

5.4. Промышленное получение гильз цилиндров с заданной дифференцированной износостойкостью рабочей поверхности

5.1.1. Получение гильз с заданной износостойкостью. Ставилась задача разработать такой технологический процесс, при котором рабочая зона гильзы имела бы металл с максимально высоким качеством.

За основу автором был взят заводской технологический процесс отливки гильз цилиндров тракторных двигателей из чугуна марки СЧ 20, имеющего химический состав, представленный в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Факультативный химический состав чугуна, % мас.

Элементы	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sb
%-ное содержание элементов	3,1... 3,4	1,9... 2,5	0,6... 0,9	до 0,2	до 0,12	0,4... 0,6	0,15... 0,25	0,25... 0,35	0,03... 0,07

В ПО “Киевтрактородеталь” отливка гильз цилиндров производится центробежным способом на литейных 20-позиционных карусельных установках в термоизолированный металлический кокиль. Процесс отливки максимально автоматизирован и осуществляется одним рабочим-заливщиком. Температура металла перед заливкой в форму находится в пределах 1320...1350 °С. Выбиваемая из кокиля заготовка (на 20-й позиции) имеет температуру 620...520 °С. Цикл движения литейной карусели составляет 18...25 с. Масса отливок (в зависимости от марки дизеля) находится в пределах 10...18 кг. Толщина стенок цилиндрических заготовок – 15...25 мм.

Охлаждение заготовок протекает естественным путем. Получаемая твердость в отливках на наружной поверхности колеблется в пределах 229...241 НВ, на внутренней поверхности – 197...217 НВ. Металлическая

основа чугуна представляет собой перлитную структуру. Включения графита – прямой либо слегка завихренной формы, средних размеров.

Такой технологический процесс позволяет проводить обработку внутренней поверхности отливки непосредственно на карусельной установке. Это дает возможность согласовывать работу системы подачи хладагента с работой карусели и полностью ее автоматизировать.

При достижении отливкой температуры 1000...900 °С начинается продувание ее сжатым воздухом давлением 0,25...0,30 МПа. Это соответствует 15-16-й позициям карусельной установки. После перемещения охлаждаемой отливки на 17-18-ю позиции, что соответствует температуре заготовки 800...750 °С, проводится впрыск воды на внутреннюю поверхность. Подача воды может осуществляться как на одной позиции, так и на 2-х или 3-х позициях одновременно. Это зависит от массы отливки. На 20-й позиции происходит выбивка заготовки, прошедшей упрочняющую обработку. Температура ее 400...450 °С. В дальнейшем время, в течение 30...40 мин., происходит изотермическая выдержка изделия в коробе за счет теплоты отлитых гильз цилиндров.

Регулирующее устройство системы позволяет изменять время подачи хладагента и его количество. На основании проведенных экспериментов установлено, что время продувания сжатым воздухом и впрыска охлаждающей воды может изменяться от 20 с до 1,5 мин. Варьирование массой подаваемой воды позволяет получать различную дисперсность металлической матрицы чугуна, а следовательно, изменять твердость на рабочей поверхности заготовки. Отливка большого числа опытных партий (по 1000 штук) цилиндрических отливок массой 10 кг и толщиной стенки 15 мм, с различными скоростями охлаждения в интервале температур эвтектоидного превращения, позволила построить график зависимости твердости на внутренней поверхности цилиндра от массы впрыскиваемой воды (рис. 5.3).

График целесообразно использовать при выборе режимов упрочняющей обработки гильз цилиндров на стадии отливки.

Работа системы автоматической подачи хладагента должна предусматривать возможность дифференцированной подачи хладагента по высоте образующей цилиндра.

Это необходимо с целью значительного повышения твердости гильз в зоне, особенно подверженной износу, а именно – зоне верхней мертвой точки.

Предложенная технология также позволяет улучшать прочностные свойства и повышать износостойкость гильз цилиндров дизелей, проходящих при механической обработке закалку ТВЧ. Управление термодинамическими процессами при формировании свойств гильз цилиндров позволяет получать в отливках наиболее оптимальную структуру металла под закалку ТВЧ. Твердость таких гильз цилиндров повышается на 8...10 HRC по сравнению с серийными.

