

DOI: 10.24412/2077-8481-2025-2-100-108

УДК 620.179.14

В. А. НОВИКОВ, д-р техн. наук, проф.

А. В. ШИЛОВ, канд. техн. наук, доц.

А. В. КУШНЕР, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И МЕТОДИКА МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРУЖИН КЛАПАНА ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация

Описаны технология изготовления и условия эксплуатации пружин клапана двигателя. Представлены разработанные технические средства для намагничивания пружин в процессе магнитопорошкового контроля. Показана возможность простой их модернизации для дефектоскопии пружин других типоразмеров. Определены условия и разработана методика контроля объектов.

Ключевые слова:

магнитопорошковый контроль, стальные пружины, намагничивающие устройства, условия контроля, методика контроля, дефекты.

Для цитирования:

Новиков, В. А. Технические средства и методика магнитопорошкового контроля пружин клапана двигателя / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 2 (87). – С. 100–108.

Введение

Клапаны являются важными элементами как карбюраторного, так и дизельного двигателя. Они открывают и закрывают впускные и выпускные каналы, по которым в цилиндры двигателя поступает топливно-воздушная смесь и выходят отработавшие газы. Назначение пружин заключается в том, чтобы обеспечить правильное открытие и закрытие клапанов внутри цилиндра двигателя. Во время тактов сжатия и рабочего хода клапаны должны надежно изолировать цилиндр от впускного и выпускного тракта двигателя, а также оказывать минимальное сопротивление движению газов в открытом положении.

Основная часть

Пружины клапана двигателя должны обеспечивать плавное, регулируемое распределительным валом, открытие и закрытие клапанов двигателя внутри его

цилиндров. На каждый клапан устанавливается одна или две пружины. В последнем случае уменьшается их длина и повышается надёжность работы механизма. Пружина должна обеспечить плотную посадку клапана в седло, т. к. он работает в условиях резко меняющихся динамических нагрузок, способных вызвать резонанс и последующую поломку пружины. Пружины опираются на головку блока цилиндров через неподвижные тарелки, которые изготавливают штамповкой из низкоуглеродистой стали.

Чаще всего применяют пружины с постоянным шагом витков. При использовании двойных пружин возрастает надёжность газораспределительного механизма и уменьшается общий размер пружин. Направление витков внутренних и внешних пружин выполняют разным, чтобы предотвратить попадание обломков пружины между витками второй пружины.

Пружины клапана двигателя изго-

тавливают методом холодной навивки проволокой из пружинной стали 51ХФА. После навивки пружины подвергаются термической обработке (закалка плюс отпуск), а для повышения усталостной прочности они обрабатываются стальной дробью. Снятие остаточных напряжений производится виброобработкой, которая предусматривает воздействие субгармонических колебаний на витки пружины, для стабилизации структуры металла, что является эффективным методом уменьшения механических напряжений. Это позволяет увеличить срок службы объекта, не изменяя прочностных характеристик металла.

Для повышения коррозионной стойкости пружины оксидируют, оцинковывают и кадмируют. Химическое фосфатирование и химическое оксидирование пружин создает тонкую защитную пленку для их защиты как при длительном хранении, так и при эксплуатации пружин в неблагоприятных условиях. Цинкование является одним из наиболее распространенных видов гальванического покрытия пружин. Его основное назначение – защита от коррозии. Кадмирование применяется при условии экстремального воздействия на пружины среды эксплуатации.

Пружины клапана двигателя поставляются заказчику с нанесенным на них покрытием, которое должно оставаться на пружинах в течение всего срока работы.

Приведем технические характеристики пружин клапана двигателя.

Пружина клапана наружная:

– наружный диаметр пружины – $38^{+0,4}_{-0,2}$ мм;

– диаметр проволоки для навивки пружин – $4,5^{+0,4}_{-0,2}$ мм;

– число рабочих витков – 6;

– число витков полных – $8 \pm 0,2$;

– направление навивки – правое.

Пружина клапана внутренняя:

– наружный диаметр пружины –

$(26 \pm 0,2)$ мм;

– диаметр проволоки для навивки пружин – $(3 \pm 0,2)$ мм;

– число рабочих витков – 7,5;

– число витков полных – $10 \pm 0,2$;

– направление навивки – левое.

