

УДК 621.436

Р. Д. БАШИРОВ, Н. Ш. ИСМАИЛОВ, Э. Д. МАМЕДОВ

Азербайджанская государственная морская академия, Азербайджан

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ВТУЛОК ЦИЛИНДРОВ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрены некоторые конструктивно-технологические решения по повышению срока службы втулок цилиндров судовых дизелей. Установлено, что наработка модернизированных втулок до предельного износа (1,6 мм) и предельной овальности (0,8 мм) внутренних поверхностей составила 35 тыс. ч, у серийных же втулок – 30 тыс. ч. Разработанные мероприятия позволили снизить кавитационный износ и увеличить срок службы модернизированных втулок в два раза по сравнению с серийными.

Ключевые слова: конструкция, технология изготовления, кавитационный износ, срок службы, втулки цилиндры, судовые двигатели.

Введение. На судах Азербайджанского Каспийского морского пароходства проведены исследования причин преждевременных отказов втулок цилиндров судовых дизелей. По данным Зыхского судоремонтного завода за год заменяется до 30 % моноблоков у дизелей из-за предельного износа втулок, при этом в моноблоке заменяли только 2 или 3 втулки [1].

Согласно ГОСТ 17919-72, ресурс втулок быстроходных дизелей должен быть не менее половины их ресурса до капитального ремонта, который составляет 4500 ч [2]. То есть втулки цилиндров должны работать до предельного износа не менее 2250 ч [3]. Предельные износ и овальность установлены равным 0,30 мм, скорость образования овальности – 148 мкм/тыс. ч, скорость увеличения диаметра – 70 мкм/тыс. ч.

Гильзы отработали 2100 ч до износа на сторону в 1 мм, а до установленных предельных износов (0,30 мм) – всего 630 ч.

Постановка задачи. Произвести технологические исследования втулок цилиндров судовых дизелей с целью конструктивных решений проблемы их преждевременных отказов, а также повышения их срока службы.

Изложение основного материала. Для определения вида износа были вырезаны образцы шириной 20 мм по всей длине гильзы. Для измерения износа использовался универсальный измерительный микроскоп УИМ-21.

Характерный износ гильзы в районе первого и второго поршневых колец представлен на рис. 1. Измерения выполнены с точностью до 0,001 мм. Отмечено, что износ гильзы от первого поршневого кольца составляет 1,001 мм, а углы наклона изношенной поверхности равны $35^{\circ}50'$ и $2^{\circ}52'$. От второго кольца износ гильзы составляет 1,026 мм. Износ внутренней поверхности гильзы наблюдается на расстоянии 22 мм от бурта и через 50 мм становится незначительным.

Согласно ГОСТ 17919-72 твердость внутренней поверхности гильз, подвергающихся азотированию, должна быть не менее 76 HRA. Твердость 1-й гильзы в неизношенной части (10-20 мм от бурта) составляет 80-82 HRA, 2-й – 78-80 HRA (рис. 2, а), т. е. соответствует ГОСТ 17919-72. В изношенной части гильз на расстоянии 27-30 мм от бурта твердость внутренней поверхности значительно падает до 33-36 HRA. Далее твердость постепенно повышается и на расстоянии 39-40 мм от бурта составляет 60-66 HRA.

