

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРОВ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF TECHNOLOGY FOR INCREASING THE DURABILITY OF TRACTOR COMPONENTS FROM GRAY CAST IRON

В.Е. ОВСЯННИКОВ, К.Т.Н.

В.И. ВАСИЛЬЕВ, Д.Т.Н.

А.С. ТЕРЕХОВ, Д.Т.Н.

Курганский государственный университет, Курган,
Россия, vik9800@mail.ru

V.E. OVSYANNIKOV, PhD in Engineering

V.I. VASIL'EV, DSc in Engineering

A.S. TEREKHOV, DSc in Engineering

Kurgan State University, Kurgan, Russia, vik9800@mail.ru

Рассматриваются вопросы повышения долговечности деталей тракторов из феррито-перлитного серого чугуна посредством применения процесса диффузионного поверхностного легирования с последующей закалкой на мартенсит. Процесс диффузионного поверхностного легирования серого чугуна реализуется посредством нагрева сплава в контакте с оксидом легирующих элементов (хрома, титана, ванадия и т.д.). При этом на поверхности сплава происходит диссоциация молекулы оксида легирующего элемента и диффузия атомов вглубь чугуна. Такая схема процесса дает возможность окислять углерод основы чугуна и одновременно легировать поверхностный слой. Исследования диффузионного слоя показали, что он имеет перлитную структуру, а значит, имеется возможность применения процесса закалки с целью получения мартенситной структуры. К важным факторам, которые определяют сопротивление металлов и сплавов износу, можно отнести их структуру, физико-механические свойства, а также взаимное расположение, количественное соотношение и характер связи между отдельными составляющими структуры материала. Важным вопросом практической реализации рассматриваемой технологии является определение режимов закалки, которые обеспечивают требуемую микроструктуру и свойства сплава, прежде всего, времени нагрева под закалку. В данной работе рассматривается возможность применения теплотехнических расчетов для решения указанной выше задачи. Расчет параметров нагрева под закалку осуществлялся при помощи решения уравнения теплопроводности в критериальной форме. Рассматривался нагрев цилиндрической детали. На основе определения критериев Био и Фурье были построены кривые нагрева, что дало возможность определить искомые значения режимов термической обработки. Экспериментальная проверка полученных результатов показала, что микроструктура сплава – мелкоигольчатый мартенсит, что подтверждает применимость расчетного определения режимов закалки.

Ключевые слова: закалка, долговечность, время выдержки, серый чугун.

The problems of increasing the durability of tractor parts from ferrite-pearlitic gray iron by using the process of diffusion surface doping with subsequent quenching for martensite are considered. The process of diffusion surface doping of gray iron is realized by heating the alloy in contact with the oxide of alloying elements (chromium, titanium, vanadium, etc.). At the same time, dissociation of the oxide molecule of the alloying element and the diffusion of atoms into the interior of the cast iron occur on the alloy surface. This scheme of the process makes it possible to oxidize the carbon of the cast iron base and simultaneously alloy the surface layer. Studies of the diffusion layer have shown that it has a pearlite structure, which means that it is possible to use the quenching process to obtain a martensitic structure. Important factors that determine the resistance of metals and alloys to wear include their structure, physical and mechanical properties, as well as their mutual arrangement, the quantitative ratio and the nature of the relationship between the individual components of the structure of the material. An important issue in the practical implementation of the technology is the determination of quenching regimes that provide the required microstructure and properties of the alloy, primarily the heating time for quenching. In this paper, we consider the possibility of applying heat engineering calculations to solve the abovementioned problem. Calculation of the heating parameters for quenching was carried out by solving the heat equation in the criterial form. The heating of a cylindrical part was considered. On the basis of the determination of the Bio and Fourier criteria, heating curves were constructed, which made it possible to determine the desired values of the heat treatment regimes. Experimental verification of the obtained results showed that the microstructure of the alloy is fine-needle martensite, which confirms the applicability of the calculated determination of the quenching regimes.

Keywords: quenching, durability, aging time, gray cast iron.

Введение

Специфика современного машиностроительного производства характеризуется непрерывно возрастающими требованиями к качеству выпускаемой продукции и к машинам, которые связаны с повышением их производительности, точности и надежности. Многочисленными исследованиями установлено, что качество машин во многом определяется эксплуатационными свойствами деталей и узлов, входящих в их состав. Одним из таких свойств является износостойкость в узлах трения.

