

УДК 621.745

Ю.А. Зиновьев¹, А.А. Колпаков², С.В. Кузнецов¹, В.Д. Швецов¹, Г.И. Белявский¹**СОЗДАНИЕ БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКОСЕРНИСТОГО И ВЫСОКОСЕРНИСТОГО ЧУГУНОВ ОДНОЙ ПЛАВКИ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева¹,
ОАО «ГАЗ»²

Приведен обзор технологий получения литых распределительных валов и предложен новый способ получения с целью повышения его износостойкости введением новых добавок кальция с серой. Одновременно была решена проблема базовой плавки в одной печи низкосернистого чугуна для коленвалов и высокосернистого для распредвалов путем совместного введения серосодержащих веществ вместе с ферромарганцем в ковш.

Ключевые слова: отливка, отбеленный чугун, распредвал, модификаторы, добавки.

Задачи повышения эффективности автомобильной техники, увеличения ее долговечности, снижения металлоемкости не могут быть решены без непрерывного совершенствования техники и технологии литейного производства. Поэтому в программах развития и технического перевооружения литейного производства, отражающих наметившиеся в мировом автомобилестроении тенденции, предусматривается совершенствование структуры потребления литых заготовок из высококачественного чугуна с применением прогрессивных технологических процессов, оборудования и средств автоматизации.

Одной из деталей распределительного механизма современного автомобильного двигателя, от которой в значительной степени зависит надежность и долговечность работы самого двигателя, является распределительный вал. Изнашивание деталей газораспределительной системы связано с протеканием сложных механических и теплофизических процессов, включающих трение при высоких удельных нагрузках в условиях граничной смазки и наличие некоторого количества абразивных частиц в сопряжениях трущихся поверхностей. Именно в таких условиях контактных нагрузок и высоких скоростей относительного перемещения пар трения поверхностей кулачков и толкателей работает распределительный вал.

Современные тенденции развития производства высокооборотных автомобильных двигателей повышенной мощности выявили необходимость борьбы с преждевременным износом распределительных валов.

Возможность замены стали как материала распредвалов на чугун продолжала оставаться в поле зрения автомобилестроителей. Повышенный интерес к чугуну в последние годы вызван тем, что в условиях массового производства автомобильных двигателей, наряду со значительной износостойкостью, распределительные валы должны быть не только технологичными, но и экономически выгодными [1]. Чугун наиболее полно удовлетворяет этим требованиям.

Служебные характеристики литых деталей из отбеленных чугунов в сочетании с заданной твердостью рабочих поверхностей позволяют достичь в распределительных валах износостойкости, превышающей этот показатель в аналогичных стальных заготовках, что открывает большие возможности по экономии стального проката, снижению трудоемкости механической обработки за счет получения отливок уменьшенной массы и близких по конфигурации к готовой детали.

Стальные распределительные валы по эксплуатационным и технологическим показателям уступают современным чугунным валам (особенно при использовании их в высокооборотных двигателях). Дело в том, что вследствие меньшего модуля упругости чугуна в сравнении со сталью его применение способствует значительному снижению контактных напряжений. В чугуне можно осуществлять регулирование содержания карбидов, которые

резко повышают износостойкость, являющуюся одним из важнейших показателей материала распределительных валов и пропорциональную, как известно, поверхностной твердости. Применение отбеленных чугунов позволяет получать необходимую твердость не менее 49 HRC. Достаточно хорошая теплопроводность чугуна снижает температурные напряжения в валах.

В то же время в большинстве случаев распределительный вал слабо нагружен, поэтому требования к прочности материала минимальны ($\sigma_e < 250$ МПа). В таких условиях применение чугуна, способного уменьшать динамические знакопеременные нагрузки и колебания, наиболее выгодно.

Максимальная износостойкость обеспечивается за счет создания на трущихся поверхностях отбеленного слоя. Достигается это применением целого ряда технологических приемов, таких как установка в литейную форму индивидуальных холодильников, изготовление биметаллических деталей (толкателей, рычагов, клапанов), рабочая поверхность которых выполнена наплавкой белого чугуна или применением вставок из такого чугуна.

