

УДК 621.745

Ю.А. Зиновьев¹, А.А. Колпаков², С.В. Кузнецов¹, В.Д. Швецов¹,
Г.И. Белявский¹, А.М. Шнейберг¹

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «Горьковский автомобильный завод»²

Приведен краткий обзор технологий получения литых распределительных валов. Предложен новый способ получения изделий с целью повышения износостойкости введением новых добавок с кальцием и серой.

Ключевые слова: литые распределительные валы, отбеленный чугун, эксплуатационные и технологические показатели.

Задачи повышения эффективности автомобильной техники, увеличения её долговечности, снижения металлоёмкости не могут быть решены без непрерывного совершенствования техники и технологии литейного производства.

Одной из деталей распределительного механизма современного автомобильного двигателя, от которой в значительной степени зависят надежность и долговечность работы самого двигателя, является распределительный (кулачковый) вал.

Изнашивание деталей системы газораспределения связано с протеканием сложных механических и теплофизических процессов, включающих трение при высоких удельных нагрузках в условиях граничной смазки и наличия 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.

Отклонение в работе распределительного вала приводит к нарушению процесса воспламенения, снижению мощности оборотов и экономичности двигателя. В связи с этим к детали предъявляется комплекс определенных технических требований:

- высокая износостойкость кулачков;
- способность гасить динамические колебания;
- высокая твердость и хорошая вязкость;
- высокие механические свойства на сжатие, изгиб и срез;
- оптимальные микро- и макроструктуры, обеспечивающие хорошую сопротивляемость износу в различных условиях эксплуатации;
- стабильность структуры и свойств при рабочих температурах;
- высокая теплопроводность, обеспечивающая быстрый отвод тепла из зон местного нагрева;
- хорошая сопротивляемость усталостным разрушениям; отсутствие склонности к схватыванию с материалом толкателя.

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

Из всего многообразия факторов, влияющих на эксплуатационную стойкость распределительных валов, определяющую роль, по мнению специалистов, должен играть выбор как материала детали, так и средств обеспечения заданных физико-механических свойств и микро-

структуры, характерных для этой детали. Поэтому исследования последних лет в области производства распределительных валов велись в основном в двух направлениях - изыскание рациональных материалов для изготовления ответственных литых заготовок и совершенствование технологии их получения при невысокой себестоимости.

В качестве материалов для автомобильных распределительных валов обычно применялись углеродистые и легированные стали.

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 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 для экономии стального проката, снижает трудоемкость 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. Наличие свободного углерода в виде графитовых включений в чугуне позволяет предотвратить возникновение сухого трения и наиболее тяжелого вида повреждения поверхности - задира в зоне контакта "кулачок-толкатель". Кроме того, 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 HRC₃ 49 при отсутствии (в отличие от стальных) термообработки. 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 ($\sigma_B \leq 25 \text{ кг/мм}^2$). В таких условиях применение серого чугуна, способствующего уменьшению динамических знакопеременных нагрузок и колебаний, 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.

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 т.ч. для изготовления точных металлических холодильников, предназначенных для формирования качественного отбеленного слоя.

Как правило, распределительные валы из серого чугуна отливают в песчано-смоляных оболочковых формах. При этом заданная твердость кулачков достигается за счет установки в форму холодильников.

Технология изготовления чугунных распределительных валов с доследующей закал-

кой для деталей двигателей быстроходных автомобилей при кажущейся приспособленности к условиям массового производства не обеспечивает стабильной работоспособности этой детали - имеет место ранний задир и износ кулачков [1].

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 нашел сейчас наибольшее применение в практической деятельности ряда фирм для различных марок серых чугунов. Об этом свидетельствуют публикации зарубежной периодики, а также ряд патентов автомобилестроительных фирм Японии, США и стран Западной Европы [2-4].

Процесс получения распределительных валов, отбеленных при помощи холодильников, не только обеспечивает высокую износостойкость, но и позволяет расширить пределы химического состава чугуна, ликвидировать недостатки, присущие подвергаемым закалке деталям (необходимость рихтовки, образование трещин, отслоение закаленного слоя и т.д. [5].

