

УДК 62-34/-38

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

Михеев Алексей Олегович, магистрант,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, dex95@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены варианты применения различных способов восстановления работоспособности изношенных рабочих поверхностей распределительных валов при проведении комплекса ремонтно-восстановительных работ. Выполнен сравнительный анализ технико-экономической эффективности рассмотренных способов и выявлен наиболее подходящий по критерию технологичности использования и обеспечению уровня надежности и работоспособности восстановленных рабочих поверхностей деталей и их пространственной геометрии, обоснованно выбранным методом ремонта.

**Ключевые слова:** распределительный вал; основные дефекты; качество ремонта; долговечность; технологичность; работоспособность; восстанавливаемость; физико-механические свойства; рабочие поверхности; метод ремонта.

## JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE MOST EFFECTIVE TECHNOLOGICAL WAY TO RESTORE THE HEALTH OF THE CAMSHAFTS

Mikheev Aleksey O., undergraduate  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, dex95@yandex.ru

**Abstract.** The article describes the options for the use of various ways to restore the performance of worn working surfaces of camshafts during the complex repair work. A comparative analysis of the technical and economic efficiency of the considered methods is carried out and the most suitable analysis by the criterion of technological effectiveness of use and ensuring the level of reliability and operability of the restored working surfaces of parts and their spatial geometry, reasonably chosen method of repair is identified.

**Key words:** camshaft; main defects; quality of repair; durability; manufacturability; performance; recoverability; physicomachanical properties; working surfaces; method of repair.

Результаты исследований по оценке технического состояния распределительных валов показывают, что основными поверхностями, подвергающимися износу при работе двигателя, являются рабочие поверхности опорных шеек и кулачков распределительного вала. Поэтому

в данной работе будем рассматривать только способы, которые дают возможность устранять указанные дефекты.

### **Способы восстановления работоспособности распределительных валов**

Распределительный вал является основной деталью газораспределительного механизма ДВС. Износ его рабочих поверхностей приводит в результате к невозможности обеспечения фаз газораспределения в работающем двигателе, что соответственно не только снижает работоспособность всего двигателя в целом, но и может привести к его внезапному отказу. Что в дальнейшем понесёт большие денежные затраты и простой техники. Именно поэтому следует своевременно обслуживать газораспределительную систему ДВС [1, 2].

В процессе выполнения данной работы были проведены исследования, основанные на сравнительном технологическом анализе существующих методов ремонта рабочих поверхностей распределительного вала. Результаты выполненного маркетинга способов будут представлены ниже.

Очень часто рассматривают возможность применения таких способов как [7, 6]:

- шлифовка незначительно изношенных кулачков до восстановления рабочего профиля;
- плазменная наплавка;
- лазерная наплавка;
- наплавка и сварка деталей в среде защитных газов;
- обработка деталей под ремонтный размер;
- метод гальванических покрытий;
- металлизация;
- вибродуговая наплавка;

– восстановление подшипниковых шеек распределительного вала шлифовкой и хромированием;

– ручная газопорошковая наплавка [8].

Рассмотрим более подробно способы нанесения различных видов покрытия на распределительный вал, их преимущества и недостатки.

Наиболее часто применяются методы *электродуговой наплавки* в различных вариантах [4].

Самая распространенная технология наплавки распределительного вала это электродуговая (рис. 1).



Рис. 1. Электродуговая наплавка [9]

Наплавление с помощью электрической дуги, это соответственно, нагрев ленты, проволоки или ленты, просто открытой дугой или с газом  $\text{CO}_2$  и на плавлении ее на изношенную или поврежденную часть распределительного вала. При наплавлении открытой дугой, можно обойтись без защитной ванны, поэтому можно использовать порошковую проволоку, в которую входят специальные защитные шлаковые и газообразующие вещества.

Следующая технология восстановления работоспособности распределительного вала это *электродуговая наплавка под слоем флюса* (рис. 2). Применяется для таких деталей, как распределительный вал,

при значительном износе рабочих поверхностей, если необходимо обеспечить большую величину наплавленного слоя [9, 5].



Рис. 2. Электродуговая наплавка под слоем флюса

И наконец, восстановление изношенных конструктивных элементов распределительного вала электрической дугой с помощью газа (рис. 3). Такой метод дает возможность наплавлять, видя зону горения, так же позволяет делать небольшой слой напыления, в виде наплавляемого материала используется либо лента, либо проволока.