Наружная и внутренняя пружины клапана двигателя являются пружинами сжатия, т. е. их витки не соприкасаются.

Было решено для неразрушающего контроля пружин применить магнитопорошковый метод контроля, характеризующийся высокой наглядностью, чувствительностью, простотой реализации при обнаружении поверхностных и подповерхностных трещин в различных объектах.

Перед проведением контроля с контролируемой поверхности испытуемого объекта удаляли масляные и другие загрязнения. Для этого использовали хлопчатобумажную ветошь, волосяные щетки, растворители (бензин, ацетон). Проверку работоспособности дефектоскопов и качества дефектоскопических материалов осуществляли при помощи стандартных образцов, отобранных из числа забракованных изделий на предприятии, с дефектами, размеры которых соответствовали принятому уровню чувствительности.

Известно, что условный уровень чувствительности определяется в зависимости от минимального раскрытия недопустимого дефекта. В данном случае $\Delta = 2$ мкм. Ему соответствует условный уровень чувствительности A [1]. Он достигается при параметре шероховатости контролируемой поверхности $Ra \leq 2,5$ мкм. Если на поверхности объекта контроля имеется немагнитное покрытие, то с увеличением толщины покрытия чувствительность метода понижается.

В справочной литературе магнитных характеристик стали 51ХФА не было обнаружено. Однако было высказано предположение, что магнитные характеристики стали таковы, что контроль

пружин следует проводить способом остаточной намагниченности. Контроль на остаточной намагниченности более удобен и прост в осуществлении. Его применяют при обеспечении следующих четырех условий [1–3]:

1) коэрцитивная сила материала объекта контроля $H_c > 1000$ А/м;

2) остаточная намагниченность $B_r \geq 0,5$ Тл;

3) толщина немагнитного покрытия на поверхности объекта контроля не должна превышать 30 мкм;

4) если при этом достигается требуемый уровень чувствительности (последнее определяется по графикам [1], изображенным на рис. 1). С этой целью из точек H_c и B_r соответствующих осей координат восстанавливают перпендикуляры до их пересечения. Если точка пересечения перпендикуляров находится на кривой или выше кривой соответствующего уровня чувствительности, то требуемый условный уровень чувствительности достигим.

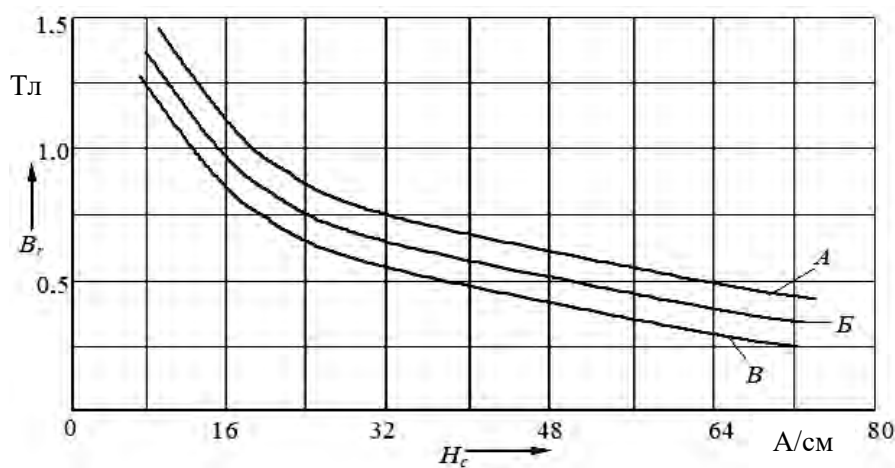


Рис. 1. К определению достижения требуемого условного уровня чувствительности при выборе способа контроля

Если ориентация дефектов неизвестна, то объект контроля намагничивают в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При этом хуже всего обнаруживаются дефекты, ориентированные под углом 45° к этим направлениям. Поэтому при одном из них требуемое значение напряженности поля H_{mp} необходимо увеличить в 1,4 раза. Наиболее рационально при контроле пружин применять циркулярный вид намагничивания: пропусканием тока через стержень, продольная ось которого совпадает с осью пружины, для обнаружения поперечных дефектов и путем пропускания тока через проволоку, из которой изготовлена пружина, для обнару-

