

## РАЗДЕЛ 7

### СТЕНДОВЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРНЫХ И СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

#### 7.1. Испытания гильз цилиндров

7.1.1. Лабораторные испытания на износ гильз цилиндров с упрочненной внутренней поверхностью. Подтвердить первоначальные теоретические предпосылки по повышению износостойкости гильз цилиндров дизелей при увеличении твердости их внутренней поверхности можно только путем эксперимента. С этой целью и проводилась широкая программа исследований износостойких свойств опытных гильз по сравнению с серийными.

На первом этапе этих испытаний решено было проверить, насколько скорость охлаждения отливки в интервале температуры перлитного превращения влияет на дисперсность металлической матрицы чугуна и как от этого изменяется износостойкость. Для проведения этих исследований была отлита партия гильз цилиндров дизеля Д-240, в которой охлаждение заготовок проходило с различной скоростью, в частности, менялся хладагент.

К первой группе относились образцы, вырезанные из гильз, отлитых центробежным способом в изолированный кокиль без принудительного охлаждения. Скорость охлаждения в интервале температур перлитного превращения 17 °С в минуту. Твердость 217 НВ.

Ко второй группе относились образцы, вырезанные из гильз, отлитых с принудительным охлаждением сжатым воздухом со скоростью охлаждения в эвтектоидном интервале температур 35...40 °С в минуту. Твердость 241...269 НВ.

К третьей группе относились образцы, вырезанные из гильз, отлитых с принудительным охлаждением водой через распыливающие форсунки (см.

рис. 5.5) Скорость прохождения эвтектоидного интервала температур – 100...250 °С в минуту. Твердость чугуна 285...350 НВ.

Испытания на износ с целью получения независимых объективных данных проводились в лаборатории трения и износа кафедры технологии металлов, надежности и долговечности машин Национальной аграрной академии (г. Киев). В качестве исследуемых были взяты образцы серийных и опытных гильз цилиндров дизеля Д-240, отлитые из чугуна марки СЧ20 (см. табл. 5.1).

Испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме "диск – колодка" при давлении 20 МПа. Скорость скольжения в течение всего периода испытаний не изменялась и поддерживалась в пределах 3,5 м/с. Все образцы испытывались на пути трения 10 тыс. м. Трение образцов проходило в условиях граничной смазки. Для этого использовалось моторное масло двигателя Д-240 марки М10В<sub>2</sub>. В качестве контртела применялись ролики диаметром 50 мм из закаленной стали 50.

Износ образцов измерялся по весовым показателям. Масса образцов до испытаний и после них измерялась на аналитических весах. Точность измерения составляла 0,01 мг.

Результаты сравнительных лабораторных испытаний образцов опытных и серийных гильз дизеля Д-240 сведены в табл. 7.1 и на рис. 7.1, 7.2.

Приведенные графики хорошо иллюстрируют изменение интенсивности изнашивания чугуна в зависимости от скорости охлаждения отливки и твердости.

С повышением скорости охлаждения отливки, измельчением перлита, повышением твердости происходит резкое снижение интенсивности изнашивания и снижение шероховатости трущихся поверхностей.

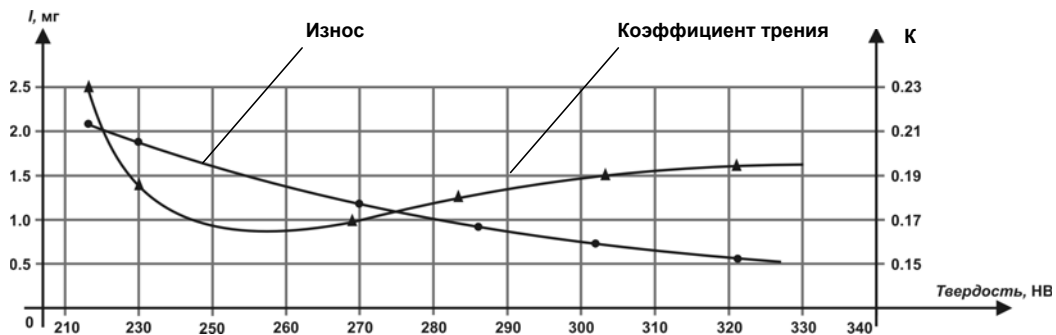
Исследованный комплекс износостойких свойств чугуна, полученных в различных термодинамических условиях охлаждения отливки, показывает, что с повышением скорости охлаждения отливки в интервале температур

перлитного превращения происходит рост твердости и повышение износостойкости чугуна.

