

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НАНОСИМЫХ НА ДЕТАЛИ ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, профессор,
 Сидашенко А.И., канд. техн. наук, профессор, Харьяков А.В., инженер,
 Науменко А.А., канд. техн. наук
 (Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
 имени Петра Василенка)

В работе приведены результаты исследований по выбору порошковых композиций для нанесения износостойких покрытий на шейки коленчатых валов и шипы крестовин карданных валов. Рассмотрены особенности их формирования.

Условия эксплуатации машин и оборудования предъявляют высокие требования к качеству, надежности и долговечности их деталей, особенно при техническом обслуживании и ремонте. По мере износа деталей уровень их свойств, как правило, снижается. Это связано с тем, что при износе рабочей поверхности имеет место некоторый спад твердости по сечению рабочего слоя и снижение физико-механических свойств, в процессе эксплуатации деталей, а также накопление и развитие повреждаемости.

Для обеспечения необходимых потребительских свойств деталей и стабильной работы машин и оборудования необходимо обеспечить получение в процессе их ремонта высокого качества рабочего слоя. Это возможно путем выбора эффективных материалов, параметров и технологии восстановления, которые бы не оказывали влияния на изменение линейных размеров при обработке, не требовали бы последующей правки, не изменяли структуры и свойств материала детали (в том числе и предварительно упрочненной сердцевины) и обеспечивали необходимые условия эксплуатации сопряжения.

К числу наиболее эффективных технологических процессов восстановления деталей, в первую очередь, относятся способы с использованием высококонцентрированных источников энергии - лазерная, плазменная, электроннолучевая и электроискровая обработки, которые не приводят к структурным и физико-механическим изменениям в подслое. Кроме того, применение этих методов, благодаря локальному нагреву поверхностного слоя, не снижают усталостной прочности восстанавливаемых деталей и обеспечивают получение необходимого по толщине слоя покрытия. У 90% деталей, особенно работающих в сопряжении, величина износа не превышает 1,0 – 1,5мм.

Наиболее доступным, с точки зрения оборудования и стоимости обработки, является плазменно-порошковый метод, который позволяет производить нанесение слоя компенсирующего износ покрытия до 2,0мм на радиус детали и не требует специальной экологической защиты. Этот метод особенно эффективен для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, таких как ко-

ленчатые валы автотракторных двигателей и крестовины карданных валов. При нанесении покрытий этим способом имеет место быстрый, локальный разогрев детали который не приводит к ее короблению из-за перегрева.

Нанесение восстановительного покрытия этим методом может быть использовано на различных ремонтных участках и специализированных предприятиях, поскольку оборудование легко монтируется на базе любого вращателя (металлорежущего станка).

Наибольшая эффективность применения плазменного метода достигается за счет использования плазменной дуги в качестве источника тепла для предварительной обработки поверхности детали в сочетании с последующим нанесением восстановительного покрытия. Поэтому направление работ, связанное с обеспечением высокого качества восстановления деталей сельскохозяйственных машин и оборудования при использовании относительно недорогого и недефицитного оборудования, является важным и актуальным.

Целью работы являлось повышение долговечности наиболее ответственных деталей путем разработки эффективного материала и параметров технологии нанесения восстановительных покрытий с использованием плазменного метода.

Выбор композиции для восстановительных покрытий осуществляли для коленчатых валов (сталь 45) и крестовин карданных валов (сталь 30ХГТ).

При изготовлении коленчатые валы из стали 45 проходят термообработку по режиму: нормализация 850 - 870°C (выдержка в печи 2,5 – 3 ч) для формирования необходимых свойств сердцевины; затем закалка ТВЧ при 820 - 840°C, отпуск 550 - 600°C (выдержка в печи 2,5 – 3 ч). В закаленном ТВЧ слое структура представляет собой мелконгольчатый мартенсит. В переходном слое – троостомартенсит и троостит в виде сетки. После нормализации сердцевина вала состоит из сорбита и феррита.

К коленчатым валам предъявляются следующие технические требования. Микроструктура слоя термически обработанного вала должна быть однородной, мелкозернистой, не обезуглероженной (без прослоек и сетки феррита на расстоянии не менее 8 мм от поверхности шейки).

