

6,3 тыс. коленчатых валов в год требуют двух станков ЗВ423 или одного станка ХШ2-16 и одного станка ХШ2-01.

Для объемов восстановления 25 тыс. коленчатых валов в год необходимы 8 станков ЗВ423 или 2 станка ХШ2-16 и 3 станка ХШ2-01. Граница экономически обоснованного применения специального оборудования соответствует объемам восстановления деталей около 10 тыс. в год.

Выводы. Использование специальных четырехшпиндельных станков ОС-2777 при обработке гильз цилиндров более эффективно по сравнению с универсальными станками 2Н78 при всех рассмотренных объемах ремонта двигателей.

Обработка длинных прерывистых отверстий (коренных опор блока цилиндров) более эффективна на специальном оборудовании. Рациональная область применения специальных шлифовальных станков для обработки шеек коленчатых валов начинается с объемов восстановления деталей более 10 тыс. в год.

Область эффективного применения специальных станков начинается с объемов производства 6,3–10 тыс. агрегатов в год.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дьячков, В.Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник / В.Б. Дьячков, Н.Ф. Кабатов, М.У. Носинов. – М.: Машиностроение, 1983. – 288 с.

2. Сибикин, М.Ю. Современное металлообрабатывающее оборудование: справочник / М.Ю. Сибикин. – М.: Машиностроение, 2013. – 308 с.

УДК 621.791:62-405.8

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ И ДЕФЕКТЫ ПОКРЫТИЙ

В.Э. Завистовский, С.Э. Завистовский

Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Республика Беларусь

Отказ материала с покрытием в значительной степени определяется наличием дефектов в металле и материале покрытия, а также их взаимодействие с частицами присадочного материала. Механическая обработка таких деталей приводит к изменениям структуры поверхностного слоя; ранее скрытые дефекты и поры выходят на поверхность, являясь очагами разрушения. Наличие дефектов обусловлено как технологией изготовления изделия, так и эксплуатацией его. Н.А. Махутов и др. предложили [1,2] непровары, поры, несплавления и другие дефекты при расчетах показателей надежности рассматривать как трещины. Если обозначить критический размер дефекта a_c , размер дефекта в момент времени t - a_t и считать их фиксированными случайными величинами, то вероятность безотказной работы $R(t)$ материала с покрытием можно представить в виде вероятности:

$$R(t) = 1 - F(t) = P\{a_t \leq a_c\} = \int_0^{\infty} [1 - F_t(a_t, Q_t)] f_c(a_c, Q_c) da_c, \quad (1)$$

где $F(t)$ – функция распределения ресурса; $f_c(a_c, Q_c)$ – плотность распределения критического размера дефекта; Q_c, Q_t – векторы параметров распределения, зависящие от времени t . В качестве аппроксимирующей функции плотности распределения размера дефекта можно использовать: двухпараметрический закон Вейбулла-Гнеденко, распределение Эрланга, законы нормального и равномерного распределения и др. Размер критического дефекта можно найти через характеристики статической трещиностойкости.

Дефекты в твердых телах, в частности в металлах, могут быть различного типа и происхождения. Дефектная структура твердых тел формируется уже на этапе получения самого материала. В процессе изготовления из него изделий и при эксплуатации готовых изделий она может существенно трансформироваться. При этом может изменяться количество самих дефектов и происходить их переформирование с образованием новых типов нарушений. Состояние поверхности и зарождение трещин во многом определяет сопротивление материалов деформации и разрушению. При определенных условиях трещины в металле способны залечиваться (уменьшать свой объем), что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик материала.

Трещины являются стоками для точечных дефектов и микропор в твердом теле. Процесс залечивания (разрастания) связан с потоком микропор (вакансий) от трещины (к трещине). Известно, что концентрация вакансий у поверхности малых трещин (пор) выше, чем у больших, и следовательно, появляется поток вакансий от малых трещин к большим. Происходит залечивание малых трещин. Поток микропор на поверхность единицы длины трещины f рассчитывается по формуле [3]:

$$f = \frac{\gamma n_1}{R} \sqrt{\frac{D}{n_2}} \frac{K_1(z)}{K_0(z)}, \quad (2)$$

где $\gamma = \frac{2\alpha\Omega}{kT}$; $z = R\sqrt{\frac{n_2}{D}}$; R – радиус трещины; D – эффективный коэффициент диффузии для дефектов данного типа; n_1, n_2 – константы; α – удельная поверхностная энергия; Ω – характерный объем одной микропоры (дефекта); T – абсолютная температура; $K_i(z)$ – цилиндрические функции Макдональда i -го порядка.

Учтем, что температурная зависимость коэффициента диффузии дефектов может быть описана известным соотношением:

$$D = D_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (3)$$

где E_a – энергия активации диффузии дефекта, D_0 – постоянная величина, k – постоянная Больцмана. Таким образом, поток микропор оказывается сложной функцией многих параметров: температуры, коэффициента диффузии, поверхностной энергии, радиуса трещины.

Рассмотрим диффузию микропор в объеме, прилегающем к открытой трещине цилиндрической формы. Тогда изменение объема трещины ΔV длиной h за время t определим по формуле:

$$\Delta V = 2\pi Rhft\Omega . \quad (4)$$

Одним из легирующих элементов покрытий является хром. Рассмотрим диффузию атомов хрома в объеме, прилегающем к открытой цилиндрической трещине. При оценке процесса залечивания трещины определим относительное изменение объема трещины (относительную скорость залечивания трещины): $\varepsilon = \Delta V/V$.

