

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИЛЬЗ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В РЕМОНТЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Дубков В.В., Потеряев И.К., Сачук Ю.С.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск

Ключевые слова: гильзы блока цилиндров, твердость материала, структура материала, химический состав чугуна, галтель гильзы, аварийный отказ двигателя.

Аннотация. В процессе эксплуатации транспортных и технологических машин детали двигателя находятся в условиях активного химического и механического воздействия и подвергаются значительным нагрузкам. Длительность эксплуатации двигателя зависит от того, насколько долговечны его ключевые компоненты, которые, в свою очередь, зависят от качества материалов, из которых они изготовлены. Появление неисправностей элементов цилиндро-поршневой группы приводит к отказам двигателя. В статье рассматривается причина аварийного отказа двигателя карьерного самосвала после замены гильз блока цилиндров в процессе проведения планового ремонта на новые неоригинальные детали. Приведены сравнительные исследования конструктивно-технологических параметров гильз (геометрические размеры, твердость и структура материала, а также его химический состав). Выявлено влияние физико-механических свойств материала гильзы на ее эксплуатационные свойства и причину аварийного отказа двигателя.

THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE SLEEVES USED IN THE REPAIR ON THE DURABILITY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF THE DUMP TRUCK

Dubkov V.V., Poteryaev I.K., Sachuk Yu.S.

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk

Keywords: cylinder block liners, material hardness, material structure, chemical composition of cast, iron sleeve, engine failure.

Abstract. During the operation of transport and technological machines, engine parts are under active chemical and mechanical stress and are subjected to significant loads. The duration of engine operation depends on how durable its key components are, which, in turn, depend on the quality of the materials from which they are made. The occurrence of malfunctions of the elements of the cylinder-piston group leads to engine failures. The article discusses the cause of an emergency failure of the engine of a dump truck after replacing the cylinder liners during scheduled repairs with new non-original parts. Comparative studies of the structural and technological parameters of the sleeves (geometric dimensions, hardness and structure of the material, as well as its chemical composition) are given. The influence of the physico-mechanical properties of the sleeve material on its operational properties and the cause of an emergency engine failure is revealed.

Введение. Одна из основных проблем, приводящая к капитальному ремонту двигателя это выход из строя элементов цилиндро-поршневой группы. Даже при появлении мелких дефектов гильза блока цилиндров может повредиться, т.к. в процессе эксплуатации она находится в агрессивной температурной среде.

Гильзы блока цилиндров подвергаются нескольким основным дефектам, включая износ внешней поверхности. Это наиболее распространенный дефект, который происходит из-за контакта большей части внешней стенки гильзы блока цилиндров с охлаждающим раствором. Такой контакт приводит к кавитационному износу, который является основным признаком дефекта внешней поверхности гильзы [1-3]. Одной из причин этого является вибрация гильзы, которая возникает при интенсивной работе двигателя. Сильная вибрация вызывает образование пузырьков раствора возле внешней стенки гильзы, которые затем взрываются, вызывая кавитационный износ. Данный процесс является основным дефектом внешней

поверхности гильзы. Кавитация также может привести к коррозии и способствовать повреждению и разрушению внешней поверхности гильзы цилиндра. Износ гильз блока цилиндров может привести к протеканию охлаждающей жидкости внутрь картера. Когда охлаждающая жидкость протекает внутрь картера, она взаимодействует с маслом, которое смазывает поршень, и может создать масляную эмульсию. Это может негативно сказаться на работе всего двигателя в целом [1-4].

При работе двигателя происходит сильная вибрация, которая может привести к износу посадочных поясков. Из-за кавитации, которая разрушает наружную поверхность гильзы, в промежутках между посадочными поясками может появиться овальность. Это происходит из-за того, что кавитация приводит к неравномерному износу внешней поверхности гильзы, что в дальнейшем может привести к деформации и деформации посадочных поясков. Нарушение нормальной работы гильзы цилиндра, вызванное появлением овальности в промежутках между посадочными поясками, может привести к повышенному износу и снижению срока службы двигателя. Это происходит потому, что износ и деформация посадочных поясков могут привести к неправильному положению поршней и к неправильной работе коленчатого вала, что в итоге приведет к неправильной работе всего двигателя.