Таблица 7.1

Значение величин износа и коэффициентов трения опытных и серийных образцов

№ п/п	Наименование образца	Твердость, НВ	Значение величины износа, мг	Коэффициент трения
1	Серийный	217	2,10	0,230
2	Опытный	269	1,60	0,170
3	Опытный	285	1,25	0,180
4	Опытный	302	0,65	0,190
5	Опытный	321	0,55	0,195
6	Опытный	350	0,50	0,205



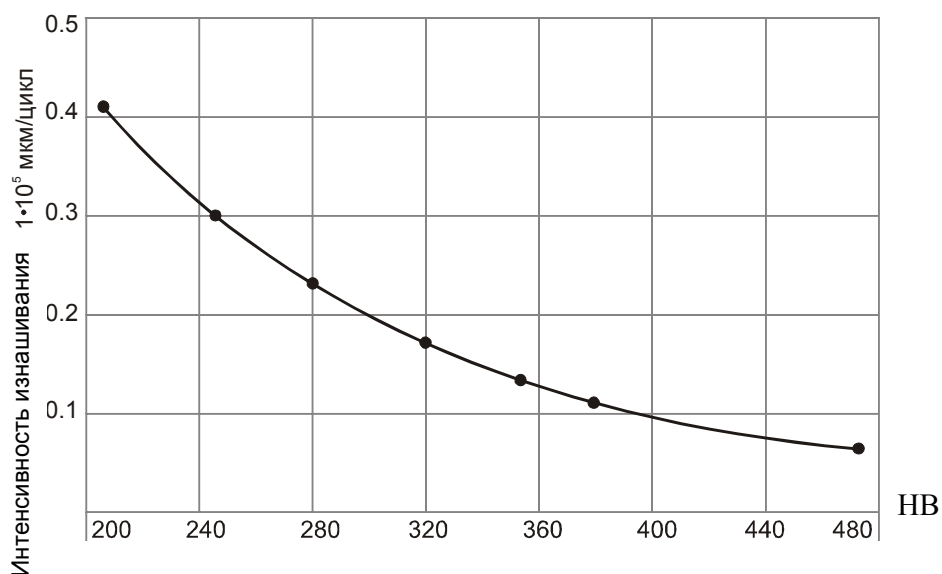
**Рис. 7.1.** Зависимость износа и коэффициента трения от твердости чугуна в литом состоянии

**Примечание [п1]:** Рисунок заменить

На втором этапе исследования износостойких свойств упрочненных гильз цилиндров ставилась задача определения зависимости износостойкости от твердости чугуна, термообработанного при отливке в кокиле. Опытные гильзы цилиндров отливали на литейной установке центробежного литья, оборудованной системой принудительного охлаждения (см. рис. 5.4). В качестве хладагента использовалась только вода, т.к. ставилась задача получения гильз с повышенной твердостью. Варьированием массами воды,

согласно графику (см. рис. 5.3), были отлиты гильзы цилиндров, имеющие различную твердость в районе ВМТ. Затем из этой зоны вырезались опытные образцы для проведения лабораторных испытаний. Твердость этих образцов находилась в пределах 285...350 НВ.

График интенсивности изнашивания термообработанных образцов в зависимости от скорости охлаждения и твердости приведены на рис. 7.2.



**Рис. 7.2.** Зависимость интенсивности изнашивания от твердости чугуна

**Примечание [п2]:** рисунок переделать в другом формате

Анализ данных сравнительных лабораторных испытаний показал:

- технология управления процессами структурообразования позволяет получать гильзы цилиндров дизеля с высокодисперсной сорбитообразной металлической матрицей, обладающей повышенной износостойкостью;
- скорости охлаждения отливок в эвтектоидном интервале температур существенно влияют на износостойкость серого чугуна;
- износостойкие свойства гильз цилиндров в значительной степени зависят от твердости внутренней поверхности.

С целью получения конкретных данных по ресурсу опытных гильз цилиндров было решено провести стендовые испытания на серийно

выпускаемых двигателях.