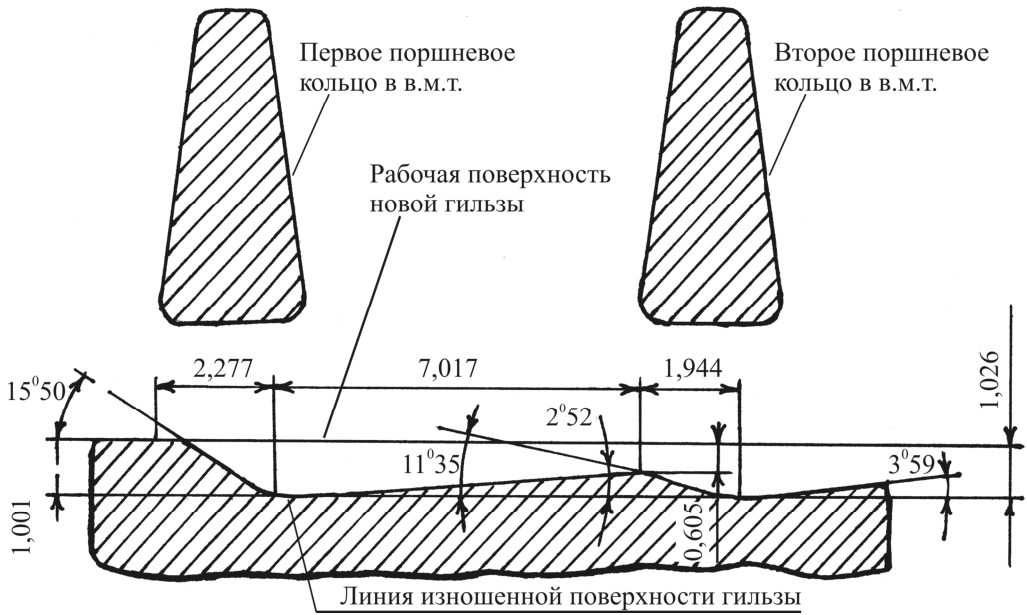


Рис. 1. Сечение изношенной части цилиндра

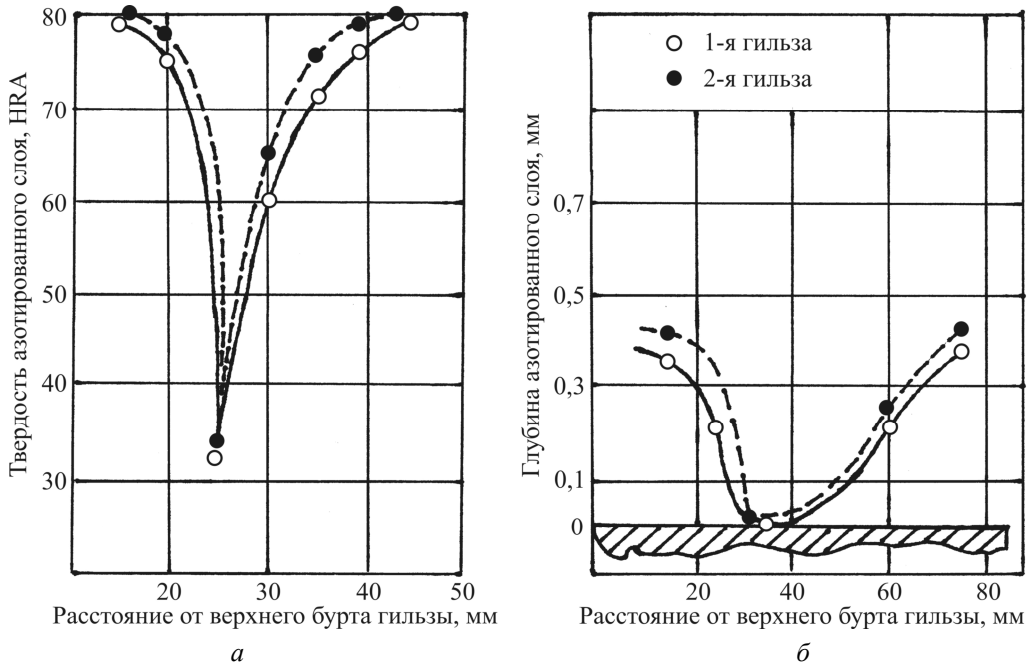


Рис. 2. Графики изменения твердости (а) и глубины (б) азотированного слоя по сечению гильз цилиндров

Для определения химического состава из нижней части гильз отбирали стружку. Для сравнения приведены результаты анализа химического состава стали 38ХМ10А (ГОСТ 4543-91) исходной гильзы и стальной стружки, взятой с работающих гильз (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что имеются отступления от рекомендуемого химического состава по ГОСТ 4543-91. Наблюдается пониженная массовая доля кремния у второй гильзы и повышенная массовая доля молибдена в обеих гильзах. Как из-

вестно, легирующие элементы уменьшают глубину азотированного слоя, но некоторое их уменьшение понижает твердость азотированной поверхности. Для микроструктурного анализа из каждой гильзы вырезали темплет в верхней части шириной 6 мм и длиной 80 мм. На этом темплете определяли глубину азотированного слоя по сечению гильзы и исследовали азотированную поверхность (рис. 2).

Таблица 1

Химический состав исходной гильзы и стружки из гильзы

Материал для анализа	Химический состав материала, %								
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	Al
Сталь 38ХМЮА исходной гильзы	0,35-0,45	0,20-0,45	0,30-0,60	более 0,025		более 0,025	1,35-1,65	0,15-0,25	0,70-1,1
Стальная стружка, взятая с гильзы:									
первой	0,42	0,22	0,38	0,01	0,02	0,095	1,55	0,32	Не определялся
второй	0,36	0,14	0,34	0,014	0,019	0,095	1,42	0,32	

Кривые на рис. 2, б показывают, что глубина азотированного слоя у 1-й гильзы вне рабочей части на расстоянии 10-20 мм от верха гильзы составляет 0,42 мм, у 2-й – 0,34 мм, твердость гильз у верхнего бурта 78-82 HRA. Рис. 3, а иллюстрирует выкрашивание азотированной поверхности после шлифовки и хонингования. Выкрашивания в виде черных точек расположены на линиях хонинговки и отдельными колониями. Этот дефект характерен для деталей из стали 38ХМЮА [4]. В районе износа от первого поршневого кольца азотированный слой практически отсутствует, твердость рабочей поверхности составляет 33-36 HRA. На расстоянии 40-45 мм от бурта показана изношенная рабочая поверхность гильзы с интенсивным выкрашиванием (рис. 3, б).