В процессе эксплуатации двигателя, в него может попадать пыль. Если пыль попадет внутрь гильзы цилиндра, то она может привести к дефекту внутренней поверхности гильзы. Даже небольшие загрязнения могут повредить внутреннюю поверхность гильзы и вызвать повышенный износ двигателя. В результате может повредиться стенка гильзы, что может привести к утечке масла и охлаждающей жидкости в камеру сгорания, что вызовет снижение мощности двигателя и ненормальную работу. Внутреннее загрязнение гильзы цилиндра обычно происходит из-за поступления грязи, пыли и металлических осколков из масляного картера или из-за проблем с обеспечением должного уровня чистоты моторного масла. Воздух, поступающий через впускной коллектор, не является причиной загрязнения гильзы цилиндров. Он нужен для обеспечения смеси топлива и воздуха в цилиндре двигателя. Если крепеж неплотный, то это может привести к утечке воздуха, что в свою очередь может повлиять на работу двигателя. Воздух может попадать в двигатель через загрязненные топливо и масло, что может привести к появлению пыли внутри гильзы цилиндра. Пыль и небольшие частицы могут вызывать абразивный износ зеркала цилиндра, подвергаясь механическому трению во время работы двигателя. Это может способствовать быстрому износу гильзы цилиндра и повреждению внутренней поверхности. Кроме того, пыль и частицы могут привести к образованию более крупных загрязнений, которые также могут повредить гильзу цилиндра, что в дальнейшем может привести к снижению мощности двигателя и нарушению его нормальной работы. Износ гильзы цилиндра может наблюдаться как в верхней, так и в нижней части гильзы. Выборочное повреждение внутренней поверхности гильзы цилиндра зависит от ряда факторов, включая условия эксплуатации двигателя, качество масла и топлива, чистоту воздуха, наличие металлических частиц в системе смазки и многие другие. Высокое давление в верхней части гильзы может способствовать появлению дополнительных напряжений, которые могут ускорить износ гильзы цилиндра в этой области.

Трещины в деталях появляются, в первую очередь, из-за ненормальных условий их работы, а именно, сильного перегрева, быстрого охлаждения, ударных нагрузок и т.д. Трещины могут возникнуть также вследствие нарушения технологии ремонта. Перетяжка болтов головки блока на некоторых двигателях может стать причиной образования трещин на поверхности гильз. Эксплуатация двигателя в холодное время года на воде в системе охлаждения – также достаточно распространенная причина появления трещин в блоке и гильзах цилиндров после замерзания воды.

Трещина, возникшая в той или иной детали, редко локализуется, т.е. остается неизменной длительное время. В большинстве случаев, испытывая циклические рабочие нагрузки и циклы нагрева-охлаждения, трещина развивается дальше до поломки детали. Последствия и скорость развития трещины зависят от типа детали, материала и сечения, по

которому проходит трещина. Для ответственных деталей КШМ и поршневой группы, включая коленчатый вал, шатуны и поршневые пальцы, трещина, независимо от места ее образования, практически всегда приводит к разрушению детали и выходу двигателя из строя.