7.1.2. Стендовые испытания на износ деталей цилиндропоршневой группы тракторных дизелей (дизель Д-240). Объективную оценку эффективности разработанной технологии позволяют дать только данные испытаний двигателей, укомплектованных упрочненными гильзами. С этой целью было проведено несколько этапов стендовых испытаний на износ деталей цилиндропоршневой группы тракторных дизелей разных марок.

На начальной стадии работы были выполнены лабораторные испытания на машине трения 2070 СМТ-1. Они проводились по схеме “диск – колодка” при давлении 20 МПа, скорости скольжения 3,5 м/с и пути трения 10000 м в условиях граничной смазки. Результаты испытаний подтвердили повышение износостойкости опытных образцов гильз цилиндров, вырезанных в районе ВМТ, на 50...60 % по сравнению с серийными.

Однако, условия трения, создающиеся в гильзе цилиндра, несколько иные, чем те, которые мы можем имитировать на машине трения, поэтому стояла необходимость проведения испытаний двигателей на износ.

С этой целью было отлито несколько опытно-промышленных партий гильз цилиндров дизелей различных марок. Отливка заготовок осуществлялась с использованием системы принудительного охлаждения внутренней поверхности. Охлаждать гильзы начинали от температуры 900...950 °С со скоростью 1...5 °С/с, продувая их сжатым воздухом. В интервале температур от 750...800 °С до 400...550 °С подавали хладагент в зону верхней мертвой точки, где скорость охлаждения увеличивали до 15...20 °С/с. После извлечения из формы отливки подвергались изотермической выдержке при температуре 250...350 °С в течение 25 мин.

Обработка заготовок проводилась в механическом цехе завода “Киевтрактородеталь”, на станках-полуавтоматах. Режимы резания не изменялись. Увеличения брака при мехобработке не наблюдалось.

Параллельно с опытными гильзами проводилась обработка неупрочненных заготовок, отлитых на тех же карусельных литейных конвейерах из чугуна того же химсостава, только без принудительного искусственного охлаждения. Гильзы-свидетели и опытные гильзы обрабатывались на одних и тех же станках. Из обработанных партий для стендовых испытаний отбирались цилиндрические гильзы только средней группы размерности.

Как показал проведенный микроструктурный анализ каждого образца, определенной величине твердости соответствует свой тип металлической основы чугуна на рабочей поверхности гильзы. В зависимости от этого должна изменяться износостойкость цилиндра и работающих в паре с ним поршня и поршневых колец. Подтвердить предположения должны стендовые испытания.

Испытания на износостойкость деталей ЦПГ двигателя Д-240 проводились на моторном стенде ПО “Киевтрактордеталь”, оборудованном всеми необходимыми приборами и укомплектованном серийным двигателем Д-240 (заводской номер 940636), изготовленным Минским моторным заводом.

Ускоренные сравнительные испытания на износ деталей цилиндропоршневой группы состояли из обкатки двигателя по ТУ завода-изготовителя в объеме 1 часа 30 минут и последующей наработки двигателем 17-20 моточасов на режиме 90 % от максимальной мощности (50 кВт) и номинальной частоте вращения 2200 1/мин. Температура воды и масла поддерживалась в пределах 80...85 °С. Давление распыла топлива во всех форсунках составляло 17...18 МПа (170...180 кг/см<sup>2</sup>) и контролировалось через каждые 5 часов. Количество присадки АЛП-4Д составляло 0,9 % от массы топлива.

Для достоверности полученных данных испытания проводились в четыре этапа (I этап – 17 часов наработки; II этап – 20 часов; III этап – 20 часов; IV этап – 20 часов). При этом поршни не менялись на протяжении

всех четырех этапов; один раз производилась замена гильз цилиндров дизеля – после II этапа (37 часов наработки). Поршневые кольца менялись после каждого этапа. Замеры абсолютных значений величин износа пары трения “гильза – поршневое кольцо” проводились в соответствии с ГОСТ 18509-80. Износ гильз цилиндров определялся нутромером с ценой деления 0,01 мм. Определение износа поршневых колец проводилось по трем параметрам: радиальной толщине (в пяти точках), зазору в замке и по потере веса.

