

# ANALYSIS OF DEFECTS PROGRESS IN HYDROGEN-CONTAINING CONSTRUCTIONS

Miroshnikov V.V., Shvets S.N.\*

East Ukrainian national university name of Vladimira Dalay  
kv. Molodegny 20a, Lugansk, 91034 Ukraine

The steel walls of equipment, working in hydrogen-containing medium for a long time are exposed to corrosion revealing itself in decarbonation of steel [1]. The process of decarbonating causes the start of microcracks development growing into macrodefects from inner surface of the wall to its outer surface. Taking into account that the defects formation is preceded by the processes taking place on the molecular level which usually influence the metal magnetic properties, the walls of the construction can be divided into a number of zones according to certain magnetic properties and the level of damage.

The original zone of decarbonation constitutes 20 – 30 microns and is characterized by 10 – 25% initial increase of microhardness of ferrite, which is explained by the process of stratification during the first dozens of hours' work of the object in hydrogen-containing medium. In this case coercive force of the original zone of low and medium-carbon steels increases.

The rise of coercive force is also assisted by the rise of inner stresses brought by hydrogen accumulation in micro vacuums and the formation of methane there that is characteristic for the zone of increased inner stresses stretching up to 100 mkm. Abrupt increase of ferrite microhardness and inner stresses results in mechanical loosening of steel surface thus forming the microcracks zone owing to outward hydrogen-methane bubbles cutting out. This zone hardness becomes approximately 5% less than that of original metal thus resulting in the decrease of this zone coercive force. The length of microcracks zone can reach 3 mm when macrodefects zone is formed on its basis. Macrodefects are developing from inner surface of the object wall to the outer one if maximum stress at their tops becomes equal to coercive binding force between atoms of the crystal lattice.

Permanency of stresses in the macrodefects zone doesn't bring to stoppage of cracks growing because hydrogen reduces binding forces between iron atoms in the crystal lattice making it weaker.

Figure 1 shows the main stages of hydrogen corrosion of the control object wall working in hydrogen-containing medium up to the moment of destruction. The change of its coercive force on different stages of hydrogen corrosion is also shown. The cycle of repetition of 2-4 stages of hydrogen corrosion allows to follow the speed of corrosion process according to the change of coercive force. However the most valuable information on the character of damage of the control object wall is carried by a macrodefect, that in the end causes the damage situation. Moreover the speed of macrodefect development across the metal wall thickness not constant. Under the damage of the control object wall with a macrodefect up to 70% of it's thickness, strong influence on further defect progress is exerted not only by hydrogen but also by the pressure of working medium. That's why it is necessary to register and analyze the leakage field of macrodefects to get objective information on the state of control object wall.

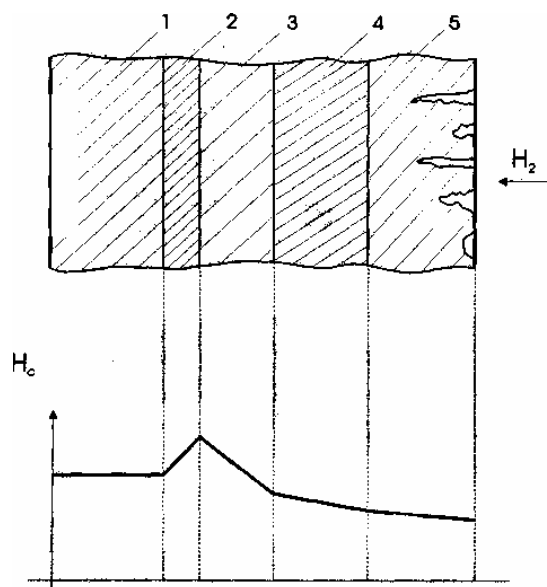


Fig. 1. The main stages of hydrogen corrosion of metal and the change of its coercive force (1 – source metal; 2 – original zone of decarbonation; 3 – zone of increased inner stresses;

\* \*Тел./факс: 38 (0642) 41-05-80 E-mail: ted-eunu@gts.lg.ua

4 – zone of microcracks; 5 – zone of macrodefects).