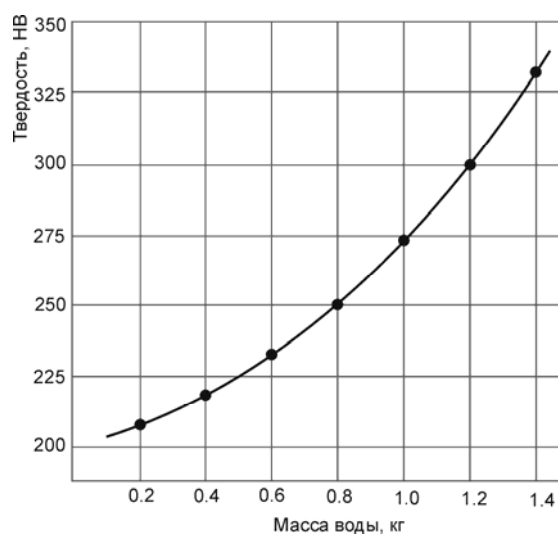


Рис. 5.1. График зависимости твердости внутренней поверхности цилиндрической заготовки от массы впрыскиваемой воды (масса заготовки 10 кг, толщина стенки 15 мм, материал СЧ 20)

Для осуществления процесса двухступенчатого принудительного охлаждения автором была разработана система автоматической подачи сжатого воздуха и охлаждающей воды на внутреннюю поверхность отливки.

Выдвигаемые при этом требования к системе водо-воздушного распыления были следующие:

- простота конструкции;
- согласованность с работой карусельной литейной установки;
- полная автоматизация процесса впрыска;
- возможность дифференцированной подачи воды по высоте цилиндра;
- надежная работа в условиях литейного цеха и простота регулирования.

Разработана принципиальная схема системы охлаждения. Выполнены сборочные чертежи узлов, их детализовка. Изготовлено нестандартное оборудование. Смонтирована и отлажена система жидкостно-воздушного охлаждения.

Созданная система автоматизированного управления процессами структурообразования отливок гильз цилиндров тракторных дизелей представлена на рис. 5.4.

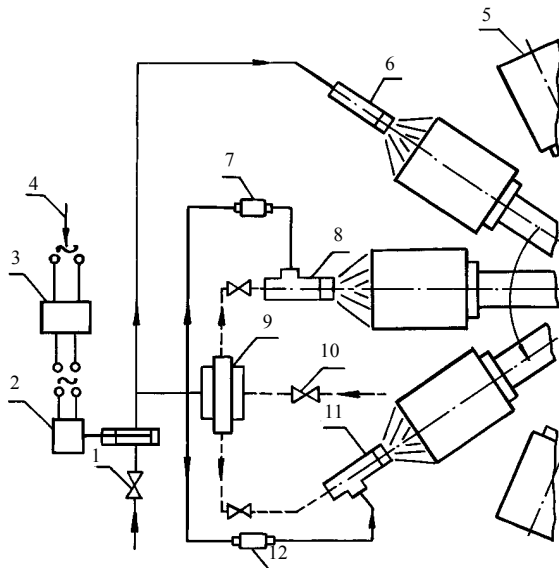


Рис. 5.2. Принципиальная схема системы водо-воздушного охлаждения внутренней поверхности цилиндрических отливок:

- 1 – запорный воздушный клапан;
- 2 – электромагнитный пневмоклапан;
- 3 – реле времени;

4 – сигнал фиксации стола карусели;

5 – вращающаяся изложница;

6 – форсунка сжатого воздуха;

7 – регулировочный дроссель;

8 – форсунка распыла воды;

9 – пневмогидравлический клапан;

10 – запорный водяной клапан;

11 – форсунка распыла воды;

12 – регулировочный дроссель.

Все узлы и аппаратура данной системы навешены на корпус литейной карусели. Вода и сжатый воздух подводятся от заводских магистралей. Электропитание осуществляется от распределительного щита литейной установки.

