

УДК 621.746.04

*Л.П. Клименко, д-р техн. наук, Л.М. Дыхта, инж., В.И. Андреев, канд. техн. наук
О.Ф. Прищепов, инж.*

ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОТЛИВКА ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС С ОБРАТНЫМ ГРАДИЕНТОМ ТВЕРДОСТИ ПО СЕЧЕНИЮ

Введение

Наилучшим для производства отливок гильз из чугуна во всем мире признан центробежный кокильный способ, который дает мелкое зерно и более высокую прочность под действием центробежной силы и вследствие иного характера охлаждения. Загрязнения и газы при центробежном литье выделяются лучше. Кокиль – это металлическая форма, обладающая по сравнению с песчаной значительно большей теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью, расплав и затвердевающая отливка охлаждаются в кокиле быстрее, чем в песчаной форме. Эти свойства материала кокиля определяют особенности его взаимодействия с металлом отливки.

Формулирование проблемы

Повышенная скорость охлаждения расплава в кокиле способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой. Однако в чугунных отливках, получаемых в кокилях, вследствие особенностей кристаллизации часто образуются карбиды, феррито-графитная эвтектика, отрицательно влияющие на свойства материала заготовки: снижается ударная вязкость, износостойкость, резко возрастает твердость в отбеленном поверхностном слое, что затрудняет обработку резанием таких отливок и приводит к необходимости подвергать их термической обработке (отжигу). Неподатливый кокиль приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда к трещинам.

Общие положения

У центробежных отливок по сечению наблюда-

ется градиент плотности, поэтому на внутренней поверхности наблюдается повышенное содержание графита, марганца, серы. Известно, что дисперсность структуры чугуна находится в прямой зависимости от скорости охлаждения. При высокой скорости охлаждения графит не успевает выделиться из сплава и получается метастабильная структура. Образуется белый чугун. Изменение скорости кристаллизации чугуна по сечению отливки приводит к тому, что в одной отливке одновременно существует участки с различным содержанием углерода, различной формы графита и структурой металлической основы.

Известно, что вследствие высокой теплопроводности кокиль создает большую скорость охлаждения вблизи поверхности отливки, а в середине и переходной зоне скорость охлаждения меньше (см. таблицу 1) [1, 2, 3].

Таблица 1. Скорость охлаждения

Толщина образца, мм	Скорость охлаждения, град/сек		
	поверхность	переходная зона	внутренняя зона
Между 1150 и 100 °С			
5	0,723	0,720	0,720
80	0,195	0,187	0,175
Между 1150 и 700 °С			
10	4,500	4,370	4,800
40	0,850	0,771	0,691

Из данных таблицы легко видеть очень большую разницу в скоростях охлаждения внутри образца в первый период охлаждения, когда воздействие кокиля максимально. Если продолжительность охлаждения в кокиле уменьшить, т.е. извлечь заготовку из кокиля при высокой температуре, то можно уменьшить скорость охлаждения, так как на воздухе теплоотвод хуже. Учитывая необходимость получе-

ния определенной твердости иногда рекомендуют извлекать отливки из кокиля.

Постановка задачи

При кокильной отливке получить феррито-графитную структуру и перлитно-графитную часто затруднительно. Износостойкость феррита неудовлетворительна. Необходимо, чтобы структура отливки была перлитной. Изменением скорости охлаждения наружной и внутренней поверхности, как показывает практика, можно добиться появления в структуре отливки перлитной основы.

Следует учесть также, что изменение скорости охлаждения приводит к образованию графита различной длины, характера распределения и формы. С увеличением скорости кристаллизации расплава расстояния между пластинками графита и размеры его уменьшаются. Крайний предел ускорения кристаллизации – белый чугун, в котором весь углерод связан. С уменьшением скорости охлаждения дисперсность у графита уменьшается, а величина включений возрастает.

Следовательно, для получения качественных отливок гильз цилиндра ДВС центробежным способом необходимо:

- изменением интенсивности теплообмена расплава чугуна с кокилем и окружающей средой добиться направленной кристаллизации отливки внутрь при меньших величинах скорости ее охлаждения;

- использовать принудительное охлаждение для упрочнения металлической основы.