В последнее время разработан еще один метод упрочнения кулачков чугунных распределительных валов и рычагов клапанов путем оплавления поверхностного слоя (толщиной около 1 мм) при помощи точечного источника энергии.

Получение высококачественной отбеленной зоны кулачка, стабильной по расположению, может быть достигнуто в результате использования различных способов литья. При этом требуется организация специализированных смежных участков по всему циклу производства, в том числе для изготовления точных металлических холодильников, предназначенных для формирования качественного отбеленного слоя.

В тенденциях развития производства чугунных распределительных валов за рубежом просматриваются следующие основные направления: получение отливок с однородной структурой и последующей поверхностной закалкой кулачков и эксцентриков ТВЧ или поверхностным точечным оплавлением, а также получение отливок с уже отбеленным, поверхностным слоем кулачков и эксцентриков, имеющим высокую твердость и износостойкость.

Как правило, распределительные валы из серого чугуна отливают в сырых песчано-глинистых либо в песчано-смоляных оболочковых формах. При этом заданная твердость кулачков достигается поверхностным (пламенным или индукционным) нагревом до 800-840°C с последующей закалкой на мартенсит либо за счет установки в форму холодильников. В последние годы фирма Ford Motor Co's Caeting Division (США) и её канадские отделения производят отливки распределителей методом литья по газифицируемым моделям [2].

Фирмой AEG-Elotherm (ФРГ) были внедрены в производство первые промышленные установки для получения отбеленных отливок распределительных валов, способом, суть которого сводится к тому, что поверхность литой заготовки оплавляется в атмосфере инертного газа с помощью электрической дуги между вольфрамовым электродом и заготовкой. При последующем естественном охлаждении расплава вследствие захлаживающего действия массы отливки образуется ледебуритная структура с твердостью до 56 HRC. Способ выигрывает в сравнении с индукционной закалкой в части прочностных возможностей валов, но достигаемая с его помощью небольшая глубина упрочненного слоя чревата опасностью образования в нем газовых раковин, пор, микротрещин, что значительно снижает его преимущества [1, 3].

Хотя получение отбеленных отливок при помощи индивидуальных холодильников представляет собой трудоемкий процесс, включающий изготовление, подготовку и сборку в литейной форме большого количества холодильников, этот метод нашёл сейчас наибольшее применение в практической деятельности ряда фирм для различных марок серых чугунов.

Процесс получения распределительных валов, отбеленных при помощи холодильников, не только обеспечивает высокую износостойкость, но и позволяет расширить пределы химиче-

ского состава чугуна, ликвидировать недостатки, присущие подвергаемым закалке деталям (необходимость рихтовки, образование трещин, отслоение закаленного слоя и т.д.) [4, 5].

Английские и японские производители придерживаются одного мнения в оценке эффективности использования отбеленных чугунов при получении распредвалов автомобильных двигателей. При высоких скоростях охлаждения (от холодильника) наружный слой отливки имеет структуру белого чугуна, в котором углерод находится в связанном состоянии, в виде карбидов, сердцевина - серый чугун, а переходный слой представляет собой структуру чугуна половинчатого. Карбидообразующие элементы Cr и Mn способствуют стабилизации карбидов, измельчению перлита, увеличению прочности, твердости, износостойкости материала. В развитых странах подавляющее число распредвалов автомобильных двигателей изготавливают из отбеленного чугуна.

Результаты активных многофакторных исследований влияния химического состава металла на качество распредвалов и практический опыт в этой области подвели специалистов-литейщиков к мысли о том, что наиболее рациональным материалом для литых заготовок рассматриваемой детали является серый чугун с заданным содержанием компонентов. Так, по мнению польских специалистов, чугуновый распредвал, отлитый в песчаной форме с холодильниками соответствующей толщины (5-20 мм), не нуждается в индукционной закалке, если химический состав серого чугуна соответствует следующему соотношению элемента, %: C 3,1-3,5; Mn 0,5-0,8; Si 1,8-2,2; Cr 0,7-0,9; Ni 0,15-0,3; Cu 0,3-0,7; S ≤ 0,15; P ≤ 0,2 [6].

