

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА НА НАДЕЖНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Отказ материала с покрытием в значительной степени определяется наличием дефектов в металле основы и материале покрытия, а также их взаимодействием с частицами присадочного материала. Механическая обработка таких деталей приводят к изменениям структуры поверхностного слоя, ранее скрытые микродефекты и поры выходят на поверхность, являясь очагами разрушения [1,2]. Целью настоящей работы является разработка рабочей гипотезы надежности материалов деталей машин, подвергающихся восстановлению путем нанесения покрытий.

Анализ структур металлов с различными газотермическими покрытиями, рис. 1, показывает, что по глубине сечения можно выделить три характерных зоны, расположенных последовательно от основы к поверхности: зона I – основной металл (матрица); зона II – переходной слой; зона III – покрытие.

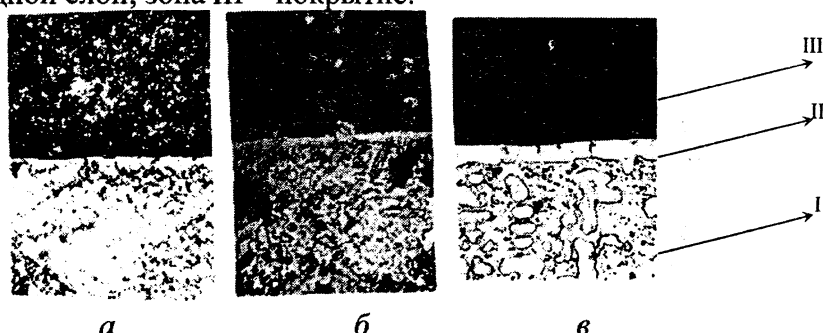


Рисунок 1. Типичный вид строения структуры стальной детали с покрытием, восстановленной: *а* – газопламенным напылением; *б* – индукционной наплавкой; *в* – лазерным напылением.

Предположим, что материал восстановленной детали, представляет собой систему, состоящую из трех последовательных элементов: основной металл - переходная зона - покрытие. Раздел теории надежности, занимающийся изучением процесса восстановления работоспособного состояния, называется теорией восстановления и соединении элементов в системе, при котором отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы, принято называть последовательным. Предположение о том, что все однотипные элементы равнонадежны, т.е. независимо от режимов работы имеют одинаковую интенсивность отказов, в случаях восстановления металлов путем нанесения покрытий, нуждается в уточнении. Технологические процессы производства металлов и формирования покрытий неизбежно приводят к появлению различного рода дефектов, влияющих на нагрузочную способность и долговечность изделия. В данной системе не все элементы работают непрерывно от момента начала работы системы и до окончания. Показатели надежности элемента можно рассчитать, если известен закон распределения наработки элемента до отказа или его основные параметры [7].

Показателем надежности восстановленного металла может служить вероятность безотказной работы $P(t)$, которая может быть определена следующим образом:

$$P(t) = P_1(t_0) P_2(t_1) P_3(t_1) , \quad (1)$$

где: $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы элементов системы; t_0 – время работы элемента I; t_1 – время работы элементов II и III.

В общем случае поведение материалов в процессе работы характеризуется кривой интенсивности отказов и на восстановление поступают, как правило, детали изношенные, имеющие необратимые физико-химические изменения структуры и пониженную надежность. Для описания прочности таких деталей может быть использован закон Вейбулла-Гнеденко. Если восстановление происходит с использованием присадочного материала, родственного материалу основы, то

$$P(t) = \exp(-N\lambda t), \quad (2)$$

где: N – число элементов системы; λ – интенсивность отказа элемента;

При восстановлении присадочным материалом, имеющим значительные отличия в физико-механических свойствах от материала основы, вероятность безотказной работы равна

$$P(t) = \exp(-At), \quad (3)$$

где: $A = \sum \lambda_i$.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ связана с плотностью распределения отказов $f(t)$ при вероятностной оценке следующим образом:

$$\lambda(t) = f(t) / P(t). \quad (4)$$

Основными критериями прочности материала являются пределы прочности σ_b , текучести σ_T и выносливости σ_{-1} . Для деталей машин, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, определяющим будет предел выносливости σ_{-1} . Следовательно, за параметр прочностной надежности материала основы можно принять σ_{-1} , с учетом того, что в процессе работы в материале накопились необратимые усталостные повреждения, т.е. можно рассматривать элемент I как материал с микротрещинами. Плотность распределения предела выносливости основы (элемент I) задается равенством

$$f_I(\sigma_{-1}) = ac\sigma_{-1}^{a-1} - \exp(c\sigma_{-1}^a), \quad (5)$$

где: a, c – параметры распределения.