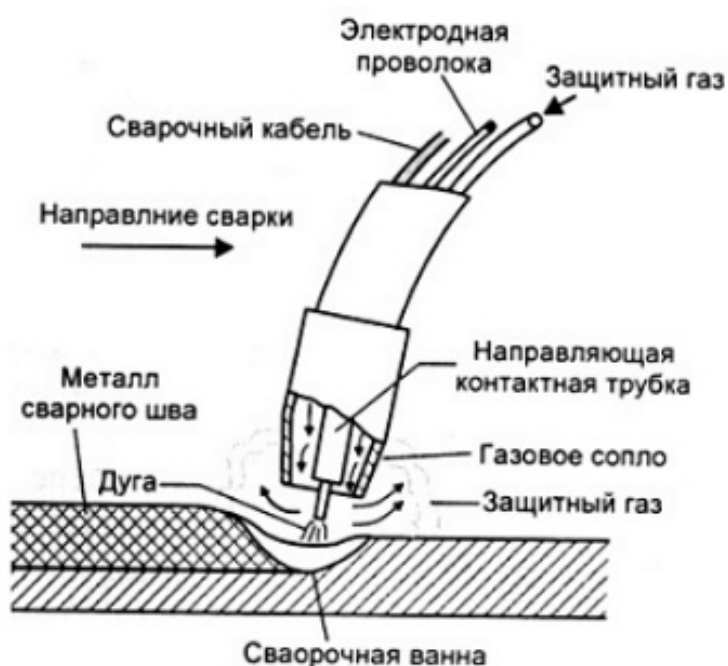


Рис. 3. Электродуговая наплавка в среде защитных газов [8]

### **Преимущества:**

- низкая покупная стоимость сварочных приспособлений;
- простота используемого оборудования и технологии, связанная с отсутствием необходимости применения защитного газа и флюса [11];
- возможность наплавки в полевых условиях, поскольку ветер практически не оказывает влияния на процесс наплавки [11];
- сравнительная простота введения легирующих элементов в наплавленный металл, состав которого можно регулировать в широких пределах [11].

### **Недостатки:**

- относительно большой провар основного материала;
- невысокие затраты мощности при плавлении;
- невысокая степень автоматизации

**Ремонт изношенных поверхностей распределительного вала методом вибродуговой наплавки (рис. 4) [5]**

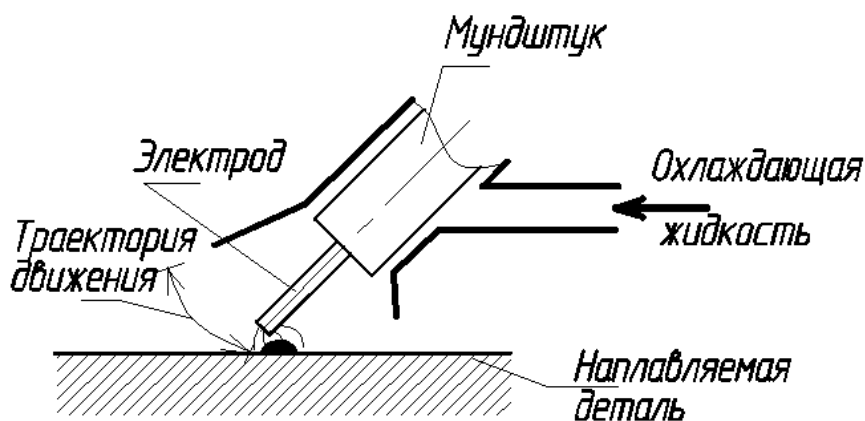


Рис. 4. Вибродуговая наплавка

Похожа на электродугую, но работает, когда разрывается цепь. Имеет преимущество, в том, что подвергает меньшему термическому воздействию нагреваемую поверхность, так можно на плавить меньшую толщину наплавки 0,5–1 мм.

### **Преимущества [12]:**

- простое оборудование;
- доступность материалов;
- возможность восстанавливать детали, начиная с диаметра 8 мм;
- малый нагрев детали, а вследствие этого и малая деформация ее;
- возможность получения достаточно твердой поверхности без ее термообработки;
- большая производительность;
- не требуется особой квалификации от работника.

**Недостатки:** при применении охлаждающей жидкости возникает наплавленный слой с одинаковой твердостью и структурой, что существенно снижает усталостную прочность детали. Зачастую в наплавленном слое возникают поры [12].