Такие пробои могут быть вызваны различными факторами, включая излишнюю вибрацию, повреждения или неправильную установку деталей, повреждения в результате высокой температуры и другие причины. Трещины могут иметь различный размер и могут стать причиной серьезных повреждений в работе двигателя в случае, если их не устранить вовремя. При этом, может снижаться эффективность охлаждения двигателя, так как система охлаждения не сможет правильно выполнять свою задачу. Кроме того, возможно захлебывание охлаждающей жидкости в коллекторы самого блока цилиндров, если трещина находится в области, где охлаждающая жидкость проходит через головку блока в цилиндры. Это также может привести к снижению эффективности охлаждения и другим проблемам. Как правило, такие трещины располагаются вертикально и связаны с динамической нагрузкой, которую испытывает гильза при поршневом движении. Такие трещины могут быть причиной снижения компрессии в цилиндре, утечки масла в камеру сгорания, а также дополнительного износа поршня и колец. В случае обнаружения таких трещин, гильзу следует заменить, так как облегченный ремонт может не принести желаемого результата, и проблемы могут возникнуть повторно. Трещина в детали может привести к потере целостности и надежности детали, что в свою очередь может привести к различным проблемам при работе двигателя. Например, трещина в головке блока может вызвать утечку охлаждающей жидкости из системы охлаждения, что может привести к перегреву двигателя. Трещина в блоке цилиндров может вызвать утечку масла, что также может привести к различным проблемам, включая снижение мощности двигателя, а также риску его поломки. При обнаружении трещин в деталях двигателя рекомендуется заменять деталь на новую, так как ремонт или облегченный ремонт могут не решить проблему и привести к повторным поломкам.

Если деталь не заменяется на новую, то это может привести к повторным поломкам, которые могут нанести еще большие убытки ремонтному предприятию. Поэтому перед ремонтом детали необходимо провести тщательный осмотр, включая визуальный осмотр и использование специальных методов дефектоскопии, которые могут обнаружить скрытые трещины и другие дефекты. Если обнаруживаются трещины, то деталь должна быть заменена на новую.

Излом бурта гильзы может привести к тому, что гильза будет смещаться внутри блока цилиндров, что может привести к потере компрессии, утечкам масла, образованию износа на поверхности гильзы, а также может вызвать преждевременный износ поршневых колец. Седло буртика обеспечивает аксиальную фиксацию гильзы в блоке, предотвращает ее попадание внутрь цилиндра и обеспечивает правильное положение гильзы относительно блока цилиндров и поршневых колец. При обнаружении излома бурта гильзы необходимо заменить гильзу и, при необходимости, сделать ремонт или замену блока цилиндров.

Буртик должен быть аккуратно установлен в округлое углубление седла и должен лежать в нем крепко и точно. Гильза должна полностью прилегать к седлу буртика, таким образом, чтобы ее нижняя часть была фиксирована в блоке цилиндров, а верхняя часть – свободной. Затем на гильзу устанавливается поршень и соответствующее поршневое кольцо. После этого на блок цилиндров устанавливается прокладка головки блока цилиндров и устанавливается головка блока цилиндров. Правильное положение гильзы и буртика, а также точное соответствие седла буртика и гильзы являются критически важными для корректной работы двигателя. Если буртик не установлен точно или гильза не полностью прилегает к седлу, то это может привести к сильному износу гильзы и поршневых колец, а также к потере компрессии и утечкам масла.

Внутренняя камера сгорания соединяется с блоком цилиндров при помощи головки блока цилиндров и устанавливается на верхнюю сторону гильзы. Крепление головки блока цилиндров должно быть выполнено с тщательным соблюдением рекомендаций

производителя, чтобы избежать возможных последствий, таких как повреждение уплотнения камеры сгорания, перекосы головки блока цилиндров, перекосы блока цилиндров, а также другие проблемы, мешающие корректной работе двигателя. В результате затяжки болтов крепления головки блока цилиндров, на седло буртика передается большое усилие, которое должно быть передано строго вертикально. Любые отклонения от вертикальной передачи усилия могут стать причиной излома бурта гильзы и других проблем с работой двигателя.

Возможные причины излома бурта гильзы могут быть:

– Посторонние частицы. В процессе сборки двигателя могут попадать посторонние частицы, с пылью и металлическими осколками, которые могут повредить гильзу и буртик.

