

УДК 621.793.6.004

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

**А.А. Афанасьев, профессор, д.т.н., А.А. Стативко, доцент, к.т.н.,
Белгородский государственный технический университет
имени В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

Аннотация. Представлены результаты разработанной технологической схемы восстановления изношенной поверхности стальной детали оригинальным методом – обвивания шейки вала пластиной с последующими процессами достижения требуемой точности и упрочнения.

Ключевые слова: восстановление поверхности, точечная сварка, ремонтный элемент, упрочнение поверхности.

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЗМІЦНЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

**О.О. Афанасьев, професор, д.т.н., А.О. Статівко, доцент, к.т.н., Белгородський
державний технічний університет імені В.Г. Шухова, м. Белгород, Росія**

Анотація. Представлено результати розробленої технологічної схеми відновлення зношеної поверхні сталеві деталі оригінальним методом – обвивання шийки вала пластиною з подальшими процесами досягнення необхідної точності і зміцнення.

Ключові слова: відновлення поверхні, точкове зварювання, ремонтний елемент, зміцнення поверхні.

WORKING OUT OF RATIONAL TECHNOLOGICAL SCHEMES OF DIFFUSIVE HARDENING AND RESTORATION OF STEEL DETAILS

**A. Afanasiev, Doctor of Technical Science, Professor, Belgorod Shukhov State
Technological University, A. Stativko, Candidate of Technical Science,
Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod, Russia**

Abstract. This article presents the results of the technological scheme of steel part restoration of the worn out surface by means of the original method application of shaft neck wreathing by the plate with the following processes for precision and hardening demand achievement.

Key words: surface restoration, spot welding, repair element, surface hardening.

Введение

Упрочнение шеек валов, несмотря на достигнутые в этой области высокие результаты, представляет собой значительный интерес для машиностроителей. Особенно интересны технологические процессы, применяемые как для новых деталей, так и для восстановления их изношенных поверхностей. В статье рассматривается новый технологический процесс формирования поверхности шейки вала.

Разработка рациональной технологии упрочнения деталей машин совмещена здесь с решением проблемы интенсивного восстановления изношенных поверхностей.

Анализ публикаций

Проблеме упрочнения и восстановления деталей машин посвящено большое количество работ в отечественной и иностранной литературе [1–4]. Известные способы восстанов-

ления изношенных поверхностей в своей основе используют наплавку электродом по схемам электродуговой сварки, вибронеплавку, напыление в плазме или в инертной среде, электролитическое наращивание, навивку проволоки или ленты с последующим их закреплением на поверхности электроконтактной сваркой, установку разрезных втулок, гильз с последующим закреплением этих ремонтных элементов приклеиванием, пайкой, сваркой или комбинацией этих процессов [6–8].

Достаточно перспективны способы восстановления поверхностных слоев на изношенных деталях из целостного ремонтного материала: широкой ленты, полос, полувтулок и полугильз (оболочек), который накрывает восстанавливаемую поверхность детали полностью. Эти способы обеспечивают наиболее полное восстановление механических, технологических и эксплуатационных свойств. Общим недостатком указанных выше способов восстановления или упрочнения и восстановления является достаточно низкая технологичность их осуществления, производительность, надежность, трудность предотвращения коробления и поводок деталей при достаточно большом объеме электросварочных работ.

В качестве примера для сравнения с разработанным автором ранее был принят способ восстановления изношенных поверхностей по А.С. 1278171 [9], который наиболее близок и по применяемому оборудованию, и по уровню технологии осуществления. Способ, взятый в качестве примера, имеет своей целью повышение качества восстановления деталей машин путем предотвращения деформации ленты в поперечном направлении и снижение энергозатрат при электроконтактной сварке. Эта цель, согласно описанию существа способа, достигается нанесением насечки на подготовленную шлифованием поверхность детали, заполнением образующихся в результате насечки ячеек пастообразным припоем перед укладкой ленты и воздействием сварочного тока по схеме роликовой двухточечной электроконтактной сварки. Сцепление ленты и восстанавливаемой поверхности детали достигается за счет ее припаивания в области ячеек и образования сварочных точек в области выступов (гребешков) на краях ячеек.