### **Электроконтактная наплавка поверхностей распределительного вала (рис. 5) [5]**

Принцип электроконтактной сварки заключается в том, что до пластичного состояния доводится и наплавляемый материал, и та часть основного материала, на которую производится наплавка. За счет этого можно наплавлять небольшие слои, что приводит к снижению расхода материала и электричества, и повышает производительность труда.

**Преимущества:** эффективный высокопроизводительный (60–90 см<sup>2</sup>/мин) способ восстановления цилиндрических деталей, особенно с небольшими износами, позволяющий наплавлять материалы различной формы, с различными физико-механическими свойствами (стальные ленты, порошки, проволоки). Толщину наплавляемого слоя можно регулировать в пределах 0,2–1,5 мм, зона термического влияния не превышает 0,5 мм, припуск на механическую обработку 0,2–0,5 мм [3].

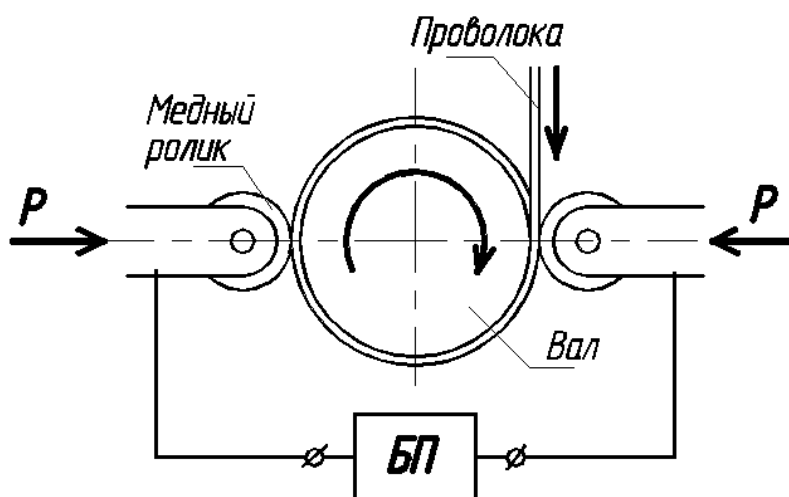


Рис. 5. Электроконтактная наплавка [3]

**Недостатки:** в ряде случаев в отдельных местах ленты с основным металлом бывает не полное сваривание поверхностей, которое выявляется при шлифовании.

**Технологии напыления распределительного вала с помощью транспортировочного газа** (рис. 6)

Происходит за счет смеси газа и порошка в газовой горелке, куда с одной стороны подается газ, а с другой дозировано порошок, после смешивания из горелки выходит пламя с расплавленным порошком, который и наплавляется на шейку.

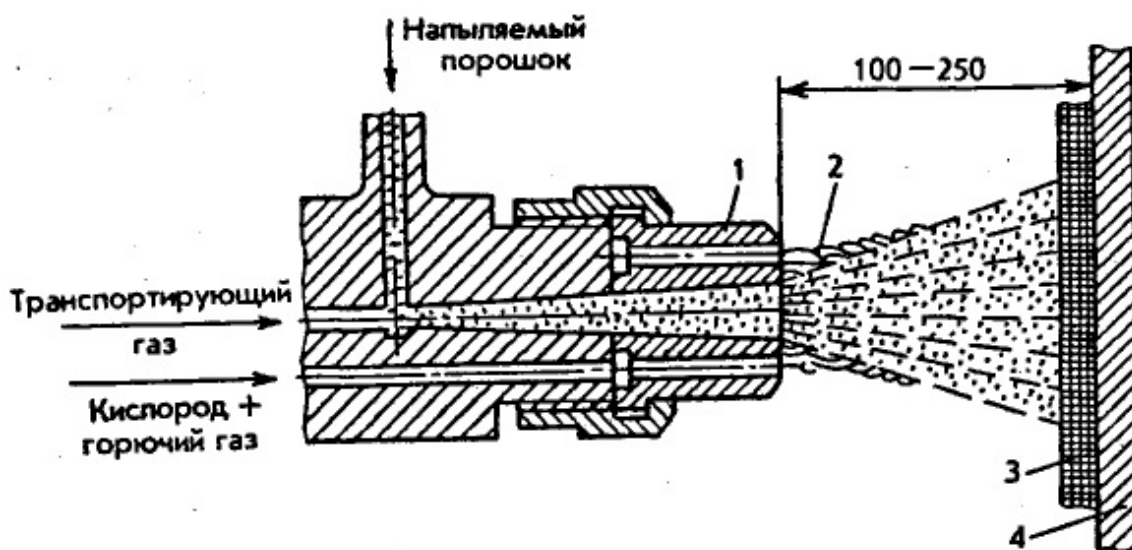


Рис. 6. Принцип напыления с использованием транспортирующего газа

**Преимущества:** этот способ наиболее распространен, и дает такие плюсы как более равномерная наплавка по всей наплавляемой поверхности, что позволяет тратить меньше усилий на шлифовку распределительного вала.