Для распределительных валов, требующих более высокого сопротивления точечной коррозии и истиранию, фирма Riken Co (Япония) использует отбеленный чугун марки RIK-C3 несколько иного химического состава (вес, %): C 3-3,8; Si 1,6-2,8; Mn 0,5-1,0; P ≤ 0,3; S ≤ 0,15; Cr 0,1-1,0; Ni 0,2-1,0; Mo ≤ 0,5. Поверхностная твердость на носике кулачка достигает 47 HRC [7]. При этом следует отметить, что в литейных цехах фирмы распределительные валы получают в разовых песчаных формах на автоматических линиях. Одним из предлагаемых способов изготовления подобных литых заготовок является литье в оболочковые формы [7,8], где оболочку в опоке располагают горизонтально. С целью повышения эффективности отбеливания кулачков в форме устанавливают холодильники, при этом глубина отбела достигает 3,5-4,0 мм. Рекомендуемая температура заливки 1280-1370°C [8].

Фирма Рено (Франция) распределительные валы отливает из чугуна с искусственным отбелом холодильниками, химический состав чугуна, %: C 3,3- 3,4; Mn 0,8-1,0; Si 1,5-1,8; P ≤ 0,05; S ≤ 0,05; Mo 0,15-0,2. При этом глубина отбела - 5 мм, припуск на обработку - 2 мм, твердость отбеленного слоя 48-50 HRC.

Фирма Вольво (Швеция) изготавливает распределительные валы с закалкой кулачков. Чугун содержит Mo до 0,5%, Ni до 0,5%, Cr до 1%.

В России распредвалы отливаются с отбеливанием холодильниками кулачков (ОАО «ГАЗ»), точечным оплавлением носиков кулачков (ОАО «ВАЗ») и отбеливанием кулачков в кокилях [9].

По данным российских исследователей оптимальным химсоставом является, %: C 3,5-3,6; Mn 0,75-0,95; Si 1,9-2,2; P ≤ 0,2; S 0,1-0,15; Cr 0,2-0,3. При этом твердость отбеленного слоя достигает 52-53 HRC, а глубина 9,5-14 мм [9].

Исследователь [10] рекомендует для повышения износостойкости литых отбеленных изделий вводить хром, который стабилизирует карбидную фазу, увеличивает твердость и износостойкость отбеленного слоя, а также марганец, активно подавляющий перлитное превращение аустенита железоуглеродистых сплавов.

Установлено, что, несмотря на наличие нескольких новых технологий, применяемых в настоящее время при производстве износостойких распределительных валов (комбинированные валы с кулачками из металлокерамики, либо наплавка на кулачки износостойкого сплава), валы с отбеленными кулачками остаются вне конкуренции. Подобная оценка

вытекает из сравнительных данных таких параметров, как износостойкость, технология производства и экономическая целесообразность.

Для повышения твердости и глубины отбелённого слоя увеличивали количество карбидообразующих элементов, например, при введении теллура увеличивалась не только глубина и твердость отбелённого слоя на кулачках, но и происходил отбел на других элементах вала. При введении большого количества хрома, увеличивалась не только глубина и твердость отбелённого слоя на кулачках, но и увеличивалось количество усадочных дефектов (утяжин) между опорными шейками и стержнем вала. Уменьшение количества хрома исключало усадочные дефекты в элементах вала, но и уменьшало глубину и твердость отбелённого слоя носиков кулачков. Решением этого противоречия было введение комплексной добавки, содержащей кальций и серу [11]. Сера стабилизировала глубину и твердость отбелённого слоя при оптимальном содержании хрома и марганца в чугуне, кальций графитизировал металл в стержне вала.

Отбел на кулачках стал получаться чётким, с высокой твердостью, достаточной глубиной отбела и без включений точечного графита, но без цементита в стержне вала и усадочных дефектов в элементах вала. Твердость кулачков выровнялась [11].