жения несплошностей, ориентированных вдоль или под углом к продольной оси проволоки. При контроле на остаточной намагниченности H_{mp} равно напряженности магнитного поля, необходимого для получения $B_{r \max}$. Это значение берется из таблиц [1]. Требуемое значение намагничивающего тока в первом случае определяют по формуле $I_{mp} = 3 H_{mp} D$, а во втором – по формуле $I_{mp} = 1,4 \cdot 3 H_{mp} d$, где D – наружный диаметр пружины, а d – диаметр проволоки пружины. Однако так как требуемое значение напряженности поля для стали 51ХФА неизвестно, то режим намагничивания в обоих случаях подбирали экспериментально с применением стан-

дартных образцов, отобранных из числа забракованных изделий на предприятии, с дефектами, размеры которых соответствовали принятому уровню чувствительности.

Для контроля пружин использовали суспензию, содержащую концентрат магнитно-люминесцентного порошка, а осмотр производили в ультрафиолетовом свете облучателя КД 3-3Л. В качестве дисперсионной среды использовали воду. Концентрация магнитного порошка составляла 7 г/л.

Вследствие коагуляции частиц магнитного порошка в суспензии (образование комочков и длинных цепочечных структур) с течением времени происходит снижение чувствительности метода при обнаружении дефектов сплошности. Это обусловлено тем, что в формировании индикаторных рисунков дефектов участвуют как уединенные частицы магнитного порошка, так и короткие цепочки ферромагнитных частиц. Длинные цепочки накапливаются в местах наклепа, повышенной шероховатости поверхности, концентрации механических напряжений и т. д. Они со-

здают общий фон, затрудняющий расшифровку индикаторных рисунков дефектов. Для устранения этого недостатка суспензию пропускали через шланг, проходящий внутри размагничивающего соленоида, подключенного к источнику переменного тока. Кроме того, периодически приготавливали новую суспензию.

Магнитную суспензию на контролируемую поверхность наносили путем погружения пружины в ванну с суспензией. Осмотр производили без применения оптических средств непосредственно после извлечения детали из ванны и стекания основной массы суспензии.

Удаление магнитного порошка с поверхности объекта осуществляли с помощью хлопчатобумажной неворсистой ветоши или промывкой в проточной воде с последующей просушкой струей теплого воздуха.

Были разработаны и изготовлены устройства для намагничивания в процессе магнитопорошкового контроля проволоки пружины клапана двигателя в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2).