Однако сравниваемый (имеющийся) способ в технологическом отношении оказался несовершенным. Результаты механического переноса схемы роликовой сварки тонких листов на сварку деталей, где один тонкий лист заменен сплошным цилиндром, не одинаковы в течение цикла закрепления ремонтного элемента (полосы) на детали. Выполнение насечки на поверхности детали является в техническом отношении неудачной попыткой реализовать схему рельефной сварки в комбинации с роликовой. Выполнение насечки на поверхности ответственных валов является нежелательным, так как местные углубления на шейках валов могут явиться концентраторами напряжений с последующим развитием усталостных микро- и макротрещин. Известно, что галтели шеек и их цилиндрические поверхности специально подвергают обкатыванию шариками или роликами, которые завальцовывают микротрещины, образующиеся в результате предыдущих обработок. В анализируемом способе представленная технологическая схема может быть реализована лишь только для тонкого материала. При использовании толстых полос или лент ($t > 0,3$ мм) возможно проскальзывание ролика по поверхности или детали, или ленты. Вместе с тем применение тонких лент не может в полной мере удовлетворить поставленной цели – предотвращению деформации профиля ленты в поперечном сечении. Режим пайки и сварки в анализируемом методе в первом полуобороте детали будет отличаться от их параметров во втором полуобороте, так как сварочные точки должны получаться у нижнего ролика, а затем, после контакта ленты со вторым роликом, одновременно и у нижнего, и у верхнего роликов (рис. 1). Во втором полуобороте из-за одностороннего контакта роликов с лентой, из-за появления деформаций под действием усилий сжатия и наличия припопровода будет затруднительно создать высокую плотность тока в отдельных точках-гребешках, а следовательно, и концентрацию тепла, необходимую для размягчения стали. Следовательно, практически будет иметь место расплавление припоя и образование практически паяного соединения, а не паяно-сварного.

Осуществлению сварки по типу рельефной в значительной степени будет препятствовать масштабный фактор, так как при рельефной сварке листов контактные выступы, которые

специально штампуют, имеют более значительные размеры, чем ячейки, создаваемые на восстанавливаемой поверхности детали. Расход энергозатрат во втором полуобороте детали значительно возрастает при одновременном снижении эффективности сцепления ленты с восстанавливаемой поверхностью. Увеличение толщины ленты привело бы к еще большему снижению качества закрепления ленты на детали и эффективности использования энергозатрат при сварке, по сравнению с использованием тонкого материала, из-за затруднений в создании локальных участков с высокой плотностью тока и, следовательно, условий для концентрированного выделения тепла, вызывающего создание сварочных точек.

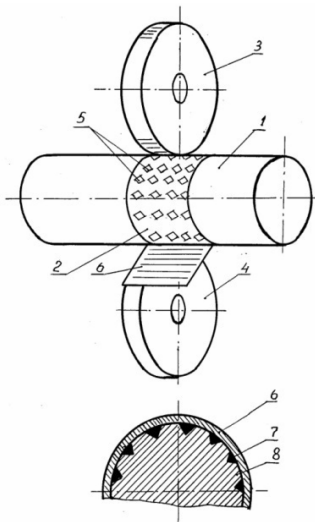


Рис. 1. Существующая схема восстановления изношенных поверхностей: 1 – деталь; 2 – изношенная поверхность; 3 и 4 – сварочные ролики; 5 – ячейки насечки; 6 – лента; 7 – впадины с припоем; 8 – гребни

Результатом использования анализируемого способа восстановления изношенной поверхности будет возникновение искажений структурно-напряженного состояния поверхностных слоев восстановленных деталей и их недостаточная надежность в эксплуатации.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является разработка новых технологических процессов формирования износостойких поверхностей деталей машин.