Работает система следующим образом. Когда закристаллизовавшаяся под слоем шлака отливка, имеющая температуру на внутренней поверхности 1000...850 °С (в зависимости от массы заготовки), попадает на 15-ю, 16-ю позицию, установленные на этих позициях форсунки 5 начинают продувать отливки воздухом давлением 0,25...0,30 МПа. Это происходит за счет открытия пневмоэлектромагнитного клапана 2, на который через реле времени 3 поступает сигнал 4 фиксации стола карусели на позиции. Одновременно с этим сжатый воздух поступает на пневмогидравлический клапан 9. Действуя на эластичную мембрану, воздух сжимает пружину клапана и открывает доступ охлаждающей воды на форсунки распыла воды 8 и 11.

Под действием сжатого воздуха, поступающего в эти же форсунки, вода распыляется на внутреннюю поверхность цилиндрической отливки. Регулировочными дросселями 7 и 12 можно осуществлять регулировку распыла воды по длине цилиндра, а также варьировать дисперсностью образующихся при распыле водяных капель.

Время охлаждения отливки регулируется с помощью реле времени 3, при срабатывании которого прекращается возбуждение обмотки электромагнитного пневмоклапана 2.

Он, в свою очередь, перекрывает подачу сжатого воздуха на форсунки 6, 8, 11 и пневмо-гидравлический клапан 9, который затем прекращает подачу охлаждающей жидкости на форсунки распыла воды 8, 11. Система возвращается в исходное положение. Максимальное время охлаждения заготовки на позиции ограничивается временем фиксации стола карусели на позиции. Однако его можно при необходимости увеличивать установкой 2, 3 или 4-х охлаждающих форсунок, как это показано на рис. 5.4.

После поворота стола карусели и его фиксации на новой позиции поступающий на реле времени сигнал вновь приводит систему охлаждения отливок в действие. Полное отключение системы жидкостно-воздушного распыления, в случае консервации или профилактических осмотров, осуществляется с помощью запорного воздушного клапана 1, водяного запорного клапана 10 и рубильника на распределительном щите электропитания. Смонтированная на карусельных установках центробежного литья в литейном цехе ПО «Киевтрактородеталь» система водо-воздушного охлаждения внутренней поверхности цилиндрических чугуновых заготовок имеет следующие параметры:

- время впрыска воды за один цикл карусели 10...25 с;
- максимальная масса воды, распыленная форсункой, за один цикл карусели 1,5 кг;
- давление воздуха в системе 0,25...0,30 МПа;
- температура охлаждающей воды 10...22 °С.

С целью отвода водяного пара, образующегося при работе системы, над литейной карусельной установкой производится монтаж шахты вытяжной вентиляции.

При разработке системы управления процессами формирования свойств чугуновых цилиндрических отливок особое внимание было уделено

проектированию форсунок распыла охлаждающей жидкости. Если же форсунки сжатого воздуха, выполняющие роль замедлителей процесса вторичной графитизации, должны охладить всю внутреннюю поверхность заготовки и выполнялись в виде металлической трубы диаметром 3/4 дюйма, заканчивающейся сужающимся соплом, то форсунки распыла жидкого хладагента должны быть регулируемы и обеспечивать дифференцированную подачу жидкости по длине гильзы.

В связи с этим была предложена форсунка, представленная на рис. 5.5.

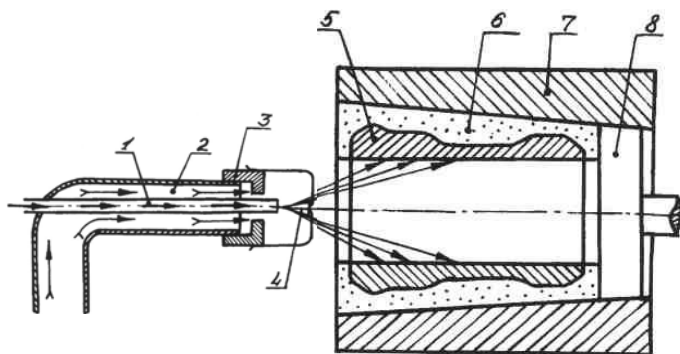


Рис. 5.3. Форсунка для подачи воды:

1 – труба подвода охлаждающей жидкости;

2 – труба подвода воздуха;

3 – регулировочная гайка;

4 – отражатель;

5 – отливка гильзы цилиндра;

6 – песчано-глинистая вставка;

7 – вращающаяся изложница;

8 – толкатель.