Let us analyse the process of forming and developing a macrodefect of hydrogen corrosion. We may offer the scheme of defect development, allowing to calculate the leakage field of a defect and compare it to the field calculated for known defects. At first intercrystal corrosion starts developing that brings multiple damage of inner surface of the control object. Numerous odd defects join forming conglomerations in the areas of heterogeneous objects inclusions (alloying elements, slag and so on) or owing to imperfection of crystal structure of metal. The defect formed opens hydrogen access to new metal and decarbonizing process repeats resulting in further defects progress.

As the defect progresses to outer wall of the object it becomes more and more alike a rectangular defect and it is natural that its walls are of wavy character.

The calculation of the leakage field of an undersurface defect is a rather difficult task, especially if the wall is of wavy character. Unevenness of the defect wall is caused by microdefects and structural heterogeneity of the crystal lattice.

Microdefects development in the direction perpendicular to the wall of a defect practically doesn't occur, that's why microdefects approximately of the same size. It allows not to take them into account while building calculation model of an undersurface defect and to take a defect wall as a straight one.

To get authentic results of the theoretical investigations let's measure the leakage fields of the defects, drawn on the control samples. Control samples are made of steel 20 and 30ХМЛ, having the same coefficient of hydrogen dissolvency and constants of water permeability. These steels differ much in hydrogen firmness and coercive force (coercive force is 380 A/m and 1120 A/m correspondingly). Samples with defects present rectangular stripes with the thickness of 3,2 mm, 7,0 mm, 15 mm and length of 100 mm. Control samples are coated with varnish so that one side is left unprotected and placed in chlorhydric solution of copper vitriol with copper filing. In the process of boiling the surface of the control sample is

exposed to intercrystalline corrosion, its depth depends on time of boiling the sample. In this way the surface is prepared for bringing defects to the given depth afterwards by method of electric research or by milling. Then the control sample is again exposed to boiling in chlorhydric solution of copper vitriol resulting in intercrystalline corrosion formation on the walls of the defects received. Magnetizing of the control object is carried out in solenoid, through the constant field. Before that the control object is demagnetized in the same solenoid. Degaussing field diminishes according to exponential law with the frequency of 5-7 hertz. During the process of magnetizing on the butt-ends of control sample the Hall transformer is fastened, to register the field on the sample surface. Registration of leakage fields is performed with the help of two ferroprobe magnetic measuring channels with impulsive excitement. To get maximum sensitivity ferropubes are connected according to the circuit of a fieldcontroller and the regime of gradiometer is performed by way of subtracting the treated signals from each channel. The data received on defects leakage fields correlates fully with the known results of investigating leakage fields of the surface defects of different configuration [3]. It certifies that it is allowed to substitute an undersurface defects of complex configuration by a rectangular defect. High metrological characteristics of magnetic measuring channel allows to get authentic information about the leakage fields of undersurface defects.

## References

1. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
2. Карпенко Г.В., Литвин А.К. Влияние рабочих сред на свойства стали – Киев: АН УССР. – 1961. – Вып. 1. – с. 73-79.
3. Пашагин А.И., Бенклевская И.П. Экспериментальное исследование магнитного поля поверхностного дефекта сложной формы в ферромагнитном изделии. – Дефектоскопия. – №8, 1995. – с. 53-59.

# АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ В ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Мирошников В.В., Швец С.Н.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,  
кв. Молодежный 20а, Луганск, 91034 Украина

Стальные стенки оборудования, длительное время работающие с водосодержащими средами, подвергаются коррозии, проявляющейся в обезуглероживании стали [1]. Процесс обезуглероживания приводит к тому, что с внутренней поверхности стенки к внешней начинают развиваться микротрещины, перерастающие в макродефекты. Учитывая, что образованию дефектов предшествуют процессы, происходящие на молекулярном уровне, обычно влияющие на магнитные свойства металла, то стенку конструкции можно разделить на ряд зон по магнитным свойствам и уровню повреждения.