– Неровности и перекосы в области седла буртика в блоке цилиндров. Если седло буртика в блоке цилиндров не имеет плоской поверхности, то это может привести к неравномерному распределению усилия на седло буртика и, соответственно, к излому его бурта.

– Неподходящая прокладка головки блока цилиндров. Если прокладка головки блока цилиндров не соответствует параметрам и требованиям производителя, то это может привести к неправильной передаче усилия на седло буртика и, в итоге, к излому его бурта.

– Неправильная обработка. Если седло буртика или гильза не были достаточно обработаны или обработаны с ошибками, то это может привести к излому бурта гильзы.

Поэтому важно тщательно следить за качеством всех элементов, связанных с креплением головки блока цилиндров, и выполнять работы только в соответствии с рекомендациями производителя. Производители дорожно-строительной техники рекомендуют при появлении дефектов в качестве ремонтного фонда использовать оригинальные запасные части.

Цель исследования состоит в определении влияния конструктивно-технологических параметров гильзы на причину аварийного отказа двигателя.

Материалы и методы исследований. В процессе планового ремонта двигателя карьерного самосвала была произведена замена гильз блока цилиндров на новые неоригинальные детали. В соответствии с нормативными документами проходила горячая обкатка двигателя в течении 44 часов. Через 48 часов после начала эксплуатации карьерного самосвала произошёл отрыв верхнего борта гильзы, вследствие чего случился аварийный отказ двигателя.

Объектами исследования были две гильзы бывшие в эксплуатации: оригинальная (далее по тексту – гильза 1) и неоригинальная (далее по тексту – гильза 2).

Для измерения геометрических параметров внутренних и наружных поверхностей гильз применяли: микрометр 150...175 мм, микрометр 175...200 мм (рис. 1,а), нутромер (рис. 1,б), штангенциркуль 0...300 мм (рис. 1,в).

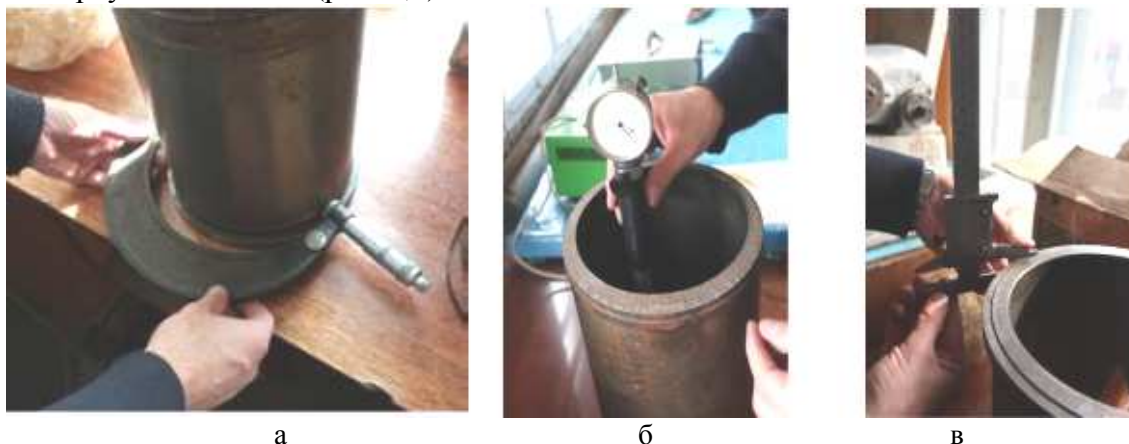


Рис. 1. Измерение геометрических размеров гильз

Химический анализ материалов гильз проводился на оптико-эмиссионном спектрографе Аргон-5СФ (рис. 2).



Рис. 2. Химический анализ материалов гильз

Определение микротвердости структуры материалов гильз проводилось на микротвердомере ПМТ – 3 (рис. 3,а) (нагрузка $P=50$ гр., время выдержки 10 секунд, увеличение микроскопа 487^{\times}) и микроскопе ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ 21 (рис. 3,б).