К наиболее важным факторам, которые определяют сопротивление металлов и сплавов износу, можно отнести их структуру, физико-механические свойства, а также взаимное расположение, количественное соотношение и характер связи между отдельными составляющими структуры материала. Исходя из этого, можно сделать вывод, что наибольшей износостойкостью должна обладать поверхность, определяющаяся сочетанием оптимальной структуры и комплексом физико-механических и физико-химических свойств. Однако получение такого комплекса свойств на практике при использовании однофазного сплава практически невозможно.

Известно, что в узлах трения при выходе из строя сопряженных деталей практически всегда изнашивается слой определенной толщины, при этом большая часть материала деталей (зачастую 90 % и более) износу не подвергается, поэтому перспективным путем обеспечения требуемой износостойкости является поверхностное упрочнение деталей, изготовленных из дешевого материала, или получение композиционного материала, который обладает комплексом перечисленных выше свойств.

Феррито-перлитный серый чугун является достаточно распространенным материалом для изготовления деталей тракторов и сельхозмашин (по некоторым данным, доля данного материала достигает 40 %). Данный материал обладает рядом неоспоримых преимуществ, основными среди которых являются хорошие литейные свойства, сопротивляемость износу (прежде всего абразивному) и низкая стоимость.

Однако одним из основных недостатков данного конструкционного материала является то, что он практически не подвергается упрочнению. Применяемые методы упрочне-

ния данного материала [1–3] обладают низкой эффективностью и требуют использования дорогостоящего оборудования и материалов (лазерных установок, электролитов и т.д.).

Разработанный способ диффузионного поверхностного легирования [4] даст возможность получать на поверхности изделия из чугуна слой высокоуглеродистой стали с одновременной возможностью легирования *d*-элементами (хромом, титаном, молибденом и т.д.). Основными преимуществами данного способа является повышенная толщина упрочненного слоя (до 3 мм), отсутствие необходимости в применении сложного оборудования и применение в качестве материалов оксидов легирующих элементов, что дополнительно удешевляет процесс. На рис. 1 приведена граница диффузионного слоя и основы чугуна.



Рис. 1. Микроструктура границы диффузионного слоя и основы чугуна

Из рис. 1 видно, что диффузионный слой имеет перлитную структуру с включениями графита, а основа чугуна – феррито-перлитную. Таким образом, имеется возможность закалки диффузионного слоя с целью получения мартенситной структуры.

Однако в плане практического применения возникает проблема в определении режимов термической обработки (времени нагрева деталей). Главной проблемой здесь является обеспечение аустенитного превращения, но при этом выдержка должна быть такой, чтобы не было роста аустенитного зерна.

Цель исследования

Целью исследования является разработка элементов технологии повышения долговечности деталей тракторов из серого чугуна.

Материалы, методы исследования и их обсуждение

Решение поставленной задачи заключается в определении зависимости температуры от времени выдержки в печи (построение кривой нагрева). Одним из наиболее эффективных способов определения данной зависимости является решение уравнения теплопроводности [5].

Параметры нагрева и охлаждения тел зависят от теплопроводности (λ) и температуропроводности (α).

Температуропроводность представляет собой отношение коэффициента теплопроводности к теплоемкости единицы объема материала [5]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma},$$

где c – теплоемкость, λ – коэффициент теплопроводности и γ – единица объема материала.

Также важным фактором является теплоотдача. Коэффициент теплоотдачи можно рассчитать как отношение теплового потока через единицу поверхности тела к величине теплового перепада между поверхностью тела и средой [5]:

$$\alpha_{\text{изл}} = \frac{q}{T - T_{\text{пов}}},$$

где q – тепловой поток через единицу площади поверхности; T – абсолютная температура излучающих газов, свода и пода; $T_{\text{пов}}$ – абсолютная температура поверхности изделия.

Параметры теплового потока с учетом времени выдержки объекта в среде можно определить, решая уравнение Фурье [5]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

где t – температура; τ – время; α – температуропроводность.