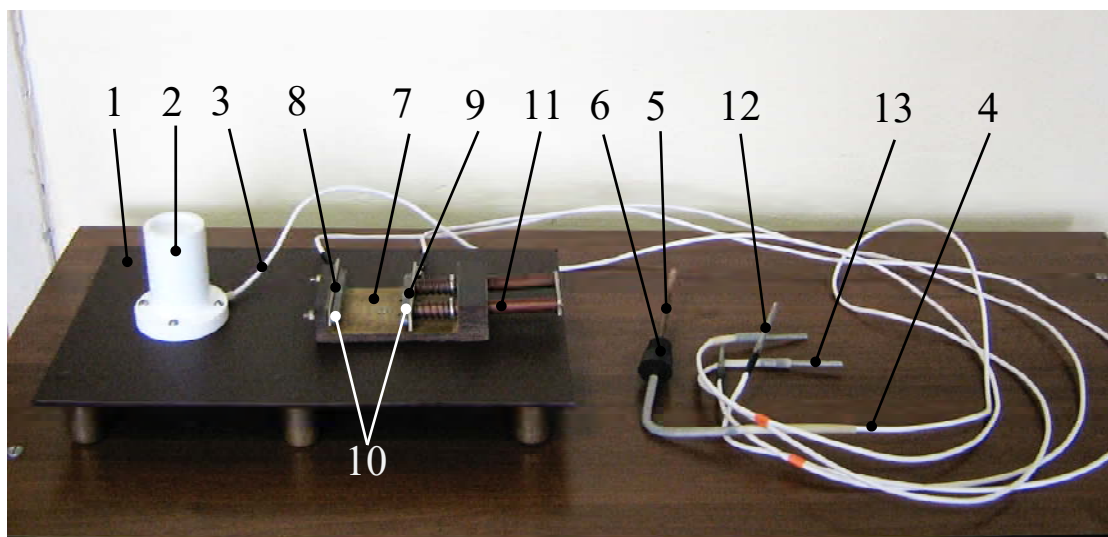


Рис. 2. Устройства для намагничивания пружин клапанов двигателя: 1 – основание; 2 – корпус устройства для пропускания тока вдоль оси пружины; 3 – кабель тороидального контакта; 4 – кабель штыревого электроконтакта устройства; 5 – латунный штыревой электроконтакт; 6 – центрирующий конус; 7 – основание текстолитового устройства для пропускания тока вдоль оси пружины; 8 – стационарная медная планка; 9 – подвижная медная планка; 10 – наконечник свинцовый; 11 – рукоятка подпружиненная; 12, 13 – наконечники токоподводящих кабелей устройства для пропускания тока вдоль проволоки пружины

Устройства закреплены на общем основании 1 (см. рис. 2). Устройство для пропускания тока вдоль оси пружины содержит корпус 2, выполненный из диэлектрического материала в виде патрубка. Внутри патрубка жестко закреплен медный проволочный тороидальный контакт, соединенный с токоподводящим кабелем 3, который подключается к одному полюсу дефектоскопа. Ко второму полюсу с помощью кабеля 4 подключен штыревой латунный электроконтакт 5, снабженный центрирующим конусом 6, который изготовлен из твердой резины.

Устройство для пропускания тока вдоль проволоки пружины содержит текстолитовое основание 7, к которому прикреплены стационарная 8 и подвижная 9 медные планки, а к ним – свинцовые пластины-наконечники. Для перемещения медной планки 9 со свинцовым наконечником 10, с целью зажатия пружины, используется подпружиненная рукоятка 11. К медным планкам

прикреплены токоподводящие кабели 12 и 13, которые подключаются к магнитопорошковому дефектоскопу (см. рис. 2).

Устройства работают следующим образом. В патрубок корпуса 1 устройства для пропускания тока вдоль оси пружины устанавливают пружину 2, затем внутрь пружины вставляют штыревой электроконтакт 3, который центрируется внутренним отверстием соприкасающегося с ним тороидального контакта и конусом 4 (рис. 3). Последний позволяет более равномерно намагнитить объект. Через штыревой электроконтакт пропускают 3...5 импульсов намагничивающего тока. Пружину извлекают из устройства, погружают на 1...2 с в ванну с магнитно-люминесцентной суспензией, а после извлечения из ванны и стекания основной массы суспензии производят ее осмотр в ультрафиолетовом свете, используя облучатель КД 3-3Л.

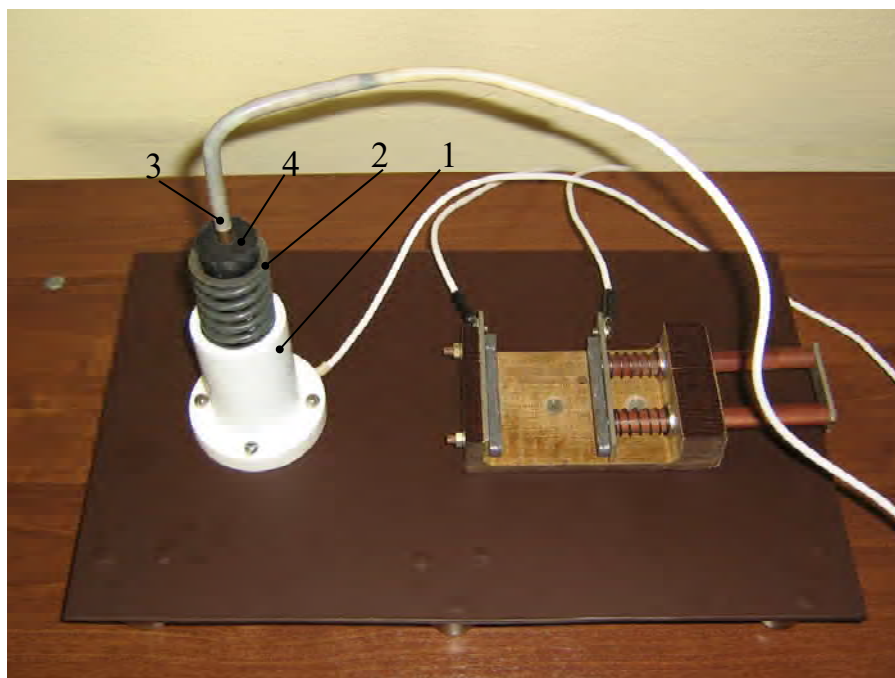


Рис. 3. Расположение штыревого электроконтакта при пропускании тока вдоль оси пружины (обнаружение дефектов, ориентированных поперек продольной оси проволоки пружины): 1 – корпус устройства для пропускания тока вдоль оси пружины; 2 – пружина; 3 – штыревой электроконтакт; 4 – центрирующая коническая диэлектрическая вставка

По появлению индикаторных рисунков дефектов на витках проволоки пружины делают заключение о наличии поперечных несплошностей в них.

