

МАРГАНЦИРОВАНИЕ СЕРОГО ЧУГУНА

Л.Г.Ворошнин, М.И.Абачарев

Для повышения моторесурса двигателей внутреннего сгорания необходимо увеличить износостойкость трущихся поверхностей наиболее интенсивно изнашиваемой пары цилиндр-поршневое кольцо. Как правило, эти элементы изготавливаются из серого чугуна. Эффективное изменение физико-механических свойств поверхностных слоев чугуна достигается нанесением различного рода покрытий: гальванических, диффузионных, эмалевых и т.д. Тем не менее используемые на практике методы химико-термической обработки не обеспечивают необходимой долговечности трущихся деталей. В связи с этим, значительный интерес представляет исследование свойств и строения карбидных диффузионных покрытий на чугунах. Ниже приводятся результаты исследования кинетики формирования, фазового состава и износостойкости диффузионного слоя, образующегося при насыщении чугуна марки Ч28-48 марганцем. Этот процесс химико-термической обработки сравнительно мало исследован. Кроме того, он интересен еще и тем, что марганец является самым дешевым и распространенным карбидообразующим элементом.

Насыщение образцов производилось в шахтной электрической печи с силовыми нагревателями. В качестве насыщающей среды использовалась порошковая смесь, составленная в различных соотношениях из порошков марганца, окиси алюминия и хлористого аммония. Окись алюминия вводилась в насыщаемую смесь с целью предотвращения налипания частичек Mn на обрабатываемые образцы. Марганец и окись алюминия в сумме составляли 100%. Хлористый аммоний во всех случаях добавлялся в количестве 3% от общего веса порошка. Образцы изготавливались в виде вайб толщиной 5 мм из чугунных прутков диаметром 30 мм, отлитых в земляные формы, и для химико-термической обработки упаковывались в контейнеры из жаростойкой стали с плавким затвором.

Плавкий затвор составлялся из 50% борного ангидрида и 50% кварцевого песка. Первый обеспечивает герметизацию контейнера при сравнительно низких температурах (500-900°C), второй - придает рас-

плаву достаточно высокую вязкость при температурах процесса. По истечении требуемого времени выдержки образцы извлекались из печи и охлаждались вместе с контейнером на воздухе. После химико-термической обработки измерялась микротвердость легированного слоя образцов, проводились микроструктурный и рентгеноструктурный фазовый анализы и испытания на износ.

Микротвердость измерялась на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 г, изучение и фотографирование микроструктур осуществлялось на металломикроскопе МИМ-7, рентгенограммы снимались на установке УРС-50ИМ. Условия съемки: излучение - железное, неотфильтрованное; напряжение - 25 кв, ток - 7 ма, скорость движения бумаги - 2400мм/ч; щели - I,0; I,I; 0,I.

Износостойкость определялась на машине типа Шкоды-Савина без смазки при следующих условиях: время испытания - 30 мин; нагрузка - 2,1 кг; скорость вращения твердосплавного диска ($d = 62,5$ мм, $h = 2,4$ мм, $НРС = 74 + 75$) - 730 об/мин.

Исследование выполнено с использованием метода математического планирования экспериментов. Выбор оптимального режима насыщения, обеспечивающего максимальную износостойкость диффузионного слоя, можно рассматривать как экстремальную задачу и решать ее с помощью математических методов планирования экстремальных экспериментов [1]. При исследовании влияния условий насыщения на износостойкость и глубину (общую и отдельных зон) диффузионного слоя в качестве независимых переменных выбраны: X_1 - температура процесса, °C; X_2 - содержание марганца в насыщающей смеси, %; X_3 - время насыщения, ч. Параметром оптимизации (Y_1) служил износ марганцированного чугуна, мм³. Одновременно с износом контролировалась толщина отдельных зон диффузионного слоя: зоны γ -Mn (Y_2), карбидной зоны (Y_3), а также общая толщина слоя $Y_2 + Y_3$ (Y_4). На первом этапе исследований строились линейные модели типа:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i.$$

Для чего был выбран и реализован полный факторный план 2³. План экспериментов, уровни варьирования факторов и полученные результаты приведены в табл. I. Каждый из факторов варьировался на двух уровнях + I и - I, закодированных в табл. I знаками "+" и "-".