Свойства прочностной надежности переходной зоны и покрытия могут быть описаны логарифмически нормальным распределением:

$$f_{II}(\sigma_{сч}) = (1 / \sigma_{сч} \sigma \sqrt{2\pi}) \exp\{(\ln \sigma_{сч} - a)^2 / 2 \sigma^2\}, \quad (6)$$

$$f_{III}(\sigma_{-1}) = (1 / \sigma_{-1} \sigma \sqrt{2\pi}) \exp\{(\ln \sigma_{-1} - a)^2 / 2 \sigma^2\}, \quad (7)$$

где: $\sigma_{сч}$ – прочность сцепления материала покрытия с материалом основы;

σ – среднее квадратическое отклонение.

На прочностную надежность материала с покрытием существенное влияние оказывает характер взаимодействия и распределение микродефектов (микропор), возникающих в процессе создания покрытия. Взаимодействие пор в приповерхностной области пористой структуры обусловлено объемной диффузией вакансий, концентрация которых повышена из-за наличия большего числа малых пор. При наличии ансамбля пор равновесная концентрация вакансий в матрице материала повышается, что ведет к увеличению коэффициента диффузии $D_{эф}$ и уменьшению энергии активации E_v . В процессе высокотемпературной обработке в приповерхностном слое процесс диффузии вакансий ускоряется. Можно показать [4-6], что поры, размеры которых $\approx 0,05$ мкм, залечиваются полностью за время порядка нескольких минут. Значит, поры радиусом $R > R_k$ из разряда растущих со временем переходят в разряд залечивающихся. По видимому, поры с размерами $\approx 1,0$ мкм располагаются по границам зерен и эволюция их размеров связана еще и с диффузией по границам зерен. При кратковременной температурной обработке температура от максимума на поверхности уменьшается вглубь материала. На поверхности поры температура различна и атомы "испаряясь" с "горячей" поверхности, конденсируются на "холодной". В итоге пора перемещается как еди-

ное целое. Учитывая, что коэффициент поверхностной диффузии больше чем объемной [3], вклад в изменение размера поры диффузии по границам зерен может быть существенным. Кроме того, разность температур создает давление, сжимающее пору в направлении градиента температуры. В результате учета перечисленных факторов можно ожидать, что при кратковременной высокотемпературной обработке в приповерхностной области металла малые поры залечиваются полностью; поры, лежащие близко к поверхности выходят на поверхность, создавая беспористую "корку", что приводит к дополнительному упрочнению материала. Управляя физико-механическими свойствами материалов основы и покрытия возможно обеспечить заданный уровень прочностной надежности.

Литература. 1.Завистовский В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями. - Новополоцк: ПГУ, 1999.- 144 с. 2.Болотин В.В. Объединенные модели в механике разрушения // Известия АН СССР: Механика твердого тела, 1984, N 3.- с.127 -137. 3.Гегузин Я.Е. Диффузионная зона. - М. : Наука , 1979.- 344 с. 4.Завистовский В.Э., Богданова Е.А., Завистовский С.Э. Структурно-диффузионный механизм залечивания микротрещин при изнашивании // Трение и износ, 1997. Том 18, № 1.- с. 42-45. 5.Черемской Т.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И. Поры в твердом теле.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 256 с. 6.Zavistovskiy V.E., Bogdanova E.A., Krivenok S.K. Evolution of structure of material with coating at high temperature exposure // ВAMFAC'98.- Vilnius: Technika, 1998.- p.172-177. 7. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. Т.5.: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембизы.- 316 с.

УДК 669.621.785

ВИДЫ ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫХ ПОЛОМОК ДЕТАЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Гурченко П.С., докт. техн. наук Минский автомобильный завод, Минск, Беларусь

Рассмотрены и систематизированы наиболее часто повторяющиеся виды износа и поломок деталей автомобиля МАЗ, исследованных в Центральной заводской лаборатории МАЗ в связи с преждевременным выходом из строя и предположительные причины их вызывающие, установленные в процессе металлографических исследований. Приведены практические рекомендации по конструктивным и технологическим мерам, позволяющим снизить вероятность наиболее часто встречающихся разрушений деталей

Разрушение деталей в большинстве случаев происходит в результате воздействия целого ряда неблагоприятных факторов. Одни из них возникают уже на стадиях конструирования и выбора материала деталей. Другие появляются при изготовлении, упрочнении и сборке деталей, а также в процессе эксплуатации из-за нерациональных режимов эксплуатации и обслуживания. В связи с этим установление истинной причины разрушения детали часто не может быть выполнено каким-то конкретным видом исследования или расчетом. С достаточной степенью достоверности причина разрушения в большинстве случаев может быть установлена только комплексом исследований, включающих проверку расчетов на прочность, анализ технологии изготовления и сборки узлов и условий эксплуатации, исследование характера и следов взаимодействия