а



б

Рис. 3. Выкрашивание азотированной поверхности гильз цилиндров: а – новых; б – в районе износа от поршневых колец

Таблиця 2

Характеристика некоторых судовых дизелей

Марка дизеля	Количество измерений в расчете	Скорость увеличения диаметра, мкм/тыс. ч		Предельный износ, мкм	Фактический ресурс, тыс. ч	Назначенный ресурс до капитального ремонта дизелей, тыс. ч
		v_c	v_2			
8НФД48А-У 1000 л. с., 375 об/мин	460	29	44	1600	36	20-24
	140	41	64	1600	25	20-24
8НФД48-У 670 л. с 363 об/мин	304	28	34	1700	50	35-40
	728	34	43	1700	39	35-40
6НФД48-У 500 л. с., 350 об/мин	120	13	20	1700	85	35-40
	514	27	40	1700	42	35-40
6НФД48-У 400 л. с. 275 об/мин	155	43	56	1700	30	35-40
	647	35	53	1700	32	35-40

Примечание. Фактический ресурс втулок цилиндров до предельной овальности приблизительно равен ресурсу до предельного износа. Для каждой марки дизелей первой строкой показаны втулки, изготовленные фирмой «СКЛ», второй строкой – втулки, изготовленные заводом «Теплоход» [6].

Установлено, что одной из причин повышенной хрупкости азотированной поверхности является наличие больших внутренних сжимающих напряжений в азотированном слое. Внутренние напряжения приводят к преждевременному износу азотированной поверхности [5]. На расстоянии 50-60 мм от бурта глубина азотированного слоя у исследуемых гильз составляет 0,228-0,247 мм, а твердость – 70-80 HRA. На расстоянии 70 мм от бурта глубина азотированного слоя и твердость достигают первоначальных значений. В самой нагруженной верхней части гильзы твердость на 4-5 HRC ниже, чем в средней ее части. Такая разница в значениях твердости свидетельствует о неоднородности микроструктуры. Нагрев азотированной стали 38ХМЮА до 600-650 °С практически не влияет на твердость и структуру слоя.

Исследованиями установлено, что часть сечения гильз имеет мелкодисперсную структуру, другая часть содержит участки перлита с полями феррита, расположенными по границам зерен. Насыщенные азотом участки феррита делают хрупкими границы зерен, что приводит к выкрашиванию азотированной поверхности при шлифовании и изнашивании. В то же время мелкодисперсная равномерная структура способствует образованию дисперсных нитридов, не снижающих пластичность азотированного слоя. Указанная неравномерность структуры может появиться вследствие недостаточной скорости нагрева и охлаждения при термической обработке гильз.

Таким образом, исследованиями установлены следующие производственные дефекты гильз: пониженное содержание кремния и повышенное содержание молибдена; выкрашивание азотированной поверхности; неравномерная по сечению

твердость и микроструктура: от 22 до 30 HRC. Указанные дефекты являются причинами преждевременного износа гильз при эксплуатации (табл. 3). Поэтому фактический ресурс до предельных износов гильз в 3,5 раза меньше установленного техническими условиями, срока службы.

Таблица 3

Характерные виды износа и ресурс втулок

Марка дизеля	Вид износа или дефекта	Ресурс втулки в зависимости от износа и дефектов, тыс. ч	Количество заменяемых втулок, %
8НФД48А-У $n = 275$ об/мин	Увеличение внутреннего диаметра в 1-м поясе до 1,7 мм	30-32	100
	Увеличение овальности до 0,85 мм		
	Раковины на наружной поверхности глубиной 8-10 мм	20	до 100
	Трещины в клапанных карманах под верхним буртом	8-12	до 4
6-НФД48-У $n = 350$ об/мин	Увеличение внутреннего диаметра в 1-м поясе до 1,7 мм	40-50	100
	Увеличение овальности до 0,85 мм		
	Раковины на наружной поверхности глубиной 8-10 мм	18-20	до 100
	Трещины в клапанных карманах под верхним буртом	7-10	до 5
8НФД48-У $n = 375$ об/мин	Увеличение внутреннего диаметра в 1-м поясе до 1,6 мм	25-36	100
	Увеличение овальности до 0,8 мм		
	Раковины на наружной поверхности глубиной 8-10 мм	15	до 100
	Трещины в клапанных карманах под верхним буртом	7-8	до 15

Установлено, что нельзя эксплуатировать гильзы, износ которых достиг 0,4 мм, так как при этом азотированный слой снимается, твердость падает и наступает интенсивное изнашивание. Поэтому замену гильз необходимо выполнить с учетом толщину азотированного слоя и измеряемые фактические скорости изнашивания. Если по расчетам до конца навигации износ гильзы превысит 0,4 мм, то ее необходимо заменить сразу, во избежание интенсивного изнашивания. Как показали проведенные замеры, износостойкость внутренних рабочих поверхностей втулок цилиндров двигателей 6-8НФД48-У и 8НФД48А-У, изготовленных заводом «Теплоход» и фирмой «СКЛ», достаточна для работы втулок до капитального ремонта дизелей (табл. 4). Установлено, что основной причиной преждевременной замены втулок цилиндров двигателей НФД48 является язвенная коррозия наружной поверхности (рис. 4).

