

незначительных пределах ($\pm 1^\circ$). Это позволяет использовать сигнал от датчика индукции в качестве опорного для целей стробирования виброакустического сигнала.

Бесконтактный способ получения опорного сигнала при помощи датчика индукции для целей синхронизации и стробирования виброакустического сигнала посредством регистрации изменений электромагнитного поля вблизи катушек зажигания бензиновых двигателей имеет практическую значимость. В первую очередь это относится к специализированным станциям технического обслуживания с углубленным диагностированием. При синхронизации виброакустического сигнала по моменту искрового разряда возможно получить дополнительную информацию о характеристиках воспламенения и параметрах горения топливовоздушной смеси по цилиндрам, а также процессах механического взаимодействия деталей в ГРМ и КШМ.

Литература

1. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / ред. совет: В.Н. Челомей (предс.). – М.: Машиностроение, 1981 – Т. 5: Измерения и испытания / под ред. М.Д. Генкина. – 1981. – 496 с.
2. Prostoев_NET – Инф. портал / 62 [Электронный ресурс]: Барков, А.В. Диагностика: Возможности нового поколения систем мониторинга и диагностики. – Режим доступа: <http://www.prostoev.net/modules/myarticles/article.php?storyid=15>. – Загл. с экрана.
3. Ходасевич, А.Г. Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей. Ч. 1. Электронные системы зажигания / А.Г. Ходасевич, Т.И. Ходасевич. – М.: АНТЕЛКОМ, 2003. – 240 с.

УДК 621.793

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА МАТЕРИАЛА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

Т. В. Вигерина, Б. Г. Авмочкин, О. П. Штемпель, В. А. Фруцкий
Полоцкий государственный университет, Новополоцк

В последнее время актуальным становится вопрос ремонта различных деталей машин и механизмов с использованием внутренних ресурсов предприятия. Так, для восстановления работоспособности валов необходимо

димо восстановление опорных шеек подшипников скольжения. Для этих целей возможно использование плазменного напыления. Покрытия, наносимые на шейки валов при их восстановлении, должны обладать свойствами, обеспечивающими их длительную работоспособность. К таким свойствам относятся прочность соединения покрытия с основой, износостойкость, усталостная прочность и ряд других.

Большое влияние на работоспособность деталей оказывают малоизученные свойства: температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) и внутренние напряжения второго рода. Одной из причин усталостного разрушения детали с покрытием являются остаточные растягивающие напряжения в этом покрытии, приводящие к возникновению в нем микротрещин. Напряжения в покрытии во многом зависят от теплофизических свойств его материала. Одним из основных теплофизических свойств материала является ТКЛР, управление которым позволяет влиять на внутренние напряжения, возникающие в покрытии, и изменять значения усталостной прочности.

При повышении температуры, т.е. увеличении энергии колебаний атомов, асимметрия сил притяжения и отталкивания изменяется в сторону возрастания сил отталкивания, при этом увеличивается смещение атомов относительно друг друга. Смещение атомов, суммируясь по всем кристаллическим решеткам, приводит к изменению линейных размеров и объема тела. Это явление носит обратимый характер. В общем случае ТКЛР металла является сложной функцией, зависящей от его вида, структуры, теплопроводности, температуры плавления и кипения, энергии химической связи и других факторов.

Для большинства металлов (при отсутствии фазовых превращений) обнаружено возрастание ТКЛР с повышением температуры. Вследствие теплового расширения происходит возникновение остаточных напряжений в местах сопряжения слоев из разнородных металлов при их нанесении и нагреве, которые в свою очередь влияют на адгезионную прочность покрытия. Частицы, при их ударном осаждении на восстанавливаемую поверхность во время напыления, испытывают значительное пластическое деформирование, отчего материал покрытия приобретает состояние наклепа. Наклеп приводит к образованию большого числа поверхностей сдвига и дроблению блоков мозаичной структуры, к повышению прочности, твердости и уменьшению пластичности материала покрытия. Одновременно этот процесс порождает упругие искажения кристаллической решетки, что создает многочисленные препятствия перемещению дислокаций. Пласти-

ческое деформирование способствует уменьшению объема частиц и появлению преимущественно сжимающих напряжений. Последующее охлаждение покрытия приводит к дальнейшему уменьшению объема частиц, что приводит к уменьшению первоначальных напряжений сжатия закрепившихся частиц за счет их всестороннего растяжения.

