

родной научно-технической конференции. – Могилёв, 2015. – С. 225-226.

7 Kolesa.RU – Всё об автомобилях [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kolesa.ru/>. – Загл. с экрана.

8 Тарасов, Е. А. Обоснование параметров ходовой части, навесного механизма и предохранителя, обеспечивающих топливную экономичность лесохозяйственных агрегатов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01 : защищена 10.10.07 / Е. А. Тарасов. – Воронеж, 2007. – 185 с.

9 Рябов, И. М. Проблемы создания системы рекуперации энергии торможения транспортных средств и пути их решения [Текст] / И. М. Рябов, С. А. Ширяев, Ю. Г. Юсупов // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2016. – С. 127-132.

10 Посметьев, В. И. Оценка эффективности применения системы рекуперации энергии в подвеске автомобиля [Текст] / В. И. Посметьев, М. В. Драпалюк, В. А. Зеликов // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 76(02). – С. 1-15.

11 Филонов, А. И. Пути повышения эффективности рекуперации энергии на автомобиле с комбинированной энергетической установкой [Текст] / А. И. Филонов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 12 (115). – С. 103-105.

УДК 629.33.02.004.67

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАПЛАВЛЕННЫХ И НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

А. М. Кадырметов, В. Н. Бухтояров, Д. И. Мисюнас

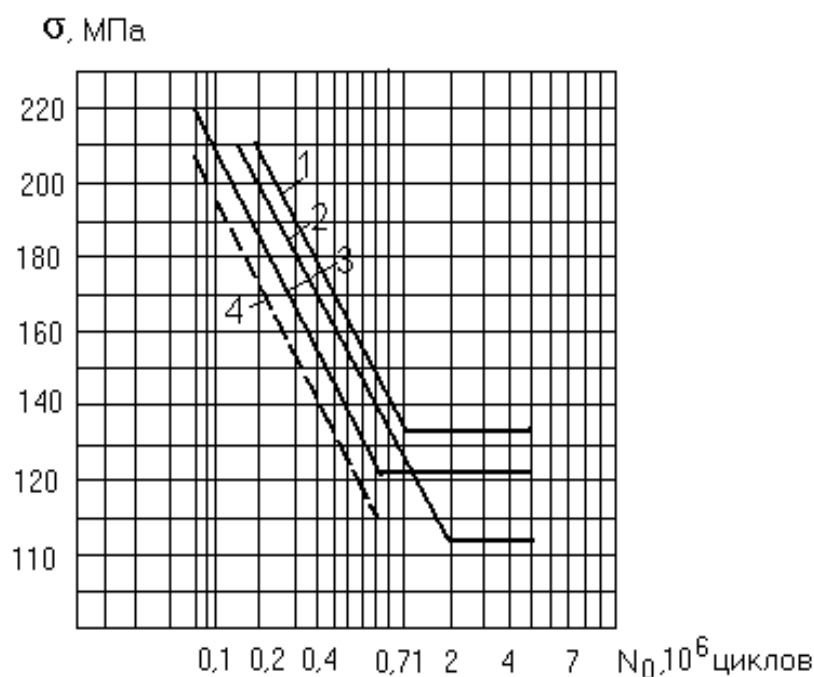
**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»**

E-mail: 79081469891@yandex.ru

Основной задачей разработки технологического процесса изготовления или ремонта является выбор наиболее перспективного способа упрочнения рабочих поверхностей деталей, работающих при динамических нагрузках. К упрочнению рабочих поверхностей деталей, работающих при циклических нагрузках, предъявляются высокие требования: надежное соединение покрытия с основой; высокая и

равномерная твердость поверхности трения; однородная структура покрытия; отсутствие пор, раковин, трещин и других дефектов. Главным требованием к упрочняемым деталям, работающим при знакопеременных и циклических нагрузках, является обеспечение их высокого сопротивления усталости.

К деталям, испытывающим знакопеременные нагрузки у автомобиля, относятся: коленчатый вал, поршневые пальцы, распределительный вал, кулачковый вал ТНВД, полуоси, валы коробок передач, поворотные цапфы и т. д. Из всех перечисленных деталей, работающих при циклических нагрузках, в наиболее жестких условиях работает коленчатый вал. Для него возможны различные способы упрочнения. Данная деталь является наиболее ответственной, от долговечности которой зависит ресурс двигателя. В основном долговечность рабочих поверхностей определяется износостойкостью и сопротивлением усталости. В значительной степени износостойкость определяется твердостью рабочих поверхностей, которая регламентируется ТУ и в большинстве случаев может быть в пределах 52 ... 56 HRC. Сопротивление усталости деталей должно соответствовать нормативному значению и не выходить за границы безопасности. Так, в работе [1] представлено сопротивление усталости для коленчатого вала двигателя СМД-14, где кроме сопротивления усталости нового и предельно изношенного, показаны границы безопасности для восстановленного вала (рис. 1), определенные эмпирическим путем.