В оценке эффективности использования отбеленных чугунов в производстве распределительных валов автомобильных двигателей английские и японские производители единодушны. В этом направлении ими проведены серьезные исследования механизма формирования белых чугунов [6, 7]. При высоких скоростях охлаждения 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 (до 0,3 %) и Mn способствуют стабилизации карбидов, измельчению перлита, увеличению прочности, твердости, износостойкости материала.

Результаты активных многофакторных исследований влияния химического состава металла на качество распределительных валов 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, чугунный распределительный вал, отлитый в песчаной форме с холодильниками соответствующей толщины (5-20 мм), не нуждается в индукционной закалке, если химический состав серого чугуна соответствует следующему соотношению элементов, %: 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, Si 0,3-0,7, S \leq 0,15, P \leq 0,2 [21].

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 \leq 0,3;

S \leq 0,15; Cr 0,1-1,0; Ni 0,2-1,0; Mo \leq 0,5. Поверхностная твердость на носике кулачка достигает HRC₃ 47 [23]. 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 [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.

При термической обработке кулачков распределительных валов возникают сложности, связанные с частичным выкрашиванием упрочненного слоя и микротрещинами, отсутствием надежной воспроизводимости получаемых результатов по износостойкости деталей.

Таким образом, 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.

Испытания распредвалов стальных, с закалкой кулачков и чугуновых с отбеленными кулачками показали, что если при 150 тыс. км пробега отбеленные кулачки чугуновых валов не имеют износа, то для такого же пробега необходимо произвести замену стальных валов до 2-х раз из-за чрезмерно большого износа кулачков. Поэтому было принято решение ставить на новые двигатели только чугуновые распределительные валы с искусственным отбелом кулачков с помощью холодильников [9]. Трудность организации производства валов заключалась в том, что для их отливки необходим чугун специального химсостава, отличающийся от стандартных СЧ15 и СЧ25.

Для повышения качества отбела кулачков распредвала применили дополнительное легирование чугуна дробленным феррохромом в раздаточный ковш в количестве 0,2-0,4%. В качестве критерия отбеливающей способности чугуна была принята технологическая проба – клин. По глубине отбела на клине экспериментально устанавливали необходимое количество добавляемого феррохрома. Для большего удобства в работе была разработана номограмма зависимости: глубина отбела по клину – навеска вводимого феррохрома в ковш. Но выявилась проблема: при более «жестком» химсоставе металла, когда на кулачках был отличный отбел, на отливках возникали дефекты в виде «утяжин» и «усадочных раковин» в сопряжениях между шейками и стержнем вала. Для предупреждения указанных дефектов в отливках скорректировали номограмму, ужесточив количество вводимого феррохрома. Но тогда появились случаи неудовлетворительного отбела кулачков распредвала. Установка прибыли со стороны хвостовика уменьшила усадочные дефекты в вале. Для уменьшения колебаний химсостава (в особенности по углероду к кремнию) в течение смены была организована плавка металла отдельно в тигельной индукционной печи, где выдача чугуна из печи производилась после получения требуемого химсостава по данным спектрального анализа из химлаборатории.

После расплавления всей шихты при температуре 1480°C заливали предварительную пробу на химанализ и технологическую пробу – клин на отбел. По результатам химанализа предварительной пробы и глубины отбела клина в печь вводили необходимые присадки. Навеску феррохрома брали по разработанной номограмме. Затем, доведя температуру металла в печи до 1480°C, заливали второй клин на отбел. При недостаточном отбеле на клине в печь вводили дополнительно феррохром. При достижении температуры 1500°C металл из печи выдавали в раздаточный ковш. Заливку валов производили при температуре 1440-1380°C в корковые формы, с вставленными в них холодильниками. Все же и в этой печи (в меньшей степени) оставалась проблема исключения усадочных дефектов или неудовлетворительный отбел на кулачках вала. Эта проблема была решена после внедрения новой добавки [10] – серокальцийсодержащего вещества (окшары), которую стали вводить в печь в количестве 0,4-0,6%.