Твердость шеек более 52 HRC. Глубина упрочненного слоя не менее 2,5мм; $\sigma_s = 830 - 850$ МПа.

Предел выносливости $\sigma_{-1} \geq 110$ МПа.

Шипы крестовин помимо циклических нагрузок, дополнительно испытывают и ударные. Поэтому на их рабочей поверхности после эксплуатации остаются вмятины от роликов игольчатых подшипников. Износ этих деталей значительный (до 1,0 мм) и неравномерный. Они должны обладать повышенной вязкостью и хорошо сопротивляться истиранию. При изготовлении такие детали подвергаются цементации. Глубина цементованного слоя составляет 0,6...1,0мм, а твердость должна соответствовать 57...65HRC.

Требования к рабочей поверхности: отсутствие резкого перехода от цементованного слоя к сердцевине. В наружной зоне цементованного слоя не должно быть сплошной цементитной сетки [1].

Исходя из требований, предъявляемых к коленчатым валам и крестови-

нам карданных валов подбирали порошковые композиции [2], которые бы по уровню свойств при восстановлении были близки к новым деталям. В связи с этим оценивали влияние состава и параметров нанесения покрытий плазменно-порошковым методом на угар химических элементов. Покрытие наносили смесью порошковых композиций на основе железа, легированных хромом, никелем и молибденом (табл. 1).

Таблица 1

Содержание компонентов в используемых порошках

Марка порошка	Содержание компонентов, %.								
	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	B	Mo	Cu
ФМИ-2	Осн.	0,77	2,62	4,49	10,43	-	2,87	-	-
ПЖН4Д2М	Осн	0,054	0,05	0,1	-	3,62	-	0,5	1,68

Для исследований использовали вырезанные из деталей образцы, которые подвергали отжигу для стабилизации структуры и снятия напряжений после эксплуатации.

Сопоставительными исследованиями нанесения покрытий с использованием различной доли приведенных порошковых материалов установлено [2], что для удовлетворения требованиям технических условий наиболее эффективной является композиция, состоящая из 40%ФМИ – 2 + 60%ПЖН4Д2М, что обеспечивает достижение требуемой твердости равной 52 – 55 HRC.

Для обеспечения требований по твердости рабочего слоя крестовин на уровне 57 – 65HRC рекомендовано для покрытия использовать порошковую композицию, состоящую из 50% ФМИ – 2 + 50% ПЖН4Д2М.

Выполнен анализ влияния температурных параметров обработки. Определено [3], что при обработке током в интервале значений 120 – 150 А падение концентрации всех элементов было существенным: для Ni составило 29,47%, а Cr – 26,53%. При нанесении покрытий по режиму: ток в диапазоне 150 – 180 А величина угара легирующих элементов, изменяется незначительно, и они распределяются по сечению покрытия более равномерно. В этом интервале температур, концентрация химических элементов снижалась, по сравнению с первым (ток 120 – 150А), незначительно и не превышала 0,58% и 5,55% для Ni и Cr соответственно.

Покрытия, состоящие из оптимальных соотношений порошковых композиций для коленчатых валов (40% ФМИ – 2 + 60% ПЖН4Д2М) и крестовин карданных валов (50% ФМИ – 2 + 50% ПЖН4Д2М) обеспечивают однородную структуру с дисперсными дендритами без видимых пор, трещин и частиц нерасплавленного порошка. Основной структурой покрытия является аустенит с небольшой долей феррита и карбидами.

Электронно-микроскопическими исследованиями [4] с применением микродифракционного анализа, а также микрорентгеноспектральным анализом выявлен тип формируемых фаз и содержание легирующих элементов в карбидной фазе покрытия. Упрочняющей фазой являются дисперсные специальные карбиды $(Cr, Fe)_{23}C_6$ и карбиды цементитного типа $(Fe, Cr)_3C$. Доля упрочняю-

шей фазы в покрытиях оптимального состава равна 6 – 8%.

Установлено, что в специальных карбидах $(Cr, Fe)_{23}C_6$ содержание Cr достигает около 44,0%, а в карбидах цементитного типа $(Fe, Cr)_3C$ – его доля не превышает 13% [4].

Исследования показали [5], что износостойкость данного покрытия на 68% выше, чем у деталей, изготавливаемых по существующей технологии.