Начальная зона обезуглероживания составляет 20–30 мкм и характеризуется первоначальным увеличением микротвердости феррита на 10–25% [2], что объясняется наклепом в первые десятки часов работы объекта в водородосодержащей среде. При этом коэрцитивная сила начальной зоны низко- и среднеуглеродистых сталей возрастает.

Возрастанию коэрцитивной силы также способствует повышение внутренних напряжений, вызванных скоплением водорода в микропустотах и образование там метана, что характеризует зону повышенных внутренних напряжений, которая имеет протяженность до 100 мкм. Резкое увеличение микротвердости феррита и повышение внутренних напряжений приводит к механическому разрыхлению поверхности стали, т.е. образуется зона микротрещин вследствие прорыва водородно-метановых пузырьков наружу. Твердость этой зоны становится меньше твердости исходного металла примерно на 5%, что приводит к уменьшению коэрцитивной силы данной зоны. Протяженность зоны микротрещин может достигать 3 мм когда на ее базе образуется зона макродефектов. Макродефекты развиваются от внутренней поверхности стенки объекта контроля к внешней, если максимальное напряжение у их вершин становится равным когезивной силе связи между атомами кристаллической решетки.

Постоянство напряжений в зоне макродефектов не приводит к остановке роста трещин, так как водород уменьшает силы связи между атомами железа в кристаллической

решетке и тем самым ослабляет ее.

На рис.1 представлены основные этапы водородной коррозии, которые проходит стенка объекта контроля до момента разрушения, работающая в водородосодержащей среде, а также изменение ее коэрцитивной силы на различных этапах водородной коррозии.

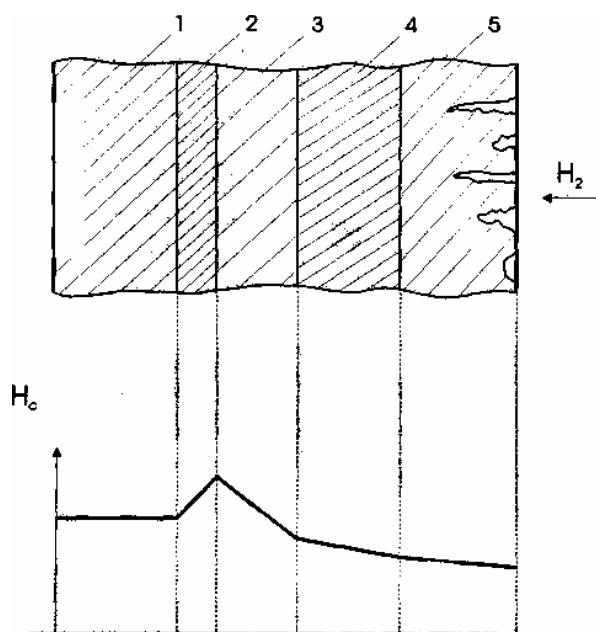


Рис. 1. Основные этапы водородной коррозии металла и изменение его коэрцитивной силы (1 – исходный металл; 2 – начальная зона обезуглероживания; 3 – зона повышенных внутренних напряжений; 4 – зона микротрещин; 5 – зона макродефектов).

Цикличность повторения 2 – 4 этапов водородной коррозии позволяет по изменению коэрцитивной силы отслеживать скорость протекания коррозии. Однако, наибольшую информацию о характере повреждения стенки объекта контроля несет макродефект, который и приводит в конечном счете к аварийной ситуации. Причем, скорость развития макродефекта по толщине стенки металла не постоянная. При поражении стенки объекта контроля макродефектом на 70% от ее толщины, сильное влияние, помимо водорода, на дальнейшее развитие дефекта оказывает давление рабочей среды. Поэтому необходимо регистрировать и

\*Тел./факс: 38 (0642) 41-05-80 E-mail: ted-eunu@gts.lg.ua

анализировать поле рассеяния макродефектов для получения объективной картины состояния металла стенки объекта контроля.