Однако более удобным является решение данного уравнения в критериальной форме [5]:

$$\frac{T_{\text{ср}} - T}{T_{\text{ср}} - T_0} = F\left(\frac{x}{S}; \frac{\alpha \tau}{S^2}; \frac{aS}{\lambda}\right),$$

где a – коэффициент теплоотдачи от поверхности тела к внешней среде; $T_{\text{ср}}$ – температура среды; T_0 – начальная температура тела; S – половина толщины пластины, радиус цилиндра или шара; x – расстояние от середины тела до данной точки; T – текущая температура в данной точке; λ – коэффициент теплопроводности; α – коэффициент температуропроводности; τ – время.

Величины, входящие в функциональную зависимость, являются критериальными функциями: $\frac{x}{S}$ – относительная длина, которая характеризует положение расчетного сечения; $F_0 = \frac{\alpha \tau}{S^2}$ – критерий Фурье, который характеризует стадию процесса нагрева (охлаждения); $Bi = \frac{aS}{\lambda}$ – критерий Био, характеризующий отношение теплового сопротивления тела к интенсивности теплообмена на поверхности.

Задача построения кривой нагрева заключается в решении уравнения теплопроводности для различных значений времени выдержки в среде τ . В литературе [5] приведены зависимости значений температуры от критериальных функций. При этом уравнение теплопроводности представляется в следующем виде:

$$T_i = T_{\text{ср}} + \Theta_S \cdot \Theta_R \cdot (T_0 - T_{\text{ср}}),$$

где Θ_S и Θ_R – значения критериальных функций вида $\Theta(Bi, F_0)$ для поверхности и середины образца, соответственно.

В качестве исходных данных для расчета примем следующие значения коэффициентов [5]:

– коэффициент теплопроводности $\lambda = 14$ ккал/(м·ч·°C);

– коэффициент теплоотдачи $a = 150$ ккал/(м²·ч·°C) – соответствует нагреву в электрической печи;

– коэффициент температуропроводности $\alpha = 0,025$ м²/ч;

– $T_{\text{ср}} = 930$ °C (выбирается по рекомендациям [6]);

– $T_0 = 25$ °C.

Экспериментальный образец представляет собой цилиндр с диаметром 20 мм и длиной 50 мм (см. рис. 2).

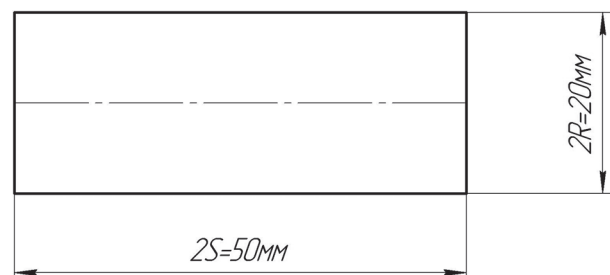


Рис. 2. Конфигурация образца

Значения критерия Био для поверхности S и оси изделия R соответственно равны:

$$Bi_R = \frac{aR}{\lambda} = \frac{150 \cdot 0,5 \cdot 0,02}{14} = 0,11;$$

$$Bi_S = \frac{aS}{\lambda} = \frac{150 \cdot 0,5 \cdot 0,05}{14} = 0,26.$$

Согласно рекомендаций [5], по определенным выше значениям критерия Био рассматриваемый образец можно отнести к массивным телам. Поэтому определение значений критериальных функций будем производить именно для таких тел.

Значения критерия Фурье определяются в зависимости от времени выдержки нагреваемого тела в среде. Для удобства результаты расчетов сведем в табл. 1.

Значения критериальных функций в зависимости от времени выдержки в среде приведены в табл. 2.

Используя значения критериальных функций, рассчитываем температуру нагреваемого образца в каждой конкретной временной точке. Результаты расчетов приведены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 1

Значения критериев Фурье и Био

Время τ , ч	Критерий Био по радиусу Bi_R	Критерий Био по оси Bi_S	Критерий Фурье по радиусу FR	Критерий Фурье по оси FS
0,01	0,11	0,26	2,5	0,4
0,03	0,11	0,26	7,5	1,2
0,06	0,11	0,26	15	2,4
0,08	0,11	0,26	20	3,2

Таблица 2

Значения критериальных функций

Время τ , ч	Критериальная функция по радиусу Θ_R	Критериальная функция по оси Θ_S
0,01	0,64	0,75
0,03	0,25	0,6
0,06	0,03	0,35
0,08	0	0,24