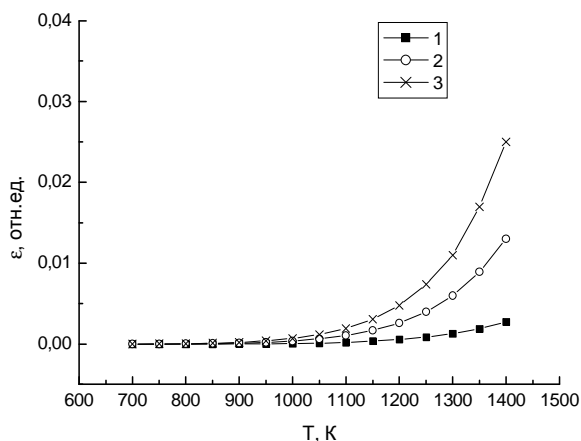


Рисунок 1 – Зависимость относительного изменения объема трещины от температуры отжига при различных энергиях активации диффузии хрома, эВ: 1 – 2,4; 2 – 2,2; 3 – 2,0. $D_0=0,85 \cdot 10^{-4}$ м²/с. Время отжига $t=20$ ч.

На рис.1 представлены результаты моделирования зависимости относительного изменения объема трещины при диффузии атомов хрома. Для хрома в α -Fe энергия активации лежит в пределах от 2,17 до 2,4 эВ, а частотный фактор от 0,89 до 0,78 см²/с. При переходе от диффузии по вакансиям (кривая 1) к диффузии по границам зерен металла (кривые 2,3), где структура, как правило, чрезвычайно сильно искажена, процесс диффузии значительно ускоряется. Это связано с тем фактом, что при диффузии по границам зерен энергия активации диффузии хрома меньше, чем по вакансиям. Результаты расчета говорят о том, что скорость залечивания трещин главным образом определяется значением и изменением энергии активации диффузии атомов Cr. Увеличению скорости залечивания трещин способствует увеличение температуры отжига.

Использование покрытий при восстановлении работоспособного состояния рабочих поверхностей деталей машин неизбежно приводит к возникновению микро- и макродефектов, оказывающих существенное влияние на процесс накопления повреждений и надежность детали [4]. Предположим, что материал восстановленной детали представляет собой систему, состоящую из трех элементов: основной металл – переходная область – покрытие. Каждый из этих элементов может быть оценен через значения физико-механических характеристик. Так как в структуре восстановленного материала эти элементы расположены последовательно друг за другом, то его надежность, представленная в виде вероятности безотказной работы, можно определить как надежность последовательно соединенных элементов, т. е.

$$P(t) = [P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t)] \cdot k_{m. mex}, \quad (5)$$

где $P_1(t) \dots P_3(t)$ – вероятность безотказной работы основного металла, переходной области и покрытия, соответственно; $k_{m. mex}$ – коэффициент технологичности, зависящий от способа и температурного режима нанесения покрытия.

Практическое применение общих и специальных методов прогнозирования надежности становится возможным при наличии конкретных методик расчета, доведенных до соответствующих алгоритмов и программ, и информационной базы, включающей конструкторскую документацию и банки данных по изделиям-аналогам о показателях надежности, условиях эксплуатации, испытаниях, нагрузочных режимах, износах, предельных состояниях и т.д.[5]. Разработка мероприятий по управлению надежностью на основе прогнозной информации является типичной задачей принятия решения в условиях неопределенности, поэтому только комплекс теоретических и прикладных вопросов могут решить проблему управления надежностью на стадии проектирования.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Филонов, И.П. Вероятностно-статистические методы оценки качества в машиностроении / И.П. Филонов, А.И. Медведев.- Мн.: Тесей, 2000.- 128 с.
2. Махутов, Н.А. Применение численных методов расчета показателей надежности элементов конструкций с повреждениями / Н.А. Махутов, И.И. Кокшаров, А.М. Лепихин // Проблемы прочности, 1991, № 5.- с. 3 – 8.
3. Завистовский, В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями / В.Э.Завистовский. – Новополоцк: Полоцкий государственный университет. – 1999. – 144 с.
4. Витязь, П.А. Упрочнение газотермических покрытий / П.А. Витязь, Р.О. Азизов, М.А. Белоцерковский.- Мн.:БЕСТПРИНТ.- 2004.-192 с.
5. Завистовский, В.Э. Надежность и диагностика технологического оборудования / В.Э. Завистовский.- Мн.: РИПО,2019.-257 с.

УДК67.05: 62-405.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ЗАЛЕЧИВАНИЯ МИКРОТРЕЩИН В ГАЛТЕЛЯХ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВС

Завистовский С.Э., Завистовский В.Э., Кириенко А.С.

Полоцкий государственный университет,
г. Новополоцк, Республика Беларусь

Усталостное разрушение коленчатых валов в большинстве случаев начинается с зарождения трещины усталости в галтелях шатунных шеек в плоскости кривошипа. Зарождение трещины происходит в поверхностных слоях материала галтели. Этому способствуют:

- высокая концентрация напряжений в галтелях. Напряжения в галтелях могут в три, а иногда и в десять раз превышать номинальные напряжения в шейках коленчатого вала;
- наличие структурных концентраторов напряжений, вызванных механической обработкой поверхностных слоев металла, и исходное состояние материала