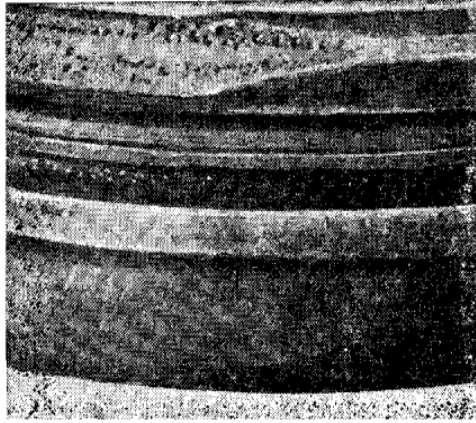
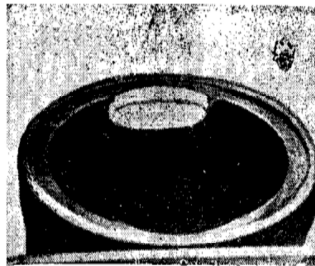


Рис. 4. Язвенная коррозия наружной поверхности втулки цилиндра

Глубина язв достигает 8-10 мм после четырех-пяти навигации (18-20 тыс. ч). Толщина стенки серийных втулок фирменной конструкции в верхней части составляет 18 мм, т.е. глубина язв равна половине толщины стенки. В то же время ресурс втулок до предельных износов рабочих поверхностей в 2 раза выше и составляет у всех типов дизелей НФД48 не менее ресурса последних до капитального ремонта. Некоторую часть втулок преждевременно заменяют из-за трещин в клапанных карманах (рис. 5, *а*) и под верхним буртом (рис. 5, *б*). Иногда происходит срыв верхнего бурта втулок. Такие отказы (табл. 3) характерны для фирменных втулок дизелей 8НФД48А-У.



а



б

Рис. 5. Трещины во втулках цилиндров: *а* – в клапанном кармане; *б* – под верхним буртом

Наблюдается также кавитационное изнашивание наружной поверхности втулок цилиндров. Но во время первых средних ремонтов дизелей типа НФД48 и у втулок цилиндров более интенсивно изнашивалась внутренняя рабочая поверхность, так как дизели имели чугунные поршни. Полностью втулки заменяли через 12-15 тыс. ч (табл. 4). Ко времени замены втулок кавитация не успевала развиться до глубоких раковин [2].

В дальнейшем скорости изнашивания рабочих поверхностей втулок уменьшились вследствие улучшения качества изготовления. После замены чугунных поршней на алюминиевые возросла вибрация втулок из-за увеличенного поршневого

Таблица 4

Наработка и износы заменяемых втулок судовых двигателей

Марка дизеля	Наработка дизелей до среднего ремонта, тыс. ч	Износы заменяемых втулок, мм		
		средний износ	средний овальность	
	максимальная	максимальная износ	максимальная овальность	
6НФД48-У	<u>11,8</u>	<u>0,80</u>	<u>0,50</u>	
	12,3	1,00	0,67	
	<u>14,0</u>	<u>1,04</u>	<u>0,58</u>	
	14,1	1,55	0,96	
	<u>16,2</u>	<u>1,18</u>	<u>0,62</u>	
	17,0	1,75	1,20	
	<u>17,8</u>	<u>1,14</u>	<u>0,58</u>	
	19,4	1,44	1,00	
	<u>17,6</u>	<u>0,52</u>	<u>0,27</u>	
	18,1	1,11	0,51	
	<u>19,1</u>	<u>0,86</u>	<u>0,51</u>	
	19,7	1,48	0,96	
8НФД48-У	<u>15,1</u>	<u>0,63</u>	<u>0,31</u>	
	17,7	1,31	0,77	
	<u>15,3</u>	<u>0,62</u>	<u>0,27</u>	
	16,9	1,01	0,59	
	<u>19,1</u>	<u>0,68</u>	<u>0,27</u>	
	21,4	1,05	0,79	
	<u>18,7</u>	<u>0,50</u>	<u>0,21</u>	
	19,4	0,97	0,46	
	<u>20,0</u>	<u>0,50</u>	<u>0,20</u>	
	24,5	0,82	0,44	
	8НФД48А-У	10	—	—
		<u>13,4</u>	<u>0,34</u>	<u>0,11</u>
15,3		0,49	0,30	
<u>13,9</u>		<u>0,40</u>	<u>0,19</u>	
	15,4	0,62	0,37	

ззора і кавітацій. Кавітаційне изнашивання зовнішньої поверхні втулок, стало причиною, сдерживающей дальніше збільшення наробки дизелів до заміни втулок. Потрібно було в'яснити причини преждевременного кавітаційно-го изнашивання втулок і розробити заходи по їх усуненню.

