

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАКАЛЕННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, профессор, Поздняков Н.Г., аспирант,
Марченко М.В., ассистент

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенка)*

В работе описана существующая технология производства гильз цилиндров. Приведена методика расчета температурных полей при индукционном нагреве.

Надежная, безотказная работа двигателя внутреннего сгорания в целом зависит от качества каждой его детали.

Гильза цилиндров, занимает среди теплонапряжённых деталей двигателя особое место, как по выполняемым функциям, так и по предъявляемым к ней требованиям. Обеспечение только одной прочности гильзы, несмотря на всю важность этого требования, недостаточно для длительной и надёжной работы двигателя [1].

Высокого качества гильз цилиндров можно достичь, только соблюдая высокую технологичность процесса производства. Рассмотрим его на примере гильзы 01.521.001.01.9.0 СМД-60-01102.12.

Мокрые гильзы имеют канавки под уплотнительные кольца на нижнем посадочном пояске; подвергаются закалке ТВЧ; используются без покрытий на двигателях СМД-60 - СМД-73.

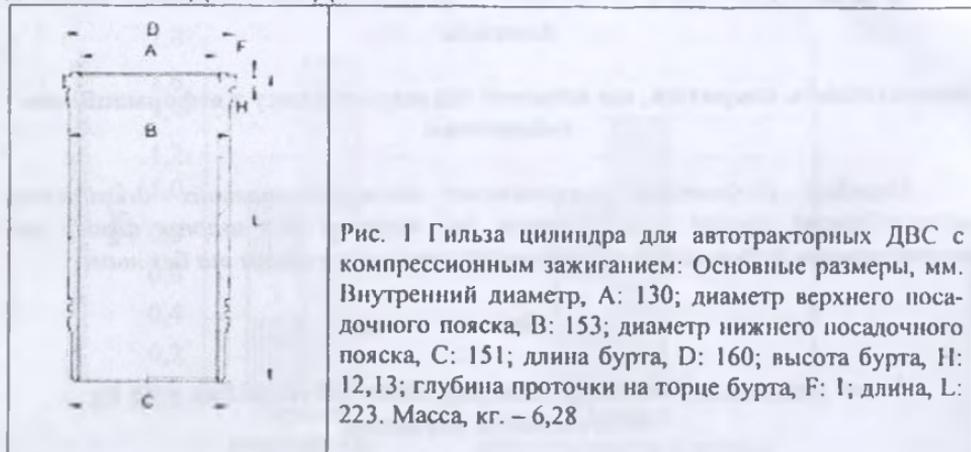


Рис. 1 Гильза цилиндра для автотракторных ДВС с компрессионным зажиганием: Основные размеры, мм. Внутренний диаметр, А: 130; диаметр верхнего посадочного пояска, В: 153; диаметр нижнего посадочного пояска, С: 151; длина бурта, D: 160; высота бурта, H: 12,13; глубина проточки на торце бурта, F: 1; длина, L: 223. Масса, кг. – 6,28

Подготовка плавки начинается с шихты и дозирования необходимого количества легирующих элементов. Жесткий химический состав по содержанию легирующих элементов с минимумом примесей в сплаве является гарантией

стабильности механических свойств и точности при обработке, поэтому непосредственно в процессе литья осуществляется экспресс-анализ сплава с помощью спектроанализирующего оборудования [2].

Непосредственно перед литьем для удаления вредных примесей и газов сплав рафинируют и дегазируют. Это улучшает литейные свойства сплава и снижает до 1-3% объем повторной переплавки.

Все заготовки гильз цилиндров независимо от модификации, отливают методом центробежного литья – заливкой расплавленного металла во вращающуюся форму. Таким образом, заготовка формируется под действием центробежных сил. Этот метод признан наиболее эффективным в мировом моторостроении, так как позволяет добиться наиболее плотной структуры сплава без пустот и рыхлости. Высокая производительность и стабильные качественные характеристики отливок достигаются благодаря использованию кокильно-карусельных машин и технологии фирмы Renault.

Обеспечение требуемой износостойкости рабочей поверхности производимых гильз цилиндров зачастую достигается при помощи закалки.

Гильзы цилиндров подвергают термообработке с использованием токов высокой частоты в результате чего обеспечивается износостойкий слой глубиной до 2,0 мм. Это гильзы для двигателей КАМАЗ, А-01М, ЯМЗ-236, ЯМЗ-240, СМД-14, СМД-60, СМД-31.

