

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ
ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ**

**Скобло Т.С., д.т.н., проф.; Демченко А.Л., Пасько Н.С.,
асп.; Мартыненко А.Д., к.т.н., доц.; Сайчук А.В., инж.**

*Харьковский национальный технический университет сельского
хозяйства имени Петра Василенко*

Олейник А.К., к.т.н.

ГП “Завод им. В.О. Малышева”

В работе рассмотрена возможность повышения долговечности сопряжения гильза-поршневое кольцо путем поверхностного модифицирования зеркала гильзы нанесением шликерного покрытия из различных порошковых композиций лазерным лучом и последующей обкаткой упрочненной поверхности

К известным методам поверхностного упрочнения, которые широко используются при реновации деталей относится нанесение покрытий, закалка ТВЧ, поверхно-пластическая деформация, комбинированные методы (ВТМО+НТМО) и др. При этом для нанесения покрытий, как правило, используют дорогостоящие материалы, содержащие различные легирующие компоненты, а также высокочрезвычайно затратные технологии закалки ТВЧ с последующим печным отпуском.

Для сокращения расходов при нанесении покрытий целесообразно использовать новые технологии, которые бы обеспечивали снижение затрат на реновацию деталей. В последние годы используются различные добавки в масло при обкатке двигателя. К их числу относят MoS_2 , SiO_2 и др. окислы. Однако после обкатки масло нуждается в очистке или замене. Кроме того, достигаемый эффект аморфизации поверхности трения обеспечивается лишь в период приработки. Учитывая эти недостатки, целью работы является изучение возможности использования при реновации нанесение покрытий лазерным лучом на основе ферросплавов (Fe-Cr) с добавкой графита и окислов (SiO_2), а также шлаков (отходов ферросплавного производства SiMn) для получения стойкого эффекта во всем периоде эксплуатации.

Для решения поставленных задач необходимо:

- рассмотреть диаграмму Fe-Cr-C и определить возможность получения заданной структуры металла и соотношение компонентов в покрытии;

- выполнить анализ шлаков с определением окислов, входящих в его состав;

- определить метод нанесения шликерного покрытия и способы обработки;

- оценить эффективные параметры нанесения покрытия;

- провести испытания на износ и изучить поверхность трения при использовании модифицирующих присадок ферросплава и шлаков на ее свойства;

- установить целесообразность дополнительного использования поверхностно-пластической деформации для упрочнения рабочей поверхности.

В последние годы для упрочнения гильз цилиндров, особенно с большой толщиной стенки, не эффективно использовать закалку ТВЧ. Это, с одной стороны, увеличивает брак из-за наличия больших термический напряжений, а с другой - требует проведения печного отпуска после заковки.

Поэтому ряд предприятий при обработке массивных гильз цилиндров перешли на закалку зеркала с использованием лазерного луча. Учитывая использование такой технологии, исследовали возможность дополнительного упрочнения рабочей поверхности предварительным нанесением шликерных покрытий по различным вариантам (табл. 1).

Таблица 1. Параметры обработки и состав покрытий

№ образца	Маркировка образца	Мощность лазерного луча, кВт	Состав покрытий	Дополнительное упрочнение
1	Д80-1	0,75	FeCr+SiO ₂ +C	Обкатка
2	Д80-2	0,9	SiO ₂	-
3	Гч-150	1,0	Шлак	Обкатка
4	Гч-120	1,1	Шлак	Обкатка
5	Д80-8	1,3	SiO ₂	Обкатка
6	Гч-3	1,0	-	-

1. FeCr+SiO₂+C с последующей обкаткой после оплавления лазерным лучом;

2. SiO₂ обработка лазерным лучом;

3. SiO₂ с последующей обкаткой после оплавления лазерным лучом;

4. Шлак (покрытие) с обкаткой;

5. Шлак (покрытие) с обкаткой;

6. Исходный образец после лазерной обработки с добавлением SiO_2 в масло М14В₂. Количество вводимой пылевидной присадки SiO_2 составляло 0,1%, и вводили ее в масло при испытании исходного образца методом окунания подвижного контртела.