Она выполнена по принципу “труба в трубе”. В трубу 2 диаметром 3/4 дюйма впаяна трубка 1 диаметром 1/4 дюйма. На торце большей трубы находится регулировочная гайка 3 с отверстием, диаметр которого на 3 мм

больше диаметра внутренней трубки. По трубе 1 подается охлаждающая жидкость. По трубе 2 осуществляется подвод сжатого воздуха, который, проходя через образовавшийся зазор между регулировочной гайкой и трубкой подвода жидкости, ускоряется и за счет эжекции распыляет воду на поверхность отливки 5. Для предотвращения попадания воды на толкатель, для распыла основной массы жидкости на зону верхней мертвой точки и незначительного охлаждения нижней части гильзы цилиндра на определенном расстоянии от форсунки установлен отражатель 4. Он жестко связан с регулировочной гайкой 3. Регулирование положения гайки 3 позволяет получать различные варианты дифференцированного охлаждения заготовок, распределять массы охлаждающей жидкости по высоте цилиндра, а также менять дисперсность распыляемой жидкости.

В литейном цехе ПО "Киевтрактородеталь" на карусельных установках, оборудованных системой принудительного охлаждения внутренней поверхности заготовок, было отлито несколько опытных партий гильз цилиндров (по 300-1000 шт.) различных типов двигателей, а именно - тракторных Д-240, Д-245, СМД-14, СМД-60, СМД-18Н, а также упрочненных гильз двигателя СМД-31А для комбайна "Дон".

В зависимости от массы заготовки время охлаждения изменялось от 25 с до 1 мин, количество впрыскиваемой воды – от 0,5 до 1,5 кг на одну отливку. Основная масса охлаждающей воды (примерно 3/4) подавалась в зону верхней мертвой точки для значительного повышения твердости в этом районе, и лишь незначительная часть распылялась по всей внутренней поверхности для стабилизации структуры металла.

Несколько иная схема использовалась для отливки гильз цилиндров дизеля СМД-60, имеющих относительно большой диаметр внутренней полости. В кокиль карусельной литейной машины закладывается песчаный стержень, в который заливается жидкий чугун с подачей экзотермической смеси. После достижения заготовкой требуемой температуры внутрь кокиля автоматически с помощью пневмоцилиндра вводится спрейер, внутри

которого проходит трубка малого диаметра, соединенная с дозирующим устройством подачи воды. После достижения спрейером необходимого положения по длине отливки автоматически открывается воздушный клапан подачи сжатого воздуха на распыл воды и клапан подачи воды. Время подачи хладагента регулируется аналогично предыдущему способу. Охлаждающая смесь попадает на специальный отражатель и распыляется на внутреннюю поверхность заготовки гильзы. Профиль рабочей поверхности отражателя выполнен таким образом, чтобы обеспечивать заданный закон распределения количества хладагента по длине заготовки с максимальной подачей в зону верхней мертвой точки.

Замеры твердости, проведенные в центральной заводской лаборатории (ПО «Киевтрактородеталь»), показали стабильную твердость на внутренней поверхности гильзы – 229...241 НВ и повышенную твердость в районе ВМТ – до 269...285 НВ. Замеры твердости проводились по периметру продольных темплетов, вырезанных из отливок гильз, на расстоянии 5...8 мм от края образца. Замеры проводились на стандартном твердомере Бринелля, шариком диаметром 5 мм, нагрузкой 750 кг. Характер распределения твердости по сечению отливки гильзы цилиндра дизеля Д-240 представлен на рис. 5.6.