Т а б л и ц а I

Планирование экспериментов для получения износостойких покрытий при насыщении серого чугуна марганцем

| Факторы | t , °C | Содержание Mn, % | τ , часы | Износ, мм ³ | Глубина слоя, мк | | | |
|----------------------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------------|------------------|-----------------|-------|------|
| | | | | | γ -Mn | карбидного слоя | общая | |
| К о д | X_1 | X_2 | X_3 | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_4 | |
| Основной уровень (0) | 1000 | 75 | 6 | | | | | |
| Интервалы варьирования (I) | 50 | 10 | 2 | | | | | |
| Верхний уровень (+I) | 1050 | 85 | 8 | | | | | |
| Нижний уровень (-I) | 950 | 65 | 4 | | | | | |
| штк | 1 | - | - | - | 0,95 | 7,0 | 21,0 | 28,0 |
| | 2 | + | - | - | 0,85 | 17,0 | 28,0 | 45,0 |
| | 3 | - | + | - | 0,77 | 8,0 | 27,0 | 35,0 |
| | 4 | + | + | - | 1,06 | 20,0 | 36,0 | 56,0 |
| | 5 | - | - | + | 1,0 | 8,0 | 20,0 | 28,0 |
| | 6 | + | - | + | 1,34 | 7,0 | 29,0 | 36,0 |
| | 7 | - | + | + | 0,9 | 15,0 | 32,0 | 47,0 |
| | 8 | + | + | + | 1,54 | 18,0 | 38,0 | 56,0 |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0,82 | 7,0 | 28,0 | 35,0 |
| (2) | 10 | + | - | - | - | 18,0 | 27,0 | 45,0 |
| (6) | 11 | + | - | + | 1,12 | 16,0 | 28,0 | 44,0 |
| (8) | 12 | + | + | + | 1,57 | 21,0 | 35,0 | 56,0 |
| (5) | 13 | - | - | + | 0,9 | - | - | - |

В соответствии с выбранным планом, рандомизировано во времени, было реализовано восемь опытов и опыт на основном уровне (табл. I).

Данные параллельных экспериментов позволяли рассчитать дисперсию опыта $S\{y\}^2$ в определении износа (0,0099), глубины зоны γ -Mn (15,17), глубины карбидной зоны (1,67) и общей глубины диффузионного слоя (10,7) при трех степенях свободы (f_1). Соответственно среднеквадратичные ошибки опыта ($S\{y\}$) оказались равными: $\pm 0,099$; $\pm 3,89$; $\pm 1,30$; $\pm 3,27$.

На основании полученных результатов из выражения:

$$\delta_i = \frac{\sum x_{ij} y_i}{N}$$

рассчитаны коэффициенты регрессии и построены линейные модели:

$$Y_1 = 1,05 + 0,146X_1 + 0,016X_2 + 0,144X_3; \quad (1)$$

$$Y_2 = 12,5 + 3,0X_1 + 2,75X_2 - 0,5X_3; \quad (2)$$

$$Y_3 = 28,9 + 3,9X_1 + 4,4X_2 + 0,9X_3; \quad (3)$$

$$Y_4 = 41,4 + 7,0X_1 + 7,0X_2 + 0,4X_3. \quad (4)$$

Доверительные интервалы коэффициентов регрессии оказались равными: при Y_1 - $\pm 0,07$; при Y_2 - $\pm 3,17$;
при Y_3 - $\pm 1,06$; при Y_4 - $\pm 2,67$.

Адекватность представления результатов эксперимента линейными моделями проверялась по F-критерию (критерий Фишера). Все линейные модели адекватно представляют результаты экспериментов при 5%-ном уровне значимости. Пользуясь линейными моделями, можно провести оценку влияния технологических факторов: состава насыщающей смеси, температуры и времени процесса на кинетику формирования диффузионного слоя, его фазовый состав и износостойкость.

Микроструктурный анализ показывает, что марганцированный диффузионный слой состоит из трех структурных зон. Непосредственно на поверхности образуется темный, рыхлый слой γ -Mn. Под ним залегает плотный, твердый карбидный слой (H_{100} -1290). Рентгеноструктурным анализом в этой зоне обнаруживается карбид марганца и железа (Mn_3Fe). Третья структурная зона представляет собой легированный марганцовистый аустенит. Микротвердость этой зоны 600-700 кг/мм². В зависимости от условий насыщения та или иная зона в диффузионном слое может отсутствовать. Толщина третьей зоны не измерялась, так как она крайне неравномерна и трудно поддается количественной оцен-

ке. Под легированным слоем на некоторой глубине наблюдается зона свободная от графита ("сталистая зона"). Это обстоятельство свидетельствует о том, что на образование карбидов расходуется не только углерод поверхностных, но и более глуболежащих слоев.