В процессе испытаний были выполнены замеры износов четырех комплектов поршневых колец и двух комплектов гильз цилиндров. Абсолютные значения величин износов на опытных гильзах цилиндров сравнивались с серийными.

Испытания двигателя Д-240 подтверждают повышенную стойкость поршневых колец, работающих в опытных гильзах. Их износы меньше на 45...55 %.

Осредненные эпюры износа опытных и серийных гильз цилиндров представлены на рис. 7.3.

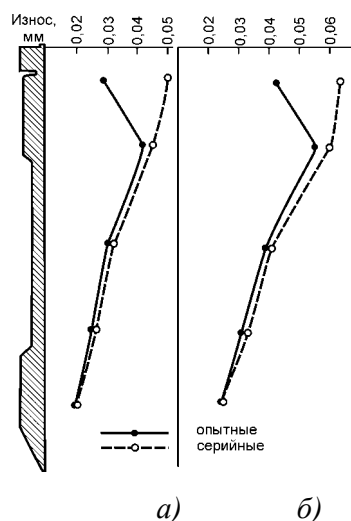


Рис. 7.3. Эпюры износа опытных и серийных гильз цилиндров дизеля Д-240:

- а) в плоскости коленчатого вала;
- б) в плоскости качания шатуна.

Диаграммы износа поршневых колец показаны на рис. 7.4 – 7.6.

Износ гильз с охлаждением в 1,5 раза меньше серийных.

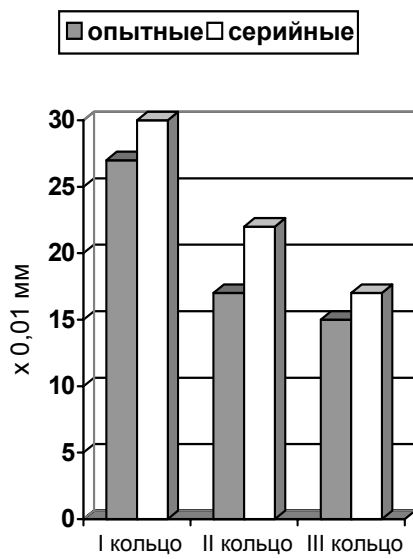


Рис. 7.4. Диаграммы износа поршневых колец за I этап

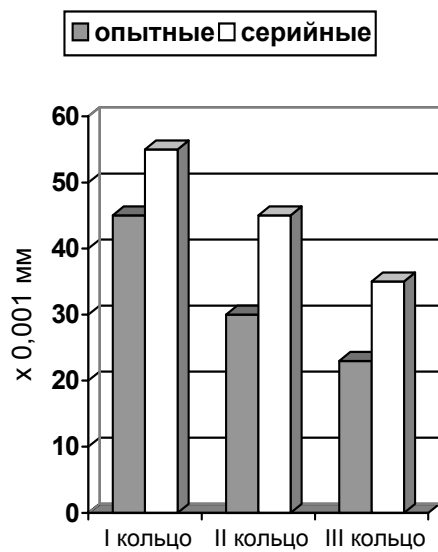
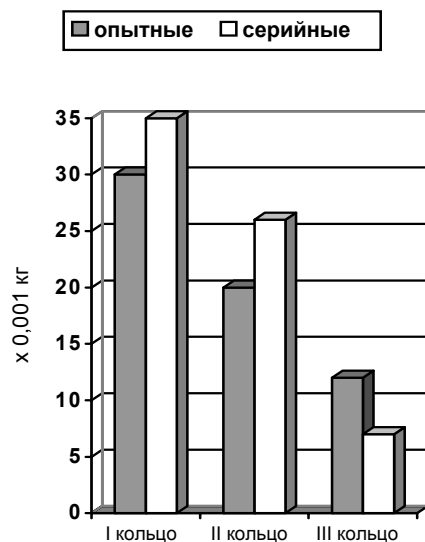


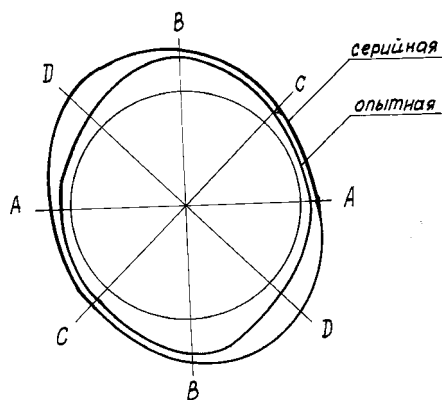
Рис. 7.5. Диаграммы износа поршневых колец за II этап





*Рис. 7.6. Диаграммы износа поршневых колец за III этап*

По данным микрометража гильз цилиндров при испытаниях на Минском моторном заводе можно сделать вывод, что в верхнем поясе (район ВМТ) средний износ опытных гильз цилиндров меньше по сравнению с серийными на 15...20 % (рис. 7.7).