Такая схема обработки образцов 4 и 5 была выбрана для проверки влияния параметров лазерного луча (отличаются плотностью мощности).

Для исследований по упрочнению использовали ролики с наружным диаметром \varnothing 55 мм и высотой 12 мм, внутреннее отверстие 16 мм. Их вырезали из гильзы цилиндра (серый чугун состава: 2,8-3,1% С; 0,8-1,1% Мн; 1,8-2,1% Si; 0,9-1,2% Ni; 0,3-0,65% Cr, 0,5-0,7% Мо; 0,10-0,15% Р; \leq 0,12% S, 0,3-0,4% Cu). Микроструктура чугуна - перлит с пластинчатым графитом. Твердость чугуна 101-103 HRB. Ролики испытывали на износ в сопряжении с колодочками размером 8x8x10 мм, вырезанными из хромированных электролитическим методом поршневых колец. Толщина хромированного слоя составляла 210-220 мкм, а его микротвердость достигала 7-7,5 Гпа. В процессе испытаний использовали масло М14В₂.

При обработке для различных роликов мощность лазерного излучения изменяли в пределах 0,5-1,3 кВт, а скорость их вращения – $n=1-3$ мин⁻¹. Исследованиями установлено, что при мощности лазерного излучения менее 0,6 кВт отмечается лишь частичное оплавление шликерного покрытия, а более 1,3 кВт - нарушение качества поверхности за счет ее оплавления и появления значительной шероховатости (обработка со скоростью 1 об/мин). Обработку производили на лазерном технологическом модуле «Камета-2» диаметром пучка 4 мм. Расплавление присадочного материала шликерного покрытия и металла основы лазерным лучом обеспечивает их расплавление и перемешивание. Такое легирование позволяет получить поверхностный рабочий слой с заданными свойствами без изменения структуры и свойств деталей и экономить дорогостоящие материалы.

Такие широкие пределы использования параметров обработки связаны с тем, что планировали установить степень влияния на износостойкость полного или частичного растворения компонентов и восстановления окислов.

Для модифицирования поверхности использовали смесь: специально-дробленый FeCr, ультрадисперсный (пылевидный) порошок SiO_2 и графит.

Одновременно исследовали возможность использования для упрочнения дробленый шлак, получаемый при производстве SiMn.

Известно [1], что наиболее высокая твердость достигается при формировании дисперсных карбидов типа Me_{23}C_6 . В связи с этим проанализировали диаграмму (рис. 1) состояния Fe-C-Cr (при содержании Cr \approx 70%,

что соответствует 70% FeCr, и до 8% С [2]). Из диаграммы видно, что получение карбида $Cr_{23}C_6$ возможно при использовании такого ферросплава и углерода до 3,9%; при большей концентрации последнего до 6,85% одновременно выделяются карбиды $Me_{23}C_6$ и Me_7C_3 . В интервале концентрации углерода от 6,85 до 8% выделяется только карбиды Me_7C_3 . Руководствуясь этим, и составили порошковую смесь для шликерного покрытия.

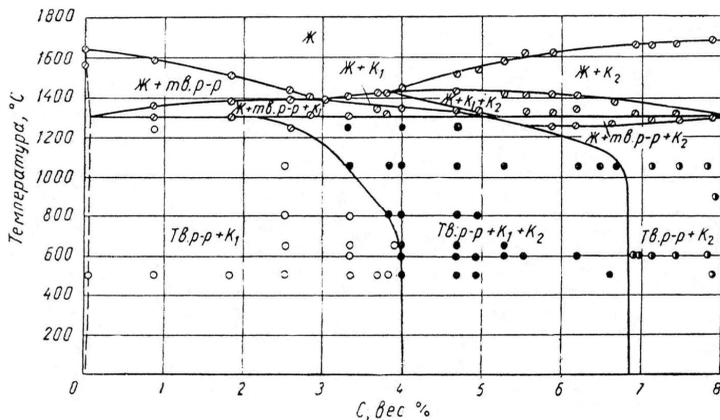


Рис. 1. Политермический разрез системы Fe-Cr-C при содержании ~ 70% Cr и до 8% С, где $K_1 - Me_{23}C_6$; $K_2 - Me_7C_3$