Если наблюдаются индикаторные рисунки дефектов, то пружину бракуют, если нет, то после удаления остатков суспензии, не производя промежуточного размагничивания, пружину 1 зажимают в устройстве 2 для пропускания тока через проволоку, из которой изготовлена пружина (рис. 4). При этом контактные (торцевые) поверхности проволоки пружины должны быть зачищены до металла, а свинцовые токо-

проводящие наконечники 3 плотно прижиматься к ним. Производят намагничивание объекта контроля 3...5 импульсами тока. Погружают деталь в ванну с магнитно-люминесцентной суспензией на 1...2 с, а после извлечения детали из ванны и стекания основной массы суспензии производят ее визуальный осмотр в ультрафиолетовом свете. При этом должны обнаруживаться несплошности, ориентированные вдоль продольной оси проволоки или под углом к ней. Им соответствуют светящиеся индикаторные рисунки в виде тонких линий. В этом случае деталь бракуется.

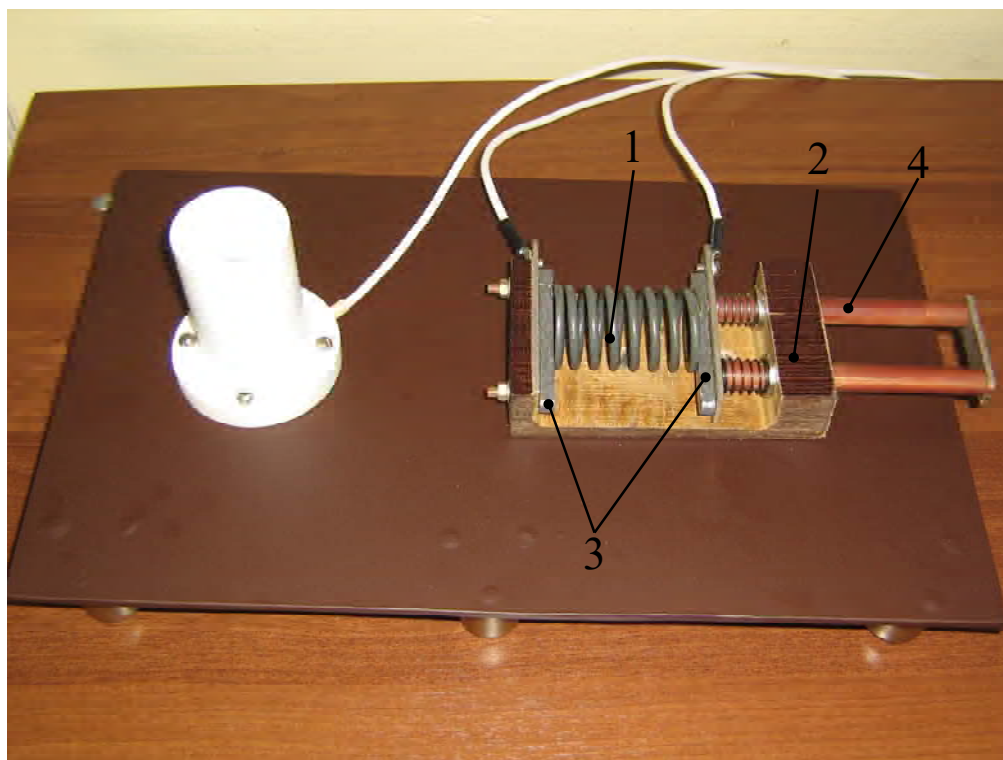


Рис. 4. Рабочее положение контролируемой пружины в устройстве для пропускания тока вдоль проволоки пружины (обнаружение дефектов, ориентированных вдоль продольной оси проволоки пружины и под углом к ней): 1 – пружина; 2 – устройство для пропускания тока через проволоку; 3 – свинцовые токоподводящие наконечники; 4 – рукоятка подпружиненная

Если дефектов не обнаружено, то пружину следует размагнитить, промыть в проточной воде и просушить путем протирки сухой неворсистой хлопчатобумажной ветошью насухо или в струе теплого сухого воздуха.