Відомо, що зносостійкість втулок з сірого чугуна визначається прежде всего мікроструктурою. Оптимальною є структура, що складається з перлітної металічної основи і середнелістинчатого рівномірно розподіленого графіта. Чугун з дрібними і точечними включеннями графіта, а також чугун з евтектичним і розеточним графітом має пониженою зносостійкістю [5]. Включення структурно-свободного ферриту сприяють виникненню схватывания при терті і знижують зносостійкість сірого чугуна, тому кількість ферриту в структурі не допускається вище 10 %. Фосфідна евтектика, зумцнюючу металічну основу, позитивно впливає на зносостійкість сірого чугуна [6].

Проведені дослідження матеріала втулок циліндрів дизелів типу НФД48. Середні значення характеристик хімічного складу і механічних властивостей 12 досліджуваних втулок двигателів НФД48, виготовлених фірмою «СКЛ», приведені в табл. 5.

Таблиця 5

Характеристики хімічного складу і механічних властивостей втулок

Характеристика матеріала втулок		Значення характеристик матеріала втулок		
		досліджуваних	по чертежам фірми СКЛ	
Хімічний склад, %	Углерод	2,97	вказано	
	Кремний	1,71		
	Марганец	0,77		
	Сера	0,052		
	Фосфор	0,315		
	Хром	0,284		
	Нікель	0,452		
Механічні властивості	Временне опротивленіє, кгс/мм ²	изгиб:	49,6	40
		разрыв:	21,8	≥ 22
	Стрела прогиба при расстоянии между опорами 100 мм, мм		1,4	1,2
	Твердость рабочей поверхности НВ, кгс/мм ²		206-220	170-240

Установлено, що у половини втулок циліндрів спостерігається пониженою опротивленіє разрыву по сравнению з установленним в чертежах фірми «СКЛ». В хімічному складі чугуна спостерігається відносно високе вміст нікеля (більше 0,45 %), внаслідок чого металічна основа у всіх втулок циліндрів фірменного виготовлення представляє собою сорбітообразний і мелкопластинчатый перліт. Результати дослідження матеріала втулок циліндрів, виготовлених заводом «Теплоход», приведені в табл. 6. Як видно, механічні властивості чугуна втулок циліндрів, виготовлених фірмою

«СКЛ», соответствуют чугуна марки СЧ 20, а выпускаемых заводом «Теплоход» чугуна марки СЧ 24 по ГОСТ 1412-85.

Таблица 6

Характеристика материала втулок фирмы «СКЛ»

Характеристика материала втулок		Значения характеристик материала втулок		
		исследованных	по чертежам фирмы СКЛ	
Химический состав, %	Углерод	2,71	2,9-3,3	
	Кремний	1,62	1,6-1,9	
	Марганец	0,82	0,75-1,0	
	Сера	0,076	0,12	
	Фосфор	0,20	до 0,20	
	Хром	0,267	0,2-0,3	
	Никель	0,203	0,3-0,5	
Механические свойства	Временное сопротивление, кгс/мм ²	изгиб:	56,5	менее 40
		разрыв:	26,5	менее 24
	Стрела прогиба при расстоянии между опорами 100 мм, мм		2,0	менее 1,2
	Твердость рабочей поверхности <i>HВ</i> , кгс/мм ²		201-211	более 210

Однако, наблюдается различие в микроструктуре втулок цилиндров. Так, у фирменных втулок графит мелкий и завихренный, а у втулок завода «Теплоход» графит местами утолщенный и прямолинейный. Металлическая основа фирменных втулок – мелко-пластинчатый и сорбитообразный перлит, а втулок завода «Теплоход» – крупной среднепластинчатый перлит. С точки зрения износостойкости микроструктура фирменных втулок цилиндров более предпочтительна, но втулки завода «Теплоход» имеют более высокие механические свойства. Этим объясняются меньшие скорости изнашивания фирменных втулок, но большая вероятность их внезапных отказов вследствие трещин в верхних буртах (табл. 2 и 3).

Обзор способов уменьшения кавитационного изнашивания наружной поверхности втулок цилиндров приведен в работе [7]. Установлено, что причинами разрушения стенок втулок являются кавитационные процессы, возникающие в системе охлаждения двигателя под воздействием высокочастотных вибраций. Наиболее эффективным средством является снижения энергии удара поршня по стенке цилиндра или уменьшение зазора между поршнем и втулкой цилиндра [3].