Прежде чем принять решение о целесообразности использования шлака ферросплавного производства, установили его фазовый состав методами петрографии и химического анализа. Исследуемый шлак содержит: $SiO_2 - 45,78\%$; $MnO - 15,24\%$; $CaO - 16,42\%$; $MgO - 7,58\%$; $Al_2O_3 - 11,12\%$, а также Cr_2O_3 и $FeO - 0,70\%$, т.е. основным его компонентом являются окислы кремния, которые входят в состав композиции, а также используются в качестве присадки в масло при обкатке двигателя после реновации деталей.

Перечисленные выше окислы могут образовывать и сложные соединения, такие как монтичеллит ($CaMgSiO_4$), форстерит (Mg_2SiO_4), галасит ($MnAl_2O_4$), тefроит (Mg_2SiO_4), окерманит ($Ca_2MgSi_2O_7$), геленит ($Ca_2Al(SiAlO_7)$), кристобалит (SiO_2), перовскит ($CaTiO_3$) и другие, например, антигорит, гиrolит, манганит.

Эти сложные соединения окислов имеют температуру плавления от $800^\circ C$ до $1890^\circ C$, и применение лазерного нагрева обеспечит их плавление.

Трибологические испытания проводили по схеме: диск-колодочка на машине трения СМЦ-2. Подвижные образцы - диски закрепляли на валу

машины трения, и к ним с помощью нагружающего устройства прижимали колодочки, закрепленные в самоустанавливающейся оправке. Такое нагружение исключало перекосы образцов, что повышало точность и повторяемость результатов испытаний. Испытания проводили по схеме 2 при скорости скольжения 1,3 м/с. Схема испытания приведена на рис. 2.

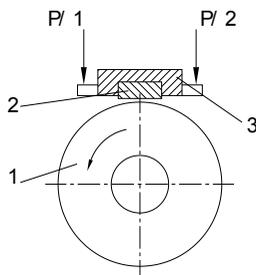


Рис. 2. Схема испытаний образцов пары трения: гильза-поршневое кольцо

Общая нагрузка составляла 1,0 кН. Испытуемые образцы имели шероховатость $Ra=0,32\pm 0,40$ мкм. В процессе испытаний оценивали величину износа весовым методом на аналитических весах как ролика, так и колодочки (табл. 2).

Таблица 2. Определение момента трения при ступенчатом нагружении

№	Маркировка образца	Момент трения при нагрузке, Р кН									
		1-е нагружение					2-е нагружение				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	Д80-1	6	11	15,5	19,5	29,5	5	11	16	21,5	27,5
2	Д80-2	6	11,5	18,5	31	45	5	10,5	15	21	46,5
3	Гч-150	6	12,5	21	32,5	45	3,5	9,5	16	21,5	33
4	Гч-120	5,5	11	17,5	28,0	35,0	4,5	11,5	18	25	31,5
5	Д80-8	6	10,5	15,5	20	23	4,5	10	14,5	20	27,5
6	Гч-3*	6	12	15	18,5	22	5	11	14,5	18	21,5

Испытание проводили ступенчато. Время испытаний на каждой ступени нагружения составляло 75 с. При этом, между первым и вторым нагружением время составляло 15 мин.

При испытании оценивали и коэффициент трения по зависимости:

$$f_{mp} = \frac{2M_{mp}}{P \cdot d},$$

где M_{mp} – момент трения; Р – нагрузка, Н; d – диаметр испытуемого образца, м.