Расчет интенсивности охлаждения заготовки и параметров технологического процесса при отливке в постоянные формы для получения износостойких гильз определялись как задачи данного исследования.

Решение проблемы. Теоретические предпосылки

Для достижения максимальной долговечности, минимальных износов гильз цилиндров и поршневых колец ДВС структура чугуна гильз должна иметь графит пластинчатой формы, прямой либо завихренный, металлическую матрицу в виде сорбитообразного перлита, полное отсутствие структурно-свободного феррита и включения цементита в количестве не более 5 % площади шлифа. Это зависит от скорости затвердевания и охлаждения отливки [5]. Скорость охлаждения определяется свойствами применяемой литейной формы и толщиной стенки отливки. Для получения серого чугуна с низким содержанием структурно-свободного цементита требуется замедленная скорость кристаллизации отливки, т.е. кокиль с минимальной теплопроводностью.

При заливке чугуна в кокиль в начальный момент времени разница температур формы и расплава максимальна и скорость охлаждения наибольшая. В процессе кристаллизации и охлаждения заготовки температура чугуна уменьшается, а температура формы растет, уменьшается отвод тепла от отливки и снижается скорость охлаждения. В случае пассивного охлаждения (кривая 1) при достижении температуры перлитного превращения скорость охлаждения настолько снижается, что в результате образуется перлит низкой дисперсности и включения феррита (рис.1.).

Кристаллизацию заготовки следует вести с как можно низкой скоростью охлаждения (кривая 2) для обеспечения выделения графита нужной формы и размера, в требуемом количестве, с оптимальным характером распределения и подавления карбидообразующих процессов. Для этого форму необходимо изготавливать с минимальной теплопроводностью и теплоемкостью.

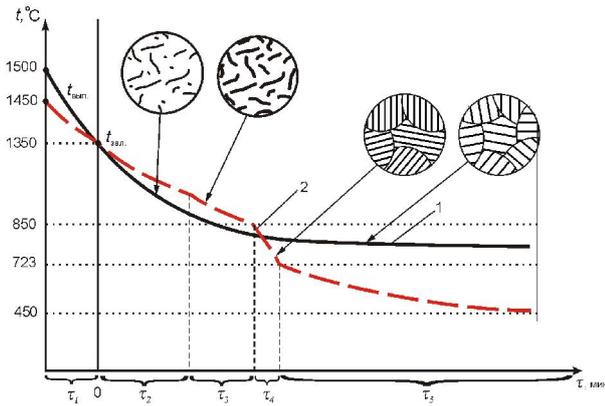


Рис. 1. Зависимость температуры отливки гильзы двигателя от времени охлаждения: 1 – пассивное охлаждение; 2 – управляемое охлаждение; $t_{\text{вып.}}$ – температура выпуска металла из ковша; $t_{\text{зал.}}$ – температура заливки чугуна в форму; τ – временной интервал.

При охлаждении отливки до температуры на 50...80 °С выше точки A_3 (723 °С) необходимо проводить искусственное принудительное охлаждение отливки с повышенной скоростью. Скорость охлаждения должна быть выбрана такой, чтобы обеспечить промежуточный распад аустенита и образование дисперсного и твердого продукта превращения в виде сорбитообразного перлита с твердостью 250...280 НВ. Охлаждение отливки необходимо прекращать при температуре 400...500 °С для исключения возможности образования мартенсита. Кроме того, медленное охлаждение отливки от 400...500 °С обеспечивает ее самоотпуск и снятие литейных напряжений.

Управление тепловыми процессами протекающими в литейной форме

Наибольшее количество тепла, отводимого от расплава, приходится на теплоотдачу поверхности кокиля, поэтому затвердевание отливки начинается от ее наружной поверхности (зона соприкосновения с кокилем) и направлено вовнутрь. Охлаждение внутренней поверхности менее интенсивно, поэтому

встречный наружному фронт кристаллизации формируется позже. При их соприкосновении образуется пояс раковин, расположение которого по сечению отливки при прочих равных условиях зависит, прежде всего, от интервала задержки формирования внутреннего фронта кристаллизации [9]. Чем позже он возникает, тем ближе к внутренней поверхности будет расположен пояс раковин и наоборот. Таким образом, изменение интенсивности теплоотдачи от наружной и внутренней поверхности позволяет регулировать этот процесс.