*Рис. 7.7. Диаграммы износа гильз Д-240 по ВМТ*

Ввиду отсутствия данных микрометража поршневых колец трудно рассматривать триботехнические характеристики всей цилиндропоршневой группы. Это не позволяет однозначно делать заключение об износостойкости

узла трения с опытными гильзами. В настоящее время готовится новый цикл испытаний с увеличенной наработкой моточасов.

7.1.3. Испытания на износостойкость упрочненных гильз цилиндров из легированного чугуна (дизель СМД-14). Из анализа влияния различных легирующих элементов на структуру чугуна весьма заманчива возможность получения металла с повышенным содержанием карбидов.

Такой чугун был подвержен испытаниям на износ. Его химический состав следующий (в % мас.): углерод – 3,3...3,6; кремний – 2,4... 2,8; марганец – 0,5...0,8; фосфор – до 0,15; сера – до 0,12; хром – 0,8...1,2; медь – 0,8...1,1; никель – до 0,2; ванадий – 0,1...0,25. Повышенное содержание хрома, кремния и ванадия обеспечивает образование сложнолегированных карбидов по всему сечению отливки. Так, для заготовки, полученной центробежным литьем в теплоизолированный металлический кокиль, при толщине стенки 15 мм, микроструктура чугуна будет следующей: металлическая основа – перлит пластинчатый и зернистый (Пт1 – Пт2); феррит допускается в виде отдельных мелких включений (П(FeO) – П96 (Fe4)), структурно-свободные карбиды Ц4 – Ц10, фосфидная эвтектика тройная игольчатая или мелкозернистая. Распределение фосфидной эвтектики равномерное (Фр1 – Фр2). Графит по характеру распределения Гр1-Гр3 допускается в поле зрения шлифа до 10 % Гр7, по форме пластинчатый, прямолинейный или завихренный (Гр1-Гр2). Длина графитовых включений (Граз 25 – Граз 190), иные более 150 мкм. Количество включений графита Г10.

Сравнительные испытания гильз цилиндров тракторных дизелей, изготовленных из этого чугуна, с гильзами, полученными из СЧ25 с последующей закалкой ТВЧ и имеющих на рабочей поверхности закаленный слой толщиной 1,5...2 мм с мартенситной структурой, показали повышение износостойкости опытного чугуна в 2,0-2,5 раза. Однако в этих гильзах наблюдалось существенное снижение износостойкости поршневых колец на

30...40 %. Это объясняется наличием на рабочей поверхности гильзы до 10...15 % структурно-свободных карбидов.

Являясь очень твердыми включениями с остроугольными кромками, внедренными в сравнительно мягкую перлитно-ферритную основу, карбиды вызывают чрезмерный износ поршневых колец. Для повышения износостойкости колец было предложено использовать технологию термического упрочнения рабочей поверхности гильз цилиндров. На обработанных этим способом гильзах была получена троостосорбитная металлическая матрица с твердостью 270...290 НВ.

Для проведения сравнительных стендовых испытаний было изготовлено 50 гильз цилиндров из опытного хромо-кремние-ванадиевого чугуна с применением упрочняющей обработки. Испытания проводились на стендах ПО "Киевтрактородеталь". Они состояли из трех этапов, включающих отработку 20 моточасов в режиме номинальной мощности двигателя. Термообработанные гильзы из легированного чугуна с улучшенной структурой сравнивались с серийными, прошедшими закалку ТВЧ и имеющими твердость 37...41 HRC.