Также методом рентгеноструктурного анализа (табл. 2) было установлено, что в покрытии формируются структура мартенсита, остаточного аустенита, феррита, а также выделяются карбиды и нитриды (Fe_2N) .

Методом планирования эксперимента, согласно плану 2^2 (табл. 3) также оценена величина переходной зоны (ее однородность) в зависимости от параметров обработки для варианта нанесения покрытий с предварительным отжигом плазменной струей поверхности обрабатываемой детали при $t = 850^\circ C$.

Количество аустенита определяли по формуле

$$C_\gamma = \frac{300 \cdot \rho_\gamma / \rho_a}{3 \cdot \rho_\gamma / \rho_a + 2}, \%$$

где ρ_γ - количество фазы γ Fe, ρ_a - количество фазы α Fe.

До эксплуатационных испытаний C_γ составило – 50%, после испытаний C_γ – 15%.

Таблица 2

Результаты рентгеноструктурного исследования

Угол скольжения, град	Интенсивность линий	Угол дифракции, град	Расстояние между линиями	Фазы, интенсивность линий
2 Θ	l	Θ	d	Φ
53,2	слабая	26,6	2,558	Fe_3O_4 (2,53) 100
65,5	средняя	32,75	2,1174	Fe_3O_4 (2,10) 32
89,5	средняя	44,75	1,6270	Fe_3O_4 (1,61) 64
126	средняя	63	1,2856	Fe_3O_4 (1,279) 20
145	сильная	72,5	1,2010	Fe_3O_4 (1,21) 5
148	сильная	74	1,1916	
			2,02	α - Fe
			2,08	γ - Fe
			1,80	γ - Fe
			1,43	α - Fe Fe_3O_4 (1,48) 80
			1,28	γ - Fe
			1,17	α - Fe

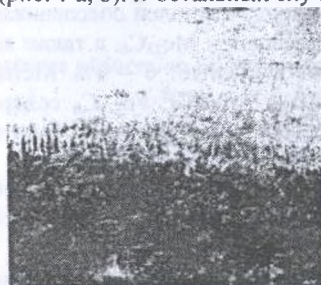
Матрица планирования эксперимента 2²

Номер режима	Скорость вращения детали V , об/мин	Величина силы тока $I_{св}$, А	Протяженность переходной зоны, L , мкм
1	+1 (3,8)	+1 (260)	50
2	-1 (2,8)	-1 (200)	160
3	+1 (3,8)	-1 (200)	250
4	-1 (2,8)	+1 (260)	95

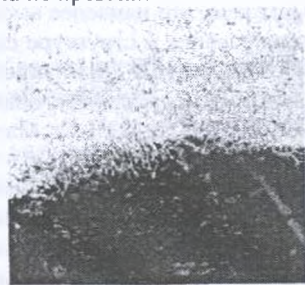
На основе экспериментальных исследований получено уравнение регрессии:

$$L = 138,75 + 11,25 \cdot V - 6,26 \cdot I - 67,5 \cdot V \cdot I.$$

Из приведенных данных видно, что при предварительном подогреве увеличение скорости обработки приводит к росту неоднородности структуры, а увеличение силы тока ее уменьшает. Анализ микроструктуры выявил, что при скорости обработке 3,8 об/мин и силе тока 200 А имеет место максимальная неоднородность структуры (оценивали по наличию в ней доли карбидов) в переходной зоне. В этом случае она характеризуется протяженностью от 150 до 250 мкм (рис. 1 а, б). В остальных случаях такая зона не превышает 50 – 160 мкм.

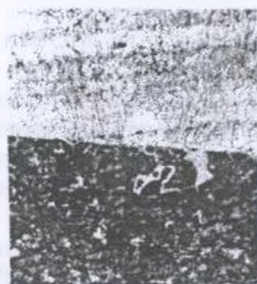


а



б

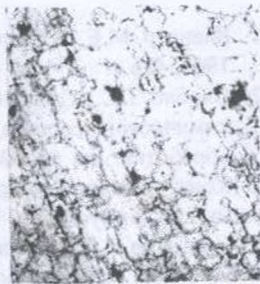
Рис. 1 Микроструктура переходной зоны образцов шеек коленчатых валов, восстановленных по режиму 3 ($\times 100$).