**Недостатки:**

- сложность используемого оборудования;
- требуется высококлассный специалист для подбора оптимального режима.

**Плазменная наплавка изношенных поверхностей распределительного вала (рис. 7)**

Это способ делается под высокой температурой 15–20 тыс. градусов, с помощью плазмообразующего газа под высоким давлением, он обжимается водоохлаждающим соплом или охлаждением с помощью газа. Позволяет увеличить срок службы детали, ее износостойкость.

Плазменную наплавку металла можно выполнить 2-мя вариантами:

- 1) струя газа обволакивает парашек и направляет на поверхность детали;
- 2) в струю плазмы подается присадочный материал в виде проволоки, прутка или ленты.

В виде плазмообразующих газов обычно используют Ar, He, N, кислород, пар, водород или воздух.

Лучшие результаты дают наплавки с аргоном и гелием.

Очень важно в данном процессе тщательно готовить поверхность к наплавке, так как при обычной электродуговой или газовой сварке поверхность не требует такой подготовки. При плохой зачистке и подготовки поверхности на ней остаются различные включения, из-за которых наплавленный слой может получиться не качественным. Чтобы этого избежать выполняется механическая обработка наплавляемой поверхности (такая как: проточка, шлифование, пескоструйная обработка),



иногда так же может применяться обезжиривание. Очень важно подобрать мощность электрической дуги так, деталь не подвергалась высокому нагреву, и чтобы основной металл находился на грани расплавления [8].



Рис. 7. Плазменная наплавка[8]

### **Преимущества:**

- большая концентрация тепловой мощности и наименьшая ширина зоны термического влияния;
- возможность получения толщины наплавляемого слоя от 0,1 мм до нескольких миллиметров;
- данный способ позволяет наплавлять различные износостойкие материалы на стальную деталь, такие как: медь, латунь, пластмасса;
- можно выполнить плазменную закалку поверхности детали;
- высокий КПД дуги от 0,2 до 0,45;
- небольшое в сравнении с другими способами наплавки перемешивание наплавляемого материала с основным слоем металла.

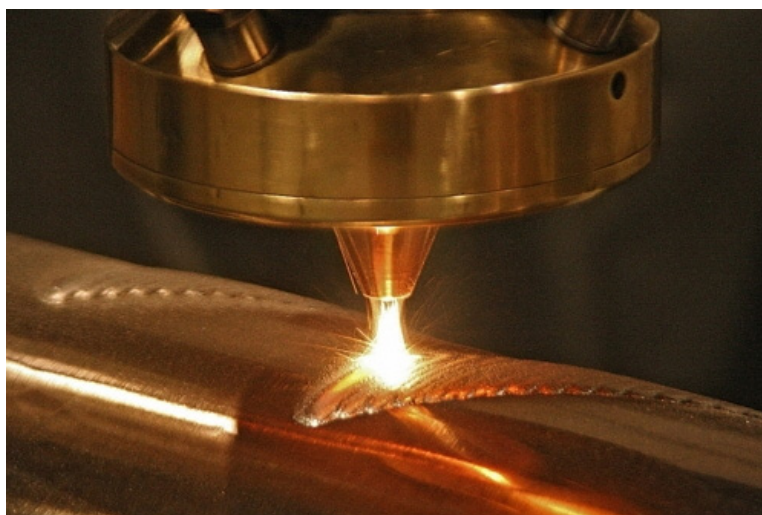
### **Недостатки:**

- высокочастотный шум в комбинации с ультразвуком;
- электромагнитное излучение оптического диапазона (УФ, ИК, видимый спектр);
- ионизация воздуха;
- выделение паров материала в виде аэрозолей;

- недолговечность сопла плазменной горелки вследствие высокотемпературной нагрузки;
- сложность аппаратуры требует подготовки высококвалифицированного персонала.