В результате проведенных испытаний сопоставили между собой полученные значения момента трения и оценили влияние параметров лазерной обработки и модифицирования поверхности [3]. Сопоставительно анализировали образцы № 3 и № 4. Они имели одинаковый состав покрытия – шлак Никопольского ферросплавного завода, и оба подвергались обкатке. При этом использовали различную плотность мощности луча. Так, для образца № 3 мощности составляла 1,0 кВт, а для образца № 4 – 1,1 кВт. Как видно из табл. 2, при первом нагружении момент трения у образца № 4, обработанного с повышенной плотностью мощности, является более низким (на ~ 22%) по сравнению с № 3, а при повторном нагружении наблюдается такая же тенденция, и снижение составляет ~ 13,0%. С повышением плотности мощности обработки на 10% момент трения существенно снижается.

Сопоставление образцов с нанесенным покрытием шлаком и исходным выявлено, что последний отличается более низким моментом трения: в первом периоде испытаний на 37%, а во втором этот показатель возрастает, и, в среднем, мало от него отличается. В этих образцах добавка SiO₂ в масло компенсируется окислами, входящими в состав шлака.

Из полученных данных следует, что достижение большого эффекта может быть обеспечено путем обработки с использованием плотности мощности ≥ 1,1 кВт. При такой обработке в большей мере будут усваиваться компоненты шлака.

Сопоставительные испытания образцов № 2 и № 5, имеющих одинаковый состав покрытия – SiO₂, обработанные без и с обкаткой, и различной плотностью мощности лазерного луча, также показали существенное различие. Для образца № 2 мощность составляла 0,9 кВт, а для № 5 – 1,3 кВт, при этом образец № 5 дополнительно подвергался обкатке.

При первом нагружении момент трения у образца № 5 ниже чем у образца № 2 (на ~ 48%), а при повторном нагружении тенденция снижения сохраняется (на ~ 40%) по отношению к образцу № 2. Это связано с большей степенью усвояемости SiO₂ при обработке лучом повышенной плотностью мощности - 1,3 кВт.

Одновременно образец № 2 сопоставляли с исходным – № 6. Мощность обработки образца № 6 составляла 1,0 кВт.

По результатам приведенным в табл. 2, момент трения при первом нагружении практически одинаковый с образцом № 5, а для образца № 2 выше (на ~ 51%). При повторном нагружении момент трения у образца № 6 на ~ 21% ниже по отношению к образцу № 5, и на ~ 53% ниже по отношению к образцу № 2. Из полученных результатов видно, что при обработке лазерным лучом шликерных покрытий следует использовать в 1,3 – 1,5 раза большую плотность мощности, чем при закалке .

Используемая плотность мощности образца № 1, модифицированного FeCr+SiO₂+C, соответствовала 0,75 кВт. Момент трения при первом нагружении этого образца ниже, обработанного только SiO₂ № 2, на ~ 34%. Сопоставляя момент трения образца № 1 с исходным, следует отметить, что они отличаются незначительно. Некоторое отличие в уровне этого показателя может быть отнесено за счет более низкого параметра плотности мощности обработки (0,75 кВт в образце № 1 и 1,0 кВт в исходном).

Выполненный эксперимент показал эффективность использования шликерного покрытия состава FeCr+SiO₂+C для снижения момента трения.

При оценке износостойкости, сопоставительно анализировали образцы № 3 и № 4. Как видно из (табл. 3), износостойкость образца от гильзы № 4 при испытании до 10ч практически не отличается от № 3.