Для уточнения наличия дефектов на торцевых (зачищенных) поверхностях пружин контролируемую поверхность намагничивают перемещением по ней полюса постоянного магнита. После этого производят обработку ее суспензией и

осмотр в ультрафиолетовом свете.

На чувствительность магнитопорошковой дефектоскопии (МПД) оказывают влияние напряжённость намагничивающего поля, магнитные свойства материала, качество магнитного порошка, состав суспензии, толщина слоя немагнитного покрытия, шероховатость поверхности и др. По результатам экспериментальных исследований были определены условия контроля, при которых обеспечивается наилучшее обнаружение дефектов в пружинах клапана двигателя, изготовленных из стали 51ХФА, с нанесенным немагнитным покрытием. В пружинах клапана двигателя, поставляемых на предприятие, были обнаружены несплавления 1, ориентированные вдоль продольной оси проволоки (рис. 5).

Время, необходимое для стекания основной массы суспензии и образования индикаторных рисунков дефектов, зависит от вида концентрата магнитного порошка и составляет от нескольких секунд до 1,5...2 мин. Поэтому для повышения производительности контроля целесообразно контролировать детали партиями по 10...15 шт.

Разработанные устройства отличаются своей унификацией. Так, чтобы проконтролировать внутреннюю пружину, в корпус 1 (см. рис. 3) вставляют электрический патрубок, внутренний диаметр которого на 0,5...1 мм превышает диаметр пружины. Для намагничивания пружин поперек продольной оси проволоки никакая модернизация не требуется.

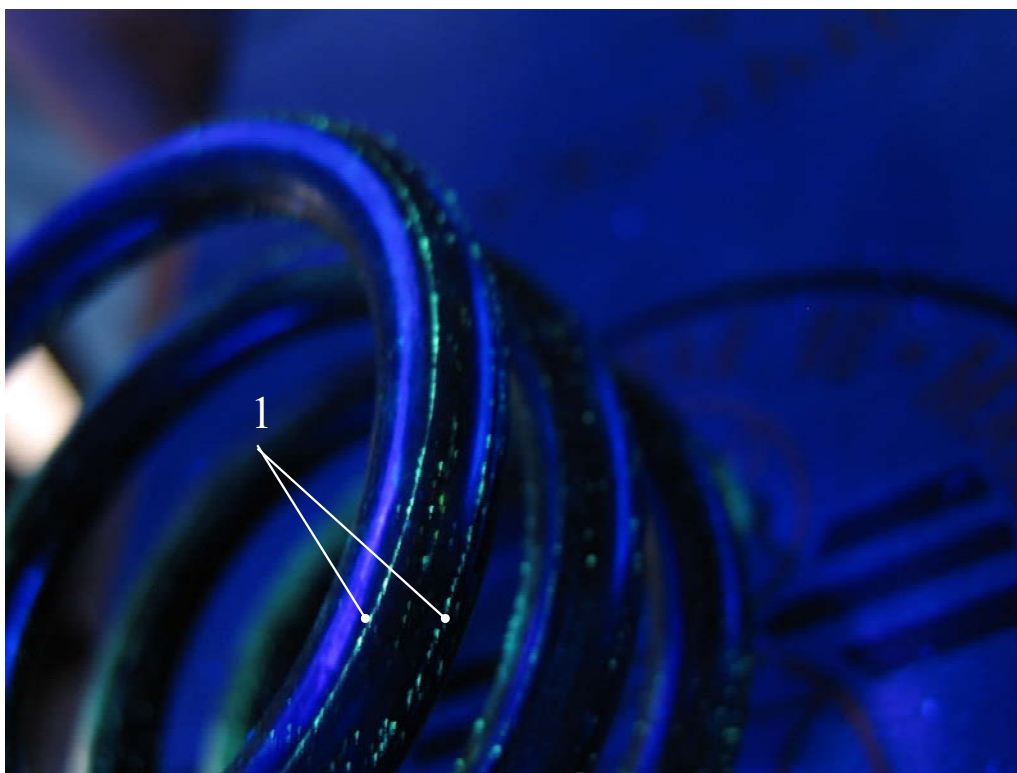


Рис. 5. Индикаторные рисунки дефектов сплошности пружины: 1 – индикаторные рисунки несплавлений проволоки пружины