Анализ зарубежной и отечественной практики изготовления литых распределительных валов позволяет сделать следующие выводы:

1. Литые распределительные валы из чугуна превосходят штампованные стальные заготовки по эксплуатационным, технологическим и технико-экономическим показателям, что приводит к получению большого экономического эффекта.

2. Из всех способов получения литых чугунных распредвалов, максимальный технико-экономический эффект обеспечивают чугунные распределительные валы, получаемые с отбелом кулачков с помощью холодильников в литье.

3. Ввод комплексной добавки с кальцием и серой дал возможность стабилизировать технологию распредвалов в массовом производстве по глубине отбела и твердости кулачков и исключил усадочные дефекты, а также цементит в стержне вала.

В дальнейшей работе возникла проблема плавки чугуна в одной печи не только высокосернистого для распредвалов, но и низкосернистого для коленвалов. Поэтому задачей следующей работы было исключение ввода серосодержащего вещества в шихту печи, так как металл в печи стал базовым для получения низкосернистого высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для коленвалов, а серосодержащее вещество надо было вводить в ковш.

Известен способ получения отливок автомобильных распредвалов [12]. Недостатком данного способа является недостаточная глубина отбела на носиках кулачков и наличие цементита в опорных шейках. Наиболее близким к предлагаемому способу по технической сущности и достигаемому результату является способ получения отбеленных износостойких отливок [13]. Недостаток данного способа – низкая эффективность его применения при вводе гипса в ковш.

Задачей данной работы было исследование эффективности различных способов ввода серосодержащих веществ в ковш.

На АОО «ГАЗ» в условиях литейного цеха были проведены опытные сравнительные плавки получения распредвалов известным и предложенным способами. Чугун выплавляли в дуговой печи с кислой футеровкой. В качестве шихты использовали чушковые передельные чугуны, возврат чугуна СЧ21, отходы стали, ферросилиций, ферромарганец, феррохром и коксик.

Металл перегревали в печи до 1520°C, выливали в передаточный ковш, а из него – в три заливочных ковша. Заливка форм распредвалов велась при 1360-1420°C тремя вариантами: 1-й вариант – с добавкой гипса в печь; 2-й вариант – с добавкой гипса в ковш и 3-й вариант – с добавкой гипса вместе с ферромарганцем в ковш.

Таблица 1

Способ получения отливок	Вариант №	Химанализ, %						Увеличение серы, %	Количество гипса, %		Совместно, в ковш: (гипс+FeMn70),%
		C	Si	Mn	Cr	P	S		В печь	В ковш	
	исходный	3,81	1,75	1,02	0,32	0,075	0,012	-	-	-	-
Известный	1	3,80	1,76	1,03	0,31	0,075	0,02	170	0,08	-	-
	2	3,81	1,79	1,02	0,30	0,074	0,022	180	0,1	-	-
	3	3,78	1,76	1,03	0,30	0,074	0,052	430	0,4	-	-
	4	3,76	1,78	1,02	0,29	0,073	0,072	600	0,6	-	-
	5	3,74	1,80	1,04	0,29	0,072	0,096	800	0,8	-	-
	6	3,72	1,87	1,05	0,28	0,068	0,102	900	0,9	-	-
	1	3,80	1,78	1,02	0,32	0,075	0,015	125	-	0,08	-
	2	3,81	1,79	1,03	0,31	0,074	0,019	150	-	0,1	-
	3	3,79	1,79	1,02	0,30	0,074	0,028	230	-	0,4	-
	4	3,78	1,80	1,02	0,29	0,073	0,042	350	-	0,6	-
	5	3,77	1,81	1,01	0,28	0,073	0,056	470	-	0,8	-
	6	3,76	1,89	1,00	0,28	0,072	0,070	580	-	0,9	-
Предлагаемый	исходный	3,82	1,77	0,30	0,32	0,074	0,013	-	-	-	-
	1	3,81	1,78	1,21	0,33	0,073	0,018	150	-	-	0,08+3,0
	2	3,80	1,79	1,18	0,32	0,074	0,021	175	-	-	0,1+3,0
	3	3,79	1,80	1,17	0,29	0,073	0,044	370	-	-	0,4+3,0
	4	3,78	1,81	1,18	0,28	0,072	0,066	550	-	-	0,6+3,0
	5	3,78	1,83	1,19	0,28	0,073	0,088	730	-	-	0,8+3,0
	6	3,77	1,81	1,20	0,28	0,074	0,100	800	-	-	0,9+3,0