а



б

Рис. 3. Исследование структуры и твердости материалов

Результаты. По результатам измерений геометрических параметров внутренних и наружных поверхностей гильз 1 и 2 сделали вывод о том, что отклонение геометрических размеров представленных гильз, кроме одного параметра, незначительны. Этим отличительным параметром является радиус (галтель) между буртом гильзы и наружной поверхностью гильзы (рис. 4).

В работе [4] установлено, что причиной обрыва бурта гильзы может быть отсутствие конструктивно необходимой галтели (являющейся концентратором напряжения) между буртом гильзы и ее наружной поверхностью.

Указанные факторы также могут привести к разрушению гильзы.

– Динамико-циклический характер давления и усталость материала. Постоянные переменные нагрузки на гильзу во время работы двигателя могут привести к появлению усталостных трещин, которые со временем могут развиваться и приводить к поломке гильзы. Это может быть вызвано не только частотой вращения коленчатого вала, но и условиями эксплуатации двигателя, такими как подъемы на большие обороты, резкие разгоны и торможения.



Рис. 4. Сравнение радиуса галтелей гильз 1 (справа) и 2 (слева)

– Воздействие нестационарного положительного температурного поля. В ходе работы двигателя в гильзе формируется температурное поле, которое может быть нестационарным и приводить к периодическому изменению температуры материала гильзы. Если температура поднимается выше допустимых пределов, то это может привести к существенному снижению прочности материала и к ускоренному процессу усталости.

– Колебания гильзы с воздействием на ее внутреннюю поверхность периодических ударных нагрузок. В ходе работы двигателя возникают периодические ударные нагрузки и вибрации, которые сильнее проявляются в окружающей гильзу охлаждающей жидкости. Если вибрации превышают допустимые пределы, то это может привести к разрушению гильзы.

Все эти факторы могут взаимодействовать между собой и приводить к ускоренному процессу износа гильзы. Поэтому важно иметь в виду все возможные причины и предпринимать соответствующие меры для предотвращения разрушения гильзы [3].

Так как радиус (галтель) между буртом гильзы и ее наружной поверхностью у гильзы 2 меньше, чем у гильзы 1, это могло привести к повышению концентрации напряжений в зоне перехода от бурта гильзы 2 к ее наружной поверхности, в результате чего, в процессе эксплуатации двигателя могло произойти разрушение гильзы.

Для структурного и химического анализа материала гильз 1 и 2 было произведено разрушение гильз (рис. 5).

Результаты химического анализа материала гильз 1 и 2 представлены в таблице 1, а твердости материалов гильз в таблицах 2, 3.



Рис.5. Подготовка образцов гильза 1 (а) и гильза 2 (б)

Табл. 1. Результаты химического анализа материала гильз на оптико-эмиссионном спектрографе Аргон-5СФ

Химические элементы, присутствующие в исследуемом материале	Материал гильзы 1, количественное значение элементов, %	Материал гильз 2, количественное значение элементов, %
Fe	92,7	92,7
C	3,3	3,3
Si	2,32	2,47
Mn	0,555	0,787
S	0,055	0,023
P	0,014	0,029
Cr	0,202	0,241
Ni	0,068	<0,01
Mo	0,156	<0,01
V	0,013	<0,01
Ti	0,0142	0,0204
Cu	0,546	0,432

Анализируя состав химических элементов в исследуемых материалах, можно сделать вывод о том, что количественно состав элементов в материалах гильз 1 и 2 отличается незначительно.