Проанализируем процесс образования и развития макродефекта водородной коррозии. Можно предложить схему развития дефекта, позволяющую рассчитать поле рассеяния дефекта и сравнить его с полем, рассчитанным для известных дефектов. Первоначально начинает развиваться межкристаллическая коррозия, которая приводит к множественному поражению внутренней поверхности объекта контроля. Множество разрозненных дефектов объединяются и образуют конгломераты в местах включения инородных объектов (легирующих элементов, шлака и т.д.) или из-за несовершенства кристаллической структуры металла. Образовавшийся дефект открывает доступ водороду к новому металлу, и процесс обезуглероживания повторяется, приводя к дальнейшему развитию дефекта.

По мере продвижения дефекта к наружной стенке объекта он все больше становится похожим на прямоугольный дефект, естественно, что его стенки имеют волнистый характер.

Расчет поля рассеяния подповерхностного дефекта представляет собой достаточно сложную задачу, а тем более, если стенка имеет волнистый характер. Неровность стенки дефекта вызвана микродефектами и структурной неоднородностью кристаллической решетки.

Развитие микродефектов в направлении перпендикулярном стенке дефекта практически не происходит, поэтому они и остаются примерно одних и тех же размеров. Это позволяет при построении расчетной модели подповерхностного дефекта их не учитывать и считать стенку дефекта прямой.

Для установления достоверности результатов теоретических исследований проведем измерение полей рассеяния дефектов, нанесенных на контрольные образцы. Материал контрольных образцов – Сталь 20 и 30ХМЛ, которые имеют одинаковые коэффициенты растворимости водорода и постоянные водопроницаемости, а по водородостойкости и коэрцитивной силе эти стали резко отличаются (коэрцитивная сила - 380 А/м, 1120 А/м соответственно). Образцы с дефектами представляют собой прямоугольные полосы с толщиной 3,2 мм, 7,0 мм, 15 мм, 30 мм и длиной 100 мм. Предварительно, контрольные образцы покрываются лаком так, чтобы осталась незащищенной одна сторона, и помещаются в сернистый раствор медного купороса с медной стружкой. В процессе кипячения поверхность

контрольного образца подвергается межкристаллической коррозии, глубина которой зависит от времени кипячения образца. Таким образом подготавливается поверхность, на которой в последствии электроискровым методом или фрезерованием наносятся дефекты на заданную глубину, после чего контрольный образец опять подвергают кипячению в сернистом растворе медного купороса, что приводит к образованию межкристаллической коррозии на стенках полученных дефектов.

Намагничивание контрольного образца осуществляется в соленоиде постоянным полем. Предварительно контрольный образец намагничивается этим же соленоидом. Намагничивающее поле убывает по экспоненциальному закону с частотой 5 – 7 Гц. При намагничивании на торце контрольного образца укрепляется преобразователь Холла, который регистрирует поле на поверхности образца. Регистрация полей рассеяния осуществляется двумя феррозондовыми магнитоизмерительными каналами с импульсным возбуждением. Для достижения максимальной чувствительности феррозонды включены по схеме полемера, а режим градиентомера осуществляется путем вычитания обработанных сигналов каждого канала.

Полученные данные о полях рассеяния дефектов полностью коррелируют с известными результатами исследования полей рассеяния поверхностных дефектов различной конфигурации [3]. Это свидетельствует о допустимости замены подповерхностного дефекта сложной формы на прямоугольный, а высокие метрологические характеристики магнитоизмерительного канала позволяют получать достоверную информацию о полях рассеяния подповерхностных дефектов.

### Литература

1. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1982. –232 с.
2. Карпенко Г.В., Литвин А.К. Влияние рабочих сред на свойства стали - Киев: АН УССР. – 1961. – Вып. 1.–с. 73–79.
3. Пашагин А.И., Бенклевская И.П. Экспериментальное исследование магнитного поля поверхностного дефекта сложной формы в ферромагнитном изделии. – Дефектоскопия.– № 8, 1995.-с. 53-59.