наплавкой) нагреть до определенной заданной температуры $T_{под}$, то широкослойная наплавка будет уже проводиться на

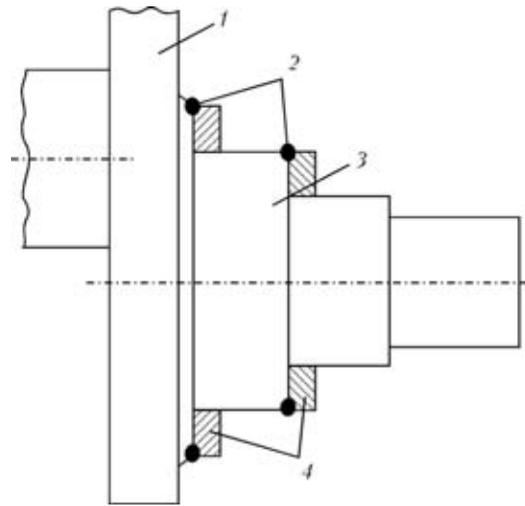


Рис. 2. Схема установки ремонтных колец на первой коренной шейке для устранения укорочения наплавленного коленчатого вала: 1 — шейка; 2 — прихватки; 3 — первая коренная шейка; 4 — ремонтные кольца

шейку длиной $l_n + \Delta l_p$, где Δl_t — приращение длины шейки, вызванное нагревом. При этом в силу особенностей широкослойной наплавки длина сварочной ванны также увеличится на Δl_t . В результате можно предположить, что при правильно выбранной $T_{под}$ величина Δl_t компенсирует укорочение шейки $\Delta l_{ш}$, так как более широкий закристаллизовавшийся слой наплавленного металла препятствует более полному протеканию усадочных процессов в основном металле при остывании шейки.

Для изучения влияния $T_{под}$ на линейные размеры коренных и шатунных шеек проведена широкослойная наплавка образцов-имитаторов соответствующих шеек на оптимальном режиме ($I_n = 250$ А) при различных температурах предварительного подогрева. Полученные результаты (среднее значение по двум-трем образцам) представлены в таблице. Из приведенных данных видно, что с увеличением $T_{под}$ остаточная линейная деформация как шатунной, так и коренной шейки монотонно уменьшается, а при $T_{под} \approx 300$ °С становится примерно равной нулю. Более высокие температуры предварительного подогрева приведут к тому, что базовая длина наплавленного коленчатого вала будет больше исходной (до наплавки).

Влияние температуры предварительного подогрева на изменение размеров коренных и шатунных шеек

Параметр	$T_{под}$, °С					
	20	100	200	300	400	500
$\Delta l_{ш}$	-2,88	-2,42	-1,92	-0,54	0,25	1,04
Δl_k	-0,68	-0,44	-0,35	0,42	0,76	0,82

Примечание. Отрицательные значения — укорочение, положительные — удлинение первоначальных размеров шеек.



Следует отметить, что несмотря на то, что введение в технологический процесс наплавки дополнительной операции предварительного подогрева делает его более энерго- и трудоемким, для некоторых типоразмеров коленчатых валов она является полезной, а для чугунных коленчатых валов — обязательной мерой, снижающей опасность образования трещин в наплавленном и основном металлах. Вместе с тем необходимо учитывать, что применение предварительного подогрева увеличивает опасность стекания жидкой сварочной ванны с цилиндрической поверхности в процессе широкослойной наплавки. Поэтому использование данного способа устранения деформаций возможно лишь в тех случаях, когда диаметр шеек коленчатого вала превышает 50 мм.

Применение растягивающих усилий в процессе наплавки. Известно, что среднеуглеродистые стали при нормальной температуре отличаются достаточно высокой деформационной способностью ($\delta > 10\%$). Если материалом коленчатого вала является перлитный высокопрочный чугун (например, ВЧ 50-2), то при нормальной температуре он является малопластичным ($\delta \approx 2\%$). Однако с повышением температуры его относительное удлинение может достигать 12%, а пределы прочности и текучести снижаться на порядок. В условиях сварочного процесса деформация нагретых образцов из высокопрочного чугуна происходит при относительно небольших (6...7 МПа) растягивающих нагрузках [3]. Благодаря термическому циклу широкослойной наплавки основной металл шеек коленчатого вала в зависимости от их размеров, режима наплавки и места расположения источника нагрева может разогреваться до температур 800...1150 °С.