Скорость кавитационного изнашивания втулок может быть уменьшена повышением жесткости втулки в результате увеличения ее толщины. Например, увеличение толщины втулки на опытном дизеле Ч15/18 с 6 до 12 мм привело к снижению ускорения вибрации с 40*g* до 14*g*. Общий уровень вибрации более тонкой втулки составлял 122 дБ, более толстой – 113 дБ. Большое значение для повышения жесткости и уменьшения вибрации втулки имеет правильный выбор посадки ее в блок. Посадка втулки в блок с натягом приводит к короблению рабочей поверхности и может вызвать задиры поршня. Чрезмерный зазор не будет препятствовать ее вибра-

ции. Посадку втулки в блок в каждом отдельном случае следует выполнять с учетом рабочих температур втулки, блока и свойств их материалов [2].

Кавитационное изнашивание втулок можно снизить воздействием на свойства охлаждающей жидкости. Изменение газосодержания в воде и ее податливости сильно влияет на процессы кавитационного изнашивания. В охлаждающую воду можно вводит специальные присадки для повышения стойкости втулок против кавитационной эрозии. Однако, введение присадок в охлаждающую воду связано с рядом неудобств, например токсичностью присадок. В эксплуатации дизеля присадки срабатываются, поэтому требуется контролировать концентрацию присадок в воде и периодически их пополнять. Введение даже самых эффективных присадок в охлаждающую воду – крайняя мера в борьбы с кавитационным изнашиванием втулок. Наиболее радикальными и целесообразными следует считать конструктивно-технологические методы борьбы. Наиболее рациональным является исключение обнаруженных конструктивных и производственных дефектов, которые способствуют кавитационному изнашиванию втулок.

Уменьшение зазора между поршнем и втулкой эффективно способствует снижению скоростей кавитационного изнашивания втулок. У дизелей с чугунными поршнями скорость кавитационного изнашивания втулок значительно ниже, чем у дизелей с алюминиевыми поршнями. Чугунные поршни с нагревом сравнительно мало изменяются по диаметру, поэтому монтажные зазоры у них меньше, чем у поршней из алюминиевых сплавов. Отношение монтажного зазора к диаметру цилиндра при чугунных поршнях составляет 0,00066-0,00108; при алюминиевых поршнях оно увеличивается почти в 2 раза (табл. 7).

Таблица 7

Значения монтажных зазоров «втулка-поршень»

Марка дизеля	Материал поршня	Монтажный зазор «втулка – поршень», мм	Отношение монтажного зазора к диаметру цилиндра
18Д	Чугун	0,20-0,30	0,00066-0,001
	Алюминий	0,40-0,49	0,00133-0,00164
6-8НФД48-У	Чугун	0,25-0,34	0,00078-0,00108
8НФД48А-У	Алюминий	0,55-0,66	0,00172-0,00207
6НФД48А-2У	Алюминий	Допустимый монтажный зазор 0,50-0,59	0,00156-0,00184
6Л275, 6Л275ПН	Чугун	0,20-0,28	0,00073-0,00102
	Алюминий	0,50-0,58	0,00182-0,0021
Д50	Алюминий	0,40-0,48	0,00145-0,00175
		0,40-0,50	0,00126-0,00157
8НФД36-У	Чугун	0,19-0,25	0,00079-0,00104
8НФД36А-У	Алюминий	0,33-0,41	0,00138-0,0017

Отмечено, что если у дизелей с чугунными поршнями значение отношения (табл. 7) примерно одинаково, то у дизелей с алюминиевыми поршнями оно различно [7]. Например, отношение зазора к диаметру цилиндра у дизелей 8НФД48А-У на 35 % больше, чем отношение зазора к диаметру цилиндра у дизеля Д50, у которого теплонапряженность поршня на 20-25 % выше. Заметим, что втулки цилиндров дизеля Д50 после отработки 18-20 тыс. ч имеют меньший износ от кавитации, чем втулки дизеля 8НФД48А-У. Следовательно, увели-

ченный зазор «втулка-поршень» у дизелей НФД48 – одна из причин кавитационного изнашивания омываемой поверхности втулок. Рационально несколько уменьшить этот зазор, например, до 0,40-0,50 мм.

Установлено, что интенсивность кавитационного износа уменьшается с увеличением отношения толщины стенки втулки к диаметру цилиндра. Определено, что на дизелях НФД48 можно увеличить толщину стенки втулки с 18 до 30 мм. Интенсивное кавитационное изнашивание втулок цилиндров наблюдается при толщине стенок втулок менее 8 % диаметра цилиндра, при толщине стенок более 9 % кавитация не существенна. Отношения толщин втулок к диаметру цилиндров для группы подобных дизелей приведены в табл. 8. Как видно из табл. 8, серийные втулки дизелей НФД48 имеют явный конструктивный дефект: тонкую стенку, т. е. отношение h/D меньше 6 %. При увеличении толщины стенки втулок дизелей НФД48 с 18 до 30 мм отношение h/D становится оптимальным. Предлагаемое мероприятие по утолщению стенки втулки обладает высокой эффективностью и касается модернизации только самой втулки, без изменений сопрягаемых деталей.