При разработке эффективного способа восстановления изношенных поверхностей были поставлены следующие задачи: разработка более совершенных приемов установки и закрепления ремонтного элемента на восстанавливаемой поверхности, уменьшение отклонений в расположении поверхностей изделия и высокие эксплуатационные показатели качества, надежности и долговечности детали в целом.

Разработка нового метода восстановления поверхности детали

Решение поставленных задач достигается последовательным выполнением ряда операций и приемов, из которых часть является общей с анализируемым способом, а другие являются оригинальными и составили существо изобретения автора настоящей работы, которое было защищено патентом. Общими операциями являются предварительное шлифование изношенной поверхности для устранения отклонений ее формы: овальности, огранки местных углублений, задигов и получение поверхности с малой шероховатостью; укладка ленты или полосы на восстанавливаемую поверхность, ее соединение с изношенной деталью, заключительное шлифование и упрочнение поверхностных слоев восстановленной поверхности.

Специфическими операциями, составляющими существо разработанного способа, являются прикатывание мерной нагретой полосовой заготовки к восстанавливаемой цилиндрической поверхности, соединение ее с деталью односточной контактной сваркой и использование в качестве заполнителя стыковочного шва высокотемпературного (твердого) припоя. Схема восстановления изношенной цилиндрической поверхности в начале, в продолжении и в конце процесса установки и закрепления ремонтной заготовки показана на рис. 2.

Прикатывание мерной заготовки 4 к шейке вала 3 осуществляется двумя плоскими плашками (прикатывателями) 1 и 2, между которыми устанавливается деталь для восстановления поверхности. Нагретая с помощью нагревателя 5 мерная заготовка полосы или ленты подается с подогревателя под верхним прикатывателем на деталь, и ее концевой участок соединяется с восстанов-

ливаемой поверхностью точечной сваркой (электрод 6).

Прикатывающие плашки совершают встречное поступательное движение и одновременно сжимают между собой восстанавливаемую деталь. Создаваемая схема сил и изгибающих моментов в зоне контакта приводит к появлению растягивающих напряжений в ее наружных слоях и сжимающих напряжений – во внутренних. Это приводит к плотному прилеганию мерной заготовки к восстанавливаемой поверхности детали в результате ее изгиба. Для исключения возможности скольжения прикатывателей по поверхности детали при прикатке достаточно толстых полос к валу следует приложить дополнительный крутящий момент.

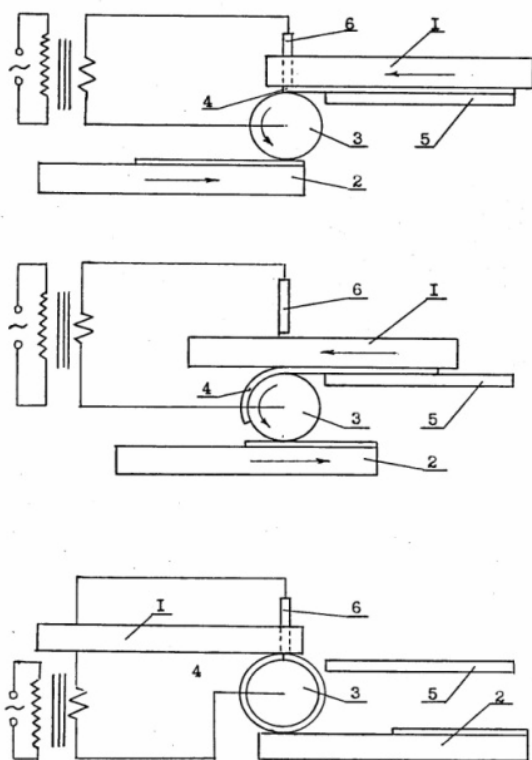


Рис. 2. Схема восстановления изношенных шеек валов: а – начало закрепления полосы; б – средняя часть процесса прикатывания полосы; в – конец процесса прикатывания и закрепления конца полосы, 1 – верхний прикатыватель; 2 – нижний прикатыватель; 3 – вал; 4 – мерная заготовка; 5 – нагреватель (утюг); 6 – электрод

Закрепление заготовки на детали осуществляется в два этапа. Первый этап – ускорен-

ный и состоит в приварке точечной сваркой начальных и конечных участков мерной заготовки к восстанавливаемой поверхности. Длительность этого этапа определяется скоростью вращения восстанавливаемой детали и временем приварки.