Размагничивание изделий производили путем удаления детали из соленоидной катушки, подключенной к сети переменного тока с напряжением 220 В. Удерживая катушку в руках, перемещали деталь из соленоидной катушки, подключенной к сети переменного тока с напряжением 220 В. Удерживая катушку в руках, перемещали деталь из соленоидной катушки, подключенной к сети переменного тока с напряжением 220 В.

ноида, подключенного к сети переменного тока с напряжением 220 В. Удерживая катушку в руках, перемещали деталь из соленоидной катушки, подключенной к сети переменного тока с напряжением 220 В.

живая тумблер включения в положении ВКЛ., удаляли пружину из соленоида на расстояние не менее пяти внутренних диаметров соленоида.

Заключение

Пружины клапана двигателя обеспечивают плавное, регулируемое распределительным валом, открытие и закрытие клапанов двигателя внутри цилиндров. Их изготавливают методом холодной навивки проволокой из пружинной стали 51ХФА. После навивки, термической обработки (закалка плюс отпуск), обдувки стальной дробью, виброобработки и нанесения покрытия пружины поставляют заказчику.

Показано, что на стадии входного контроля пружин клапана двигателя целесообразно применять магнитопорошковый метод, характеризующийся высокой наглядностью, чувствительностью, простотой реализации при обнаружении поверхностных и подповерхностных трещин в различных объектах. Разработаны и изготовлены устройства для намагничивания проволоки пружины в двух взаимно перпендикулярных

направлениях в процессе магнитопорошкового контроля. Важной особенностью спроектированных устройств является их унификация, простота и удобство применения, что позволяет с высокой производительностью контролировать как внешние, так и внутренние пружины.

На чувствительность МПД оказывают влияние напряжённость намагничивающего поля, магнитные свойства материала, качество магнитного порошка, состав суспензии, толщина слоя немагнитного покрытия, шероховатость поверхности и др. По результатам экспериментальных исследований определены условия контроля, при которых обеспечивается наилучшее обнаружение дефектов в пружинах клапана двигателя, изготовленных из стали 51ХФА, с нанесенным немагнитным покрытием. Разработана методика магнитопорошкового контроля с использованием спроектированных устройств, позволяющая обнаружить в реальных пружинах клапана двигателя с покрытиями на стадии входного контроля несплавления, ориентированные вдоль продольной оси проволоки пружины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод: ГОСТ 21105–87. – М.: Госстандарт России, 1992. – 19 с.
2. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – Т. 4: в 3 кн. Кн. 2: Магнитопорошковый метод контроля / Г. С. Шелихов. – 2-е изд., перераб. – 736 с.
3. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – Т. 6: в 3 кн. Кн. 1: Магнитные методы контроля / В. В. Клюев, В. Ф. Мужикский, Э. С. Горкунов, В. Е. Щербинин. – 2-е изд., перераб. и испр. – 812 с.

Статья сдана в редакцию 13 февраля 2025 года

Контакты:

novikovva@tut.by (Новиков Владимир Алексеевич);
shilov.andrej.80@gmail.com (Шилов Андрей Владимирович);
kushnerandrej@tut.by (Кушнер Андрей Валерьевич).

V. A. NOVIKOV, A. V. SHILOV, A. V. KUSHNER

TECHNICAL MEANS AND METHODOLOGY OF MAGNETOPOWDER CONTROL OF ENGINE VALVE SPRINGS

Abstract

The manufacturing technology and operating conditions of engine valve springs are described. The developed technical means for magnetization of springs in the process of magnetopowder control are presented. The possibility of their simple modernization for the defectoscopy of springs of other standard sizes is shown. The conditions have been defined and the methodology of object control has been developed.

Keywords:

magnetopowder control, steel springs, magnetizing devices, control conditions, control methodology, defects.

For citation:

Novikov, V. A. Technical means and methodology of magnetopowder control of engine valve springs / V. A. Novikov, A. V. Shilov, A. V. Kushner // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2025. – № 2 (87). – P. 100–108.