Табл. 2. Результаты измерения твердости материала гильзы 1

Номер измерения	Микротвердость Нц	Твердость НВ	Твердость HRC
1	188	189	-
2	178	172	-
3	210	207	-
4	132	130	-
5	178	178	-
6	205	204	-
7	166	164	-
8	188	189	-
9	172	170	-
10	178	172	-

Табл. 3. Результаты измерения твердости материала гильзы 2

Номер измерения	Микротвердость Нц	Твердость НВ	Твердость HRC
1	239	239	24
2	247	248	25
3	397	387	41
4	247	248	25
5	290	277	29
6	271	269	28
7	232	235	23
8	569	-	51.5
9	303	302	33
10	263	262	27

Структура материала до и после травления представлена на рисунках 6, 7.

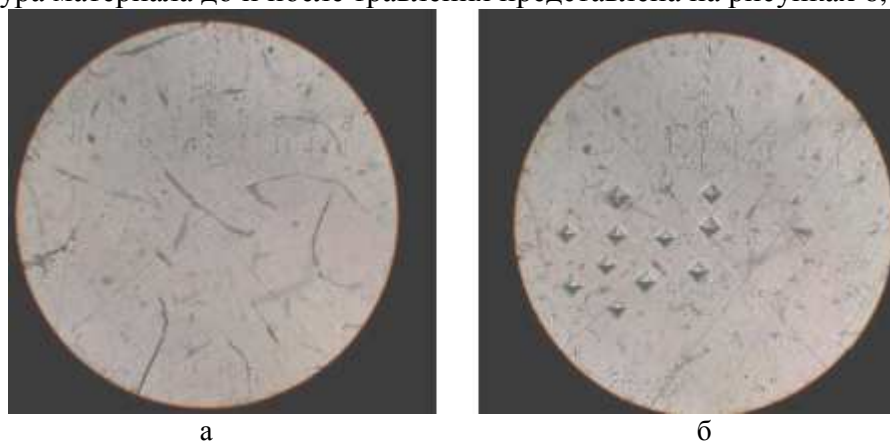


Рис. 6. Структура материала гильзы 1 (а) и гильзы 2 (б) до травления

По результатам структурного анализа материала гильзы 1 можно сделать вывод о том, что материалом гильзы является серый перлитный чугун. В структуре чугуна присутствуют графитные включения в виде прожилки (крупные змейки). Твердость материала гильзы 1 составила НВ177. А материал гильзы 2 – серый чугун на перлитной основе. В структуре чугуна присутствуют белые зерна – карбидная фаза, серые зерна - перлит, темные прожилки – графит (очень мелкие, перекрещивающиеся, малая степень изоляции друг от друга). Твердость образцов материала гильзы 2 составила НВ253.

Структура чугуна оказывает существенное влияние на его физико-механические свойства. Структура чугуна формируется в процессе изготовления детали. В большей степени на структуру чугуна оказывает скорость его охлаждения [5-9], которая влияет на графитизацию чугуна.