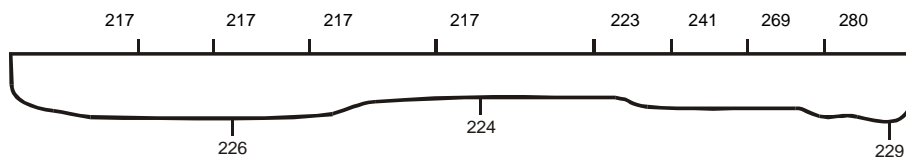


Рис. 5.4. Поле замера твердости гильз цилиндров дизеля Д-240, отлитой с управлением процессами структурообразования, НВ

Примечание [п1]: Заменить значения в рис.

Проведенные металлографические исследования нетравленных шлифов, вырезанных из зоны ВМТ опытных гильз цилиндров, прошедших упрочнение в процессе отливки, показали равномерное распределение графитовых включений средней длины. Форма графита прямая либо слегка завихренная.

После травления образцов 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте образцы были исследованы при увеличении в 100 и 400 крат. При этом была получена металлическая матрица, состоящая из сорбитообразного перлита, отдельных включений двойной фосфидной эвтектики, незначительных включений цементита, феррит не наблюдался. Таким образом, в литом состоянии в отливке была получена оптимальная износостойкая структура чугуна.

В результате работы:

- разработана технология промышленного изготовления гильз цилиндров ДВС с переменной износостойкостью рабочей поверхности;
- спроектирована и установлена система автоматического управления структурообразованием деталей;
- в условиях массового производства получены гильзы цилиндров дизелей различных марок с дифференцированной износостойкостью по высоте.

5.1.2. Исследование свойств серых чугунов, полученных при различных скоростях охлаждения отливки. Поскольку структура чугуна состоит из металлической основы и графита, то и свойства чугуна будут зависеть как от свойств металлической основы, так и от количества и формы графитовых включений. Поэтому при проведении металлографических исследований образцов гильз цилиндров дизелей, полученных с различной скоростью охлаждения, постараемся выделить закономерности в изменении свойств металлической основы и рассмотреть характерные особенности формирования графитовых включений.

При исследовании графитовых включений оценке подлежат: количество, размеры, форма и характер их распределения. При изучении металлической основы чугуна оценке подлежат: вид структуры, форма перлита, количество перлита и феррита, дисперсность перлита, количество и площадь включений

цементита (или цементита + ледебурита), строение, распределение, размер ячеек сетки и площадь включений фосфидной эвтектики.

Для исследования микроструктуры чугуна из отливок гильз цилиндров тракторных дизелей вырезались образцы размером 20 x 30 x 15 мм. Плоскость образца, соответствующая сечению отливки в районе ВМТ, подвергалась шлифовке и последующей полировке. Исследуемая поверхность шлифа составила не менее 0,2 см².

Металлографические исследования чугуна, имеющего химический состав, представленный в табл. 5.1, проводились на исследовательском микроскопе "Neophot" при увеличениях в 100 и 400 крат. Изучение графита проводилось на нетравленном шлифе, а металлической основы – на шлифе после травления 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

При проведении металлографических исследований чугунов, полученных с различными скоростями охлаждения, использовался ГОСТ 3443-87 "Отливки из чугуна с различной формой графита" (согласно ГОСТ 3443-87, методы определения структуры).

Первоначально были изучены и сопоставлены графитовые включения в серийной отливке с твердостью 217 НВ и в опытном образце заготовки гильзы цилиндра с твердостью 285 НВ. Исследования проводились на нетравленных шлифах при увеличении в 100 крат. При изучении шлифов, представленных на рис. 5.7, были установлены особенности в характере распределения, форме и размерах графитовых включений.