В связи со значительной сложностью процесса, относительной скоротечностью и высокими температурами чисто экспериментальное исследование указанных параметров является проблематичным, поэтому теоретический путь анализ является более целесообразным. При этом авторы считают возможным использование концепции калориметрической температуры и достаточно эффективный метод эквивалентной отливки [7, 8]. В упрощенном виде теоретическое исследование сводится к поэтапному решению:

- задачи Коши о снятии перегрева;
- краевой задачи кристаллизации расплава;
- краевой задачи охлаждения в кокиле затвердевшего отливка;
- краевой задачи нагрева кокиля;
- краевой задачи охлаждения кокиля после удаления отливки.

Для удобства проведения вычислений, а также анализа получаемых результатов целесообразно было перейти к безразмерным величинам θ , \bar{x} и τ в формулах:

$$\theta = \frac{T - T_{02}}{T_{cr} - T_{02}}, \quad \bar{x} = \frac{x}{l_j}, \quad \tau = a_j t, \quad j = 1, 2,$$

где T – температура;

x – пространственная координата;

t – безразмерное время.

Временной интервал кристаллизации расплава

и охлаждения затвердевшей отливки в кокиле $0 < \tau < \tau_f$ был разделен таким образом:

$$0 < \tau_1 < \tau_s < \tau_f,$$

где $\tau = 0$ – мгновенная заливка расплава в кокиль,

$\tau = \tau_1$ – момент снятия температуры перегрева,

$\tau = \tau_s$ – момент затвердевания отливки,

$\tau = \tau_f$ – момент удаления из кокиля охлажденной до заданной температуры отливки.

Демонстрационный пример потенциальных возможностей разработанной математической модели, обработанной с применением современного программного обеспечения, представлен на рис.2.

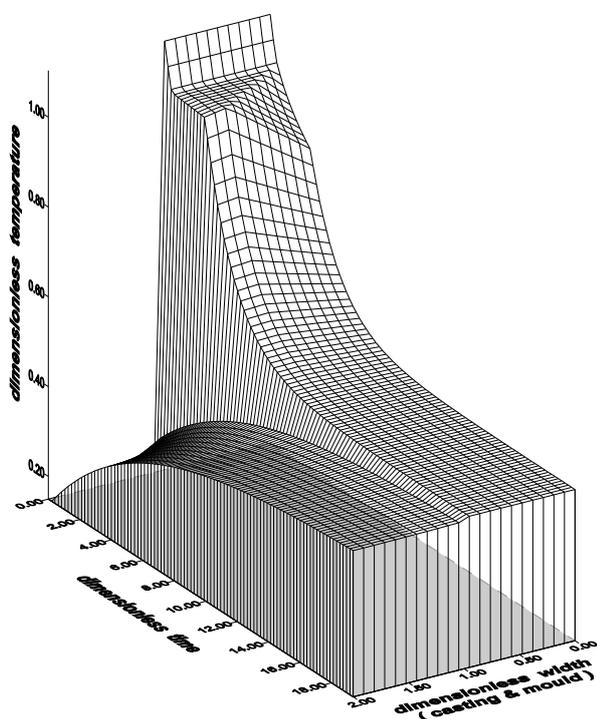


Рис. 2. Температурное поле термодинамической системы «отливка – кокиль» при охлаждении затвердевшей заготовки в кокиле

Отливка гильз цилиндров ДВС с обратным градиентом твердости по сечению

Для получения отливок с обратным градиентом твердости по сечению авторами предложена управ-

ляемая технология литья, что показана на рис. 1. (кривая 2). По данным исследований был рассчитан и запатентован [4] облицованный кокиль из пористого материала с необходимой теплопроводностью, которая по абсолютному значению приближается к теплопроводности песчано-глинистой формы. Его применение замедлило образование фронта кристаллизации на внешней стороне заготовки, и способствовало процессу графитообразования по сечению отливки. Для получения износостойкой внутренней поверхности с повышенной твердостью авторы использовали технологию управляемого охлаждения данной поверхности во вращающейся цилиндрической форме.