Таблица 2

Способ получения отливок	Вариант №	Твердость кулачков, HRC	Величина отбела на кулачках, мм	Твердость опорной шейки, HB 5/750/10	Микроструктура опорной шейки
Известный способ	1	46	6,8	179	ПГф1,2-ПГд45-90-ПГр1,2-ПГ10-П85(Ф15)
	2	49,7	7,8	190	ПГф1,2-ПГд45-90-ПГр1,2-ПГ10-П96(Ф4)
	3	49	8,6	197	ПГф1,2-ПГд45-ПГр1-ПГ10-П96(Ф4)
	4	52	8,9	217	ПГф1,2-ПГд45-ПГр1-ПГ10-П(Ф0)
	5	53	9,2	229	ПГф1,2-ПГд45-ПГр1,2-ПГ10-П(Ф0)
	6	58	11	260	ПГф1,2-ПГд45-ПГр1,2-ПГ10-П(Ф0) Ц6-Цп2000
Предлагаемый способ	1	47	7,0	187	ПГф1-ПГд45-ПГр1,2-ПГ10-П96(Ф4)
	2	49	8,4	220	ПГф1-ПГд45-ПГр1-ПГ10-П(Ф0)
	3	51	8,8	229	ПГф1,2-ПГд45-90-ПГр1-ПГ10-П(Ф0)
	4	53	9,2	235	ПГф1-ПГд45-ПГр1-ПГ10-П(Ф0)
	5	55	9,4	240	ПГф1-ПГд45-ПГр1-ПГ10-П(Ф0)
	6	60	12	260	ПГф1-ПГд25-ПГр1,2-ПГ10-П(Ф0) Ц4-Цп2000
Технические условия		≥49 HRC -3мм	≥ 7,8 мм	190-255	Феррита до 8%., цементит не допускается

В табл. 1 приведены химсоставы распресвалов с различным количеством введенных добавок гипса. В табл. 2 даны твердости кулачков, величины чистого отбела на кулачках, твердости опорных шеек и их микроструктура в зависимости от разного способа введенного в чугун гипса. Серосодержащее вещество – гипс – попробовали ввести в ковш. Усвоение серы было небольшим (табл. 1, 230-470%) по сравнению с вводом в печь (400-800%). При совместном вводе в ковш гипса и ферромарганца усвоение серы увеличилось и стало 370-730%. В табл. 2 приведены механические свойства и структура - твердость и величина отбела кулачков выше у предлагаемого способа, чем у известного, что повышает износостойкость кулачков распресвала по новому способу. В структуре опорной шейки известного способа имеется цементит. В опорной шейке предлагаемого способа цементита и феррита нет. Структура стабильно-перлитная и твердость выше, что улучшает и их износостойкость. Как видно из табл. 1 и 2, совместный ввод гипса и ферромарганца в ковш дает максимальный положительный эффект: увеличение усвоения серы в ковше (варианты 2-5, табл. 1 предлагаемого способа), увеличение отбеленного слоя со стороны холодильников (варианты 2-5, табл. 2 предлагаемого способа) и исключение «отбела» в центральной части отливки распресвала.

Поскольку усвоение серы в известном способе, в ковше, ниже, чем в печи (как видно из табл. 1), вариант ввода одного гипса в ковш в табл. 2 уже не рассматривается.

