

#### **4.5. Разработка материала и технологии упрочнения поршней среднеоборотных судовых дизелей**

Поршни относятся к одним из наиболее нагруженных и ответственных деталей двигателей внутреннего сгорания. В процессе работы поршни подвергаются сильным механическим нагрузкам от давления газов в цилиндре и сил инерции, тепловым нагрузкам вследствие необходимости отвода тепла от головки поршня в охлаждающую среду. При отработанной конструкции и правильно подобранном материале поршень выходит из строя в результате износа юбки, отверстия под поршневой палец и, наиболее часто, износа канавки под первое компрессионное кольцо. Этот процесс усугубляется неравномерным износом втулки цилиндра.

4.1.1. Разработка материала поршня судовых среднеоборотных дизелей. К материалу поршней предъявляются следующие требования:

- высокая механическая прочность;
- высокая термостойкость;
- низкий коэффициент термического расширения;
- высокая износостойкость;
- коррозионная стойкость;
- хорошие литейные свойства;
- высокая плотность;
- низкая цена;
- хорошая обрабатываемость резанием;
- высокая (низкая) теплопроводность.

Исходя из этих требований, традиционно для поршней судовых дизелей применялись серый легированный чугун не ниже марки СЧ30 ГОСТ 1412-79 и высокопрочный чугун не ниже марки ВЧ50 ГОСТ 7293-79. Твердость готовых поршней из серого легированного чугуна составляет НВ

170...262, а из высокопрочного чугуна НВ 207...285. Серый чугун по сравнению с высокопрочным имеет более высокую теплопроводность и значительно лучшие литейные свойства, что особенно важно при сложной форме поршня, значительно дешевле. В то же время высокопрочный чугун значительно прочнее, что позволяет изготавливать поршни намного легче, на уровне алюминиевых, и обладает более высокой износостойкостью. Но отливка поршней из высокопрочного чугуна связана с большими сложностями вследствие его высокой усадки и наличия тепловых узлов при отливке заготовки.

В отношении такого свойства чугуна, как теплопроводность, в последние годы существенно изменились требования. Традиционное желание иметь высокую теплопроводность материала поршня связывалось с необходимостью хорошего охлаждения головки поршня и обеспечения надежности работы поршневых колец. Развитие конструкции поршня, создание охлаждаемых поршней, применение высококачественных смазок, способных работать при повышенных температурах, снижение износов с ростом температуры (см. раздел 3) выдвигают альтернативные требования к теплопроводности материала, необходимости ее снижения. Уменьшение теплопроводности материала поршня приводит к снижению доли тепла, отводимого в окружающую среду, и тем самым повышению индикаторного и эффективного КПД двигателя. Таким материалом, обладающим высокой прочностью, более низкой теплопроводностью и хорошими литейными свойствами, является чугун с вермикулярной (промежуточной) формой графита.

Чугун с вермикулярным графитом по сравнению с высокопрочным обладает лучшей теплопроводностью и литейными свойствами, и для его получения не требуется автоклав [39]. Известно несколько способов получения вермикулярного чугуна. Наиболее перспективным следует считать способ получения вермикулярного чугуна за счет обработки расплава редкоземельными металлами – Y, Се и др. В этом

случае целесообразно использовать РЗМ в составе лигатур, что значительно уменьшает стоимость модификатора, повышает степень усвоения элементов и полностью устраняет пироэффект. Для получения вермикулярного чугуна используется ряд стандартных лигатур отечественного и импортного производства [39]. Во всех случаях модифицирования и легирования с помощью РЗМ-содержащих лигатур необходимым условием является десульфурация чугуна с целью уменьшения расхода лигатуры и вторичное модифицирование ферросилицием для подавления образования в отливках структурно-свободного цементита.

Физико-механические свойства вермикулярного чугуна в большой степени зависят от количества включений шаровидного графита. С повышением относительного количества шаровидных включений графита свойства вермикулярного приближаются к свойствам высокопрочного, а при уменьшении их количества – к свойствам серого чугуна, но при значительно большей прочности. Оптимальное сочетание прочностных, теплофизических и литейных свойств для таких отливок, как поршни, обеспечивается при содержании в структуре до 20...30 % включений шаровидного графита. Небольшая усадка вермикулярного чугуна при отливке позволяет без переделки моделей и литниково-питающей системы использовать остнастку для отливок из серого чугуна.

Вермикулярный чугун возможно получить также за счет применения лигатуры для высокопрочного чугуна в количестве, не достаточном для полной глобуляризации графита. Такие лигатуры, содержащие Ni и Cu, кроме модифицирования, дополнительно легируют чугун и повышают его эксплуатационные свойства, что важно для материала поршней.