Таблица 8

Отношения толщины стенки втулки к диаметру цилиндра

Марка дизеля	Втулка	Толщина стенки втулки h , мм	Диаметр цилиндра D , мм	Отношение h/D , %	Примечание
6Л275ПН	серийная	25	275	9,1	Кавитационное изнашивание не наблюдается при эксплуатации втулок до предельных износов
18Д	серийная	17	300	5,6	Интенсивное кавитационное изнашивание
	утолщенная	19,5	300	6,5	Кавитационное изнашивание несколько снижено
8НФД48А-У	серийная	18	320	5,7	Интенсивное кавитационное изнашивание
	утолщенная	30	320	9,4	Существенное уменьшение кавитационного изнашивания

Установлено, что утолщение стенок втулок цилиндров дизелей НФД48 приводит к снижению скоростей изнашивания внутренних рабочих поверхностей, что подтверждается также при эксплуатации утолщенных втулок цилиндров подобных дизелей 18Д. Выяснено, что утолщение стенок втулок приводит к некоторому увеличению температуры на стенках цилиндра и способствует уменьшению износа рабочих поверхностей втулок при наличии сернистых соединений.

Выводы. Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что увеличенный зазор между втулкой и блоком неблагоприятно влияет на кавита-

ционное изнашивание наружной поверхности втулок и способствует образованию трещин под верхним опорным буртом. Втулки цилиндров двигателей НФД48 имеют явные и значительные конструктивные дефекты, связанные с низкой точностью изготовления. Предложено, что на нижних опорных поясах втулок можно выполнить не две, а три канавки под уплотнительные кольца для установки третьего резинового кольца, так как двумя кольцами невозможно достичь надежного уплотнения, при изношенном блоке.

Установлено, что причинами возникновения трещин в верхних буртах втулок дизелей НФД48 и НФД36, являются конструктивные и производственные дефекты. Одной из причин появления трещин следует считать конструктивный дефект опорного бурта втулок, при котором в опасном сечении действуют сложные напряжения изгиба со скалыванием (срезом) и растяжением. Установлено, что в период эксплуатаций опорные поверхности втулки и блока подвергаются интенсивному кавитационному изнашиванию, вследствие чего плечо изгибающего момента увеличивается и вероятность образования трещин под опорным буртом втулок возрастает, поэтому нужно строго соблюдать допустимые усилия затяжки шпилек крышки цилиндра. Увеличенные зазоры между блоком и нижним посадочным поясом втулки,ходящие до 0,30-0,40 мм (при максимальном допустимом монтажном зазоре 0,22 мм), также является причиной возникновения трещин.

Отсутствие галтелей и наличие подрезов, допущенных при обработке втулок, являются следующими причинами образования трещин. Увеличенный зазор в нижнем посадочном поясе и недостаточная жесткость втулки приводят к росту амплитуды колебания втулок при перекладке поршня и способствуют возникновению трещин под верхним опорным буртом. Для снижения суммарных напряжений под опорным буртом и уменьшения плеча изгибающего момента целесообразно увеличить диаметр уплотнительного пояса крышки цилиндров. Необходимо строго соблюдать технологию затяжки шпилек крышек цилиндров, не допуская перекосов, при этом коэффициент затяжки не должен превышать 1,35-1,75. При изготовлении втулок следует выдерживать радиус галтели под опорным буртом, равный 3 мм, не допуская подрезов и резких переходов. Для уменьшения колебаний стенок втулки зазор в нижнем посадочном поясе нужно устанавливать и поддерживать при ремонте не более 0,1-0,22 мм (предельный 0,3 мм). Повышение жесткости втулок вследствие увеличения толщины стенок благоприятно скажется на исключении трещин в буртах, так как при этом снижаются амплитуда и ускорение колебаний втулок.

Таким образом, с учетом изложенных конструктивно-технологических мероприятий разработан рабочий чертеж для изготовления опытных втулок цилиндров дизелей НФД48А-У с толщиной стенки в верхней части 30 мм с плавным уменьшением толщины к нижнему опорному поясу, с радиусом галтели 3 мм под опорным верхним буртом. Убрана канавка для резинового кольца под верхним буртом втулки, так как при работе в этом районе действуют высокие температуры, кольцо быстро выходит из строя и перестает выполнять свои функции (рис. 6). Опытная партия модернизированных втулок была изготовлена на Зыхском судоремонтном заводе.

На основании измеренных фактических износов втулок после четырех навигаций были рассчитаны скорости внутреннего и кавитационного изнашивания наружных поверхностей. Установлено, что наработка модернизированных втулок

до предельного износа (1,6 мм) и предельной овальности (0,8 мм) внутренних поверхностей составила 35 тыс. ч, у серийных втулок – 30 тыс. ч. По данным измерений глубины раковин определены скорости кавитационного износа у модернизированных и серийных втулок. Ресурс модернизированных втулок дизелей 8НФД48А-У до предельной глубины раковин составил 46...51, а у серийных – 23-31 тыс. ч.