Для снятия внутренних напряжений, возникающих в процессе индукционной закалки, их подвергают печному отпуску.

Процесс обработки требует больших капиталовложений и растягивает производство гильз цилиндров по времени.

В работе была поставлена цель – разработать такой способ термообработки, который бы исключил или значительно снизил формирование внутренних напряжений в материале гильз и позволил бы избежать операции отпуска.

Для этого было оценено температурное поле при закалке ТВЧ и разработана методика расчета.

Во внутренних точках координат температура подчиняется одномерному уравнению теплопроводности в цилиндрических координатах. Это уравнение в частных производных имеет вид [3]:

$$c\gamma \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + W(r) \quad (1)$$

где r - радиус (координата) по толщине детали, м; τ - время, час; $T = T(r, \tau)$ - температура в точке с координатой r в момент времени τ ; $W(r)$ - мощность источников тепла, зависящая от координаты r , ккал/(м³ · час); c - теплоемкость, ккал/(кг · град); γ - плотность, кг/м³; λ - теплопроводность, ккал/(м · час · град).

Радиус r изменяется в пределах от минимального, соответствующего внутреннему радиусу детали, до максимального, соответствующего внешнему радиусу детали. Если обозначить через r_0 внутренний радиус детали, через r_n наружный радиус детали, через $l = r_n - r_0$ толщину стенки, а через x координата

ту внутри стенки, то очевидно, что

$$r = r_0 + \frac{r}{l} x. \quad (2)$$

Распределение $W(r)$ зависит от магнитной проницаемости, частоты тока, от температуры и многих других факторов.

$W(r)$ распределяется по следующему закону

$$W(r) = W_0 \left(1 - \frac{r - r_0}{l}\right)^{10}. \quad (3)$$

Формула показывает, что при $r = r_0$ величина $W(r) = W_0$, а при $r = r_0 + l$ величина $W(r) = 0$, где W_0 равно заданной величине.

Плотность равна 7850 кг/м^3 .

Теплопроводность в зависимости от температуры рассчитывали по формуле

$$\lambda = 45 - 20 \cdot (1200 - T) / 1200. \quad (4)$$

Теплоемкость равна $0,16$

Начальным условием при расчете температуры является:

$$T(r, 0) = T_z, \quad (5)$$

где $T_z = 200$ - температура детали после подогрева.

Принимаем условие, что индуктор всегда со стороны точки $r = r_0$, а наружная сторона цилиндра со стороны точки $r = r_0 + l = r_n$

Граничные условия на внешней области при $r = r_n$ не зависят от времени и принимаются в виде теплового потока от излучения с учетом конвекции

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = 3.8k \left[\left(\frac{T + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp} + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (6)$$

где T - температура на наружной границе; T_{cp} - температура окружающей среды (принята равной 20°C); $3,8$ - размерный коэффициент, зависящий от удельной теплоемкости и коэффициента черноты, принимаемого равным $0,7-0,8$); k - коэффициент конвективного теплообмена.

В настоящей работе он принят равным единице.

Граничные условия со стороны индуктора зависят от времени.

Время разбиваем на три периода: τ_1 , τ_2 и τ_3 : τ_1 соответствует времени выхода точки от индуктора над точкой; τ_2 соответствует времени выхода спресера над точкой; τ_3 соответствует времени окончания расчета.

Для первого периода времени при расчете с помощью источников $W(r)$ в работе принималось, что мощность источника на границе равна мощности источника в предграничной точке.

Источники в уравнении (1) не равны нулю только в первый период.

Для остального времени источники равны нулю.

При расчете с помощью теплового потока принимали, что он равен заданной величине q_1 :

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = q_1. \quad (7)$$

Для второго периода времени принимали условия третьего рода: тепловой поток на границе линейно связан со значением функции

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha(T - T_{\text{ф}}), \quad (8)$$

где α - коэффициент теплопередачи от металла к воде, ккал/(м² · час · град).

Коэффициент теплопередачи зависит от многих факторов, в частности от расхода и скорости воды в спреере и т.п. (принимаем $\alpha = 500$).