Таблица 3

Параметры теоретической кривой нагрева

Время τ , ч	Температуры образца T , °C
0,01	495
0,03	794
0,06	920
0,08	930

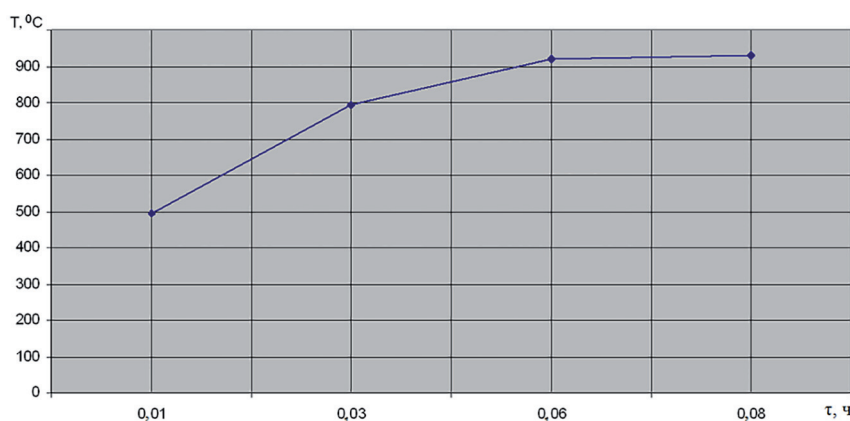


Рис. 3. Теоретическая кривая нагрева

Выводы

Как можно видеть из табл. 3, расчетное время нагрева и выдержки в печи составляет примерно 5...6 мин. Экспериментальная проверка правильности полученных результатов и применимости их в практической деятельности выполнялась на образце, геометрическая характеристика которого соответствует рис. 2.

Образец нагревали в печи и выдерживали в течение 6 мин, после чего, охлаждали в воде. На рис. 4 представлена микроструктура образца после выполнения данной операции.



Рис. 4. Микроструктура поверхностного слоя после термодиффузионного упрочнения (при температуре 1100 °C) и закалки

Из рис. 4 видно, что микроструктура диффузионного слоя соответствует мелкоигольчатому мартенситу. Таким образом, полученные расчетные значения режимов термической обработки обладают достаточной точностью и могут быть использованы в практических целях.

Литература

1. Майоров В.С., Майоров С.В. Закалка чугуновых деталей излучением твердотелого лазера // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. № 3. С. 6–8.

2. Криштал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М.: Металлургия, 1972. 400 с.
3. Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электролитических покрытий. М.: Металлургия, 1989. 136 с.
4. Гуревич Ю.Г., Овсянников В.Е., Фролов В.А. Способ диффузионного титанирования изделий из чугуна: патент на изобретение № 2012116651/02, Российская Федерация. Опубликовано 20.09.2013. Бюл. № 26.
5. Немчинский А.Л. Тепловые расчеты термической обработки. Л.: Судостроение, 1953. 105 с.
6. Седов Ю.Е., Адашкин А.М. Справочник молодого термиста. М.: Высшая школа, 1986. 239 с.

References

1. Mayorov V.S., Mayorov S.V. Quenching of cast-iron parts by solid-laser radiation. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. 2009. No 3, pp. 6–8 (in Russ.).
2. Krishtal M.A. Mekhanizm diffuzii v zheleznykh splavakh [Mechanism of diffusion in iron alloys]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1972. 400 p.
3. Povetkin V.V., Kovenskiy I.M. Struktura elektroliticheskikh pokrytiy [Structure of electrolytic coatings]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1989. 136 p.
4. Gurevich Yu.G., Ovsyannikov V.E., Frolov V.A. Sposob diffuzionnogo titanirovaniya izdeliy iz chuguna [Method for diffusion titanium casting of parts from cast iron]: patent na izobretenie No 2012116651/02, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.09.2013. Byul. No 26.
5. Nemchinskiy A.L. Teplovye raschety termicheskoy obrabotki [Thermal calculations of heat treatment]. Leningrad: Sudostroenie Publ., 1953. 105 p.
6. Sedov Yu.E., Adaskin A.M. Spravochnik molodogo termista [Directory of young thermist]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1986. 239 p.