Внутренние напряжения второго рода σ'' , обусловленные уменьшением объема частиц при их охлаждении, могут быть определены с помощью закона Гука

$$\sigma'' = E \frac{\sqrt[3]{\delta_2} - \sqrt[3]{\delta_1}}{\sqrt[3]{\delta_1}}, \text{ Па} \quad (1)$$

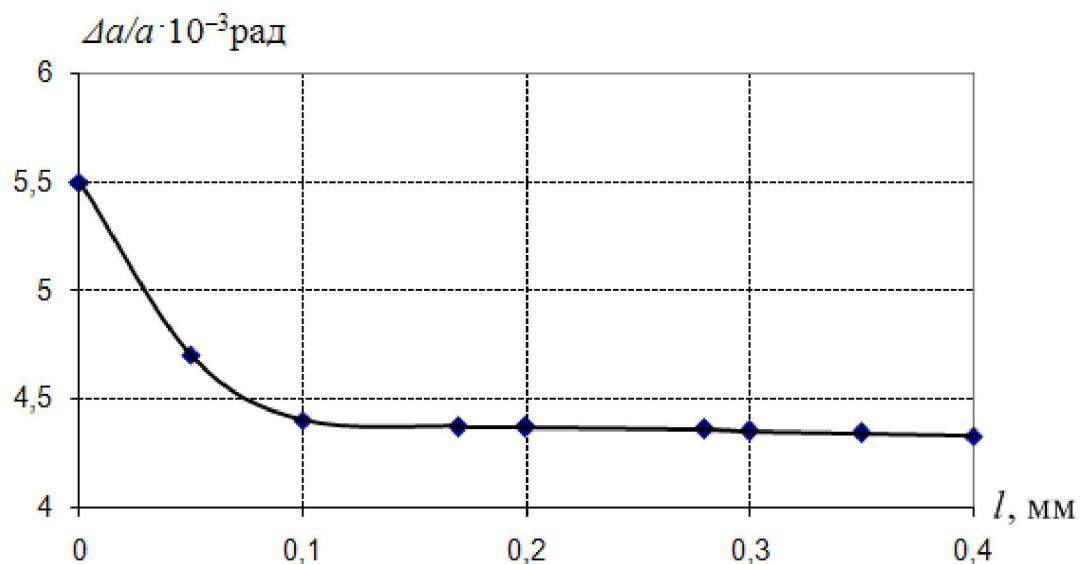
где δ_1 и δ_2 – удельные массы частиц в жидком и твердом состояниях, $\text{кг}/\text{м}^3$; E – модуль упругости, Па.

Пластическое деформирование частиц приводит их материал в статически неустойчивое состояние вследствие искажений кристаллической решетки. Затем протекают процессы, возвращающие металл в более устойчивое состояние со снятием искажений кристаллической решетки и ростом зерна. Снятие искажений кристаллической решетки (возврат) не требует высокой температуры, уже при температуре $300 - 400$ $^{\circ}\text{C}$ в стальных частицах происходит незначительное перемещение атомов. Возврат не сопровождается изменением микроструктуры. Процессы возврата и рекристаллизации протекают с конечной скоростью, зависящей от свойств упрочненного металла и степени пластической деформации, поэтому их завершение требует определенного времени.

Наибольшее влияние на изменение внутренних напряжений второго рода в частицах покрытия оказывают сила тока плазменной дуги и грануляция частиц порошка, меньшее значение оказывает диаметр сопла и расстояние от сопла до заготовки. Уменьшение $\Delta a/a$ при движении вглубь покрытия (рис. 1) связано с отжигающим действием последующих слоев покрытия на предыдущие во время его нанесения.

С увеличением расстояния от сопла до заготовки скорость летящих частиц уменьшается линейно, а теплопередача от плазменного факела уменьшается значительно быстрее – по квадратной параболе. При этом уменьшение скорости частиц приводит к уменьшению $\Delta a/a$, а уменьшение вложения тепла – к увеличению этой величины. Превалирование второго эффекта над первым приводит к увеличению внутренних напряжений второго рода при увеличении расстояния от сопла до заготовки. Кривая зависимости $\Delta a/a$ при изменении силы тока имеет ярко выраженный минимум.

Большие значения напряжений второго рода при малых значениях силы тока объясняются малым вложением тепла в материал покрытия и небольшой степенью рекристаллизации, а при больших значениях тока – большой степенью пластической деформации частиц. Крупные частицы не успевают охладиться в полете так, как мелкие. Кроме того, в покрытии из крупных частиц процессы возврата и рекристаллизации протекают более полно вследствие большей теплоемкости покрытия и температуры его слоев. Это приводит к снижению $\Delta a/a$ при увеличении грануляции частиц покрытия. Значительное уменьшение внутренних напряжений второго рода при увеличении диаметра сопла связано, на наш взгляд, с меньшей величиной наклена частиц за счет меньшей скорости струи, а, следовательно, и наносимых частиц. На усталостную прочность восстановленных валов значительное влияние оказывают возникающие в наплавленном покрытии внутренние напряжения.



Режим нанесения покрытия: $I = 325 \text{ A}$, $Q = 25 \text{ л/мин}$, $L = 150 \text{ мм}$, $d = 5,5 \text{ мм}$

Рис. 1. Распределение искажений кристаллической решетки $\Delta a/a$ по толщине покрытия (l – расстояние от поверхности покрытия до исследуемого слоя)

Для повышения усталостной прочности необходимо, чтобы ТКЛР покрытия был меньше, чем ТКЛР материала подложки. Этому условию с учетом уравнения (1) наиболее удовлетворяет следующий режим нанесения покрытия: сила тока 250 – 350 А, напряжение 70 – 80 В, расход плазмообразующего газа 20 – 35 л/мин; расстояние от сопла до заготовки 125 – 200 мм; диаметр сопла 5 – 6 мм.