Исследовались свойства чугунов, полученных в промышленных условиях при применении различных глобуляризирующих лигатур. Чугун марки СЧ25 выплавлялся в индукционной печи. В качестве шихты использовался литейный чугун ЛК-4 в чушках по 15 кг и сталь 3. Температура выплавки 1450 °С. Лигатуры вводились в разливочный ковш емкостью 150 кг

в количестве 1,5 % мас. от жидкого чугуна. Перед вводом лигатуры дробились на гранулы зернистостью 2...7 мм и подогревались газовой горелкой до температуры 600...700 °С. Испытываемые лигатуры охарактеризованы в табл. 4.13).

Таблица 4.1

## Химический состав испытанных лигатур

Обозначение лигатуры	Химический состав, % мас.					
	Mg	Cu	Ni	Si	Al	Прочие элементы
Лигатура № 1 (сиитмиш 1)	2	-	-	60	10	РЗМ-28 %
Лигатура № 2	14	41	41	4	-	-
Лигатура № 3	14	-	82	4	-	-
Лигатура № 4	18...20	30...40	30...40	-	-	до 15 % Fe

Для исследования микроструктуры и механических свойств отливались цилиндрические штока диаметром 30 мм и длиной 400 мм в песчано-глинистые формы. Заливка металла в форму осуществлялась при температуре 1330...1350 °С. Чугун дополнительно модифицировался в ковше 75 % ферросилицием в количестве 0,5 % от массы жидкого чугуна. Механические свойства определялись согласно ГОСТ 1412-79. Твердость модифицированных чугунов приведена в табл. 4.14.

Таблица 4.2

## Твердость модифицированных чугунов

Чугун	Чугун с лигатурой № 1	Чугун с лигатурой № 2	Чугун с лигатурой № 3	Чугун с лигатурой № 4
Твердость HRC	13	24	16	15

Как видно из таблицы, все чугуны имеют твердость в пределах требований к поршням.

Исследование микроструктуры полученных чугунов выполнялось на металлографических микроскопах МИМ-9М и ММР-2Р в отраженном свете при увеличениях 100 и 400 крат. Форма графитовых включений и их

распределение изучались на нетравленном шлифе при увеличении  $\times 100$ . Металлическая матрица и относительное количество структурных составляющих определялось на шлифе, травленном 4%-ным раствором концентрированной азотной кислоты в этиловом спирте двойной перегонки при увеличениях 100 и 400 крат. Фотографии микроструктур исследуемых чугунов приведены на рис. 4.5.



*Рис. 4.1. Структура вермикулярного чугуна поршней дизеля ЧН 25/34,  $\times 100$*

**Примечание [п1]:** микроструктуру заменить

Как видно из рис. 4.5, все лигатуры обеспечивают изменение формы графита и получение в структуре вермикулярного и шаровидного графита. Наиболее сильным сфероидизирующим действием обладает лигатура № 3. В структуре этого чугуна около 40 % включений графита имеют почти шаровидную форму, остальные – вермикулярную. Лигатуры № 2 и № 4 дают около 20...25 % шаровидного графита, остальные – вермикулярный. Лигатура № 1 обеспечивает получение почти чисто вермикулярного графита. Металлическая матрица чугунов, представленная на рис. 4.5, значительно отличается друг от друга. Металлическая матрица чугуна № 4 почти на 50 % состоит из феррита, что и объясняет невысокую твердость этого чугуна и невысокие механические свойства. Но этот чугун обладает повышенной пластичностью. Магниево-медно-никелевая лигатура № 2 обеспечивает в структуре чугуна максимальное количество перлита и измельчение графита. Небольшое количество феррита и достаточные пластические свойства обеспечивает лигатура № 2.

Ввод никеля в чугун с лигатурой № 3 способствует некоторому росту твердости чугуна и увеличивает количество легированного феррита, что повышает химическую стойкость чугуна.

Отливались поршни дизелей типа ЧН 25/34 в песчано-глинистые формы, днищем вниз, массой 75 кг. Заливка металла в формы осуществлялась не позднее чем через 600...900 секунд после начала процесса модифицирования. Технология отливки и макроструктура опытных и серийных поршней аналогична. В микроструктуре опытных поршней наблюдается характерная для вермикулярного чугуна форма графитовых включений (рис. 4.5).

Статистический анализ опытных плавов по химическому составу, механическим и теплофизическим свойствам свидетельствует о высокой стабильности разработанного технологического процесса, позволяющего получать прогнозируемые свойства.

Дополнительный ввод в чугун, кроме модификатора, таких элементов, как медь и никель, способствует росту прочности и износостойкости. Ввод дополнительного количества кремния компенсирует снижение жидкотекучести при модифицировании чугуна.

4.1.2. Упрочнение канавок под поршневые кольца. Компрессионные поршневые кольца на одном поршне работают в различных условиях, прежде всего в условиях действия различных давлений (см. раздел 3, рис. 3.2) [46].

В наихудших условиях находится верхнее компрессионное кольцо, на которое действует наибольшее давление и условия смазки которого наихудшие. При возвратно-поступательном движении поршня наблюдается перекладка кольца (рис. 4.6) и, как следствие, неравномерный износ торцовых поверхностей канавок в поршне.