а



б



в

Рис. 2 Микроструктура переходной зоны образцов шеек коленчатых валов восстановленных по режиму 2. (а, б $\times 100$, в $\times 500$).

При минимальных значениях таких параметров выявлены лишь отдельные зоны по формированию карбидной фазы в основном металле (рис. 2 а, б) и глубина их формирования от границы раздела покрытие – основной металл находится в пределах 30 – 160 мкм. Кроме того, на границе формировалась прерывистая карбидная полоса размером ~ 20 мкм, которая может снижать прочность сцепления.

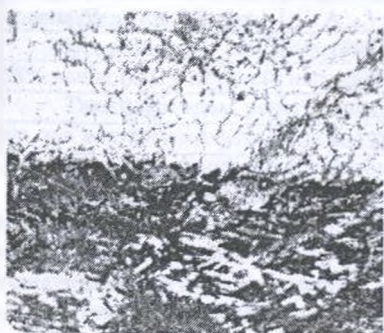


Рис. 3 Микроструктура переходной зоны образца шейки коленчатого вала восстановленного по режиму Г (× 100).

Структура покрытия дендритная. Четко выявляется карбидная сетка по границам ветвей дендритов (рис. 2 в).

При максимальных значениях скорости обработки ($V=3,8$ об/мин и $I=260$ А) зона сплавления не ровная, карбидные включения в переходной зоне не превышают 50 мкм, а в покрытии отсутствует четко выраженная дендритная направленность (рис 3).

Выводы.

Показано, что наиболее высокая износостойкость деталей обеспечивается при формировании в структуре специальных карбидов и $Me_{23}C_6$, а также легированного цементита. Доля упрочняющей фазы составляет 6 – 8%. Методом микрорентгеноспектрального анализа установлено, что $(Cr, Fe)_{23}C_6$ содержит 43,9% Cr, $(Fe, Cr)_3C$ – 13% Cr. Матрица представляет собой феррито-перлитную структуру.

Методом рентгеноструктурного анализа показано, что в покрытиях нанесенных плазменно-порошковым методом формируются структуры мартенсита, остаточного аустенита, феррита, карбиды и нитриды (Fe_2N).

Установлено, что оптимальными параметрами обработки для нанесения покрытий на шейки коленчатого вала СМД – 60 (Сталь 45, Ø 86мм) являются: ток $I = 230$ А, скорость вращения детали $V=2,8$ об/мин, температура предварительного подогрева $T = 200^\circ C$.

Список литературы

1. Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка. М.: Машгиз, 1963, 416 с.
2. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Харьяков А.В., Науменко А.А. Влияние химического состава порошковых композиций и параметров плазменной обработки на свойства покрытий при восстановлении деталей // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Випуск 35. - Кіровоград: КНТУ. – 2005. – С. 383 – 388.
3. Харьяков А.В. Исследования влияния режимов плазменно-порошковой наплавки на качество восстановления крестовин карданных валов. Вестник Национального технического университета «ХПИ» Тематический сборник научных работ «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2001. - № 15. – С. 66 – 72.

4. Харьяков А.В. Особенности формирования восстановленного слоя при плазменно-порошковой наплавке коленчатых валов двигателей СМД – 60. . Вестник Национального технического университета «ХПИ» Тематический сборник научных работ «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2000. - № 81. – С. 51 – 52.
5. Скобло Т.С., Сидашенко А.И, Харьяков А.В.Мартыненко А.Д. Износостойкость коленчатых валов тракторных двигателей. Труды 8 – й международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии». Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003. – С. 163 – 166.

Анотація

Особенности формирования структуры износостойких покрытий, которые наносятся на детали из среднеуглеродистых и низколегированных сталей

У роботі приведені результати досліджень по вибору порошкових композицій для нанесення износостойких покриттів на шийки колінчастих валів і шпильки хрестовин карданних валів. Розглянуті особливості їх формування.

Abstract

Features of forming of structure of wearproof coverages inflicted on a detail from middlecarbon and low alloyed steels

In work the results of researches are resulted on the choice of powder-like compositions for causing of wearproof coverages on the necks of crankshafts and thorns of cross-pieces of cardan billows. The features of their forming are considered.