Исходя из этого, выполнены исследования влияния осевых растягивающих нагрузок (усилий) на длину коленчатого вала в условиях реального термомодеформационного цикла широкослойной наплавки. Исследования проводили с помощью спе-

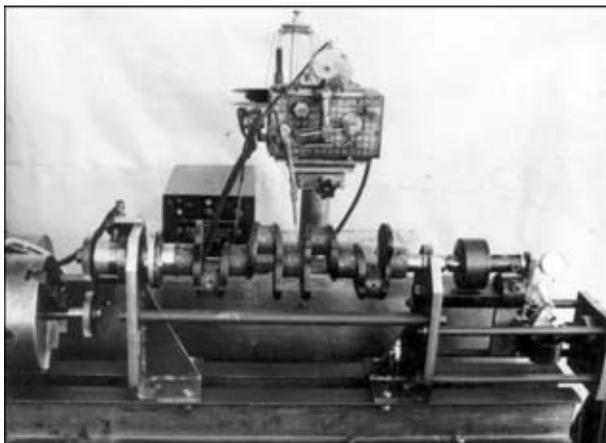


Рис. 3. Внешний вид устройства для приложения и регулирования осевого растягивающего усилия к коленчатому валу в процессе наплавки

циально изготовленного устройства (рис. 3), позволяющего осуществлять широкослойную наплавку коленчатого вала с одновременным приложением к нему растягивающей нагрузки. Устройство состоит из металлического корпуса с закрепленными на нем зажимными механизмами (левым и правым), обеспечивающими фиксацию коленчатого вала в требуемом положении, а также его вращение и возможность осевого удлинения под действием растягивающей нагрузки. Последняя прикладывается к коленчатому валу с помощью винтового домкрата через измерительный упругий элемент — динамометр сжатия ДОСМ 3-3 и систему рычагов. Корпус устройства закрепляется на станине универсального наплавочного станка УД-209. Вращение коленчатого вала с регулируемой скоростью осуществляется от шпинделя станка УД-209 через шестеренчатую передачу. Устройство позволяет регулировать растягивающее усилие в пределах 0...30 кН.

Широкослойную наплавку шеек проводили на оптимальном режиме ($I_n = 220...250$ А) для рассматриваемого типа коленчатого вала. На рис. 4 представлены динамические кривые изменения длины коленчатого вала в процессе наплавки коренных шеек ($\Delta l - \tau_{цн}$) и в процессе его охлаждения ($\Delta l - \tau_{охл}$) под действием постоянного растягивающего усилия $P = 30$ кН. Время цикла наплавки коренной шейки $\tau_{цн}$ включает время, затраченное на наплавку шейки (300 с), и время на настройку наплавочного станка для наплавки последующей шейки.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что в процессе наплавки шеек длина коленчатого вала возрастает в результате как термического удлинения, так и пластической деформации, вызванной действием растягивающей нагрузки. Затем по мере охлаждения длина вала уменьшается

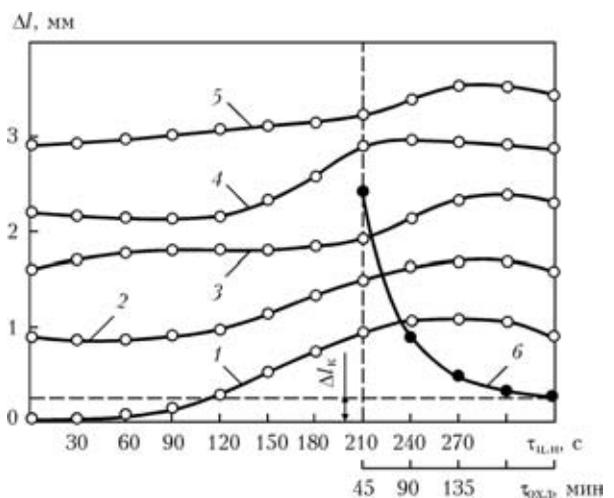


Рис. 4. Динамические кривые изменения длины коленчатого вала в процессе широкослойной наплавки коренных шеек (1-5) и в процессе его охлаждения (6) под воздействием осевой растягивающей нагрузки