Отбел на кулачках стал получаться четким, без включений точечного графита с твердостью 49-55 HRC, и на глубину ≥ 7 мм. Микроструктура отбеленного слоя кулачков состояла из столбчатых карбидов и ледебурита с плавным переходом в неотбеленную часть отливки, состоящей из пластинчатого графита и сорбитообразного и мелкопластинчатого перлита. Но поскольку окшара была отходом лесохимии, была замечена нестабильность по химсоставу и количеству влаги, что вынуждало ее прокалывать в печах. Поэтому перешли на новую серокальцийсодержащую присадку – гипс, который выпускается промышленностью прокаленным, со стабильным химсоставом и любой расфасовки [11].

Макроструктура кулачка с добавкой гипса и без добавки показаны на рис. 1 и рис. 2. Новая присадка увеличила стабильность получения отбела на носиках кулачков распредвалов, а в остальных частях вала исключало первичный цементит.

Переход на использование одной и той же индукционной печи для плавки разных по химсоставу чугунов, в частности, с высоким содержанием серы до 0,08-0,12% для распре-

валов и до 0,02% для получения высокопрочного чугуна, привели к смене места ввода гипса с тигля электрической печи в раздаточный ковш, но гипс стали вводить вместе с ферромарганцем для лучшего усвоения серы и кальция из гипса чугуном [12].*

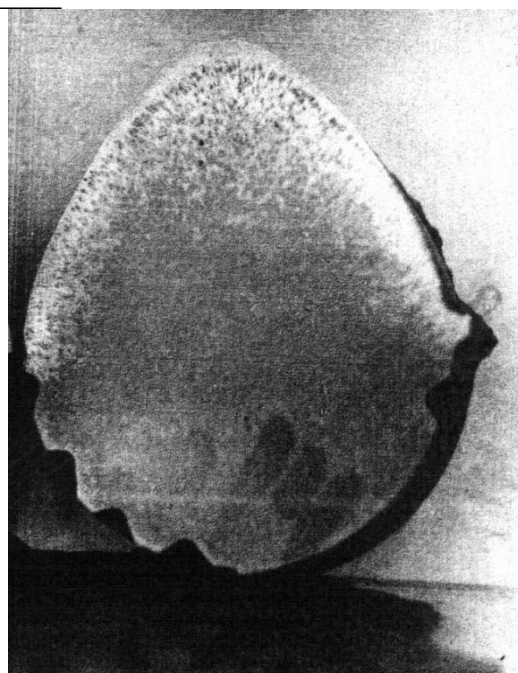
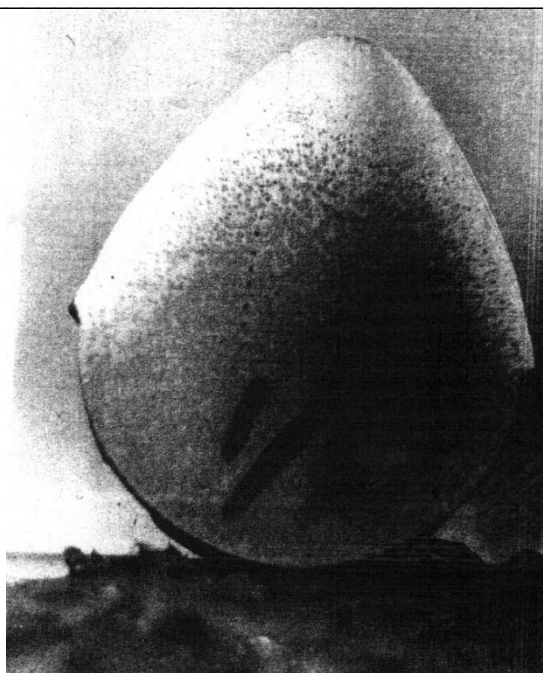