Ускорение проведения приварки необходимо для предотвращения резкого снижения температуры нагретой заготовки. Второй этап заключается в окончательной приварке прикатанной заготовки, сжимающей подобно бандажу поверхность шейки или ступени вала. Прикатыватели на втором этапе удаляют, чтобы не мешали сварке. Сварка ведется, как и на первом этапе, по одноточечной схеме изолированными друг от друга сварочными точками. В условиях кафедры точечная сварка прикатанной полосы осуществлялась на основе машины точечной сварки МТПР–50. Напряжение от трансформатора подается на электрод, которым при сварке упираются в поверхность привариваемой заготовки и на водоохлаждаемый контакт-зажим, закрепляемый на детали. Контакт-зажим связывают со сварочным трансформатором гибкими шинами, имеющими возможность закручиваться при вращении детали.

Сплошного перекрытия сварочных точек между восстанавливаемой деталью и прилегающей к ней заготовкой не требуется, так как опыт использования напрессованных втулок и гильз в машиностроении показывает достаточность размещения нескольких точек [3, 8]. Расположение сварочных точек осуществляют в шахматном порядке или в виде сетки со стороной ячейки 10–20 мм.

Предварительный нагрев мерной заготовки осуществляется до температуры 350–450 °С для достижения необходимой длины заготовки, равной длине окружности восстанавливаемой поверхности детали. Нагретая заготовка при плотном прилегании ее к детали обеспечивает при ее последующем охлаждении натяг средней величины, что способствует упрочнению восстанавливаемой поверхности и созданию однородного структурно-напряженного состояния в поверхностных слоях восстанавливаемой детали. Мерные заготовки получают отрезкой по упору на гильотинных ножницах. Длину заготовки рассчитывают по формуле

$$L_{\text{заг}} = \pi D [1 - \alpha(t - 293 \text{ K})],$$

где $L_{\text{заг}}$ – длина заготовки, мм; D – диаметр восстанавливаемой поверхности до прикатки после шлифования, мм; α – температурный коэффициент линейного расширения металла заготовки, град⁻¹ (для углеродистой стали $\alpha = 13,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, для хромистой стали – $\alpha = 14,1 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹); t – температура нагрева мерной заготовки.

Толщина заготовки выбирается на основе суммарной величины, складывающейся из припуска на окончательное шлифование после прикатки и приварки заготовки, припуска на деформирование металла под электродами, линейных изменений межремонтных размеров и остаточной толщины прикатываемой полосы после предполагаемого последнего ремонтного размера. Остаточная толщина заготовки принимается в процентах от диаметра восстанавливаемого вала, и ее можно рекомендовать в пределах 2–3 процента от номинального размера.

Например, для вала диаметром 50 мм при плановых четырех ремонтах толщина заготовки для прикатывания составит

$$\begin{aligned} \epsilon &= (0,2 \div 0,5) + (0,2 \div 0,5) + 1 + (0,5 \div 1) = \\ &= (1,9 \div 3) \text{ мм.} \end{aligned}$$

Здесь первое слагаемое равно припуску на деформацию металла под электродом, второе – припуску на окончательное шлифование, третье – припуску на изменение размеров при ремонтах (по 0,25 мм на один ремонт), четвертое – остаточной толщине прикатываемой полосы.

Стык на поверхности заделывается медно-цинковым или медно-никелевым (высокотемпературным) припоем, после чего восстановленная поверхность подвергается предварительному и чистовому шлифованию. Применение высокотемпературного припоя имеет своей целью уменьшение, по сравнению со сваркой, термического влияния на свойства стали. Заключительным этапом в обработке восстановленной поверхности является применение традиционных методов упрочнения ее поверхностных слоев. Это может быть обкатывание поверхности вибрирующим роликом для упрочнения вследствие пластического деформирования металла или диффузионное насыщение элементами, значительно увеличивающими поверхностную твердость. ХТО отдельных

участков рекомендуется проводить высокопроизводительным и эффективным способом, описанным в предыдущем разделе.