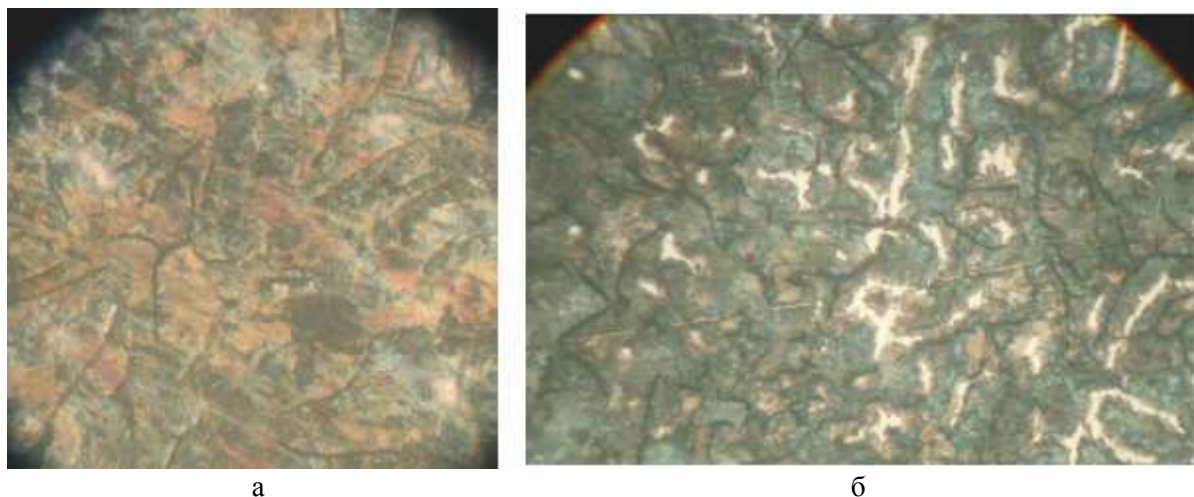


Рис. 7. Структура материала гильзы 1 (а) и гильзы 2 (б) после травления

Скорость охлаждения влияет на процессы графитизации, которые определяют структуру и механические свойства серых чугунов. При медленном охлаждении чугун успевает пройти полный процесс графитизации, при котором графитная фракция становится более крупной и формирует характерные пластинки и узелки, что обеспечивает материалу более высокую термическую стабильность и акустические свойства [10, 11]. Серый чугун считается материалом с более низкой прочностью и твердостью по сравнению с другими металлами, но при этом он обладает высокой износостойкостью, устойчивостью к вибрациям и хорошей обработкой. Тем не менее, свойства серого чугуна также зависят от размеров, количества и распределения графитных включений. При наличии большого количества графита в чугунной матрице возможны проблемы с плохой свариваемостью материала и низкой прочностью на разрыв. С другой стороны, недостаток графита в структуре чугуна может привести к его более жесткой структуре и повышению прочностных характеристик [6, 8, 11]. Кроме того, важно учитывать, что форма графитных включений также влияет на свойства чугуна, например, более сложная форма графитных частиц может значительно снизить усталостную прочность материала. Таким образом, оптимальная структура серого чугуна должна базироваться на достижении баланса между количеством, размерами и формой графитных включений, что обеспечивает материалу нужные механические свойства при наиболее эффективном использовании материала.

В структуре чугуна гильзы 1 присутствуют графитные включения в виде прожилков (крупные змейки), которые изолированы друг от друга. Такая структура чугуна (рис. 7,а) позволяет хорошо противостоять динамическим нагрузкам.

В структуре чугуна гильзы 2 присутствуют очень мелкие, перекрещивающиеся прожилки графита (являющиеся микротрещинами), имеющие малую степень изоляции друг от друга, а также присутствует карбидная фаза в виде белых зерен (рис 7,б), обладающая высокой твердостью. Твердость материала гильз в 2 больше, чем гильзы 1. Это говорит о том, что данный материал имеет высокую твердость, хуже противостоит динамическим нагрузкам, т.е. можно сказать, что он более твердый и хрупкий по сравнению с материалом гильзы 1.

Выводы. Проведенные исследования по определению конструктивно-технологических параметров гильз блока цилиндров двигателя (геометрические размеры, твердость и структура материала, а также его химический состав) позволили сделать вывод о том, что при выборе элементов цилиндрико-поршневой группы для ремонта двигателя необходимо учитывать физико-механические свойства материала изделия. Т.к. гильзы, выполненные из материалов высокой твердости в процессе эксплуатации, не смогут противостоять динамическим нагрузкам вследствие повышенной хрупкости, что может привести к аварийному отказу двигателя.