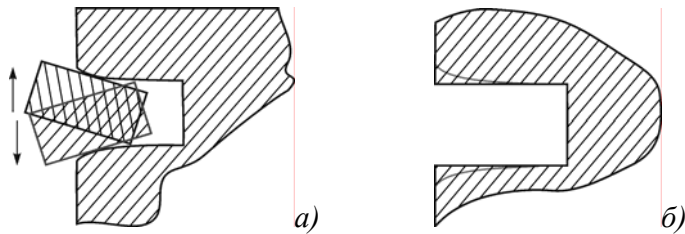


Рис. 4.2. Канавка под поршневое кольцо:

а) перекладка колец в канавке при возвратно-поступательном движении поршня;

б) эпюра износа канавки..

Износ канавок в поршне ухудшает уплотнение рабочего объема цилиндра, снижает индикаторные параметры двигателя, усиливает прорыв газов в картер, ухудшает условия смазки и вызывает необходимость замены поршня. В чугунных поршнях повышение износостойкости поверхностей канавок достигается установкой нирезистовой вставки при отливке заготовки (рис. 4.7).

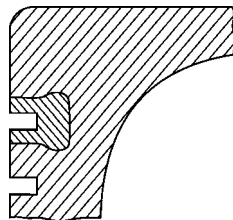


Рис. 4.3. Нирезистовая вставка в зоне первого кольца

Установка подобных вставок ослабляет прочность поршня вследствие плохой связи с основным металлом, кроме того, нирезист и серый чугун имеют различные коэффициенты линейного расширения.

Предложена и разработана технология закалки канавок в поршне с помощью токов высокой частоты (рис. 4.8, а). Специфика распределения вихревых токов Фуко при закалке ТВЧ канавок поршня (рис. 4.8, б) позволяет производить закалку канавки с максимальной твердостью и износостойкостью в зоне максимального износа (рис. 4.8, 4.9).

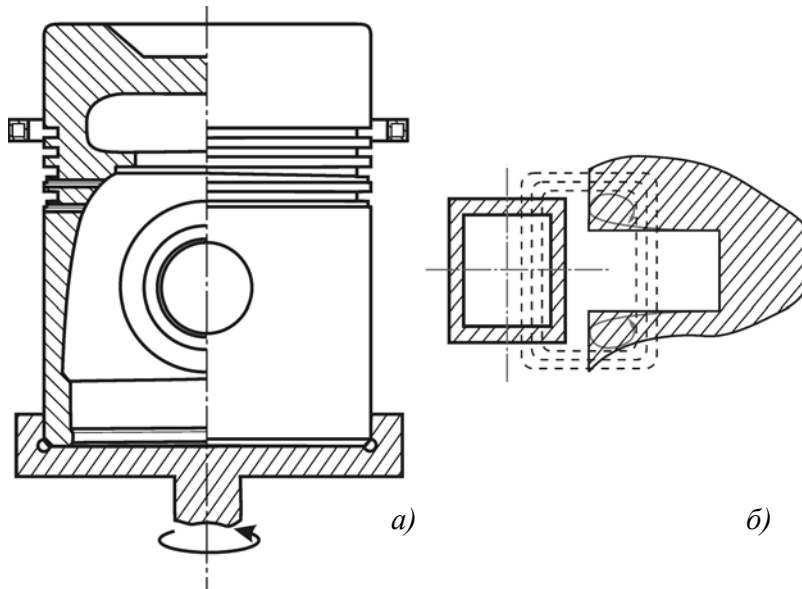


Рис. 4.4. Схема закалки канавок поршня

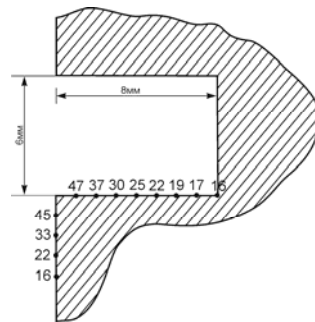


Рис. 4.5. Распределение твердости ( $HRC_s$ ) по торцу канавки поршня дизеля ЧН 25/34 при закалке ТВЧ

Повышение твердости чугуна с  $HRC_s$  15...17 до  $HRC_s$  47...48 обеспечивает повышение износостойкости до трех раз, и, в первую очередь, в зонах максимального износа, что благоприятно сказывается на макрогеометрии поверхностей трения и эксплуатационных показателях работы дизеля.

Также была разработана конструкция эллипсно-бочкообразной формы юбки поршня с нанесением на нее регулярного микрорельефа с последующей фосфатацией поверхности.



Таким образом, можно констатировать, что разработана надежная технология получения поршней судовых среднеоборотных дизелей с высокими эксплуатационными свойствами, которые будут способствовать увеличению надежности и долговечности дизелей в процессе эксплуатации.