Разработанная технология способа восстановления изношенной поверхности была реализована при ремонте двигателя внутреннего сгорания мотопомпы. Восстановлению подлежали две опорные шейки, имеющие первоначальные размеры $\varnothing 46_{-0,085}^{-0,069}$ и $\varnothing 43,5_{-0,085}^{-0,069}$ соответственно. После предварительного шлифования размеры составили $44,5_{-0,062}$ и $42_{-0,062}$ соответственно. В качестве ремонтного элемента была выбрана полоса из стали 30X толщиной 2 мм и шириной 20 мм. Длина полосы для расчетной температуры 400 °C составила для первой шейки 139 мм и для второй – 131 мм. Восстанавливаемая деталь устанавливалась в приспособление на нижний прикатыватель, на котором заранее укладывалась полоса, по толщине равная ремонтному элементу. Последний укладывался на электронагреватель, температура нагрева измерялась термомпарой. Верхний прикатыватель опускался винтом до образования зазора между шейкой вала и прикатывателем. К валу водоохлаждаемым медным зажимом прикреплялась гибкая медная шина из жгутов от трансформатора установки МТПР-50. В зазор над шейкой вала сдвигался ремонтный элемент и прижимался прикатывателем с помощью винта. Электрод опускался через отверстие-вырез в прикатывателе, и с его помощью край ремонтного элемента приваривался сварочными точками к валу, а затем поднимался. Встречное движение прикатывателей осуществлялось винтом, одновременно с помощью хомута поворачивался вал.

Полоса на нижнем прикатывателе перемещалась постукиванием в торец при ослаблении нажатия верхним прикатывателем для того, чтобы обрез ремонтного элемента совпал с ее торцом. Этот прием устраняет заклинивание нижнего прикатывателя из-за образования уступа краем ремонтного элемента. Как только второй концевой обрез ремонтного элемента оказывался под электродом, он приваривался несколькими точками к валу. Верхний прикатыватель затем поднимался и сдвигался в сторону. Дальнейшее закрепление ремонтного элемента осуществлялось по окружности шестью-семью точками с шагом 10–20 мм последовательно в три ряда по бокам в центре. Приварка велась в режиме:

Плотность тока, А/мм ²	100
Напряжение, В	2–4
Диаметр пятна контакта, мм	5
Усилие прижатия электрода, Н	800

После установки и закрепления элемента диаметры шеек составили 46,5 и 44 мм соответственно.

Способ восстановления изношенных поверхностей деталей усовершенствован на основании использования новых достижений науки и техники. Закрепление ремонтного фрагмента на восстанавливаемой поверхности осуществляется лазером [10] путем сквозного проплавления полосы. Сама технологическая схема восстановления изношенной поверхности детали не изменяется. Установка ремонтной мерной полосы ведется теми же прикатывателями,двигающимися навстречу друг другу и с усилием прижимающими эту полосу к детали. Прихватка концевых участков полосы и окончательное ее закрепление на детали проводится в том же порядке, который описан выше. Благодаря точечному сквозному проплавлению полосы возможно восстановление стальными лентами как стальных, так и чугунных деталей.

Таким образом, применение в качестве энергетического источника мощного лазерного излучения делает разработанный метод восстановления изношенной поверхности деталей более универсальным, так как становятся ремонтноспособными и чугунные детали.