Список литературы

1. Захаров Ю.А., Булатов Р.Р. Основные эксплуатационные дефекты гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей // Молодой ученый. – 2015. – № 5(85). – С. 148-150. – URL: <https://moluch.ru/archive/85/15984/>
2. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Колос, 1981. – 295 с.
3. Могилевич Л.И., Попов В.С., Попова А.А. Колебания гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания с водяным охлаждением под действием ударных нагрузок со стороны поршневой группы // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2008. – №3. – С. 100-108.
4. Абдеев Б.М., Недобитков А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния при анализе разрушения гильзы двигателя внутреннего сгорания // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2010. – № 2. – С. 38-44.
5. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству: более 4000 терминов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 460 с.
6. Основы технологии машиностроения: учебник и практикум для вузов / под общ. ред. А.В. Тотая. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2023. – 300 с.
7. Горохов В.А., Беляков Н.В., Схиртладзе А.Г. Материалы и их технологии: учебник / В. А. Горохов. – Минск: Новое знание. – Часть 1. – 2014. – 589 с.
8. Чугун. Справочное издание / Под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. – М.: Metallurgy, 1991. – 576 с.
9. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ТИД Az-book, 2009. – 448 с.
10. Металловедение и технология материалов в 2 ч. Часть 1: учебник для вузов / под ред. Г.П. Фетисова. – 8-е изд., пер. и доп. – М.: Юрайт, 2023. – 406 с.
11. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Металловедение: учебник. – 3-е изд., перераб. и доп.; репринтное изд. – М.: Альянс, 2013. – 528 с.

References

1. Zakharov Yu.A., Bulatov R.R. Main operational defects of cylinder liners of internal combustion engines of cars // Young scientist. 2015, no. 5(85), pp. 148-150. URL: <https://moluch.ru/archive/85/15984>
2. Zhdanovsky N.S., Nikolaenko A.V. Reliability and durability of automotive engines. – 2nd ed., reprint and additional. – Leningrad: Kolos, 1981. – 295 p.
3. Mogilevich L.I., Popov V.S., Popova A.A. Vibrations of the cylinder liner of an internal combustion engine with water cooling under the action of shock loads from the piston group // Problems of mechanical engineering and machine reliability. 2008, no. 3, pp. 100-108.
4. Abdeev B.M., Nedobitkov A.I. Investigation of the stress-strain state in the analysis of the destruction of the sleeve of the internal combustion engine // Bulletin of D. Serikbayev EKSTU. 2010, no. 2, pp. 38-44.
5. Ivanov V.N. Dictionary-reference book on foundry production: more than 4000 terms. – 2nd ed., corr. and add. – M.: Mechanical Engineering, 2001. – 460 p.
6. Fundamentals of mechanical engineering technology: textbook and workshop for universities / under the general editorship of A.V. Totai. – 2nd ed.; corr. and additional. – M.: Yurayt, 2023. – 300 p.
7. Gorokhov V.A., Belyakov N.V., Skhirtladze A.G. Materials and their technologies: textbook. – Minsk: New Knowledge. – Part 1. – 2014. – 589 p.
8. Cast iron. Reference edition / Edited by A.D. Sherman, A.A. Zhukov. – M.: Metallurgy, 1991 – 576 p.
9. Lahtin Yu.M. Metalworking and thermal processing of metals: textbook. – 5th ed., corr. and additional. – M.: Tidd Az-book, 2009. – 448 p.
10. Materials science and technology materials at 2 p.m. Part 1: textbook for universities / edited by G.P. Fetisov. – 8th ed., corr. and additional. – M. Yurit, 2023. – 406 p.
11. Lakhtin Yu.M., Leontieva V.P. Materials science: textbook. – 3rd ed., reprint and additional. – M.: Alliance, 2013. – 528 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Дубков Валерий Витальевич – кандидат технических наук, доцент	Dubkov Valery Vitalievich – candidate of technical sciences, associate professor
Потеряев Илья Константинович – кандидат технических наук, доцент	Poteryaev Ilya Konstantinovich – candidate of technical sciences, associate professor
Сачук Юлия Сергеевна – кандидат технических наук, доцент	Sachuk Yulia Sergeevna – candidate of technical sciences, associate professor
u.s.sachuk@gmail.com	

Получена 07.06.2023