Испытания показали, что принудительное охлаждение гильз из хромо-кремние-ванадиевого чугуна если и улучшает структуру, то износостойкость увеличивает незначительно (приблизительно на 5 %). Вместе с тем, не удалось добиться 30-процентного увеличения ресурса поршневых колец. Их износостойкость повысилась на 10...15 %. Это недостаточно для того, чтобы гильзы из опытного чугуна с последующим термоупрочнением могли заменить серийные с последующей закалкой ТВЧ.

Проведенный контрольный этап испытаний обычных гильз из хромо-кремние-ванадиевого чугуна и аналогичных гильз с повышенной твердостью подтвердил увеличение ресурса последних до 10 % и повышение износостойкости поршневых колец на 10...15 %.

Анализируя данные стендовых испытаний, автор считает, что добиться повышения износостойкости цилиндропоршневой группы тракторных и

комбайновых дизелей возможно путем управления процессами структурообразования заготовок гильз цилиндров на стадии отливки, создавая дифференцированную износостойкую структуру чугуна на рабочей поверхности. В качестве исходного материала целесообразно использовать серийный комплексно-легированный чугун, применяемый на ПО “Киевтрактородеталь”, без изменения его химического состава. Объективные данные показывают, что предлагаемая технология позволит увеличить ресурс гильз цилиндров ДВС на 40...50 %, а поршневых колец – на 30...50 % без существенных затрат.

7.1.4. Анализ результатов сравнительных стендовых испытаний деталей ЦПГ на износ (дизель СМД-14). Ускоренные стендовые испытания на износ опытных и серийных гильз цилиндров проводились на четырехцилиндровом тракторном двигателе СМД-14. Во время испытаний стенд был укомплектован серийно выпускаемым дизелем СМД-14 (заводской № 10481), а также всеми приборами согласно ГОСТ 18509-80. Все подготовительные работы, включая обкатку двигателя перед испытанием в течение 1,5 часа, выполнялись согласно ТУ завода-изготовителя.

Испытания проводились в три этапа: два этапа по 20 часов наработки и один этап с наработкой 28 моточасов. После каждого этапа гильзы цилиндров и поршневые кольца заменялись на новые. Кроме этого, опытные и серийные гильзы цилиндров менялись местами. Так, в первом и третьем этапах опытные гильзы стояли в первом и третьем цилиндрах, серийные – во втором и четвертом. На втором этапе – наоборот.

Опытные гильзы цилиндров двигателя СМД-14, прошедшие специальную упрочняющую термообработку, имели повышенную твердость на рабочей поверхности: в районе ВМТ – 285 НВ, в средней части – 269...255 НВ, в районе нижнего бурта – 235...229 НВ. Серийные гильзы цилиндров имели на внутренней поверхности равномерную твердость 229 НВ.

Этюры износа опытных и серийных гильз цилиндров представлены на рис. 7.8, где четко видно снижение износа в ВМТ.

На диаграммах износа поршневых колец (рис. 7.9, 7.10) четко наблюдается снижение их износа.

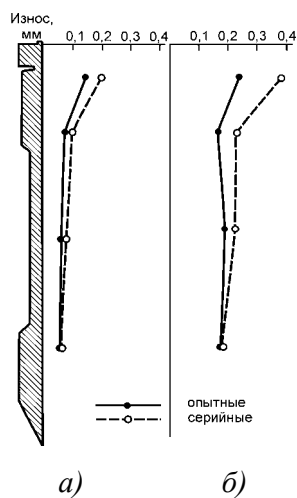


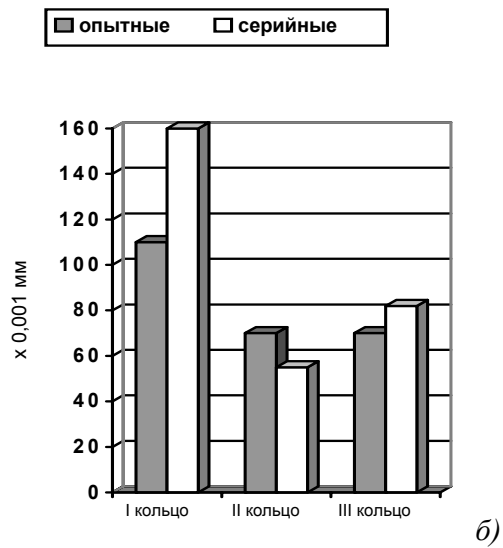
Рис. 7.8. Этюры износа гильз цилиндров дизелей СМД-14 по высоте:

- а) 20 часов наработки;
- б) 28 часов наработки.