Общая глубина диффузионного слоя увеличивается с ростом температуры процесса, содержания марганца в насыщающей смеси и времени насыщения. Причем первые два фактора влияют примерно в равной мере и значительно более сильно, чем время насыщения. Весьма незначительное влияние времени насыщения на общую толщину диффузионного слоя, по всей вероятности, связано с тем, что с течением времени происходит рост толщины карбидного слоя за счет слоя γ -Mn (с увеличением времени выдержки толщина слоя γ -Mn несколько уменьшается). С увеличением температуры и содержания марганца в насыщающей смеси толщина зоны γ -Mn и карбидной зоны увеличивается, причем и в этом случае степень влияния этих двух факторов примерно одинакова.

В выбранных интервалах изменения независимых переменных износостойкость диффузионного слоя тесно связана с его строением: уменьшение толщины зоны γ -Mn и увеличение толщины карбидного слоя приводит к повышению износостойкости. Наиболее сильно на износостойкость диффузионного слоя влияют такие технологические факторы, как температура процесса и время насыщения (рис. 1).

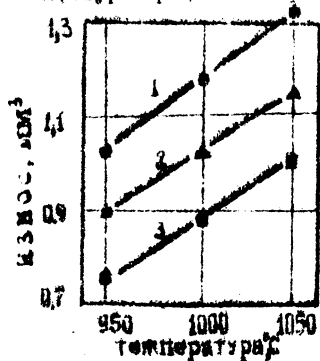


Рис. 1. Влияние условий насыщения на износостойкость марганцированного чугуна. Время насыщения: 1-8 час, 2-6 час, 3-4 час

На следующем этапе исследований по коэффициентом полученной линейной модели (1) наместили и реализовали серию опытов крутого восхождения (табл. 2)

Лучший результат ($0,7 \text{ мм}^3$) был достигнут при следующих условиях: температура насыщения — 970°C , время насыщения — 5 часов, состав насыщающей смеси — $75\% \text{ Mn} + 25\% \text{ Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{ NH}_4\text{Cl}$. Указанный режим насыщения следует считать оптимальным. В результате проведенных исследований удалось повысить износостойкость чугуна по сравнению с исходным состоянием в 4 раза. Износ исходного чугуна СЧ28-48 за 30 мин. испытания в тех же условиях составлял $2,75 \text{ мм}^3$.

Т а б л и ц а 2

П л а н о п ы т о в к р у г о г о в о с х о ж д е н и я

| Факторы | $t, ^\circ\text{C}$ | Содержание Mn, % | τ , часов | Износ, мм ³ | Примечания | |
|----------------------------|---------------------|------------------|----------------|------------------------|------------|--------------------|
| К о д | X_1 | X_2 | X_3 | Y_1 | | |
| Основной уровень | 1000 | 75 | 6 | 0,82 | | |
| Интервалы варьирования (J) | 50 | 10 | 2 | | | |
| θ_i | 0,146 | 0,016 | 0,144 | | | |
| $\theta_i \times J$ | -7,3 | 0,16 | 0,288 | | | |
| Шаг | 15 | 0 | 0,5 | | | |
| Опыты | 1 | 985 | 75 | 5,5 | 0,75 | Реализованный опыт |
| | 2 | 970 | 75 | 5,0 | 0,70 | Реализованный опыт |
| | 3 | 955 | 75 | 4,5 | 0,86 | Реализованный опыт |
| | 4 | 940 | 75 | 4,0 | 0,90 | Реализованный опыт |
| | 5 | 925 | 75 | 3,5 | | Мысленный опыт |
| | 6 | 910 | 75 | 3,0 | 1,0 | Реализованный опыт |
| | 7 | 895 | 75 | 2,5 | | Мысленный опыт |

Таким образом, экспериментально доказано, что диффузионное насыщение поверхности чугуна марганцем способствует созданию высокопрочного карбидного слоя на поверхности и упрочненной подзоне, наличие которых вызывает значительное увеличение износостойкости серого чугуна.

Л и т е р а т у р а

И. В. В. Н а л и м о в, Н. А. Ч е р н о в а. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. Изд-во "Наука", 1965.