Рис. 1. Макроструктура кулачка распредвала с добавкой гипса

Рис. 2. Макроструктура кулачка распредвала без добавки гипса

Библиографический список

1. **Крючков, О.Н.** Износостойкость литых деталей газораспределительного механизма автомобильных двигателей / О.Н. Крючков, М.М. Левитан // Автомобильная промышленность. – 1996. – № 1. – С. 8-11.
2. Заявка 58-112651, Япония, МКИ В 22 Д 25/50, В 22 Д 18/06. Литье в оболочковые формы распределительных валов (Маэсава Сэй и др. (Япония); № 56-209289; заявлено 25.12.81; опубл. 05.07.83.
3. Заявка 59-39446, Япония, МКИ В 22 С 9/00, В 22 С 9/22. Литье в оболочковые формы кулачковых валов / Киносита Нобуру (Япония); Тоё когё к.к. (Япония).- 57-148258; заявлено 25.08.82; опубл. 03.03.84.
4. Заявка 60-191618, Япония, МКИ В 21 Д 15/00. Литье в металлокерамические формы кулачковых валов (Мидзуно Йосикацу, Гоми Фукуо, Исомура Хироюки (Япония); № 59-46065; заявлено 9.03.84; опубл. 30.09.85.
5. Литейное производство в автомобильной промышленности Японии // Автомобильная промышленность. – 1984. № 6. – С. 37-38.
6. Заявка 60-139968, Япония, МКИ 16 Н 53/02, В 22 7/08. Распределительный вал / Умэба Гэнкити, Хиракава Лсаму; Ниппон писутон рингу к.к. - № 58-245447; заявлено 28.12.83; опубл. 24.07.85.
7. Заявка 61-115660, Япония, МКИ В 22 Д 19/02, В 22 С 9/04. Способ литья кулачковых валов / Катадзумэ Юдзи, Умэгаки Сюдзю; Ниссан дзидося к.к. - № 59-237429; заявлено 13.11.84, опубл. 3.06.86.
8. Проспекты фирмы Рикен Корпорейшен. «Детали двигателя фирмы «Рикен», 2007.
9. Способ получения отливок автомобильных распределительных валов. Б.П. Платонов, А.А. Колпаков. Авторское свидетельство № 980955, 1968.

* В работе участвовали: Эпштейн К.К., Степанов А.В., Гусаров Н.Н.

10. Авторское свидетельство № 1206328, С 22 С35/00 Бюл. № 3, 1986 г. Зиновьев Ю.А., Чураев В.М. [и др.]. Присадка для легирования сплавов кальцием и серой.
11. Патент на изобретение № 2254207, 2005 г. Зиновьев Ю.А., Колпаков А.А., Зуев М.П. [и др.]. Способ получения отбеленных износостойких отливок.
12. Патент на изобретение № 2477195, 2013 г. Зиновьев Ю.А., Колпаков А.А., Куракин С.А., Кривошеев О.С., Селихов В.А., Никитин А.В. Способ получения отбеленных износостойких отливок.

*Дата поступления
в редакцию 20.11.2017*

Yr. Zinoviev¹, A. Kolpakov², S. Kuznetsov¹, V. Shvetsov¹, G. Belyavsky¹, A. Schneiberg¹

IMPROVING THE PRODUCTION OF CAST DISTRIBUTING SHAFTS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alekseev¹,
GAZ Corp.²

Purpose: Design and development of productive technology for cast camshafts for high-speed automobile engines for the purpose of their operational parameters improvement.

Design/methodology/approach: Additional ferrochrome alloying and introduction of sulphur and calcium substance (plaster) into the alloy were used for the purpose of camshaft cams chilling quality improvement.

Findings: The new technology allowed for improvement of durability features of the camshaft cams.

Research limitations/implications: The developed technology is meant to be used in automobile engines production area. Originality/value: The usage of the compound sulphur-calcium additive allowed for maintaining higher contents of carbides in noses of camshaft cams and avoiding the carbides in camshaft body.

Key words: casted camshafts, chilled cast iron, performance and technological criterias.