### ***Наплавка поверхностей распределительного вала лазерная (рис. 8)***

Этот способ наплавки делается с помощью лазерного луча, который воздействует на определенную совсем небольшую зону. С помощью лазера можно наплавить любой материал. С помощью лазера, можно наплавить труднодоступные места, экономится материал, экономится энергия, достигается максимальная износостойкость, не искажает деталь, так как не нагревает ее. В данный момент является самой передовой наработкой [10].



*Рис. 8. Лазерная наплавка*

### ***Преимущества:***

- восстановление вместо замены: даже незначительные повреждения или обычный износ сложных и дорогостоящих деталей связаны с большими затратами – поврежденные детали зачастую требуют полной замены. Поэтому восстановление в данном случае является целесообразным. Идеальный метод восстановления – лазерная наплавка;
- обрабатываемые поверхности: возможность использования многих материалов при лазерной наплавке делает возможной оптимальную

подготовку поверхности к выполнению соответствующей функции, например, для защиты от износа и коррозии;

– аддитивное производство деталей или функциональных элементов все шире используется в области промышленного производства. В области крупногабаритных деталей, например, элементов турбин, установка функциональных элементов посредством лазерной наплавки позволяет значительно снизить затраты на производство;

– незначительный нагрев в зоне сварки: деформация не выходит за пределы узких допусков, а структура наплавляемого материала во многих случаях применения выполняет и превосходит требования, предъявляемые к оригинальным деталям.

### ***Недостатки:***

– малая производительность;

– необходимость в дорогостоящем, сложном оборудовании.

### ***Метод ручной газопорошковой наплавки*** (рис. 9)

Большую твердость и износостойкость получают наплавкой электродами ЦС-1 (сормайт 1) и ЦС-2 (сормайт 2). В их составе есть железо, углерод, хром, никель, кремний и марганец. Наплавкой сормайтом 1 достигается твердость поверхности HR 48...54, а сормайтом 2 – HR 56...60. Этими электродами наплавляют изношенные кулачки стальных распределительных валов, вилки включения коробки передач, сломанные зубья и т. п. Чтобы не нарушить термообработку, детали помещают в ванну с водой. Из воды выступает только наплавляемая часть.

Наплавленный металл обрабатывают только абразивным инструментом, например, на заточном станке.

Изношенные кулачки чугунного распределительного вала двигателя ВАЗ наплавляют высоколегированным электродом Т-590 или Т-620.

Применяя электрод диаметром 4 мм, устанавливают силу тока 200...220 А.

Так как чугунный распределительный вал из-за его хрупкости почти

нельзя править, то при наплавке применяют такой способ, чтобы вал деформировался возможно меньше. Наплавленную поверхность с твердостью HR 55...62 обрабатывают на копировальном станке. При наплавке покрытие электрода не должно содержать влагу, поэтому электроды предварительно выдерживают при температуре.

Детали с цементованными поверхностями и высокой твердостью (кулачки распределительных валов, тарелки толкателей и др.) восстанавливают электродами ОЗН-400У и ЦН-4. Эти электроды обеспечивают твердость слоя HR 45...55 без термической обработки. Перед наплавкой с кулачков распределительных валов снимают наждачным кругом верхний наклепанный слой металла толщиной 1...2 мм. При наплавке распределительный вал частично погружают в воду, чтобы уменьшить коробление и избежать нарушения термической обработки участков, расположенных близко к зоне сварки.

Так же на изношенную поверхность может наноситься порошок ПГ-СР4. Порошок на никелевой основе, 13,5–16,5% хрома, 2,5–3,5% кремния, 2,0–2,8% бора, железа не более 5%. Твердость после нанесения на деталь 52–58HRC



*Рис. 9. Газопорошковая наплавка[9]*

### ***Преимущества:***

- отсутствует перемешивание наплавленного сплава с основным металлом;
- качественный наплавленный сплав с полным отсутствием пор;
- гладкая поверхность, требующая минимальной механической обработки;
- прочная сила сцепления;
- лучшая ударопрочность;
- возможность многослойной наплавки.

***Недостатки:*** не большая производительность.

### ***Наплавка поверхностей распределительного вала в среде защитных газов (рис. 10)***

Во время наплавки, производимой в среде защитных газов в зону горения дуги под небольшим давлением подается газ. Газ нужен для того, чтобы из зоны горения дуги вытеснить весь воздух, тем самым защитить сварочную ванну от влияния кислорода и азота.

