

УДК 669. 715. 621.

**Скобло Т.С.**, доктор технических наук, профессор;  
**Мартыненко А.Д.**, кандидат технических наук, доцент;  
**Сайчук А.В.**, доктор технических наук, доцент;  
**Сидашенко А.И.**, кандидат технических наук, профессор;  
**Мартыненко В.А.**, студент

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенка, г. Харьков, Украина*

## **УПРОЧНЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ**

*Аннотация. В настоящей работе рассмотрены: методы упрочнения рабочей поверхности гильз цилиндров ДВС, их преимуще-*

*ства и недостатки; материалы из которых изготавливают цилиндры двигателей мировые производители, недостатки технологии производства цилиндров из серого чугуна. Исследовано влияние режимов лазерной обработки на структуру и фазовый состав, а также физико-механические свойства внутренней поверхности гильз цилиндров двигателя КАМАЗ.*

*На основании проведенных математических расчетов, лабораторных и экспериментальных исследований определены оптимальные параметры лазерной обработки внутренней рабочей поверхности гильзы цилиндра.*

**Актуальность проблемы.** Повышение надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания неразрывно связано с повышением износостойкости деталей цилиндропоршневой группы, и в первую очередь – гильз цилиндров. В настоящее время используются следующие методы упрочнения рабочей поверхности гильз цилиндров ДВС [1]:

1) Легирование чугуновых гильз цилиндров – является одним из методов упрочнения гильз цилиндров двигателя. Методика легирования чугуна гильзы цилиндров основана на обеспечении упрочнения металлической матрицы, что происходит благодаря торможению дислокаций внедренных атомов. Такая методика упрочнения позволяет повысить твердость поверхности гильзы при нагреве и сопротивление деформации.

2) Азотирование чугуна гильзы цилиндров – основано на образовании пластичной карбонитридной фазы, которая повышает твердость и износостойкость рабочей поверхности чугуновой гильзы цилиндров. Недостатком азотирования чугуна гильзы цилиндров является плохая приработка во время эксплуатации, что ведет к ухудшению шероховатости поверхности гильз. Следовательно, применение азотирования чугуна гильз цилиндров двигателей, которые работают в значительно запыленной среде, не является особо эффективной.

3) Сульфидирование и фосфатирование чугуна гильзы цилиндров – образует на поверхности гильзы цилиндров прочный слой сернистого железа, который обладает хорошими характеристиками, обеспечивающими низкий коэффициент трения, высокую износостойкость, хорошую приработку.

Недостатком сульфидирования чугуна гильзы цилиндров является образование коррозии с высокой вероятностью повреждаемости при эксплуатации.

4) Поверхностное упрочнение пластической деформацией чугуна гильзы цилиндров – основано на применении пластичности материала. Обработка пластическим деформированием позволяет повысить износостойкость, твердость, коррозионную устойчивость, усталостную прочность материала за счет удаления микротрещин и рисков на поверхности.

5) Закалка гильз цилиндров – основана на использовании токов высокой частоты и обеспечивает упрочнение на глубину до 2,5 мм. Такой способ закалки обеспечивает повышение твердости материала до 38-48HRC. Глубина упрочнения при закалке гильз цилиндров двигателя дает возможность производить их обработку под ремонтные размеры, что является преимуществом этого способа, с точки зрения продления рабочего ресурса восстановленной детали.

Используемая в настоящее время для упрочнения гильз цилиндров закалка токами высокой частоты (ТВЧ) не обеспечивает необходимой долговечности деталей и, кроме того, связана с большой неоднородностью свойств и высоким процентом брака вследствие растрескивания и деформации деталей в процессе обработки. Для уменьшения вероятности возникновения нежелательных дефектов подбирают оптимальные параметры обработки, определяющие продолжительность и температуру нагрева, а также интенсивность охлаждения детали. Для устранения недостатков закалки ТВЧ в качестве источника тепла применяют и лазерный луч большой мощности. Следует заметить, что по химическому составу материалы гильз цилиндров двигателей, произведенные в зарубежных, а также в странах СНГ, различаются незначительно.

Из сказанного выше следует, что для обработки чугунных гильз цилиндров необходимо использовать такие альтернативные методы упрочнения, которые обеспечивают высокое качество восстановления поверхности и необходимые ее прочностные характеристики.

В настоящее время для повышения износостойкости поверхностей трения в современном машиностроении широкое распространение получает высокоэффективный метод упрочнения – лазерная термическая обработка (ЛТО). Зарубежный и отечественный опыт применения ЛТО в промышленности показывает, что при обработке ответственных деталей массового и крупносерийного производства, особенно в автомобилестроении, транспортном и сельскохозяйственном машиностроении достигаются высокие показатели надежности и значительный экономический эффект [2–5]. В качестве примеров можно привести закалку чугунных гильз и коленчатых

валов, поршней и распределительных валов двигателей внутреннего сгорания, дорожек подшипников качения, обработку различного инструмента, легирование и восстановление режущих поверхностей сельскохозяйственных машин, оборудования перерабатывающих производств и др. И хотя, лазерная обработка является более дорогостоящей (по сравнению с другими методами упрочнения), в ряде случаев выигрыш от ее использования намного превосходит затраты. В связи с чем, число выпускаемых в различных странах лазерных установок и комплексов постоянно возрастает [5].