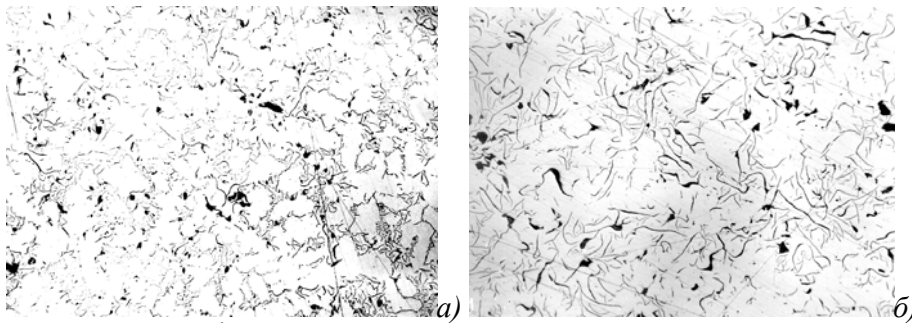


Рис. 5.5. Графитовые включения в чугуна:

а) заготовка получена без принудительного охлаждения, твердость 217 НВ, х 100;

б) заготовка подвергалась принудительному охлаждению, твердость 285 НВ, х 100.

Образования графита в структуре чугуна имеют пластинчатую прямолинейную либо средnezавихренную форму (Гф1-Гф2). Размер графитовых включений на шлифах находится в пределах от 20 мкм до 150 мкм (Граз 25-Граз 180), что соответствует техническим требованиям к заготовкам гильз цилиндров из этого чугуна.

На опытном образце наблюдается равномерное распределение графита по площади шлифа (Гр1), в то время как на серийной отливке распределение графитовых образований неравномерное (Гр2), заметны даже колониальные скопления пластинчатого графита (Гр3). Количество включений графита, оцениваемое средним процентом площади, занятой им на микрошлифе, примерно одинаковое у обоих образцов и находится в пределах 8...12 % (Гр10).

Анализ графитовых образований исследуемых образцов показал, что скорости охлаждения заготовок не оказывают существенного влияния на форму, характер распределения и размеры графитовых включений. На опытном образце наблюдается лишь незначительная упорядоченность в распределении графита по площади шлифа.

Вторым этапом проводимых металлографических исследований был анализ металлической основы отливок, полученных с различной скоростью охлаждения. Для этого были отобраны три образца, вырезанные также из заготовок гильз цилиндров дизеля Д-240, полученных центробежным литьем с применением различных хладагентов.

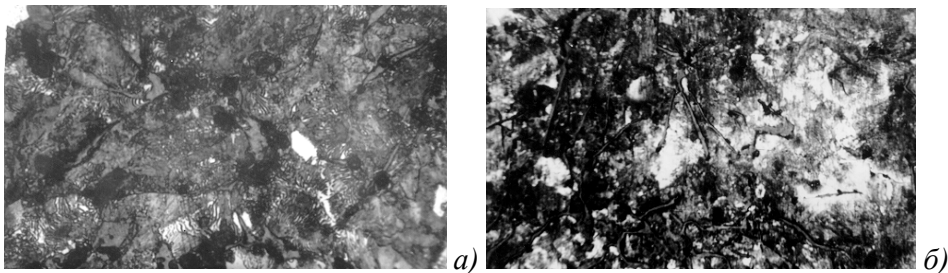
Первый образец был вырезан из гильзы, отлитой центробежным способом в изолированный кокиль без принудительного охлаждения. Скорость охлаждения 20 °С в минуту. Твердость образца 217 НВ.

Охлаждение гильзы в эвтектоидном интервале температур, из которой был вырезан второй образец, проходило со скоростью 35...40 °С в минуту, за счет продувания ее сжатым воздухом. Твердость образца 241 НВ.

Третий образец вырезался из гильзы, подверженной принудительному охлаждению водой. Скорость прохождения интервала температур перлитного превращения – 250 °С в минуту. Твердость образца 305 НВ.

Для исследования металлической основы чугуна все образцы были протравлены 4%-ным раствором азотной кислоты (плотностью 1,4 г/см³) в этиловом спирте.

Увеличение изображения подготовленных микрошлифов в 100 и 400 раз позволило изучить металлическую основу чугуна. Такой анализ дал возможность установить, что скорость охлаждения существенно влияет на дисперсность металлической основы серого чугуна. Образцы гильз, подверженных принудительному охлаждению, имеют более высокодисперсную металлическую матрицу, что хорошо видно на фотографиях (рис. 5.8).