σ – временное сопротивление усталости; N_0 – число циклов нагружения;
 1 – нового вала; 2 – восстановленного наплавкой; 3 – предельно изношенного;
 4 – границы безопасности для восстановленного вала

Рисунок 1 – Сопротивление усталости коленчатого вала СМД-14

Сопротивление усталости деталей определяется такими факторами как: физико-химические свойства материала, из которого она изготовлена; наличие трещин и микротрещин в изделии; наличие остаточных растягивающих или сжимающих напряжений в покрытии после его нанесения на поверхность. При наличии остаточных растягивающих напряжений могут возникнуть трещины в покрытии, которые с течением времени переходят в основу, тем самым способствуя уменьшению сопротивления усталости детали в целом.

Для упрочнения валов возможно использование различных методов наплавки, в том числе, вибродуговой, наплавки в среде углекислого газа, автоматической наплавки под слоем флюса и др. Однако наплавка не позволяет удовлетворить всем вышеперечисленным требованиям вследствие своих недостатков.

К недостаткам наплавки можно отнести выгорание легирующих элементов в процессе расплавления наплавляемого материала, насыщение металла сварочного шва окислами и шлаковыми включениями, сильный перегрев металла электрической дугой. Кроме того, применение указанных способов наплавки вызывает значительную деформацию деталей, особенно стальных, а для ее устранения необходима правка на прессе. Все это усложняет технологию, ухудшает структуру наплавленного слоя металла, способствует появлению трещин в зоне сварочного шва, значительно снижает сопротивление усталости и, как результат, приводит к поломкам в процессе эксплуатации [2, 3]. Сопротивление усталости и износ шеек коленчатого вала при различных способах наплавки представлены в таблице 1.

Представленная таблица 1 показывает, что сопротивление усталости на примере коленчатого вала, восстановленного наплавкой, падает до 32 ... 82 % от значений сопротивления усталости нового коленчатого вала, а износостойкость возрастает на 23 %, а в некоторых случаях более 100 %.

В НПФ "Плазмацентр" разработан новый технологический процесс плазменной наплавки-напыления. Данный процесс основан на том, что на поверхность действуют одновременно основная дуга (горящая между электродом и изделием) и косвенная дуга (горящая внутри плазмотрона между электродами плазмотрона). Данный процесс позволяет, используя достоинства методов наплавки и плазменного напыления, повысить качество получаемых покрытий.

Сущностью данного процесса является то, что он обеспечивает использование косвенной дуги для расплавления наносимого порошка, а основная дуга применяется для поддержания необходимой температуры частиц порошка. Тем самым покрытие полностью проплавляется, что способствует максимальному

сцеплению и уплотнению частиц с минимальным перегревом поверхности детали и уменьшению коробления детали.

Процесс плазменной наплавки-напыления наиболее часто используют для наплавки автомобильных и судовых клапанов, различных экструдеров и шнеков, посадочных мест деталей арматуры, при нанесении износостойких покрытий на основе карбидов вольфрама и др. [3, 6]. При контроле температуры напыляемой поверхности данный процесс перспективен для использования его при восстановлении коленчатых валов.

Таблица 1 – Сопротивление усталости и износ шеек коленчатого вала при различных способах наплавки

Способ наплавки	Сопротивление усталости		Износ			
	процент сопротивления усталости	коэффициент запаса сопротивления усталости	шатунных шеек		коренных шеек	
			отнесенный к 1000 км пробега, мкм	процент к износу нового изделия	отнесенный к 1000 км пробега, мкм	процент к износу нового изделия
ШТ	82	1,4	4,5	81,7	4,3	61,3
П	64	1,1	–	–	–	63
Г	57	0,97	–	45	–	60
Ш	32	0,54	4,5	81,7	4,3	61,3
В	57	0,97	25	450	32	457

Примечания:

1) Коэффициент запаса сопротивления усталости нового вала равняется 2, а процент сопротивления усталости – 100%;

2) П – наплавка электродуговая порошковой проволокой в два слоя; В – вибродуговая наплавка в водокислородной среде; Г – электродуговая наплавка проволокой под флюсом по металлической оболочке; Ш – электродуговая широкослойная наплавка малоуглеродистой проволокой с добавлением в зону горения дуги ферромагнитной шихты; ШТ – тем же способом с последующим высокотемпературным отпуском при 650°C в течении 3 ч

Вследствие различия коэффициентов линейного расширения материалов покрытия и основы при остывании в покрытии возникают остаточные напряжения, которые могут вызвать их растрескивание и нарушение нормальной эксплуатации деталей. Кроме того, данный процесс имеет недостатки, связанные с неравномерностью нагрева вала на начальных и конечных участках поверхностей напыления, что способствует снижению качества покрытий и сопротивления усталости.

При наращивании рабочих поверхностей сложнопрофильных и крупногабаритных деталей, например, таких как коленчатый вал, для обеспечения равномерности температурного поля на его поверхности и снижения остаточных напряжений целесообразно наплавлять шейки в определенной последователь-

ности от средней шейки, либо предварительно подогреть и охлаждать медленно вместе с печью. Это усложняет процесс упрочнения и наращивания.