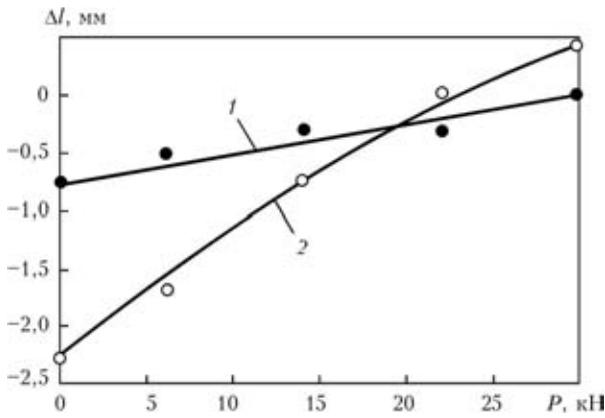


Рис. 5. Влияние осевого растягивающей нагрузки на изменение длины коренных Δl_k (1) и шатунных $\Delta l_{ш}$ (2) шеек коленчатого вала при широкослойной наплавке

вследствие протекания усадочного процесса в основном и наплавленном металлах. При комнатной температуре Δl достигает постоянного значения, равного Δl_k , характеризующего фактическое удлинение ($\Delta l_k > 0$) коленчатого вала, произошедшее под действием осевой растягивающей нагрузки.

На рис. 5 видно, что Δl в зависимости от осевого усилия изменяется как по знаку, так и по

значению. Причем укорочение коленчатого вала в результате наплавки шатунных $\Delta l_{ш}$ и коренных Δl_k шеек различно и зависит от растягивающей нагрузки. Очевидно, что дополнительное применение предварительного подогрева шеек позволит уменьшить оптимальное значение растягивающей нагрузки.

Следует отметить, что последний способ борьбы с остаточными деформациями можно считать универсальным, так как он применим к любому типу коленчатого вала независимо от его геометрических размеров, формы и химического состава основного металла.

1. Жудра А. П., Кривчиков С. Ю., Петров В. В. Технология широкослойной наплавки крупногабаритных коленчатых валов // Автомат. сварка. — 2010. — № 2. — С. 41–45.
2. Термический цикл широкослойной наплавки цилиндрических чугуновых деталей самозащитной порошковой проволокой / С. Ю. Кривчиков, А. П. Жудра, В. В. Петров, Е. М. Митюхляева // Там же. — 1998. — № 4. — С. 49–50.
3. Грецкий Ю. Я., Новикова Д. П., Крошина Г. М. Влияние термического цикла на стойкость чугунов против образования трещин при сварке без подогрева // Там же. — 1986. — № 4. — С. 1–4, 13.

Methods were developed for elimination of deformation of crankshafts of car engines caused by multilayer hardfacing at their reconditioning. It is established that an effective method to eliminate deformations is preheating of hardfaced necks and (or) application of axial tensile load to the crankshaft during hardfacing.

Поступила в редакцию 26.04.2011

Палиевская Е. А., Сидлин З. А. Проблемы сырьевой базы производства сварочных материалов. — 2-е изд. исправ. и доп. — М.: ООО «Изд. дом Центросоюза», 2011. — 40 с.

Брошюра посвящена видному специалисту электродного производства Николаю Алексеевичу Тархову, заместителю главного инженера Московского опытного сварочного завода, автору ряда книг по электродному производству. В их числе монография «Изготовление электродов для дуговой сварки» (Москва–Свердловск; Машгиз, 1944. — 122 с.), в которой, в частности впервые были обобщены известные на тот период данные по сырьевой базе электродного производства.

Предложения и дополнения следует присылать по адресу:
 107996, РФ, Москва, ул. Гиляровского, 57, стр. 1.
 Тел./факс: (495) 684-53-16, 684-04-79
 E-mail: techprom-ru@yandex.ru