Таблица 3. Испытания на износостойкость

№ образцов	Маркировка образца	Износ ролика, мг при испытаниях, ч				Износ колодочки, мг при испытаниях, ч			
		2	3	5	10	2	3	5	10
1	Д80-1	1,2	0,1	0,4	1,7	0	0,1	0,1	0,2
2	Д80-2	0,6	0,4	0	1,0	0,9	0,7	-	1,6
3	Гч-150	0,6	0,5	0,8	1,9	0,4	0	0,2	0,6
4	Гч-120	-	-	1,8	1,8	0,4	0	0,8	1,2
5	Д80-8	0,9	0,1	0,4	1,4	0,3	0,6	0	0,9
6	Гч-3	0,8	0,9	0,6	2,3	0,1	0,3	0,6	1,0

При испытании в паре трения гильза - колодочка износостойкость последней с образцом № 3 меньше ~ на 50%, чем № 4, что вероятно связано с формированием более шероховатой поверхности ролика, обработанного с большей плотностью мощности. При сравнении образцов с исходным, выявлено, что в первом случае у обоих образцов износостойкость выше ~ на 17%, износостойкость колодки № 3 выше на ~ 40% по сравнению с исходной, а № 4 ниже на ~ 16%, что связано с повышенной склонностью этого образца к выкрашиванию.

Результаты испытаний № 2 и № 5 с нанесенным шликерным покрытием из SiO₂ показали следующие результаты. В первом случае износостойкость у № 2 выше, чем у № 5 на ~ 28%. При оценке износостойкости колодочек наблюдается противоположная тенденция: износостойкость у № 5 выше, чем у № 2 ~ на 43%. Дальнейшее сравнение с исходным образцом показало, что при испытаниях ролика образца № 2 износостойкость ниже ~ на 56%, по сравнению с образцом № 5. Износостойкость колодочки исходного по сравнению с образцом № 5 практически одинакова, меньше на 10%, а № 2 ниже исходного на ~ 37%.

Сопоставление износостойкости образца № 1 с исходным показано, что при испытании ролика № 1 имеет место повышение износостойкости на ~ 26%, а у колодочки наблюдается такая же тенденция, т.е. износостойкость возрастает на 80%.

В результате проведенных исследований выявлено положительное влияние применения технологии обкатки для повышения износостойкости модифицированной поверхности, и особенно, сопрягаемой детали.

Показано, что применение комплексной технологии нанесения шликерного покрытия при обработке лазерным лучом обеспечивает модифицирующий эффект рабочей поверхности на протяжении всего периода эксплуатации.

Для того, чтобы определить состояние поверхности трения, использовали макроустановку, метод рентгеноструктурного анализа. Оценивали твердость методом Роквелла. Наибольшую твердость имеют ролики, упрочненные FeCr+C+SiO₂, и она составляет 55-59 HRC (в среднем 57 HRC). При этом колебания в показаниях не превышали 3,5%. Несколько более низкую твердость имеют ролики после упрочнения шлаками 37-42 HRC (среднее значение 39 HRC). При этом не выявлено существенной разницы в использовании плотности мощности лазерного луча 1,0 и 1,1 кВт. Замеры твердости и испытания на износ этих вариантов нанесения покрытий производили после упрочняющей обкатки. Вместе с тем установлено, что при обработке лучом меньшей мощности износ больший, и отклонения в уровне твердости достигают 7,69%. При обработке лучом 1,1 кВт разброс значений твердости не превышает 5,1%.

При нанесении шликерного покрытия из SiO₂ или введении его в масло в виде присадочного материала в меньшей мере упрочняют рабочую поверхность (твердость составляет 11-29 HRC, а разброс значений достигает 7-31%).

Установлено, что поверхность трения упрочненного ролика наиболее однородна у образцов № 1 и № 4 (рис. 3).

Рентгеноструктурным анализом после испытаний образцов на износ показано, что при модифицировании поверхности FeCr+C+SiO₂ формируется α-Fe, γ-Fe (до 30%) и карбиды. При использовании покрытия со шлаком доля остаточного аустенита существенно повышается до 50-60%, а также формируются α-Fe и карбиды.