Несмотря на то, что в настоящее время опубликовано большое количество работ о влиянии ЛТО на различные материалы с конкретными рекомендациями по выбору оптимальных режимов обработки [1, 4–6], использование лазерного излучения в каждом конкретном случае требует детальной и глубокой проработки.

**Результаты исследования.** Поставленная в работе задача по ЛТО гильз цилиндров двигателя КАМАЗ потребовала применения целого ряда методов и методик упрочнения, а также различных подходов в исследованиях материала. Упрочнение проводили на специализированной CO<sub>2</sub> лазерной установке непрерывного действия «Комета-2» в интервале мощности 0,8–1,2 кВт, и технологическом модуле для упрочнения внутренней поверхности гильз цилиндров – ЛТК-3 «Климат».

Для отработки параметров процесса ЛТО было отобрано 6 гильз. В таблице 1 приведены результаты химического анализа материала исследуемых гильз. Установлено, что он отличается и относительно требований стандарта. Как видно из таблицы, для всех гильз характерно несколько пониженное по сравнению с требованиями содержание марганца и хрома, а также повышенное – серы.

Таблица 1 – Химический состав серого чугуна опытных гильз цилиндров

Вариант упрочнения (№ гильзы)	Содержание компонентов, %								
	C	S <sub>i</sub>	M <sub>n</sub>	C <sub>r</sub>	N <sub>i</sub> + C <sub>u</sub>	T <sub>i</sub>	P	S	F <sub>e</sub>
Базовое (среднее значение)	3,26	2,08	0,59	0,22	0,50	0,02	0,09	0,018	остальное
1	3,03	2,10	0,62	0,22	0,58	0,02	0,09	0,025	- « -
2	3,23	2,03	0,57	0,20	0,58	0,02	0,09	0,025	- « -
3	3,31	2,13	0,68	0,22	0,47	0,02	0,09	0,025	- « -
4	2,93	1,95	0,67	0,20	0,50	0,02	0,09	0,036	- « -
5	3,06	2,20	0,72	0,20	0,59	0,02	0,09	0,035	- « -
6	2,99	2,32	0,62	0,20	0,45	0,02	0,09	0,031	- « -

Структура чугуна всех исследуемых гильз представляет собой перлитную металлическую матрицу, в которой равномерно располагаются включения графита пластинчатой формы (рис. 1).

Микроструктура материала гильз оценивалась по ГОСТ 3443.

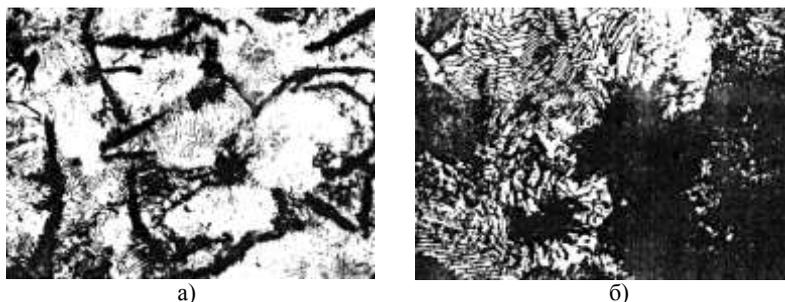


Рисунок 1. Микроструктура низколегированного серого чугуна гильз цилиндров двигателя КАМАЗ. Травление ниталом: а –  $\times 340$ ; б –  $\times 1000$

ЛТО рабочей (внутренней) поверхности гильзы осуществляли по однозаходной спирали, формируемой за счет одновременного вращения и продольного перемещения лазерного луча вдоль гильзы.

Необходимый радиус пятна лазерного излучения регулировался фокусным расстоянием (перемещением фокусирующей линзы) и при обработке составлял 2–4 мм.

Для получения различной плотности мощности лазерного излучения и как следствие – различной глубины термического влияния изменяли линейную скорость обработки при неизменном уровне мощности и размере пятна излучения. Различные схемы упрочнения внутренней рабочей поверхности гильзы реализовали за счет изменения скорости продольного перемещения луча в процессе ЛТО. Режимы ЛТО исследуемых гильз, приведенные в таблице 2

Таблица 2 – Режимы ЛТО исследуемых гильз цилиндров (радиус пятна – 2мм)

Вариант упрочнения (№ гильзы)	Мощность лазерного излучения, кВт	Скорость обработки, мм/с	Скорость продольного перемещения луча, мм/с	Относительная площадь упрочнения, $S_{упр.}/S_{общ.}, \%$
1	0,95–1,00	20	0,20	68
2	0,80–0,85	10	0,10	70
3	0,85–0,90	13	0,22	45
4	0,90–1,00	10	0,12	65
5	1,00–1,05	20	0,14	100
6	1,00–1,05	20	0,18	80