Предлагается использовать выносную дугу с модуляцией электрических параметров [4, 5]. Модуляция электрических параметров заключается в наложении импульсов тока, создаваемых от заряда, накопленного в емкости конденсатора, на постоянный ток дуги. Заряд и разряд осуществляются открытием и закрытием тиристорного моста, в который заключена емкость конденсатора [7].

При нанесении покрытий на поверхность на прямую выносную дугу на первоначальном этапе накладываются импульсы такой мощности, чтобы они предварительно подогрели деталь на первых нескольких витках наплавки. На следующих витках мощность импульсов постепенно уменьшается до такого значения, которое поддерживало бы температуру примерно на одном уровне.

Использование предложенных технологических приемов для упрочнения рабочих поверхностей на примере двигателя КАМАЗ-740 позволило выявить и рекомендовать следующие технологические режимы: для шатунных шеек скорость напыления $V = 0,15$ м/с; тепловая эффективная мощность плазмотрона $q = 1000$ Вт; шаг витков $H = 0,004$ м; температура предварительного подогрева поверхности, обеспечиваемая за счет импульсной модуляции $T_{\Sigma пред. мод} = 486$ °С; максимальная температура поверхности основы $T_m = 559 \dots 575$ °С; для коренных шеек скорость напыления $V = 0,597$ м/с; тепловая эффективная мощность плазмотрона $q = 1000$ Вт; шаг витков $H = 0,0031$ м; температура предварительного подогрева поверхности, обеспечиваемая за счет импульсной модуляции $T_{\Sigma пред. мод} = 500$ °С; максимальная температура поверхности основы $T_m = 481 \dots 662$ °С.

Использование предлагаемой технологии сдерживается трудностями разработки и усовершенствования оборудования для нанесения покрытия. К каждой конкретной детали необходимо подбирать плазматрон по габаритным размерам. Наличие дополнительной прямой дуги требует усовершенствовать его конструкцию. При усовершенствовании и конструировании плазмотрона, необходимо учитывать термическое влияние дополнительной дуги. Кроме того, усложняется выбор технологических режимов, так как для каждой конкретной детали и покрытия необходимо подбирать режимы модуляции [8, 9].

Проанализировав изложенный материал можно сделать вывод о том, что к наиболее перспективным методам нанесения покрытий относится методы одновременного нанесения и упрочнения покрытия с помощью модуляции дополнительной выносной дуги плазмотрона. Развитие использования метода

требует проведения дальнейших исследований и разработки технологических рекомендаций при нанесении покрытий.

Библиографический список

1 Доценко, Н. И. Восстановление коленчатых валов автоматической наплавкой [Текст] / Н. И. Доценко – М. : Транспорт, 1965. – 68 с.

2 Доценко, Н. И. Восстановление коленчатых валов автомобилей электроимпульсной наплавкой [Текст] / Н. И. Доценко – М. : Транспорт, 1968. – 58 с.

3 Тополянский, П. А. Плазменные технологии нанесения покрытий [Текст] / П. А. Тополянский // Сварщик № 3, 2002 г. – С. 10-11.

4 Кадырметов А. М., Винокуров А. В., Бухтояров В. Н. Электрическая схема устройства для получения импульсов мощности дуги плазматрона при напылении [Текст] // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса : Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж : ВГЛТА, 2002. – С. 136-140.

5 Kadyrmetov, A. M. Intensification of energy exchange in a heterogeneous plasma jet by modulation of the electric parameters of the plasma-spraying process [Electronic resource] / A. M. Kadyrmetov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2013. – July. – Vol. 86. – № 4. – pp. 789-797 – Access mode : www.springerlink.com/openurl.asp?Genre=article&id=doi:10.1007/s10891-013-0896-x.

6 Пузряков, А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления : Учеб. пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпози- тов» [Текст] / А. Ф. Пузряков. 2-е изд., перереб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 360 с.

7 Патент № 2211256 RU, МПК 7 С 23 С 4 / 12. Способ нанесения покрытия / Д. И. Станчев, А. М. Кадырметов, В. Н. Бухтояров, А. В. Винокуров (РФ); Ворон. гос. лесотехн. акад (РФ). 2001115118 / 02; Заявлено 04.06.2001; Опубл. 27.08.03.– 9 с. Бюл. 2003. № 24.

8 Бухтояров, В. Н. Технология восстановления цилиндрических поверхностей валов плазменным напылением с одновременным оплавлением выносной модулируемой дугой (на примере коленчатого вала) [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / В. Н. Бухтояров / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2003. – 16 с.

9 Кадырметов, А. М. Теоретические основы и технологическое обеспечение качества плазменного нанесения и упрочнения покрытий модуляцией электрических параметров [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.07, 05.02.08 / А. М. Кадырметов; ВГЛТА. – Воронеж, 2013. – 32 с.