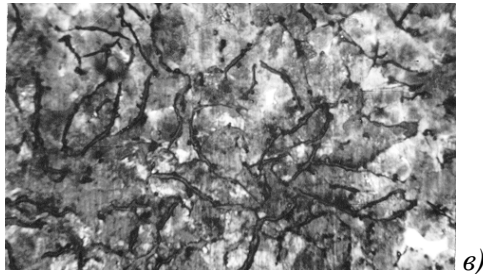


Рис. 5.6. Микроструктура серого чугуна (травление 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте):

- а) естественное охлаждение, $\times 100$;
- б) воздушное охлаждение отливки, $\times 100$;
- в) водяное охлаждение отливки, $\times 100$.

Кроме этого, увеличение скорости охлаждения в эвтектоидном интервале температур позволяет значительно уменьшить площадь феррита на поверхности шлифа. Если на фотографии серийного образца феррит находится в виде включений, занимающих 6...10 % площади микрошлифа (П92 (Fe8)), то на опытных образцах площадь, занятая отдельными разрозненными включениями феррита, не превышает: 4 % – для гильзы, охлаждаемой воздухом (П96 (Fe4)); 1 % – для гильзы, подверженной водяному охлаждению (П (Fe0)).

Уменьшение количества феррита в сером чугуне положительно сказывается на прочностных свойствах и износостойкости гильз цилиндров. Это подтвердилось данными сравнительных лабораторных и стендовых испытаний на износ.

Исследование образцов при увеличении в 400 крат позволило изучить тип структуры металлической основы чугуна. Гильзы, отлитые без принудительного охлаждения, имеют в основе перлитную структуру – перлит пластинчатый (ПТ1).

Металлическая основа гильз цилиндров, отлитых с управлением процессами структурообразования, представляет собой высокодисперсную перлитную структуру или сорбитообразную металлическую матрицу.

Анализ степени дисперсности перлита на серийном и опытных образцах показал, что повышение скорости охлаждения отливки в эвтектоидном интервале температур существенно повышает дисперсность перлита, которая определяется средним расстоянием между пластинками цементита.

Если на микрошлифе серийного образца это расстояние находится в пределах 0,3...0,8 мкм (P_d 0,5), то у образцов термообработанных гильз цилиндров оно не превышает 0,3 мкм (P_d 0,3).

Эти особенности перлита в структуре чугуна играют важную роль в процессе улучшения антифрикционных качеств гильз цилиндров ДВС.

Фосфидная эвтектика, наблюдаемая на опытных шлифах, по своему строению идентична той, которую мы видим на серийном микрошлифе, т.е. она тройная мелкозернистая или игольчатая (Ф3-Ф4). Распределение фосфидной эвтектики на всех образцах равномерное или в виде разорванной сетки (Фр1-Фр2). Однако на микрошлифе серийной гильзы цилиндра заметно увеличение площади наибольших включений фосфидной эвтектики – до 4000 мкм² (Фп 6000), в то время как на опытных образцах она не превышает 2000 мкм² (Фп 2000). Снижение площади включений фосфидной эвтектики способствует повышению износостойкости серого чугуна.

Ни на одном из исследуемых образцов структурно-свободного цементита не наблюдалось.

Таким образом, металлографические исследования чугунов, полученных с различными скоростями охлаждения в эвтектоидном интервале температур, позволяют сделать вывод, что применение технологии управления процессами структурообразования в отливках позволяет получать гильзы цилиндров тракторных дизелей с улучшенными износостойкими свойствами. При этом микроструктура чугуна цилиндров, подверженных принудительному охлаждению в интервале температур перлитного превращения, характеризуется следующими особенностями:

- металлическая основа имеет максимально высокодисперсную структуру;

- содержание феррита в структуре металла минимально или полностью отсутствует;
- распределение и форма графитовых включений оптимальна;
- площадь включений фосфидной эвтектики снижена вдвое.