Как видно из таблицы, гильзы, упрочненные по режимам 1, 2 и 4, за счет изменения скорости обработки имеют различную глубину упрочнения при практически одинаковой площади обработанной поверхности (65–70 %). Необходимо также отметить, что при обработке по режиму 4 наблюдали оплавление поверхности гильзы по всей ширине дорожки лазерного излучения. При обработке по режиму 2 оплавление происходило лишь по центру дорожки, а при обработке по режиму 1 оплавления поверхности почти не происходило. Таким образом, на этих гильзах реализованы три различных способа лазерной обработки: с оплавлением поверхности, с частичным оплавлением поверхности и без него на поверхности. Гильзы, обработанные по режимам 3, 5 и 6, по способу лазерной обработки аналогичны гильзе, обработанной по режиму 1, т.е. без оплавления поверхности, однако они отличаются от последней различной площадью упрочнения. Таким образом, на гильзах, обработанных по режимам 1, 3, 5 и 6, реализованы различные схемы лазерного упрочнения.

Базой для сравнения выбрана гильза, упрочненная по серийной технологии (базовая) с закалкой ТВЧ, глубина закаленного слоя у которой составляла 1,5–2,0 мм при 100%-ом заполнении рабочей поверхности гильзы. После ЛТО была произведена окончательная механическая обработка гильз хонингованием до размера окончательно готовой детали, припуск под ЛТО составлял 0,1 мм на сторону.

В таблице 3 приведены результаты испытаний на износостойкость (время испытания составило = 100ч). Темплеты, для исследований вырезали из гильз цилиндров двигателя КАМАЗ после лазерного термоупрочнения. Из приведенных данных видно, что ЛТО во всех случаях обеспечивает повышение износостойкости рабочего слоя зеркала гильз цилиндров. Кроме того, значительно превосходящую износостойкость серийных деталей, закаленных ТВЧ. Наиболее высоким сопротивлением изнашиванию обладают гильзы, обработанные без оплавления либо с локальными зонами оплавления рабочей поверхности. Важным результатом является и то, что при работе в паре с деталями упрочненными ЛТО существенно уменьшается износ и сопряженного контртела – хромированного поршневого кольца.

Таблица 3 – Результаты испытаний на износостойкость образцов при различных вариантах упрочнения рабочей поверхности

Вариант упрочнения (№ гильзы)	Состояние поверхности после ЛТО	Относительная площадь упрочнения, $S_{упр}/S_{общ.}, \%$	Суммарный износ $J_{мкм}$	Соотношение износов $J_{сер}/J_{лто}$
Базовый вариант (ТВЧ)	ТВЧ	100	9,59	1
1	без оплавления	68	2,56	3,75
2	частичное оплавление	70	4,04	2,37
3	без оплавления	45	4,47	2,15
4	оплавление	65	2,46	3,90
5	без оплавления	100	2,08	4,61
6	без оплавления	80	2,01	4,77

**Выводы.** В данной работе рассмотрены различные области использования лазерных технологий для материалов – сталей и сплавов (чугунов), направленных на повышение их эксплуатационной стойкости.

Данные лабораторных испытаний показали, что износостойкость гильз цилиндров, упрочненных лазерной обработкой, увеличивается в 2,2-4,5раза по сравнению с серийным вариантом упрочнения (закалка токами высокой частоты). При этом наиболее высокие результаты по износостойкости получены при упрочнении 70-80% рабочей поверхности гильзы без оплавления либо с локальным оплавлением поверхности в зоне воздействия лазерного луча.

Список использованных источников:

1. Захаров Ю.А., Рыбакова Л.А. Основные способы упрочнения рабочей поверхности гильз цилиндров двигателей автомобилей // Молодой ученый. – 2015. – №2. – С. 157–160.

2. Соловых Е.К. Тенденции повышения работоспособности гильз цилиндров ДВС / Е.К.Соловых // Проблемы трибологии (Problems of tribology). – Хмельницкий: ХНУ, –2009. –No 2. – С. 47–57.

3. Иващенко С.Г., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Шержуков И.Г., Тридуб А.Г. Анализ качества и износа гильз цилиндров дизелей зарубежного производства // «Механизация и электрификация сельского хозяйства» / М.:1997, № 7. С. 29...30

4. Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С., Мартиненко О.Д., та ін.. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин.

Том 1. / За ред. О.І. Сідашенко О.І., О.В.Т іхонова. Навчальний посібник. Харків: ТОВ «Пром-Арт». – 2018. – 416с.

5. Аулін В.В. Визначення технологічних параметрів лазерної обробки деталей з урахуванням специфіки впливу променя на конструкційні матеріали / В.В. Аулін, О.Й. Мажейка, Є.К. Солових // Вісник інженерної академії України. –2002. –№ 2. –С.30–41.

6. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Н.В. Способ восстановления и упрочнения деталей лазерным лучом. // Сб. науч. тр.: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вып. 4. – Харьков: ХГТУСХ, 2000. – С. 82–87.

**Abstract.** In this paper, we consider: methods for hardening the working surface of cylinder sleeves of an internal combustion engine, their advantages and disadvantages; materials from which engine cylinders are manufactured by world manufacturers, demerit in the production technology of gray cast iron cylinders.