Работы проводились на малоразмерных заготовках автотракторных гильз, отливаемых в массивный толстостенный кокиль. Термометрический анализ процесса отливки подтвердил данные теоретических расчетов и возможность их использования в производстве.

Исследования показали, что наиболее эффективным является комплексное водо-воздушное охлаждение, включающее: подстуживание заготовки когда температура металла достигает 1150...1050 °С, воздухом давлением 0,25...0,30 МПа в течение 25 секунд. И последующее охлаждение внутренней поверхности гильзы жидкостью в зоне верхней мертвой точки. Подача охлаждающей жидкости – с тепловым напором 0,3 квт/м²·с на отливку. Время охлаждения – 25 секунд.

Замеры твердости гильз цилиндров дизеля Д-240, полученных данным способом, показали, что твердость на наружной поверхности находится в пределах 235...255 НВ, на рабочей внутренней поверхности – 269...285 НВ, что невозможно получить при обычных условиях литья [6, 10]. В сравнении с серийными изделиями эти результаты представлены на рис. 3.

Металлографические исследования образцов

показали, что путем регулируемого термодинамического воздействия удалось избавиться от точечного междендритного графита в структуре чугуна и повысить дисперсность перлита в металлической основе материала. Это существенно повышает износостойкость гильзы цилиндра ДВС.

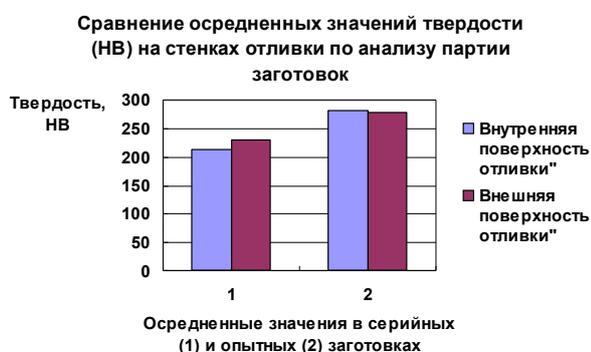


Рис. 3. Значения твердостей серийных и экспериментальных отливок гильз дизеля Д-240

Заключение

Представленная работа характеризует законченный цикл исследований по разработке технологии отливки гильз с повышенной твердостью на рабочей поверхности. Доказано что термодинамическим воздействием можно достигнуть увеличение твердости чугунной отливки при неизменном химическом составе и промышленном крупносерийном производстве. С использованием современного программного обеспечения рассчитан и в наглядном трехмерном изображении представлен процесс кристаллизации стенки цилиндрической отливки в зависимости от термических характеристик облицовки кокиля. Авторам удалось повысить твердость на

внутренней поверхности центробежной цилиндрической отливке при неизменной величине наружной твердости.

Список литературы:

1. Анисович Г.А., Жмакин И.П. Охлаждение отливки в комбинированной форме. – М.: Машиностроение, 1969. – 136 с.
2. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки: В 2-х ч. – М.: Машиностроение, 1976. – Ч. 1. Тепловые основы затвердевания. – 328 с.
3. Гиринович Н.Г. Справочник по чугунному литью. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
4. А.с. 1465171 СССР, МКИ В22Д13/10. Изложница для центробежного литья / В.И. Андреев, Л.П. Клименко, В.Е. Яковчук, И.С. Долгопят, Э.Б. Хачатуров, В.А. Павлов, Б.П. Прушинский, В.К. Сошников (СССР). – 4292704/31-02; Заявлено 03.08.1987; Опубл. 15.03.1989. – Бюл. № 10. – С. 76.
5. Клименко Л.П. Повышение долговечности цилиндров ДВС на основе принципов переменной износостойкости / Под ред. В.В. Запорожца. – Николаев: Изд-во НФ НаУКМА, 2001. – 294 с.
6. Литье в кокиль / Под ред. А.И. Вейника. – М.: Машиностроение, 1980. – 415 с.
7. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
8. Руденко А.Б., Серебро В.С. Литье в облицованный кокиль. – М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.
9. Шевченко А.И. Центробежное литье под флюсом. – К.: Наук. думка, 1990. – 190 с.
10. Яковлев Ф.И. Улучшение качества гильз цилиндров // Двигателестроение. – 1985. – № 8. – С. 30 – 31.