В покрытии на основе SiO₂ выявляется в качестве основной фазы α-Fe, и соединения FeSi₂, следы γ-Fe и Fe₃C.

В исходном состоянии основой также является α-Fe, остальных фаз (γ-Fe и Fe₃C) выявлены следы.

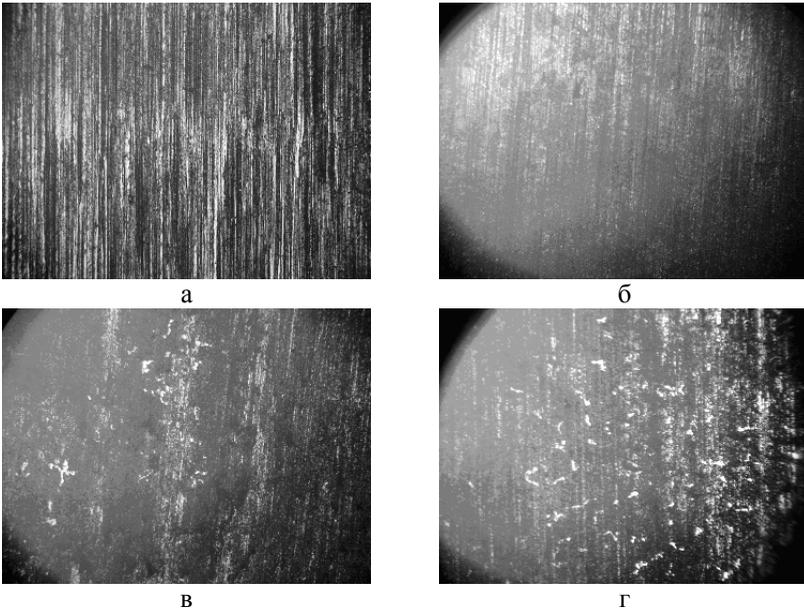


Рис. 3. Макроструктура поверхности трения: а – образец № 1; б - образец № 4; в – образец № 5; г – образец № 6.

В результате поведенного анализа показана целесообразность поверхностного упрочнения гильз цилиндров хромированием, а также легированием с использованием шлаков ферросплавного производства. Применение таких покрытий, нанесенных лазерным лучом с использованием последующего упрочнения обкаткой, позволяет повысить твердость и износостойкость рабочей поверхности в 1,6-2,0 раза.

Список использованных источников

1. Чупраков И.Ю., Осинцева Л.Л. Легирование поверхности металлов при лазерной обработке: Обзор № 3612/ЦНИИТЭИ – М., 1984. – 56 с.
2. Олейник А.К. Влияние ультрадисперсных окислов на характеристики трения деталей двигателей//Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. – 12-я Междунар. научно-техн. конф., Харьков – 2006, с. 201-203.
3. Олейник А.К. Влияние различных окислов на характеристики трения деталей двигателей//Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Вип. 42 – Харків – 2006, с. 155-158.

Анотація

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ ЗМІЦНЕННЯМ

**Скобло Т.С., Демченко А.Л., Пасько Н.С., Мартыненко
А.Д., Сайчук А.В., Олейник А.К.**

У роботі розглянута можливість підвищення довговічності сполучення гільза-поршньове кільце шляхом поверхневого модифікування дзеркала гільзи нанесення шлікерного покриття з різних порошкових композицій лазерним променем і наступної обкаткою зміцненої поверхні.

Abstract

INCREASE OF LONGEVITY OF DETAILS SUPERFICIAL WORK-HARDENING

**T.Skoblo, A.Demchenko, N.Pas'ko, A.Martynenko,
A.Saychuk, A.Oleynik**

Possibility of increase of longevity of interface is in-process considered shell-piston ring by the superficial retrofitting of mirror of shell causing of coverage from different powder-like compositions a laser ray and subsequent rolling of the work-hardened surface