Ввод 0,08 % гипса с ферромарганцем в ковш (вариант 1 предлагаемого способа) дает недостаточную величину отбела на носиках кулачков распресвала. Начиная с 0,1% до 0,8% гипса, введенного с ферромарганцем в ковш, получается стабильно нормированная величина отбела на носиках кулачков и полностью отсутствует цементит в опорных шейках (варианты 2-5).

Ввод 0,9% гипса с ферромарганцем в ковш является уже излишним, так как приводит к появлению цементита в опорных шейках и завышенной их твердости (табл. 2, вариант 6). Таким образом, ввод 0,1-0,8% гипса вместе с ферромарганцем в ковш дает самый оптимальный положительный эффект, увеличение твердости и глубины отбеленного слоя со стороны холодильника (и исключение отбела в центральной части элементов отливки), что повысило износостойкость распресвала.

Таким образом, был разработан и внедрен новый технологический процесс плавки в одной плавильной печи: низкосернистого для высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для коленвалов и высокосернистого серого чугуна для распресвалов повышенной износостойкости [14].

Библиографический список

1. **Крючков, О.Н.** Износостойкость литых деталей газораспределительного механизма автомобильных двигателей / О.Н. Крючков, М.М. Левитан // Автомобильная промышленность, 1986. №1. С. 3–11.
2. **Martha, K. Siebel.** Evaporative pattern casting. The process and its potential // Modern Casting, 1986. №1. Р. 31.
3. **Чуркин, В.С.** Управление технологическими факторами с целью получения отливок с регламентированной структурой на примере производства износостойких автомобильных валов в облицованных кокилях // Автореферат диссертации канд. техн. наук 05.16.04. – М., 1982. С. 22–23.
4. **Clark, R.** Widening scope for iron casting // Metal Bull. Mon., 1986, № 182. Р. 85–88.
5. Литейное производство в автомобильной промышленности Японии // Автомобильная промышленность, 1984. №6. С. 37–38.
6. Заявка №251177, ПНР, МКИ В 22 С, С 22 С. Способ изготовления распределительных валов двигателей внутреннего сгорания из серого чугуна // Изобретения за рубежом. Опубликовано 86.07.01. №13.
7. Заявка 58-112651, Япония, МКИ В 22 Д 25/02, В 22 Д 18/06. Литьё в оболочковые формы распределительных валов / Маэсава Сэй [et al.]. №56-209289. Заявл. 25.12.81, Опубл. 05.07.83.
8. **Платонов, Б.П.** Литые распределительные валы автомобильных двигателей / Б.П. Платонов, А.А. Колпаков // Труды НГТУ, 1997. С. 56–59.

9. **Матвеева, М.О.** Разработка чугунов с повышенными эксплуатационными свойствами // Литейное производство. 2007. №9, С. 2–5.
10. А. с. №1206328. Присадка для легирования сплавов кальцием и серой / Зиновьев Ю.А. [и др.]. С22С35/00. Бюл. №3. 1986.
11. А.с. 980955, М.Кл.²В22Д27/04. Способ получения отливок автомобильных распределительных валов / Б.П. Платонов, А.А. Колпаков. Бюл. № 17. 1989.
12. Пат. №2254207. Способ получения отбелённых износостойких отливок / Зиновьев Ю.А. [и др.]. Бюл. № 17. 2005.

*Дата поступления
в редакцию 09.12.2013*

**Yu.A. Zinoviev¹, A.A.Kolpakov², S.V.Kuznetsov¹, V.D. Shvetsov¹,
G.I. Belyavsky¹**

CREATING THE BASE TECHNOLOGY OF PRODUCING SAME-HEAT LOW-SULFUR AND HIGH-SULFUR IRONS

Nizhni Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
JSC «GAZ²»

Purpose: Low-sulphur iron for crankshaft and high-sulphur iron for camshaft cast at one blow.

Methodology: Addition (introduction) of various alloying agents into liquid ladle cast iron, and structure and properties examination of samples and parts.

Findings: New compound agents for ladle cast iron made it possible to found base iron for cast products of different composition in one furnace.

Originality/value: The originality is protected by two invention patents.

Key words: casting, chilled iron, distributing shaft, inoculants, additions.