В зависимости от того какой газ применяется наплавка разделяется на наплавку в активных ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , и др.) и инертных (He, Ar, Ar+He и др.) газах. В среде защитных газов наплавка может производиться, как плавящимися электродами, так можно производить наплавку и не плавящимися электродами.

Самой популярной наплавкой в среде защитных газов, является наплавка в среде углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) – наплавка выполняется плавящимся электродом или проволокой с защитой сварочной ванны от воздуха  $\text{CO}_2$ . Этот способ требует наименьшие денежные вложения при наплавке углеродистых и низколегированных сталей. По причине дешевизны и качеству наплавленного слоя, этот способ занимает лидирующие позиции.

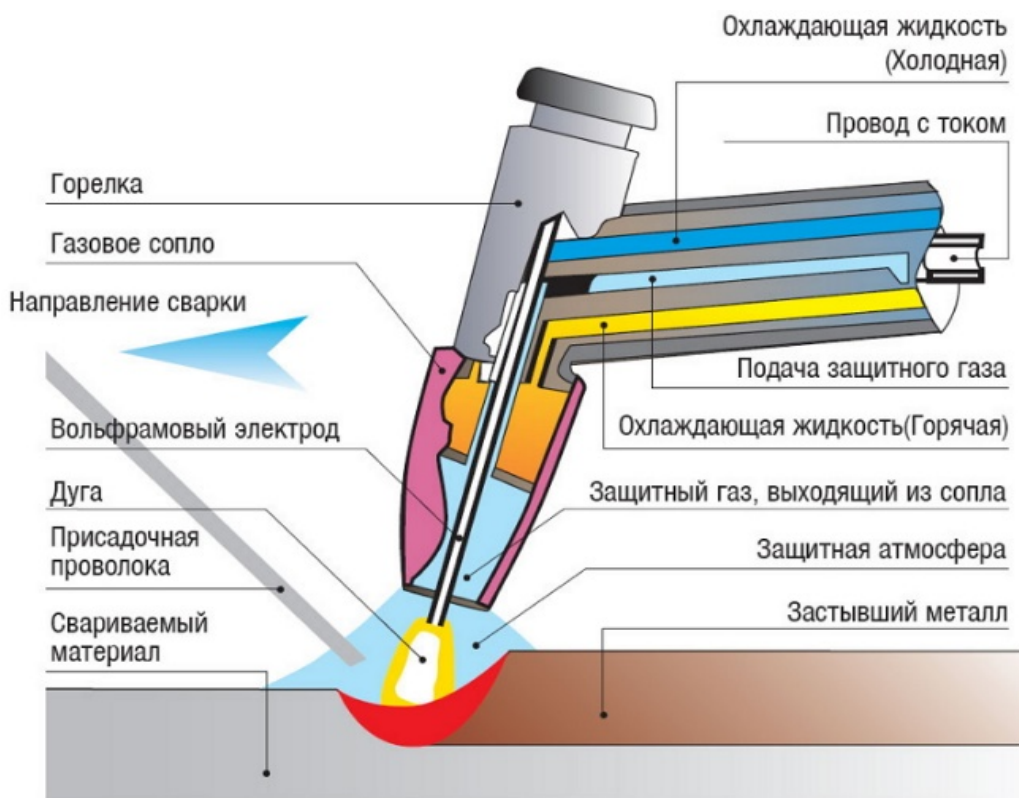


Рис. 10. Наплавка в среде защитных газов [8]

### **Преимущества:**

- минимальная зона структурных изменений металла при высокой степени концентрации дуги и плотности тока;
- почти полная защита сварочной ванны от воздействия окружающей среды;
- существенная производительность;
- возможность наблюдения за процессом формирования шва;
- возможность механизировать и автоматизировать технологический процесс наплавки;
- малая чувствительность к ржавчине и прочим загрязнителям основного металла.

### **Недостатки:**

- при силе тока свыше 500 А происходит сильное разбрызгивание металла, из-за этого требуется доп. защита горелки и частое ее обслуживание;

- интенсивное излучение открытой дуги. Требуется серьезная защита сварщика;
- при высоких токах требуется сильное охлаждение горелки;
- осуществление сварки только на постоянном токе;
- наличие специальной проволоки.