Изгибающий момент в сечении ремонтного элемента, имеющий ширину b и толщину h , равен

$$M = b \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma y dy.$$

Поперечное сечение полосы делится на две зоны: упругого и пластического деформирования. При этом в сечении имеет место нейтральная плоскость, выше которой наблюдается растяжение, а ниже – сжатие. Границу упругой зоны определяет величина y_T . Разбивая интеграл на два по зонам деформирования, получим

$$M = 2b \int_0^{y_T} \sigma y dy + 2b \sigma_T.$$

Так как относительное удлинение равно $\varepsilon = \frac{y}{r}$, по закону Гука

$$\sigma = E \varepsilon = E \frac{y}{r}.$$

После интегрирования получим

$$M = \frac{2}{3} b \frac{E}{r} y_T^3 + b \sigma_T \left(\frac{h^2}{4} - y_T^2 \right).$$

Подставляя сюда значения $y_T = \varepsilon_T r = \frac{\sigma_T \cdot r}{E}$, получим

$$M = \frac{bh^2}{4} \sigma_T - \frac{1}{3} b \sigma_T^3 \frac{r^2}{E^2}.$$

Часть данного момента обеспечивают плашки, прижимающие ремонтный элемент к восстанавливаемой поверхности идвигающиеся навстречу друг другу. Момент силы трения качения равен

$$M_k = F_k \cdot r = f_k \cdot P \cdot r/r = f_k \cdot P,$$

где P – усилие прижима плашек-прикатывателей.

Дополнительный момент, который следует приложить к детали, чтобы исключить скольжение по ней прикатывателей, равен

$$M_d = M - M_k = \frac{bh^2}{4} \sigma_T - \frac{1}{3} b \sigma_T^3 \frac{r^2}{E^2} - f_k \cdot P.$$

Выводы

Разработан новый технологический процесс формирования износостойкой поверхности деталей машин, который может быть использован как для новых, так и для изношенных деталей.

Литература

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. – М. : Машиностроение, 1989. – 200 с.
2. Воловик Е.П. Справочник по восстановлению деталей / Е.П. Воловик. – М. : Колос, 1981. – 352 с.
3. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и

- пайкой / Р.Е. Есенберлин. – М.: Транспорт, 1994. – 256 с.
4. Клименко, Ю.В. Электроконтактная наплавка / Ю.В. Клименко. – М.: Металлургия, 1978. – 128 с.
 5. А.с. 1459887 СССР, МКИ³ В 23 р 6 / 00, В 23 к 11 / 06. Способ восстановления детали электроконтактной сваркой / А.В. Поляченко, А.А. Болтян (СССР). – № 4176420 / 30–27; Заявл. 15.12.86; Оpubл. 23.02.89, Бюл. № 7 – С. 6.
 6. А. с. 1597256 СССР, МКИ³ В 23 р 6 / 00. Способ Дагиса восстановления шеек валов / З.С. Дагис (СССР). – № 4425799 / 25–27; Заявл. 06.04.88; Оpubл. 07.10.90, Бюл. № 37. – С. 31.
 7. А.с. 1830327 СССР, МКИ³ В 23 р 6 / 00. Способ восстановления коленчатых валов / В.В. Юшков, Г.В. Пушкин (СССР). – № 4952675 / 27; Заявл. 05.04.91; Оpubл. 30.02.93, Бюл. № 28 – С. 18.
 8. А.с. 2050243 СССР, МКИ³ В 23 р 6 / 00. Способ восстановления шеек коленчатого вала / З.С. Дагис (СССР). – № 5055641 / 08; Заявл. 21.07.92; Оpubл. 20.12.95, Бюл. № 35. – С. 170.
 9. А.с. 1278171 СССР, МКИ³ В 23 р 6 / 04. Способ восстановления изношенных поверхностей / А.Я. Бойченко, Л.Б. Рогинский, А.В. Поляченко, И.С. Рыжов (СССР). – № 3880223 / 25–27; Заявл. 03.04.85; Оpubл. 23.12.86, Бюл. № 47. – С. 56.
 10. Технологические лазеры: справочник: в 2 т. – Т.1: Расчет, проектирование и эксплуатация / Г.А. Абильситов, В.С. Голубев, В.Г. Гонтарь и др.; под общ. ред. Г.А. Абильситова. – М.: Машиностроение, 1991. – 432 с.

Рецензент: Л.А. Тимофеева, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2011 г.