Рис. 7.9. Диаграммы износа поршневых колец дизеля СМД-14 по изменению радиальной толщины за:

- а) 20 часов наработки;
- б) 28 часов наработки.



Продолжение рис. 7.9.

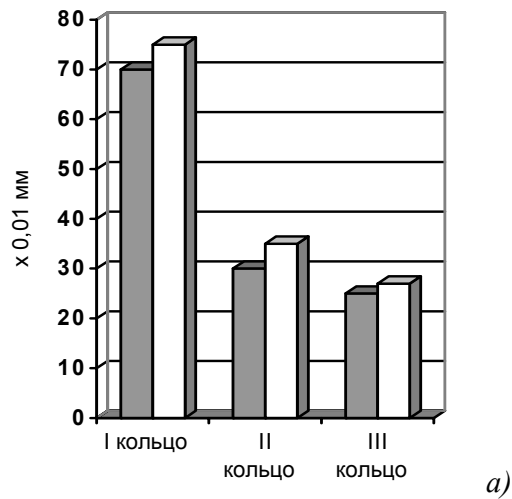
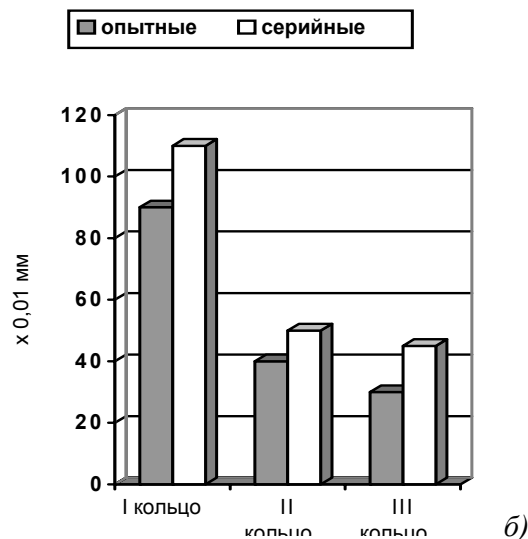


Рис. 7.10. Диаграммы износа поршневых колец дизеля СМД-14 по изменению зазора в замке за:

а) 20 часов наработки;

б) 28 часов наработки.



*Продолжение рис. 7.10.*

7.1.5. Эксплуатационные испытания дизелей с упрочненными цилиндрами. Проведение натурных испытаний большого числа судовых дизелей может быть выполнено только в значительные сроки и с большими затратами, т.к. время изготовления судового дизеля, передача его на судостроительный завод, время постройки одного судна и проведение испытаний занимает много лет.

В связи с этим эксплуатационные испытания были проведены также на дизелях малой размерности: тракторных и комбайновых двигателях. Экспериментальные втулки цилиндров отливались центробежным способом по разработанной технологии и устанавливались попеременно с серийными (две опытные и две серийные) на дизели типа СМД-14, СМД-31, СМД-60, Д-240. Испытания проводились на дорожных машинах: бульдозерах, катках, грейдерах, работающих в тяжелых условиях эксплуатации.

Бульдозеры постоянно работали в две смены на Николаевском асфальтовом заводе на подаче гранитного щебня к смесителю в летнее время в условиях сильной запыленности воздуха. Грейдеры также работали на профилировании дорожного полотна в условиях сильной запыленности. Катки и тракторы эксплуатировались в относительно нормальных условиях. Все

гильзы устанавливались на уже эксплуатируемые двигатели. Опыт эксплуатации в течение 1985-1997 гг. показал повышенный ресурс опытных гильз по сравнению с серийными гарантированно на 35...40 %.

Анализируя результаты проведенных сравнительных лабораторных, ускоренных стендовых и эксплуатационных испытаний гильз цилиндров тракторных дизелей, имеющих повышенную твердость рабочей поверхности, можно сказать следующее. Установлено, что управлением термодинамическими процессами формирования чугуновых отливок можно повышать износостойкость не только гильз цилиндров, но и работающих в паре с ними поршневых колец за счет улучшения макрогеометрии цилиндра.