### **Вывод**

Исходя из рассмотренных вариантов технологических способов наращивания изношенного слоя рабочих поверхностей распределительных валов можно сделать вывод, что на данный момент наиболее перспективным способом восстановления является лазерная наплавка. При лазерной наплавке более высокая адгезия наплавляемого материала с основным, а, следовательно, оно будет более долговечно. Так же при использовании данного способа будет значительно экономиться материал, время, затраты на рабочих

К не менее перспективным способам так же можно отнести электродуговую наплавку, т.к. при помощи нее можно наплавлять детали со значительным износом, но в сравнении с лазерной наплавкой у нее идет увеличенный расход материала.

Следующим этапом проведения работ будет экспериментальное сравнение данных способов восстановления по всем показателям как при использовании предлагаемых технологических способов, так и по оказываемым последствиям их применения на физико-механические свойства восстановленных рабочих поверхностей.

### **Список литературы**

1. Зорин, В.А. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов / В.А. Зорин. – М.: Академия, 2010. – 504 с.
2. Карагодин, В.И. Ремонт машин и двигателей: учебник для средних специальных учебных заведений / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – М.: Мастерство; Высш. школа, 2012. – 496 с.

3. Головин, С.Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования: учебное пособие / С.Ф. Головин. – М.: Альфа-М; ИНФРА-А, 2008. – 288 с.
4. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник / под ред. В.А. Зорина. – М.: Академия, 2010. – 568 с.
5. Овчинников, В.В. Частично механизированная сварка (наплавка) в защитном газе / В.В. Овчинников. – М.: Кнорус, 2019. – 200 с.
6. Двигатели CUMMINS ISF3.8 (модификации Евро-3, Евро-4, Евро-5). Руководство по ремонту и техническому обслуживанию. – М.: Легион Автodata, 2016.
7. Холдерман, Д.Д. Автомобильные двигатели: теория и техническое обслуживание / Д.Д. Холдерман, Ч.Д. Митчелл. – 4-е изд. – М.-СПб.-Киев, 2006. – 595 с.
8. URL: <http://mash-xxl.info/>
9. URL: <http://www.tehnoplazma.ru/>
10. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
11. URL: <http://inethub.olvi.net.ua/ftp/library/share/homelib/spec120/>
12. URL: <http://mash-xxl.info/page/027115223167019202039227248250203161018026208132/>

### References

1. Zorin V.A. *Remont dorozhnyh mashin, avtomobilej i traktorov* (Repair of road machinery, trucks and tractors), Moscow, Akademiya, 2010, 504 p.
2. Karagodin V.I., Mitrohin N.N. *Remont mashin i dvigatelej* (Repair of cars and engines), Moscow, Masterstvo, Vysshaya shkola, 2012, 496 p.
3. Golovin S.F. *Tekhnicheskij servis transportnyh mashin i oborudovaniya* (Technical service of transport machines and equipment), Moscow, Al'fa-M, INFRA-A, 2008, 288 p.
4. *Tekhnologiya mashinostroeniya, proizvodstvo i remont pod"emno-transportnyh, stroitel'nyh i dorozhnyh mashin* (Engineering technology, production and repair of lifting, construction and road machines), Moscow, Akademiya, 2010, 568 p.
5. Ovchinnikov V.V. *Chastichno mekhanizirovannaya svarka (naplavka) v zashchitnom gaze* (Partially mechanized welding (surfacing) in shielding gas), Moscow, Knorus, 2019, 200 p.
6. *Dvigateli CUMMINS ISF3.8 (modifikacii Evro-3, Evro-4, Evro-5). Rukovodstvo po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu* (Cummins ISF3 engines.8 (modifications Euro-3, Euro-4, Euro-5). Repair and maintenance manual), Moscow, Legion Avtodata, 2016.
7. Holderman D.D., Mitchell Ch.D. *Avtomobil'nye dvigateli: teoriya i tekhnicheskoe obsluzhivanie* (Automobile engines: theory and maintenance), Moscow, St. Petersburg, Kiev, 2006, 595 p.
8. URL: <http://mash-xxl.info/>
9. URL: <http://www.tehnoplazma.ru/>
10. Grigor'yanc A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. *Tekhnologicheskie processy lazernoj obrabotki* (Technological processes of laser processing), Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2008.
11. URL: <http://inethub.olvi.net.ua/ftp/library/share/homelib/spec120/>
12. URL: <http://mash-xxl.info/page/027115223167019202039227248250203161018026208132/>