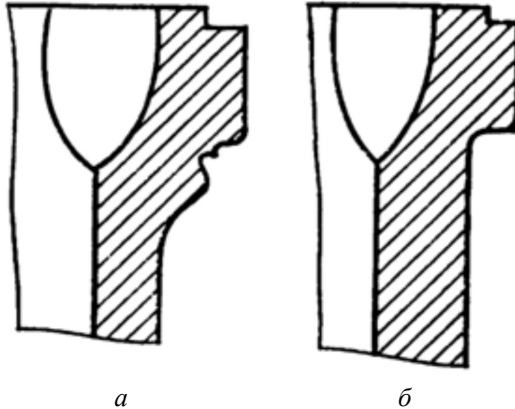


Рис. 6. Конструкция втулки цилиндров дизеля НФД48:
а – фирменная; б – модернизированная

Список литературы

1. Баширов Р. Д. Технология восстановления втулок цилиндров судовых двигателей / Р. Д. Баширов. – Баку : АГМА, 2002. – 258 с.
2. Шарифов З. З. Судостроительные материалы / З. З. Шарифов. – Баку : АГМА, 2012. – 320 с.
3. Исмаилов Н. Ш. Технология литейной формы / Н. Ш. Исмаилов. – Баку : АзТУ, 2000. – 260 с.
4. Гасанли Р. К. Структура и свойства поршневых колец двигателей внутреннего сгорания / Р. К. Гасанли, Н. Ш. Исмаилов // Ученые записки АзТУ. – 2005. – С. 61-65.
5. Шарифов З. З. Материаловедение и технология материалов / З. З. Шарифов. – Баку : АГМА, 2014. – 420 с.
6. Шарифов З. З. Получение износостойких силицидных покрытий на стали / З. З. Шарифов, Ф. Р. Баширов // Научные труды АГМА. – 2013. – № 1. – С. 18-20.
7. Баширов Р. Д. Особенности технологических процессов восстановления втулок цилиндров судовых двигателей / Р. Д. Баширов, Э. Д. Мамедов. // Устойчивое развитие и технологические инновации: Материалы междунаучно-практ. конференции. – Гянджа : АТУ, 2014. – С. 190-193.

Р. Д. БАШИРОВ, Н. Ш. ИСМАИЛОВ, Е. Д. МАМЕДОВ

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ВТУЛОК ЦИЛІНДРІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

Розглянуто конструктивно-технологічні рішення щодо збільшення терміну служби втулок циліндрів суднових дизелів. Крім того встановлено, що напрацювання модернізованих втулок до граничного зношення (1,6 мм) і граничної овальності (0,8 мм) внутрішніх поверхонь становила 35 тис. год., у серійних втулок – 30 тис. год. Запропоновані заходи дозволили знизити кавітаційне зношення й збільшити термін служби модернізованих втулок удвічі порівняно із серійними.

Ключові слова: конструкція, технологія виготовлення, кавітаційне зношення, термін служби, втулки циліндрів, суднові двигуни.

R. D. BASHIROV, N. Sh. ISMAILOV, E. D. MAMEDOV

CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO IMPROVE LIFETIME MARINE ENGINE CYLINDER SLEEVE

The article deals with consideration of the constructive-technological solutions on the increase of service life of cylinder bushing of marine diesels. Taking into account mentioned constructive-technological measures the working draft was developed for manufacturing of the testing cylinder bushings for diesels NFD48A-U with wall thickness 30 mm in the upper part with smooth decrease of the thickness to the lower support belt, with fillet radius 3 mm under support upper collar. Also the groove for rubber ring under the upper bushing collar was removed, as at the work in this region the high parameters act, the ring quickly comes out of action and stops performing its functions. Moreover, it was established that the development of modernized bushings to the limiting amortization (1.6 mm) ad limiting ovality (0.8 mm) of inner surfaces made 35 ths. p., 30 ths. p. in the serial bushings. Proposed actions helped to reduce cavitations wear and extend the life of the upgraded bushings 2.0 times in comparison with serial.

Keywords: design, manufacturing technology, cavitations wear, service life, cylinder sleeve, marine engines.

Баширов Расим Джавад оглы – д-р техн. наук, профессор, ректор, Азербайджанская государственная морская академия, ул. Зарифы Алиевой, 18, г. Баку, Азербайджан, AZ1000, тел./факс: +99412 493 75 21, E-mail: Rasim-agmail@rambler.ru.

Исмаилов Низами Шан оглы – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой судостроения и судоремонта, Азербайджанская государственная морская академия, ул. Зарифы Алиевой, 18, г. Баку, Азербайджан, AZ1000, тел.: +99412 493 36 44, E-mail: nizism@mail.ru.

Мамедов Эльхан Дамир оглы – соискатель кафедры судостроения и судоремонта, Азербайджанская государственная морская академия, ул. Зарифы Алиевой, 18, г. Баку, Азербайджан, AZ1000, тел.: +99450 513 76 11, E-mail: elxan@mail.ru.