Для третьего периода времени имеет место условие (6). В работе коэффициент k , входящий в условие (6) был принят равным единице. Хотя с внутренней стороны в силу взаимного отражения никакого излучения нет (возможно только у краев по высоте цилиндра), но конвективный поток все равно существует.

Задача (1) с начальным условием (5) и граничными условиями (6-8) решалась с помощью компьютерной программы методом конечных разностей.

Для этого область решения разбивалась n точками на $n-1$ равных частей. В дальнейшем введем следующие обозначения. Индекс i будет относиться к i -й точке области. Время, относящееся к температуре, будем ставить в скобках.

Запишем уравнение (1) в конечно разностной форме:

$$c_i \gamma_i \frac{T_i(\tau + \Delta\tau) - T_i(\tau)}{\Delta\tau} = \lambda_i \left(\frac{T_{i+1}(\tau) - 2T_i(\tau) + T_{i-1}(\tau)}{\Delta r^2} + \frac{T_{i+1}(\tau) - T_{i-1}(\tau)}{2r_i \Delta r} \right) + W_i \quad (9)$$

Здесь Δr - шаг по координате

$$\Delta r = \frac{l}{n-1}, \quad (10)$$

$$r_i = r_0 + (i-1)\Delta r, \quad (11)$$

где $\Delta\tau$ - шаг по времени.

Из уравнения (9) по известным значениям $T_i(\tau)$ каждый в предыдущий момент времени находим $T_i(\tau + \Delta\tau)$. Первый раз $T_i(\tau)$ задаем из начального условия (5), то есть

$$T_i(0) = T_c. \quad (12)$$

Из (9) находим $T_i(\tau + \Delta\tau)$. Оно равно

$$T_i(\tau + \Delta\tau) = T_i(\tau) + \frac{\Delta\tau}{c_i \gamma_i} \left\{ \lambda_i \left[\frac{T_{i+1}(\tau) - 2T_i(\tau) + T_{i-1}(\tau)}{\Delta r^2} + \frac{T_{i+1}(\tau) - T_{i-1}(\tau)}{2r_i \Delta r} \right] + W_i \right\}. \quad (13)$$

Но формула (13) верна только для внутренних точек области, то есть для значений i , меняющихся в пределах от 2 до $n-1$. Для граничных точек при $i=1$ и $i=n$ используем граничные условия.

Шаг по времени $\Delta\tau$ выбирали из условия устойчивости разностной схемы (13):

$$\max \left(\frac{\lambda_i \Delta\tau}{c_i \gamma_i \Delta r^2} \right) < 1. \quad (14)$$

Максимум берется из всей совокупности точек по i . Из (14) находим

$$\Delta\tau < \min\left(\frac{c_i \gamma_i}{\lambda_i}\right) \cdot \Delta r^2. \quad (15)$$

Описаны расчетные формулы разностной схемы.

Алгоритм программы выглядит так.

Есть два массива температур $T_i(\tau)$ и $T_i(\tau + \Delta\tau)$.

Сначала по формуле (12) заполняется массив $T_i(\tau)$. Затем рассчитывается массив $T_i(\tau + \Delta\tau)$ по формуле (13) с учетом граничных условий.

Затем массиву $T_i(\tau)$ присваиваются значения массива $T_i(\tau + \Delta\tau)$. Повторяется такой алгоритм заданное число раз.

Даная методика позволяет производить расчет температурных полей при разных режимах термической обработки, что послужит исходным материалом для определения таких режимов, при которых будет исключено возникновение внутренних напряжений.

Это может служить основой для дальнейших исследований по определению параметров обработки.

Список литературы

1. <http://www.motordetal.com.ua/products/>.
2. <http://www.ktd.kiev.ua/about/technology/gilz/>.
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - Гос.изд-во технико-теоретической литературы. - 1951. - 659 с.
4. К. Васидзу. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. Москва, "Мир", 1987. - 542 с.

Анотація

Удосконалення технології виробництва загартованих гільз циліндрів із застосуванням методики розрахунку температурних полів

У роботі описана існуюча технологія виробництва гільз циліндрів. Приведена методика розрахунку температурних полів при індукційному нагріві.

Abstract

An improvement of technology of production of tempering shells of cylinders is with application of method of calculation of the temperature fields

Existent technology of production of shells of cylinders is described in work. The method of calculation of the temperature fields is resulted at the induction heating.